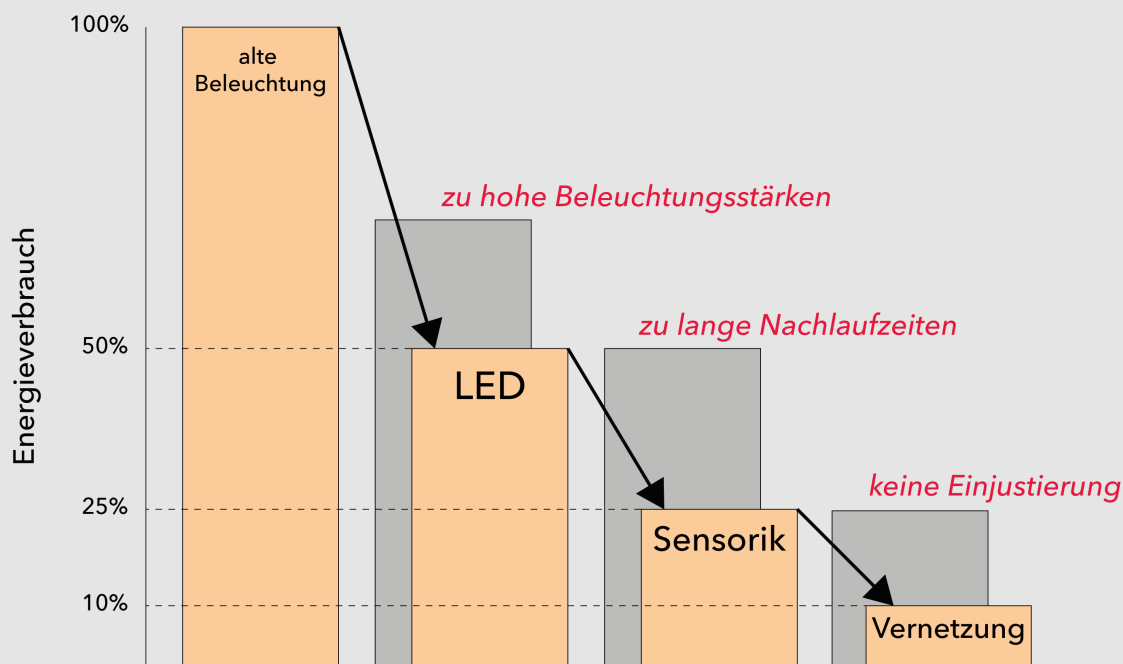


Schlussbericht «SensoLight», 22.12.23

# Sechs Fallstudien zur intelligenten Beleuchtung

## Die drei Optimierungsschritte zur effizienten Beleuchtung



## **Autor**

Stefan Gasser, Schweizer Licht Gesellschaft SLG, Römerstrasse 7, 4600 Olten

## **Begleitgruppe**

- Stefan Kull und Simon Burri (Swisslux AG)
- Matthias Käser (Nevalux AG)
- Zdenek Mazura (Theben HTS)
- Michael Koster (Zumtobel AG)
- Sabrina Schleicher (Steinel GmbH)

Diese Studie wurde mit Unterstützung von EnergieSchweiz erstellt.  
Für den Inhalt sind allein die Autoren verantwortlich.

## **Dank**

Die beteiligten Lieferanten und Mitglieder der Begleitgruppe haben neben den Begleitgruppensitzungen die Projekte ermöglicht und viel Mitarbeit in Form von Eigenleistung eingebracht.

Die Betreiber der untersuchten Projekte haben freundlicherweise die Projekte zur Verfügung gestellt und alle notwendigen Unterlagen zusammengestellt. Ferner den Zugang zu den elektrischen Anlagen und Räumen in den Gebäuden ermöglicht.

Die Bilder stammen zum Teil von den Bauherrschaften, von den Lieferanten oder wurden für dieses Projekt erstellt.

Die Fallstudien wurden im Rahmen der Initiative «energylight» durchgeführt.

[www.energylight.ch](http://www.energylight.ch)



# Inhalt

<b>1 Zusammenfassung</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Grundlagen</b> .....	<b>6</b>
2.1 Intelligente Beleuchtung .....	6
2.2 Vorgehen.....	7
2.3 Projektpartner.....	8
2.4 Typologie der Fallstudien .....	8
<b>3 Messkonzept</b> .....	<b>9</b>
3.1 Messmethoden.....	9
3.2 Messung der Betriebsleistung.....	10
3.3 Messung der Beleuchtungsstärke.....	10
3.4 Messung des Lastgangs der elektrischen Leistung .....	11
3.5 Fest installierter Energiezähler .....	11
3.6 Datenlogger für Beleuchtungsstärke .....	12
<b>4 Fallstudien</b> .....	<b>13</b>
4.1 Fallstudie 1: Wohnsiedlung «im Guss» in Bülach.....	13
4.2 Fallstudie 2: Wohnsiedlung «Rütihof» in Zürich .....	17
4.3 Fallstudie 3: Spitalzentrum Biel .....	21
4.4 Fallstudie 4: Industriehalle «SIG allCap» in Neuhausen am Rheinfall.....	25
4.5 Fallstudie 5: Schulhaus «Sennweid» in Baar .....	29
4.6 Fallstudie 6: Parkgarage «Heuried» in Zürich.....	33
4.7 Abgebrochene Projekte.....	37
<b>5 Empfehlungen für Planende</b> .....	<b>38</b>
5.1 Typologie der Sensoren.....	38
5.2 Checkliste Sensorik.....	39
5.3 Die drei Optimierungsschritte zur effizienten Beleuchtung .....	40

# 1 Zusammenfassung

Basierend auf der «Lichtvereinbarung von Davos» im September 2018 hat die Schweizer Licht Gesellschaft SLG zusammen mit zahlreichen Partnern das Umsetzungsprogramm «energylight» lanciert. Im Rahmen von «energylight» werden Projekte realisiert, die einen Beitrag zur Ausschöpfung des grossen Energiesparpotentials bei der Beleuchtung von geschätzten jährlichen 3500 Gigawattstunden leisten.

Das Projekt mit dem Namen «SensoLight» hat zum Ziel, das effektive Energiesparpotential von «intelligenten» Beleuchtungsanlagen gegenüber herkömmlichen Beleuchtungen aufzuzeigen und dies messtechnisch zu belegen. Es wurden sechs Fallstudien aus verschiedenen Anwendungsbereichen durchgeführt:

- Verkehrsflächen in Wohnsiedlungen (2 Projekte)
- Spitalkorridor
- Industriehalle
- Schulzimmer
- Tiefgarage

Partner des Projektes sind die Mitglieder des Herstellervereins Sensnorm ([www.sensnorm.com](http://www.sensnorm.com)) sowie der Leuchtenhersteller Zumtobel. Die Partner evaluierten die Fallstudien für das Projekt und unterstützten die praktische Durchführung der Messungen vor Ort. Eine frühere Fallstudie des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich zum gleichen Thema wurde ebenfalls im vorliegenden Bericht integriert.

Die Auswertung der Messungen zeigt, dass in Verkehrszonen mit dem Einsatz von «intelligenten» Beleuchtungsanlagen (sensorgesteuerte und vernetzte Leuchten im Schwarmbetrieb) zwischen 82% und 94% Energie eingespart werden kann. In Hauptnutzflächen sind es weniger: in den untersuchten Schulzimmern sind es 58% und in der Industriehalle 55%, (bezogen auf den Tagbetrieb).

**Eine zentrale Erkenntnis des Projektes ist, dass in allen Fallstudien der Einfluss von Sensorik und Vernetzung der Leuchten den grösseren Beitrag zur Energieeffizienzsteigerung beisteuert als der Ersatz der konventionellen Lichtquellen durch LED.** Allerdings muss auch festgehalten werden, dass die grosse Einsparung durch Sensorik nur ausgeschöpft werden kann, wenn die Sensoren auch korrekt eingestellt sind. Die Nachlaufzeiten sollen minimal sein (max. 1 bis 2 Minuten) und die max. Beleuchtungsstärke höchstens 20% über dem Normwert der Norm SN-EN 12464-1 (Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen).

Fazit aus dem Projekt ist, dass die richtig einjustierte, intelligente Beleuchtung in allen Arten von Verkehrsflächen einen sehr grossen Beitrag zur energieeffizienten Beleuchtung leisten kann; gemäss Gebäudeparkmodell sind rund 14% der gesamten Gebäudefläche der Schweiz (ca. 760 Mio. m<sup>2</sup>) Verkehrsflächen (Korridore, Treppen, Garagen, Nebenräume). V.a. in den Verkehrszonen der rund 500'000 Mehrfamilienhäuser der Schweiz würden intelligente Beleuchtungen neben der Energieeinsparung auch einen Zusatznutzen in Bezug auf Sicherheit bringen.

Auch in den Projekten, in welchen die Hauptnutzflächen gemessen wurden, zeigte sich, dass eine gut funktionierende und korrekt eingestellte Beleuchtungssteuerung über den Technologiewechsel hinaus viel zusätzliche Energieeinsparung bringt. Insbesondere die Konstantlicht-Regelung hat in beiden untersuchten Projekten (Schulhaus und Industriehalle) einen grossen Einfluss - LED-Leuchten lassen sich technologiebedingt sehr gut regeln.

Die Erkenntnisse der Auswertung in den Hauptnutzflächen zeigen auf, dass auch ein grosses Potential in Arbeitsräumen mit Tageslicht besteht. Diese Nutzungsflächen sollten in folgenden Fallstudien detailliert aufgearbeitet werden.

In der nachstehenden Grafik sind die spezifischen gemessenen Energieverbräuche der alten und neuen Beleuchtungsanlagen der sechs Fallstudien im Vergleich dargestellt. Ferner ist die Einsparung vermerkt. Bei der Fallstudie «Industriehalle» ist zwecks transparenterem Vergleich nur der Energieverbrauch während des Betriebes am Tag abgebildet – in der Halle wird rund um die Uhr produziert.

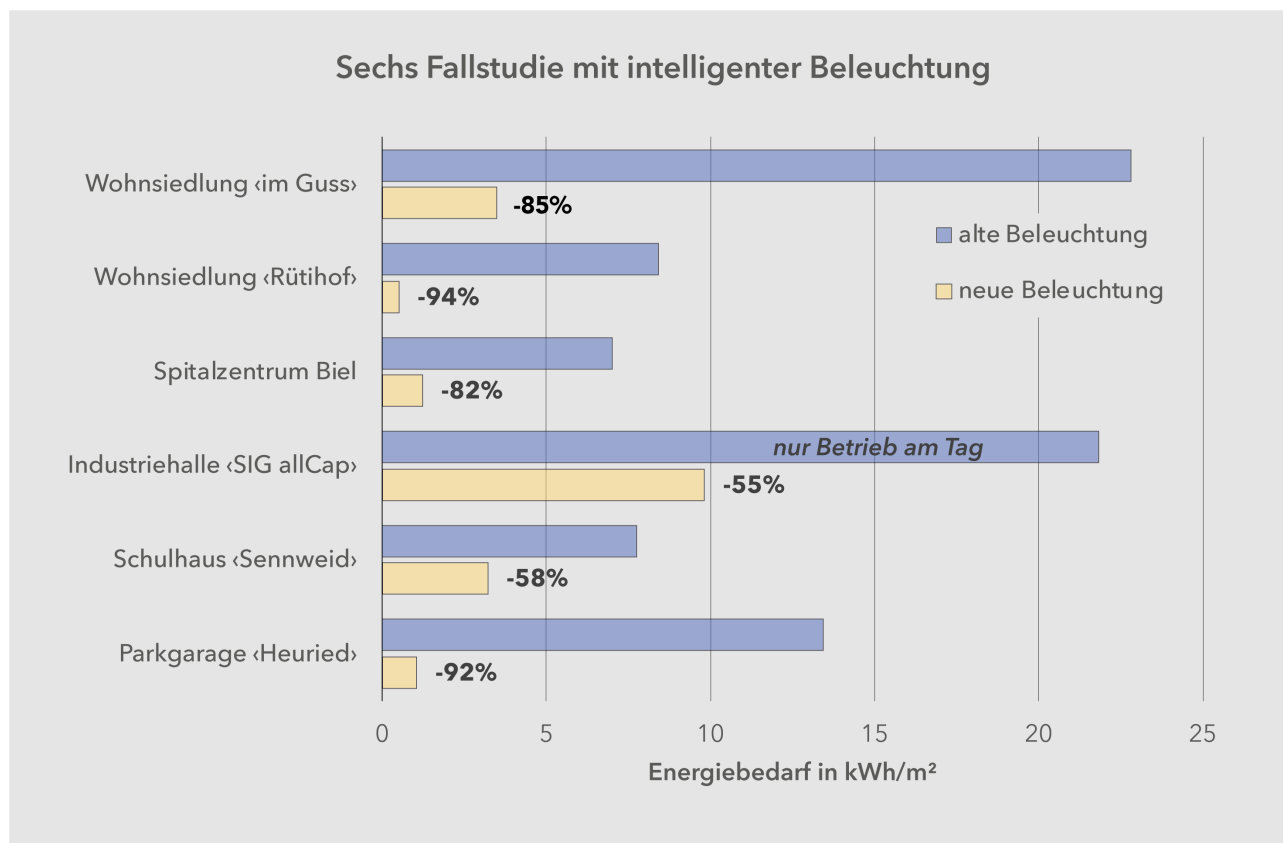


Abbildung 1: Überblick Fallstudien mit spez. Energieverbrauch der alten und neuen Beleuchtung, sowie Einsparung

## 2 Grundlagen

### 2.1 Intelligente Beleuchtung

Eine Beleuchtung kann nicht intelligent sein; der Begriff stammt aus der Marketingwelt. Der SIA beschreibt in der neuen Norm 387/4 (Ausgabe 2023) den Begriff der vernetzten Sensor-Leuchten wie folgt:

Bei der optimalen Lichtlösung ist die Beleuchtung nur dort eingeschaltet, wo sie effektiv benötigt wird. Bereiche ohne Anwesenheit von Personen oder mit genügend Tageslicht müssen nicht künstlich beleuchtet werden. Vor allem in Verkehrsflächen (Korridoren, Parkhäusern) oder wenig benutzten Nebenräumen (Lagern usw.) können vernetzte Leuchten mit integrierten Sensoren bis zu 95 % Energie einsparen.

Eine optimale Lichtlösung beinhaltet folgende Funktionen:

- Jede Leuchte, oder eine kleine Leuchtengruppe von ca. vier Stück, besitzt einen eignen Präsenz- und Tageslichtsensor.
- Die Leuchten sind untereinander vernetzt, so dass die umliegenden Leuchten die Sensor-Informationen der Nachbarleuchten erhalten.
- Bewegt sich eine Person im Erfassungsbereich eines Sensors, schalten sich die in unmittelbarer Nähe befindenden Leuchten auf Volllicht – sofern nicht genügend Tageslicht vorhanden ist. Die umliegenden Leuchten in Fortbewegungsrichtung schalten auf Orientierungslicht (z.B. 20 % des Volllichts).
- Kurze Zeit, nachdem der Erfassungsbereich des Sensors verlassen wird (z. B. nach 1 Minute), wird das Licht wieder auf Orientierungslicht heruntergedimmt. Nach kurzer Zeit wird es ganz abgeschaltet.
- Das Kunstlicht folgt in einem Schwarm den anwesenden bzw. sich bewegenden Personen – ausserhalb leuchtet ein Orientierungslicht oder es ist dunkel.

Auf diese Weise konzipierte Beleuchtungsanlagen sparen deutlich mehr Energie ein als herkömmliche Sensorsteuerungen. Im Energienachweis nach SIA 387/4 steht für vernetzte Sensor-Leuchten ein eigener Funktionstyp zur Verfügung.

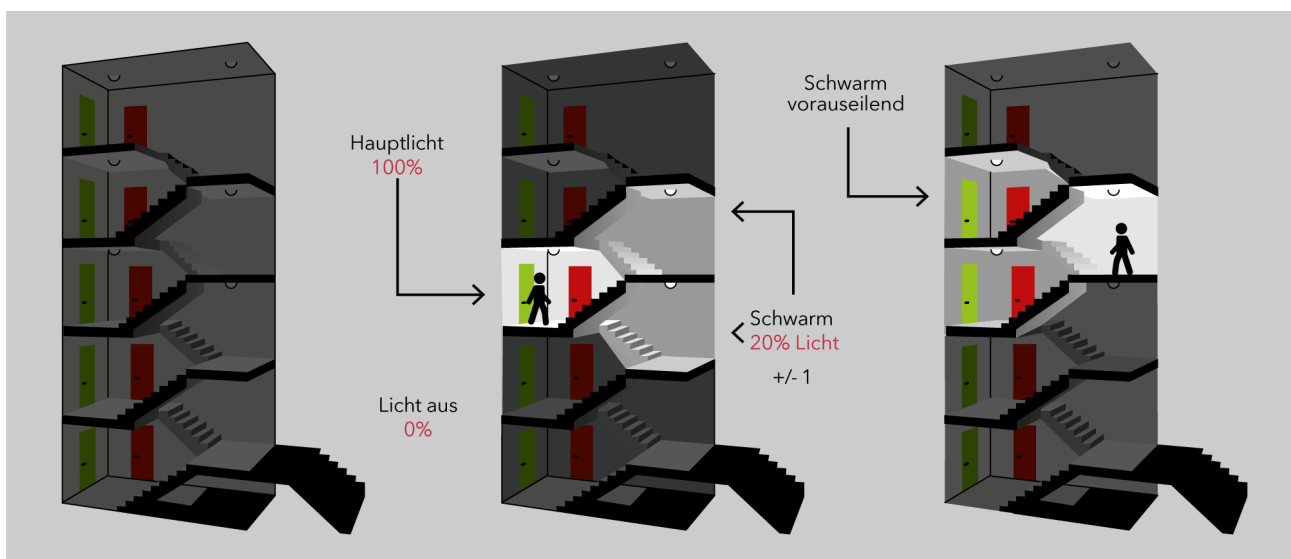


Abbildung 2: Funktionsprinzip von vernetzten Sensor-gesteuerten Leuchten (am Beispiel Treppenhaus)

## 2.2 Vorgehen

Alle Fallstudien wurden von den Projektpartnern eingebracht. Die Bauherrschaften und Betreiber der einzelnen Objekte mussten vom Nutzen der Studien überzeugt werden und ihr Einverständnis zur Durchführung der Messungen geben.

Die Wahl der Messkonzepte, der Einsatz der Messgeräte und die Dauer der Messungen wurden individuell für jedes Objekt definiert – vergleiche dazu auch die Ausführungen zum Messkonzept in Kapitel 3 des Berichtes.

Entsprechend dem Konzept wurden die verschiedenen Messungen in den ausgewählten Gebäuden durchgeführt, sowohl momentane Werte (Leistung, Beleuchtungsstärke) als auch Langzeitmessungen über mehrere Wochen (Lastverlauf der Leistung, Verlauf der Beleuchtungsstärke). Um möglichst repräsentative Ergebnisse zu erhalten, fanden die Langzeitmessungen in Projekten mit Tageslichtnutzung zu verschiedenen Jahreszeiten statt.

Die Auswertung der umfangreichen Messdaten am Computer brachte interessante Erkenntnisse, die in zahlreichen Grafiken visualisiert wurden. Die wichtigsten sind im Kapitel 4. «Fallstudien» abgebildet. In einigen Fällen mussten die Messungen wiederholt werden, weil gewisse Parameter zuerst nicht optimal eingestellt waren und somit keine aussagekräftige Auswertung durchgeführt werden konnte.

Zu jeder Studie wurde ein Messbericht verfasst. Alle Fallstudien wurden mehrfach in Fachzeitschriften (eTrends, Elektrotechnik, eco2friendly, weitere) publiziert.

Der ganze Prozess wurde durch eine Expertengruppe begleitet, welche sich insgesamt zu zehn Sitzungen traf.

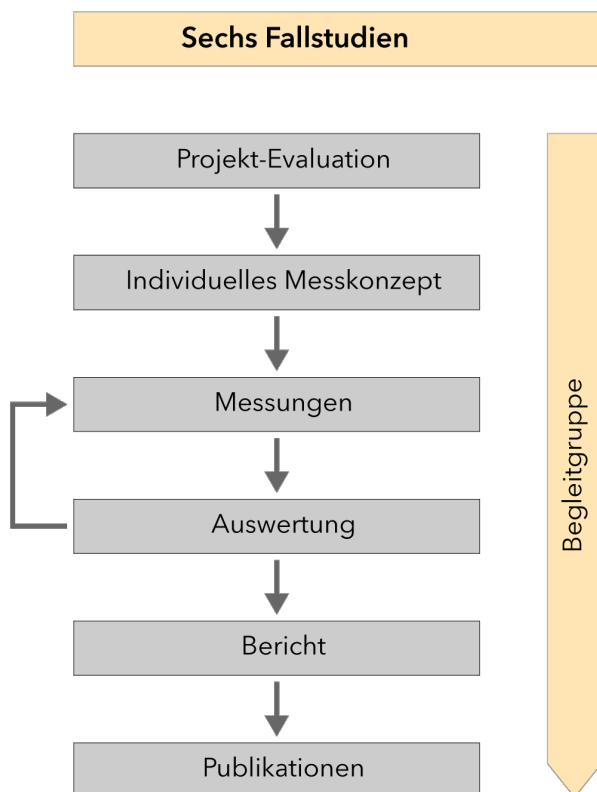


Abbildung 3: Vorgehen im Projekt «SensLight»

## 2.3 Projektpartner

Die primären Projektpartner waren die Hersteller bzw. Lieferanten der sensorgesteuerten Beleuchtungsanlagen. Diese waren auch Teil der Begleitgruppe. Weitere Partner waren die Betreiber, welche die Objekte für die Fallstudien zur Verfügung stellten.

	Lieferant	Betreiber
1. Wohnsiedlung «im Guss» in Bülach	Swisslux	Wincasa AG
2. Wohnsiedlung «Rütihof» in Zürich	Nevalux	Wohnbaugenossenschaft ASIG
3. Spitalzentrum Biel	Theben HTS	Spitalzentrum Biel
4. Industriehalle «SIG allCap» in Neuhausen	Zumtobel	Reasco Immobilien AG
5. Schulhaus «Sennweid» in Baar	Nevalux	Einwohnergemeinde Baar
6. Parkgarage «Heuried» in Zürich	Steinel	Stadt Zürich, Immobilien

Tabelle 1: Fallbeispiele und Projektpartner

### Begleitgruppe:

- Stefan Kull, Nachfolger Simon Burri (Swisslux AG)
- Matthias Käser (Nevalux AG)
- Zdenek Mazura (Theben HTS)
- Michael Koster (Zumtobel AG)
- Sabrina Schleicher (Steinel GmbH)
- Stefan Gasser (Schweizer Licht Gesellschaft, Projektleiter)

## 2.4 Typologie der Fallstudien

Von den sechs Fallstudien wurden in vier Projekten die alte und die neue Beleuchtung gemessen und in zwei Projekten die Grundeinstellungen ab Werk einer neuen Beleuchtung mit dem optimierten Zustand (optimale Beleuchtungsstärke, kurze Nachlaufzeiten) verglichen.

	Alte und neue Beleuchtung	Werkausstellung und Optimierung
1. Wohnsiedlung «im Guss» in Bülach		x
2. Wohnsiedlung «Rütihof» in Zürich	x	
3. Spitalzentrum Biel	x	
4. Industriehalle «SIG allCap» in Neuhausen		x
5. Schulhaus «Sennweid» in Baar	x	
6. Parkgarage «Heuried» in Zürich	x	

Tabelle 2: Fallbeispiel Typ «alt-neu» bzw. Optimierung



### 3 Messkonzept

#### 3.1 Messmethoden

Damit die Energie-Einsparung einer sensorgesteuerten und vernetzten Beleuchtung belegt werden kann, sind Messungen des Energieverbrauchs, der elektrischen Leistung und der Beleuchtungsstärke im alten und neuen Zustand notwendig.

In den seltensten Fällen kann der Energieverbrauch einer Beleuchtungsanlage einfach von einem installierten Zähler abgelesen werden. Die Beleuchtungskörper sind an den verschiedensten Orten im Stromnetz eines Gebäudes angeschlossen und können somit nicht gesamtheitlich gemessen werden. Deshalb kommt – je nach Situation – eine Kombination von verschiedenen Messmethoden zur Anwendung.

Neben Momentanmessungen der elektrischen Leistung der eingesetzten Leuchten und der mittleren Beleuchtungsstärken in den untersuchten Nutzungen werden auch Lastgangmessungen über einen Zeitraum von mehreren Wochen – bei Beleuchtungsanlagen, bei denen der Tageslichtanteil relevant ist, in der dunklen und hellen Jahreszeit – durchgeführt.

Die nachstehende Tabelle zeigt die durchgeführten Messmethoden in den sechs Fallstudien.

Fallstudie	Momentanmessung		Langzeitmessung		
	Betriebsleistung	Beleuchtungsstärke	Lastgang elektrische Leistung	Fest installierter Energiezähler	Datenlogger Beleuchtungsstärke
1. Wohnsiedlung «im Guss» in Bülach	x	x	x		
2. Wohnsiedlung «Rütihof» in Zürich	x	x	x		
3. Spitalzentrum Biel	x	x			x
4. Industriehalle «SIG allCap» in Neuhausen		x		x	x
5. Schulhaus «Sennweid» in Baar		x	x		
6. Parkgarage «Heuried» in Zürich		x	x		

Tabelle 3: Verschiedene Messmethoden in 6 Fallbeispielen

### 3.2 Messung der Betriebsleistung

Die Messung der effektiven elektrischen Betriebsleistung einer Leuchte wird mit einem Wattmeter durchgeführt. Diese Leistung kann von der im Datenblatt angegebenen Leistung abweichen. Bei regulierbaren LED-Leuchten nimmt Leistung mit der Dimmung annähernd linear ab.

Die Messung der Betriebsleistung einer Leuchte ist nur notwendig, wenn diese nicht aus der elektrischen Lastgangmessung abgeleitet werden kann. Dies war in der Fallstudie des Spitalzentrums in Biel der Fall. In den zwei Wohnsiedlungen wurde die Leuchtenleistung zusätzlich zur Messdatensicherung gemessen.

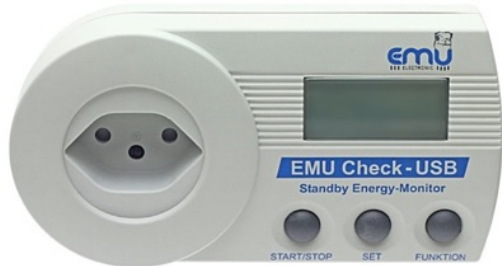


Abbildung 4: Leistungsmessgerät für steckbare Geräte und Leuchten

### 3.3 Messung der Beleuchtungsstärke

Die Messung der momentanen Beleuchtungsstärke wird mit einem Luxmeter durchgeführt. Ebenso wichtig wie die Genauigkeit des eingesetzten Messgerätes ist die richtige Positionierung des Gerätes sowie die Vermeidung von Abschattung durch Gegenstände. Dies gilt insbesondere auch für die Person, welche die Messungen durchführt.

Die Messung findet in den meisten Nutzungen auf dem Boden statt, wobei das Gerät exakt vertikal nach oben ausgerichtet werden muss. In Räumen mit Arbeitsplätzen wird das Luxmeter auf Tischhöhe positioniert (75 cm ab Boden).

Die momentane Beleuchtungsstärke wurde in allen Projekten an jeweils mehreren Stellen im Raum mit einem Präzisionsmessgerät von Minolta (CL-220A) durchgeführt. Aus etwa 10 regelmäßig verteilten Messpunkten kann der Mittelwert berechnet werden.



Abbildung 5: Beleuchtungsstärke-Messgerät von Minolta

### 3.4 Messung des Lastgangs der elektrischen Leistung

Die beste Methode, den Energieverbrauch einer Beleuchtungsanlage zu messen, ist die Installation eines mobilen Leistungs- und Energiemessgerät in der Elektro-Unterverteilung.

Am zu messenden Strom-Abgang für Beleuchtung wird das Messgerät mit integriertem Datenlogger montiert. Das Gerät misst mit einstellbarem Zeitintervall (in den Fallstudien zwischen 10 Sekunden und 5 Minuten) die aufgenommene Leistung der Beleuchtung während einer Messperiode von einer bis zu mehreren Wochen. Die Messdaten werden in einem Speicher (SD-Karte oder Flashspeicher mit LAN-Schnittstelle) abgelegt und am Schluss der Messung ausgelesen. Am Computer werden die Messdaten in Excel ausgewertet und grafisch dargestellt.

Das eingesetzte Messgerät (Optec ECS M3PRO 80 MID) misst drei Elektroabgänge und weist die Genauigkeitsklasse B (+/- 1%) auf.



Abbildung 6: mobiles Leistungs- und Energiemessgerät der Firma Optec

### 3.5 Fest installierter Energiezähler

Es gibt Fälle, in denen die Beleuchtung zentral mit Strom versorgt wird und dafür ein eigener Energiezähler installiert ist. In der Regel sind dies private Energiezähler, welche über ein zentrales Gebäude-Netzwerk ausgelesen werden können. Der Betreiber ist meist am Energieverbrauch - und weniger am Lastverlauf - interessiert. Deshalb sind die Abtast- und Speicherintervalle länger als die von mobilen Messgeräten. Dafür sind Daten über sehr lange Zeiträume verfügbar.



Abbildung 7: Beispiel eines festinstallierten Energiezählers mit Schnittstelle

### 3.6 Datenlogger für Beleuchtungsstärke

In Fällen, wo keine elektrischen Lastmessungen möglich sind oder wenn die Beurteilung der Tageslichtsituation über einen längeren Zeitraum stattfinden soll, können die zur Beurteilung notwendigen Daten mit einem einfachen Beleuchtungsstärke-Logger erfasst werden.

Als ideal erwies sich ein einfaches, nur Zündholzschachtel grosses, mit einer kleinen Batterie betriebenes Gerät, welches in einstellbaren Intervallen die Beleuchtungsstärke misst und in einem internen Speicher ablegt. Der sogenannte Hobo-Sensor, der zur Erfassung der Visibilität des Wassers in der Taucherei entwickelt wurde, kann sehr gut auch zur Verlaufsmessung der Beleuchtungsstärke von Kunst- und Tageslicht in Räumen verwendet werden. Die Genauigkeit des Hobo-Sensors ist gering, durch Referenzierung mit einer Momentanmessung und einem guten Luxmeter können aber sehr aussagekräftige Messresultate generiert werden.

Der kleine Hobo-Sensor wird mit einer internen Batterie (Typ CR2032) betrieben, die Batterie-Lebensdauer beträgt bis zu einem Jahr. Mit einem Messintervall von 1 Minute kann die Beleuchtungsstärke 40 Tage lang gemessen und gespeichert werden. Die Auslesung der Daten auf den Computer erfolgt über eine USB-Schnittstelle.



Abbildung 8: Beleuchtungsstärke-Logger Hobo Onset UA-002-64

## 4 Fallstudien

### 4.1 Fallstudie 1: Wohnsiedlung «Im Guss» in Bülach

#### Projektbeschreibung

Die Wohnsiedlung «Im Guss» umfasst drei Wohnkomplexe mit je sieben Stockwerke (plus zwei Untergeschosse) mit total 490 Wohnungen und liegt auf dem Areal der ehemaligen Sulzer Gieserei in Bülach. Es handelt sich um eine neue Siedlung nach dem Minergie-Eco-Standard, welche 2019 fertig gestellt wurde. Die Architektur stammt vom Büro Diener & Diener in Basel, Bauherrin ist die Allreal Generalunternehmung aus Zürich.

In den Treppenhäusern wurde von Anfang an eine intelligente Beleuchtung der Firma Swisslux installiert. Da es sich bei dieser Fallstudie nicht um eine Vorher-nachher-Situation handelt, wurde der Vergleich zwischen der Beleuchtung in Werkseinstellung (ohne Vernetzung der Leuchten und Sensoren) und der Beleuchtung mit optimierter Einstellung und vernetzten Sensor-Leuchten ausgemessen.

Untersucht wurden zwei grössere Treppenhäusern mit und ohne Tageslicht. Der Vergleich zwischen der Referenzmessung (konventionelle Installation mit Präsenzmeldern) und der optimierten Beleuchtung (optimale Beleuchtungsstärke und Schwarmbeleuchtung) ergibt in beiden untersuchten Treppenhäusern mit total 440 m<sup>2</sup> Fläche eine Energieeinsparung von 8.5 MWh/a. Das entspricht 85%, wobei 52% auf die Sensorik zurückzuführen sind und 33% auf das Konto der optimierten Beleuchtungsstärke gehen.

Projektpartner waren die Allreal Generalunternehmung (Bauherrin) und die Firma Swisslux (Planung und Lieferung der Sensor-Leuchten)



Abbildung 9: Aussenansicht Wohnsiedlung Im Guss, Bülach (Bild: Stefan Gasser)

### Installierte Beleuchtung (Neubau)

Bezeichnung	Swisslux Aries IL1-R35-B mit Trivalite		
Betriebsleistung	24.8 W	Sensor Präsenz	PIR integriert
Stand-by-Leistung	0.88 W	Reichweite	10 m (tangential), 3 m (radial)
Max. Lichtstrom	2600 lm	Sensor Tageslicht	Ja, mit Dimmung
Lichtfarbe	3000 K	Vernetzung	ISM 868MHz
Lichtausbeute	105 lm/W	Parametrierung	Mit Handy App
Farbwiedergabe	> 85	Abmessungen	350 x 91 mm

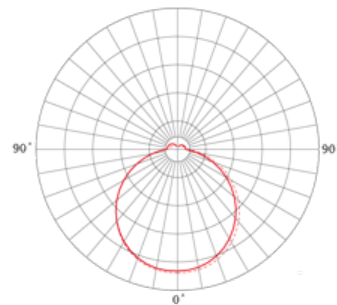


Abbildung 10: Deckenleuchte Aries (Ansicht und Lichtverteilungskurve)

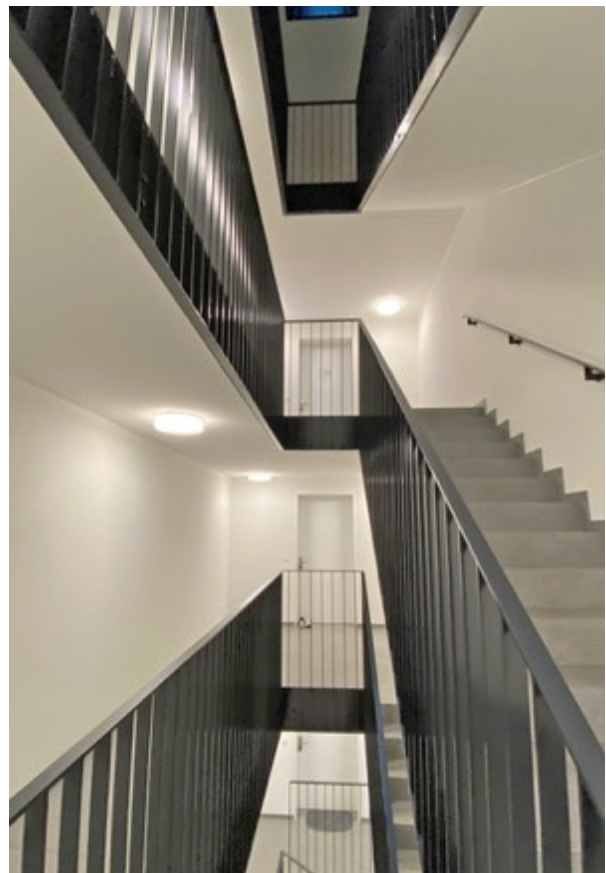
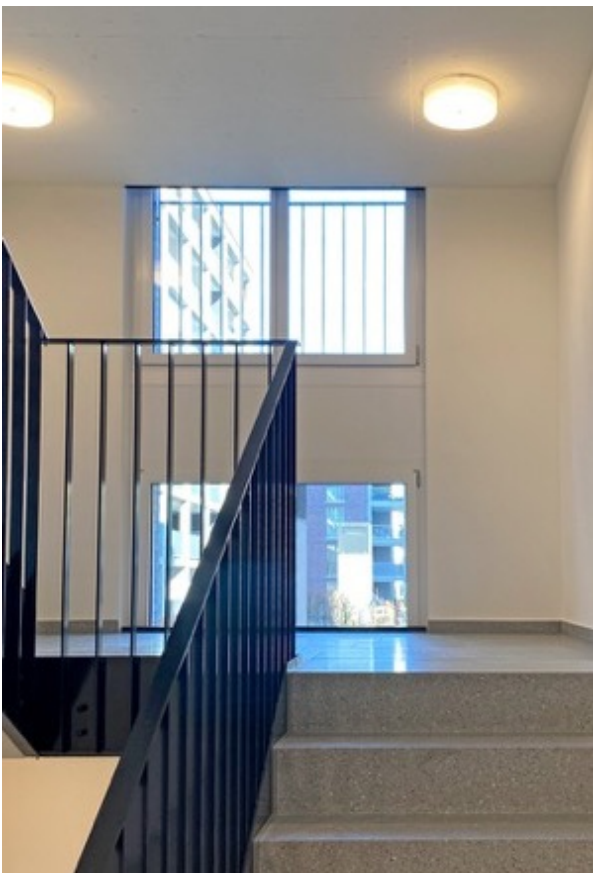


Abbildung 11: Treppenhäuser mit und ohne Tageslicht

## Messungen

Im Frühling 2021 wurde die Beleuchtung in den zwei Treppenhäusern zuerst während zwei Wochen im Referenzbetrieb (siehe unten) und anschliessend zwei Wochen im optimierten Betrieb gemessen. Mit einem mobilen Energie- und Leistungsmessgerät wurde die Leistungsaufnahme der Beleuchtung im Ein-Minuten-Intervall aufgezeichnet. Die Auswertung ergibt ein gutes Resultat des Energieverbrauchs bzw. der Einsparung zwischen Referenz- und optimierter Beleuchtung.

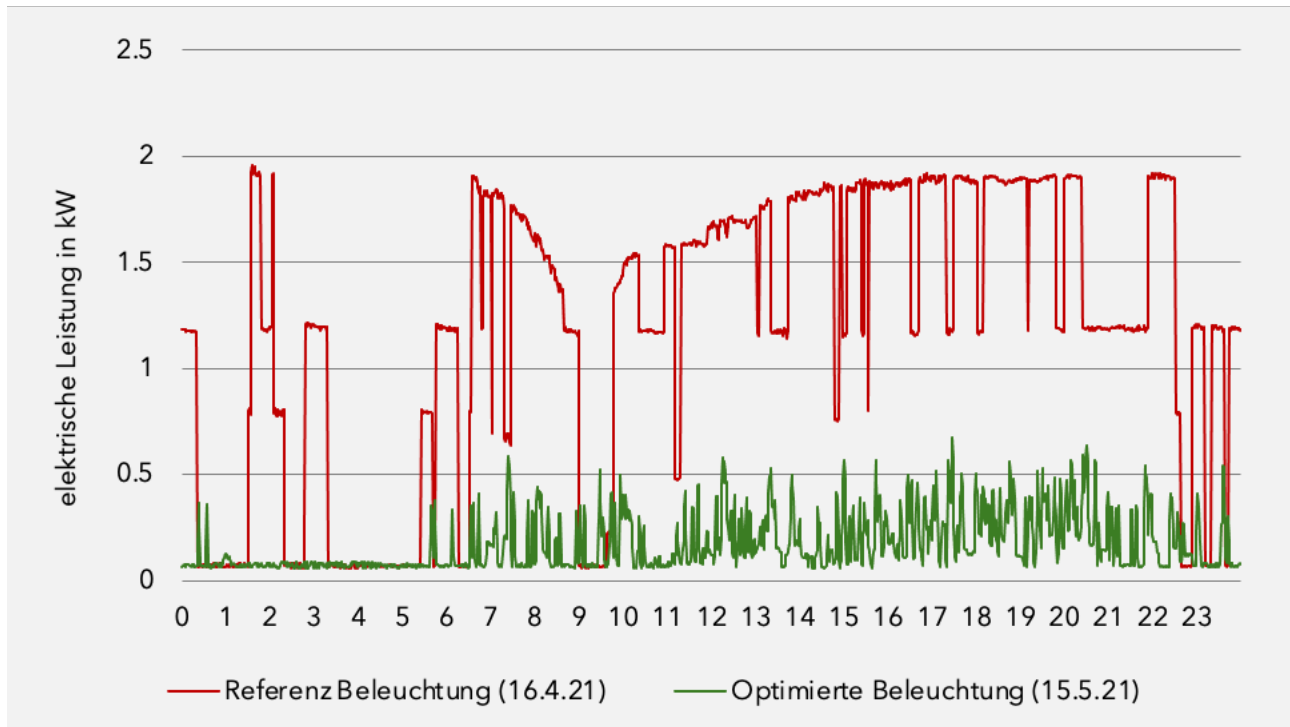


Abbildung 12: Typischer Tagesgang der Leistung in der Wohnsiedlung im Guss, Referenz und neue Beleuchtung

Die Abbildung zeigt den Tagesgang der Leistung der Referenz-Beleuchtung sowie der optimierten Beleuchtung an zwei vergleichbaren Tagen im Frühling.

- Die Referenzbeleuchtung wird mit der nominalen Anschlussleistung der Leuchten und Präsenzregelung betrieben. Die Regelung ist für das gesamte Treppenhaus (alle 6 Stockwerke) in einer Gruppe zusammengefasst und wird mit einer (früher typischen) Nachlaufzeit von 15 Minuten betrieben. Gut sichtbar ist die Leistungsreduktion zwischen 8 und 14 Uhr. Diese ist auf die Tageslichtregelung im teilweise gefensterten Treppenhaus mit Ostausrichtung zurückzuführen.
- Die optimal einjustierte neue Beleuchtung brennt nur noch in dem Stockwerk, wo sie effektiv gebraucht wird, und hat eine Verzögerungszeit von zwei Minuten.
- Erkennbar ist die Standby-Leistung von 7.2 Watt, die bei einer intelligenten vernetzten Lichtregulierung nicht vermeidbar ist. Mit  $0.016 \text{ W/m}^2$  ist der Standby sehr niedrig.

## Energiebilanz nach SIA 387/4:2017

	Einheit	SIA Grenzwert	SIA Zielwert	Projektwert Referenz	Projektwert optimiert
Beleuchtungsstärke	Lux	100		300	150
Fläche	m <sup>2</sup>	440			
Leistung	kW	1.54	1.01	2.16	1.18
	W/m <sup>2</sup>	3.5	2.3	4.9	2.7
Volllaststunden	h/a	4'147	1'895	4'653	1'302
Energiebedarf	MWh/a	6.39	1.92	10.04	1.54
	kWh/m <sup>2</sup>	14.5	4.4	22.8	3.5
Einsparung					-85%

Tabelle 4: Energiebilanz Wohnsiedlung im Guss nach SIA 387/4:2017

Verglichen mit den Kennwerten der SIA-Norm 387/4 (elektrische Energie in Gebäuden für Beleuchtung) lag der Referenz-Zustand wegen deutlich zu hoher Beleuchtungsstärke über dem SIA-Grenzwert (22.8 kWh/m<sup>2</sup> bei 300 Lux gegenüber 14.5 kWh/m<sup>2</sup> bei 100 Lux)

Die optimierte Beleuchtung ist immer noch etwas zu hoch ausgeleuchtet; die Energiekennzahl liegt um 20% unter dem SIA-Zielwert. (3.5 kWh/m<sup>2</sup> bei 150 Lux gegenüber 4.4 kWh/m<sup>2</sup> bei 100 Lux)

Am 1. August 2023 wurde eine revidierte SIA-Norm mit strengeren Anforderungen in Kraft gesetzt. Der neue SIA-Zielwert liegt in diesem Projekt bei 3.3 kWh/m<sup>2</sup>.

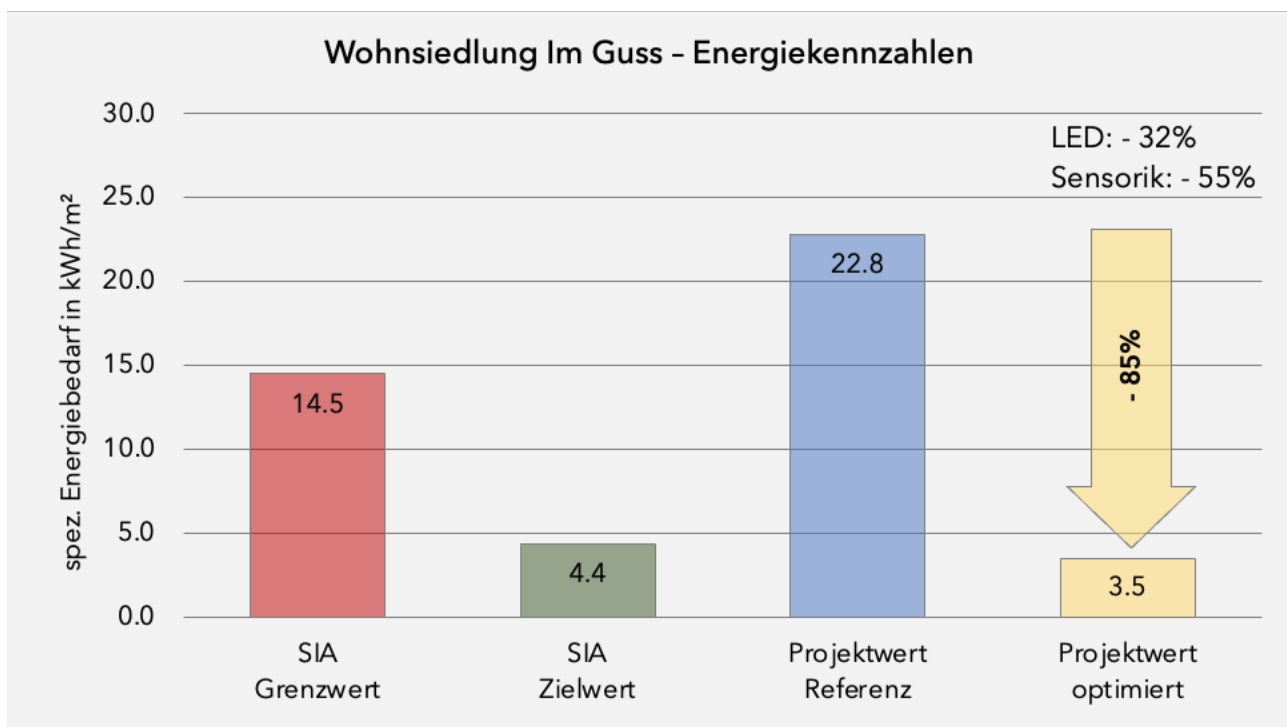


Abbildung 13: Energiebedarf der alten und neuen Beleuchtung und Vergleich mit den SIA-Anforderungen



## 4.2 Fallstudie 2: Wohnsiedlung «Rütihof» in Zürich

### Projektbeschreibung

Die Siedlung «Rütihof, Zürich» der Wohnbaugenossenschaft ASIG umfasst 17 vergleichbare Wohnhäuser mit total 131 Wohneinheiten. In allen Bauten wurden in den letzten Jahren die konventionellen Beleuchtungsanlagen der Allgemeinflächen (Treppenhäuser, Korridore, Keller) durch neue intelligente LED-Leuchten ersetzt.

Bei der alten Beleuchtung kamen v.a. Kompaktleuchtstofflampen zum Einsatz, Minuterien in den Räumen ohne Tageslicht und eine jahreszeitabhängige Dämmerungsschaltung. Bei der neuen Beleuchtung handelt es sich um intelligente, vernetzte LED-Leuchten der Firma Steinel mit integrierten Sensoren für Tageslicht und Präsenz.

Die messtechnische Überprüfung der alten und der neuen Anlage wurde in einem der 17 Gebäude (Haus Rütihofstrasse 69) durchgeführt. Die während mehrerer Messperioden im Sommer und Winter gemachten Energie- und Leistungsmessungen ergaben eine Energieeinsparung von 95 %. Davon gehen 53 % auf das Konto der Lichtregelung und 42 % betreffen die neuen effizienteren LED-Leuchten. Hochgerechnet auf alle 17 Häuser ergibt sich eine jährliche Energieeinsparung von 26.7 MWh/a.

Die mittlere Beleuchtungsstärke bei der neuen Beleuchtung beträgt rund 80 Lux; bei der alten Beleuchtung lag diese unter 30 Lux. Neben der Energieeinsparung von 95 % wurde also die Beleuchtungsstärke am Boden verdreifacht.

Projektpartner waren die Wohnbaugenossenschaft ASIG sowie die Firmen Nevalux (Planung und Inbetriebnahme) und Steinel (Hersteller der Sensor-Leuchten).



Abbildung 14: Aussenansicht Wohnsiedlung Rütihof, Zürich-Höngg (Bild ASIG)

## Alte Beleuchtung

Die alte Beleuchtung in den Allgemeinflächen war hauptsächlich mit Kompaktleuchtstofflampen und einigen Glühlampen bestückt. Die Schaltung erfolgte durch Minuterie in den Untergeschossen und Dämmerungsschalter in den oberirdischen Zonen mit Tageslicht.

- Keller: 6 Deckenleuchten mit Glühlampen 40 Watt, Minuterie 10 Minuten.
- Treppenhaus UG: 4 Deckenleuchten à je 2 x 7 Watt Kompaktleuchtstofflampen, konventionelle Vorschaltgeräte (total 20 Watt), Minuterie auf 10 Minuten.
- Treppen und Lauben EG bis 3. OG: 12 Deckenleuchten à je 2 x 7 Watt Kompaktleuchtstofflampen, konventionelle Vorschaltgeräte, Dämmerungsschalter

Die insgesamt installierte Leistung betrug 560 Watt. Die effektive Betriebsleistung der einzelnen Leuchten wurde mit einem Wattmeter gemessen.

Die Beleuchtungsstärke im Betrieb (ohne Tageslicht) betrug im Mittel 30 Lux.

## Neue Beleuchtung

Die neue Beleuchtung wurde einheitlich mit Sensor-Leuchten der Firma Steinel bestückt. Total wurden 22 Leuchten mit einer Gesamtleistung von 187 Watt installiert.

Die Beleuchtungsstärke im Betrieb (ohne Tageslicht) beträgt im Mittel 80 Lux.

Bezeichnung	RS PRO R10 plus SC	Hauptlicht einstellbar	0 bis 100%
Betriebsleistung	8.5 W	Grundlichtfunktion	0 bis 100%
Stand-by-Leistung	0.3 W	Softlichtstart	Einstellb. Fade-Zeiten
Max. Lichtstrom	992 lm	Vernetzung	Bluetooth
Lichtfarbe	3000 K	Parametrierung	Mit Handy App
Sensor Präsenz	HF, Reichweite 10 m	Abmessungen	300 mm x 55 mm
Sensor Tageslicht	Ja, mit Dimmung	Lebensdauer	> 60'000 Stunden

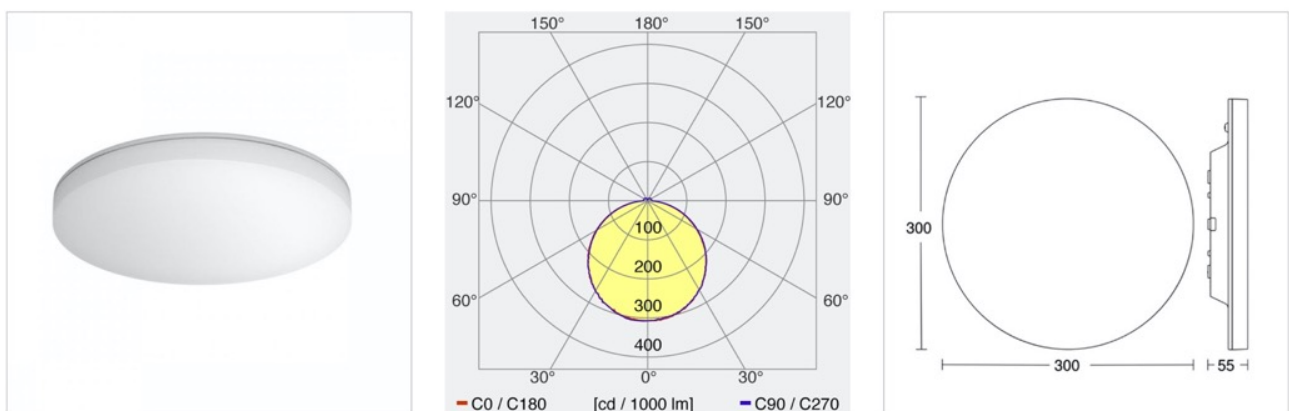


Abbildung 15: Neue Decken- und Wandleuchte: Ansicht, Lichtverteilkurve und Abmessungen

## Messungen

Während drei Messperioden (Winter und Sommer) und total 60 Tagen wurde der Lastgang der elektrischen Leistung der alten und neuen Beleuchtung mit einem mobilen Energie- und Leistungsmessgerät im Ein-Minuten-Intervall aufgezeichnet. Die Auswertung ergibt ein genaues Resultat des Energieverbrauchs bzw. der Einsparung zwischen alter und neuer Beleuchtung.

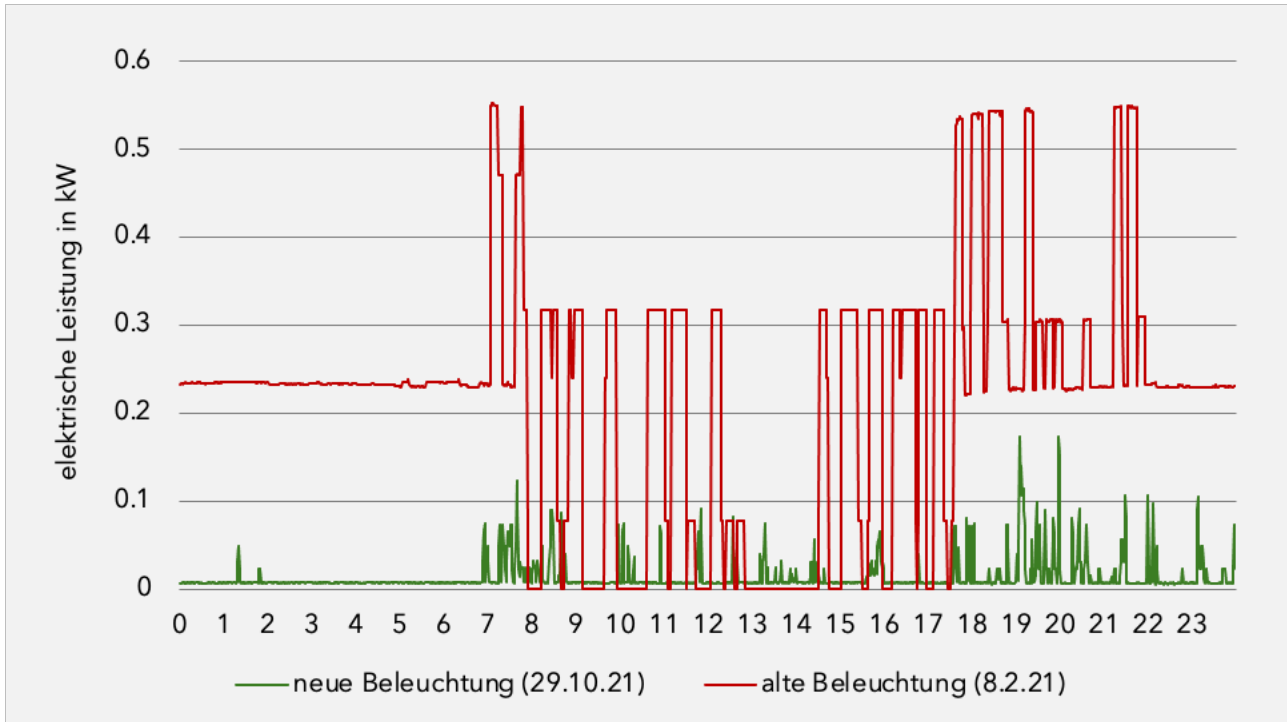


Abbildung 16: Typischer Tagesgang der Leistung Wohnsiedlung Rütihof, alte und neue Beleuchtung

Die Abbildung zeigt den Tagesgang der Leistung der alten und neuen Beleuchtung an zwei vergleichbaren Tagen während der dunklen Jahreszeit.

- Bei der alten Beleuchtung ist die Dauerbeleuchtung des Treppenhauses und der Laubengänge während der Nacht sowie die Minuterie-gesteuerte Beleuchtung im Keller (Nachlaufzeit: 5 Minuten) zu sehen. Die Lastgänge der einzelnen Tage unterscheiden sich nur geringfügig, im Sommer ist die Nachtbeleuchtung kürzer (Dämmerungsschaltung).
- Die neue Beleuchtung brennt nur noch bei Bedarf für ca. 1 Minute und nur dort, wo das Licht effektiv gebraucht wird. Sowohl in den Treppenhäusern als auch in den Laubengängen und im Kellergeschoss. Auch bei der neuen Beleuchtung unterscheiden sich die Lastgänge der einzelnen gemessenen Tage nur geringfügig.
- Erkennbar ist bei der neuen Beleuchtung die Standby-Leistung von 6.6 Watt, die bei einer intelligenten vernetzten Lichtregulierung nicht vermeidbar ist. Mit 0.033 W/m<sup>2</sup> ist der Standby sehr niedrig.

## Energiebilanz nach SIA 387/4:2017

	Einheit	SIA-Grenzwert	SIA Zielwert	Projektwert alt	Projektwert neu
Beleuchtungsstärke	Lux	100		30	80
Fläche	m <sup>2</sup>	201			
Leistung	kW	0.70	0.46	0.56	0.2
	W/m <sup>2</sup>	3.5	2.3	2.8	1.0
Volllaststunden	h/a	3'760	1'405	3'018	520
Energiebedarf	MWh/a	2.65	0.65	1.7	0.1
	kWh/m <sup>2</sup>	13.2	3.2	8.4	0.5
Einsparung					-94%

Tabelle 5: Energiebilanz Wohnsiedlung Rütihof nach SIA 387/4:2017

Verglichen mit den Kennwerten der SIA-Norm 387/4 (elektrische Energie in Gebäuden für Beleuchtung) lag der alte Zustand bereits unter dem Grenzwert, allerdings bei deutlich zu geringer Beleuchtungsstärke. (12.1 kWh/m<sup>2</sup> bei 30 Lux gegenüber 8.4 kWh/m<sup>2</sup> bei 100 Lux)

Die neue Beleuchtung ist knapp normgerecht ausgeleuchtet; die Energiekennzahl liegt um 84% unter dem SIA-Zielwert, was darauf zurückzuführen ist, dass in der SIA-Norm die Möglichkeiten der intelligenten Beleuchtung zum Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht berücksichtigt wurden. (0.5 kWh/m<sup>2</sup> bei 80 Lux gegenüber 3.2 kWh/m<sup>2</sup> bei 100 Lux)

Am 1. August 2023 wurde eine revidierte SIA-Norm mit strengeren Anforderungen in Kraft gesetzt. Der neue SIA-Zielwert liegt in diesem Projekt bei 2.5 kWh/m<sup>2</sup>.

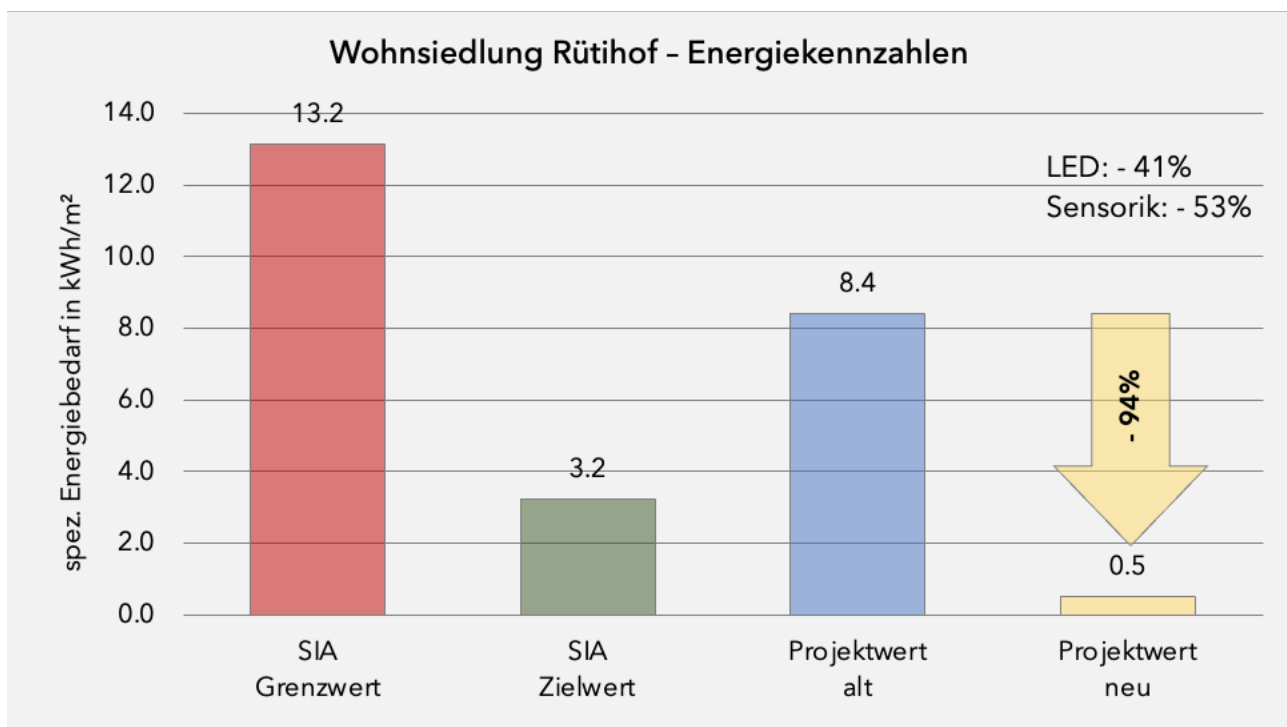


Abbildung 17: Energiebedarf der alten und neuen Beleuchtung und Vergleich mit den SIA-Anforderungen

### 4.3 Fallstudie 3: Spitalzentrum Biel

#### Projektbeschreibung

Das Spitalzentrum Biel wurde 1978 erbaut. Eine Gesamterneuerung ist aktuell in Planung. Das Spital verfügt über 237 Betten und beschäftigt rund 1700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Die Beleuchtung in den Korridoren wurde Schritt für Schritt von Downlights mit Kompaktleuchtstofflampen auf LED-Panels umgerüstet. Für die Analyse der intelligenten Beleuchtung wurde ein Spitalkorridor im ersten Untergeschoss (ohne Tageslicht) mit anliegenden Operations- und Vorbereitungsräumen verwendet.

Während die alte Beleuchtung rund um die Uhr im Dauerbetrieb betrieben wurde, werden bei der neuen Beleuchtung kleine Lichtgruppen mit zwei bis vier Leuchten gebildet, wobei jede Gruppe von einem eigenen Präsenzmelder gesteuert wird. Die Nachlaufzeit der Präsenzmelder wurde auf 10 Sekunden eingestellt. Da die Nutzung täglich praktisch unverändert ist und kein jahreszeitlicher Einfluss vorhanden ist, reichte für eine aussagekräftige Messung eine Erfassungs-Periode von zwei Wochen.

Um den Energieverbrauch zu ermitteln wurden die Ein- und Ausschaltungen erfasst und die Betriebsleistungen der alten und neuen Leuchten gemessen. Es ergibt sich eine Energieeinsparung von 82 %, wovon 44 % auf das Konto der Lichtregelung gehen und 38 % die neuen effizienteren LED-Leuchten betreffen. Die Beleuchtungsstärke wurde von 40 auf 250 Lux erhöht.

Projektpartner war das Spitalzentrum Biel und die Firma Theben-HTS (Planung und Lieferung der Sensoren). Die Leuchten stammen von Ledvance.



Abbildung 18: Aussenansicht Spitalzentrum Biel (Bild: Stefan Gasser)

## Alte Beleuchtung

55 Downlights mit Kompaktleuchtstofflampen 13 Watt, KVG.

## Neue Beleuchtung



Abbildung 19: neue Korridorbeleuchtung mit 10 Lichtgruppen

## Messungen

Da die alte Beleuchtung rund um die Uhr im Dauerbetrieb war, musste der Lastgang nur für die neue Beleuchtung ermittelt werden. Während rund zwei Wochen wurden die Ein- und Ausschaltungen durch kontinuierliche Messungen der Beleuchtungsstärke im 10-Sekunden-Intervall erfasst. Zusätzlich wurden die Leistungsaufnahmen der alten und der neuen Leuchten gemessen. Daraus konnten der Lastverlauf der Leistung und der Energieverbrauch genau abgeleitet werden.

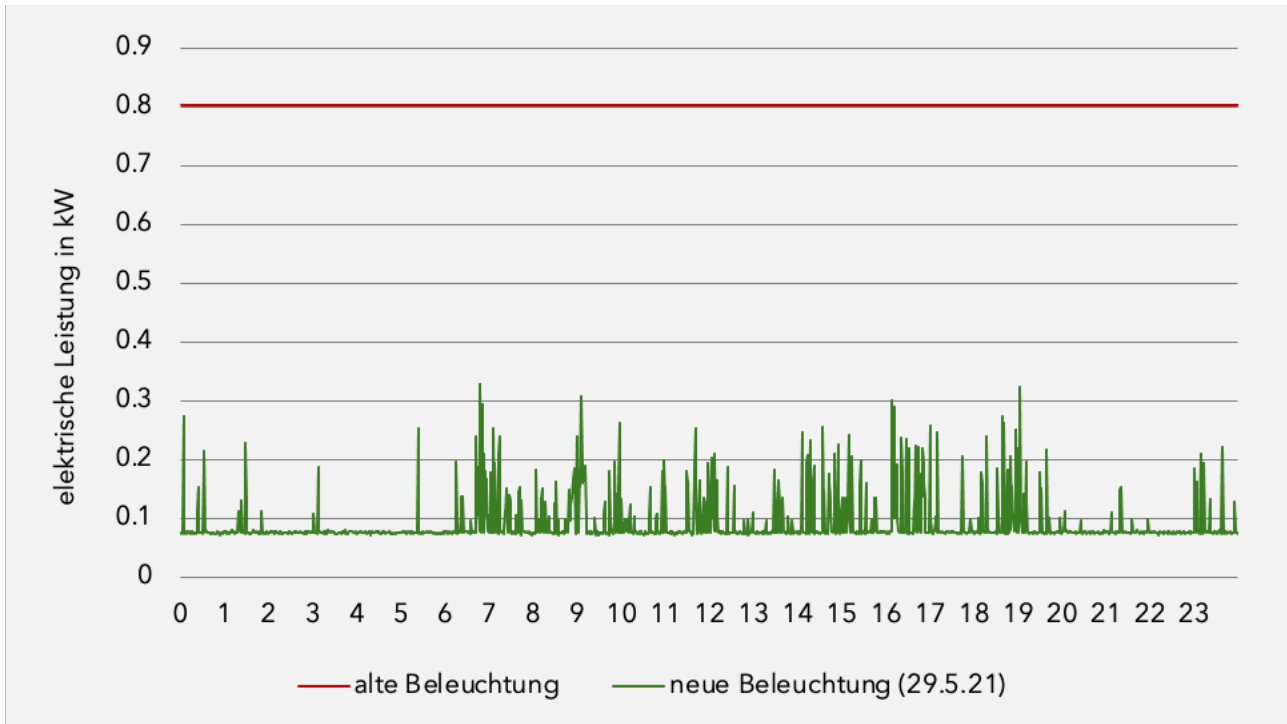


Abbildung 20: Typischer Tagesgang der Leistung im Spitalzentrum Biel, alte und neue Beleuchtung

Die Abbildung zeigt den Tagesgang der Leistung der alten und neuen Beleuchtung an zwei vergleichbaren Tagen.

- Die alte Beleuchtung war mit Downlights (13 Watt, Kompaktleuchtstofflampen und KVG) bestückt. Die gemessene Betriebsleistung beträgt 14.6 Watt. Die 55 Leuchten nahmen konstant 803 Watt auf.
- Die neue Beleuchtung besteht aus LED-Panels mit einer gemessenen Anschlussleistung von 33 Watt. Die 22 Leuchten sind auf 50% der maximalen Leistung begrenzt und nehmen bei Volllicht (50% der Anschlussleistung) total 367 Watt auf. Dank der sehr kurzen Nachlaufzeit von 10 Sekunden und der Unterteilung in 10 Gruppen brennen die Leuchten nur in wenigen Momenten alle auf 50% Volllicht. Aus Sicherheitsgründen ist ein Orientierungslicht aktiviert. Die minimale Leistung liegt bei 10% der Anschlussleistung (73 Watt).
- Die Standby-Leistung der zehn Sensoren beträgt insgesamt 4 Watt. In der Grafik ist dieser nicht erkennbar, da die Leuchten immer in Betrieb sind (Volllicht 50% oder wenig Licht 10%).

## Energiebilanz nach SIA 387/4:2017

	Einheit	SIA-Grenzwert	SIA Zielwert	Projektwert alt	Projektwert neu
Beleuchtungsstärke	Lux	200		40	250
Fläche	m <sup>2</sup>	352			
Leistung	kW	2.50	1.62	0.8	0.37
	W/m <sup>2</sup>	7.1	4.6	2.3	1.1
Volllaststunden	h/a	4'380	2'190	8'760	3'331
Energiebedarf	MWh/a	10.95	3.55	7.0	1.2
	kWh/m <sup>2</sup>	31.1	10.1	19.9	3.5
Einsparung					-82%

Tabelle 6: Energiebilanz Spitalzentrum Biel nach SIA 387/4:2017

Verglichen mit den Kennwerten der SIA-Norm 387/4 (elektrische Energie in Gebäuden für Beleuchtung) lag der alte Zustand bereits unter dem Grenzwert, allerdings bei deutlich zu geringer Beleuchtungsstärke. (40 Lux statt Normwert von 200 Lux)

Die neue Beleuchtung entspricht den normativen Anforderungen. Die Energiekennzahl liegt um 33% unter dem SIA-Zielwert, was darauf zurückzuführen ist, dass in der SIA-Norm zum Zeitpunkt der Untersuchung die Möglichkeiten der intelligenten Beleuchtung noch nicht berücksichtigt waren.

Am 1. August 2023 wurde eine revidierte SIA-Norm mit strengeren Anforderungen in Kraft gesetzt. Der neue SIA-Zielwert liegt in dieser Nutzung bei 3.2 kWh/m<sup>2</sup>.

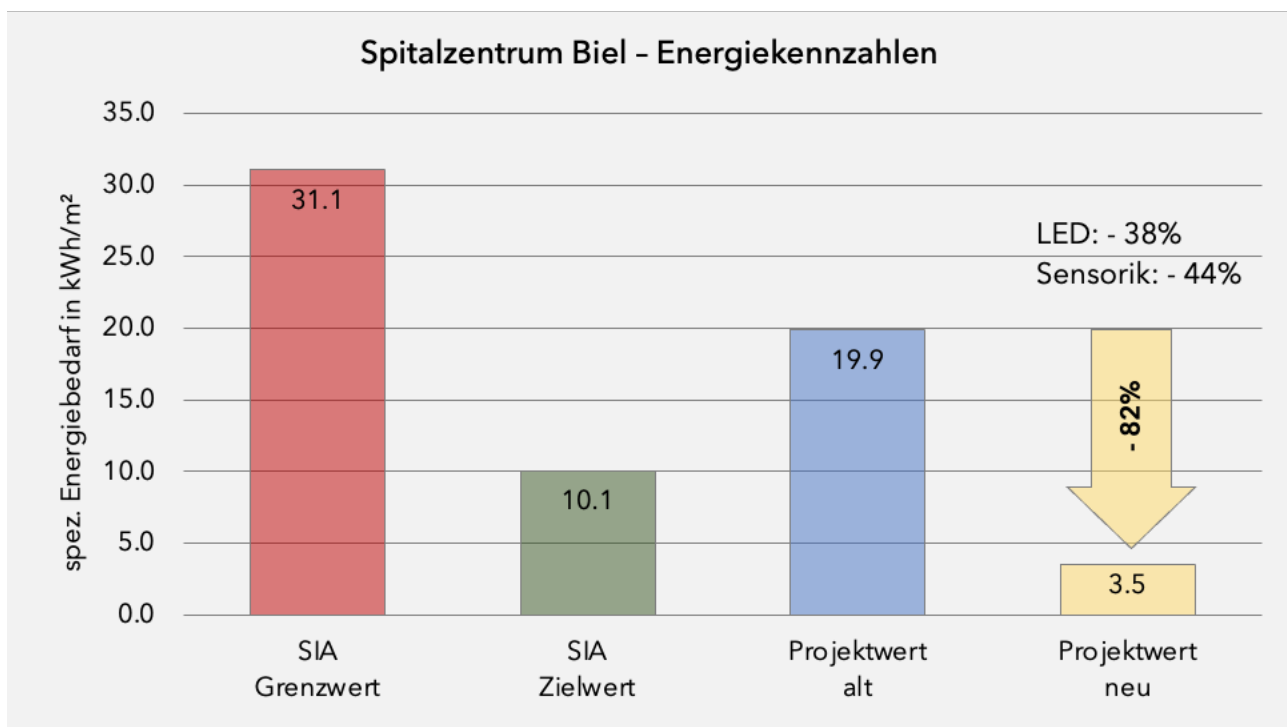


Abbildung 21: Energiebedarf der alten und neuen Beleuchtung und Vergleich mit den SIA-Anforderungen



## 4.4 Fallstudie 4: Industriehalle «SIG allCap» in Neuhausen am Rheinfall

### Projektbeschreibung

In den zwei Industriehallen der SIG allCap in Neuhausen am Rheinfall werden Kunststoff-Deckel für Getränkebehälter (z. B. Milch in Kartonverpackungen) produziert. Im Jahre 2016 waren es rund 7'500 Millionen Stück, welche von den Spritzgiessmaschinen in den zwei Hallen mit total 6'500 m<sup>2</sup> Fläche hergestellt werden.

Die alte Beleuchtung mit Balkenleuchten und Leuchtstofflampen wurde vor einigen Jahren durch neue LED-Leuchten ersetzt. Da die Hallen dank der Shed-Dächer über viel Tageslicht verfügen, wurde eine Tageslichtsteuerung installiert; diese wurde aber aus Sicherheitsgründen vorerst nicht in Betrieb genommen.

Erst die Verifikation der Tageslichtsituation im Rahmen dieser Fallstudie hat die Bauherrschaft überzeugt, dass die Tageslichtsteuerung in Betrieb genommen werden kann.

Die messtechnische Analyse befasste sich mit der Einsparung des Energieverbrauchs für Beleuchtung mit und ohne Tageslichtsensorik. Der Ersatz der Leuchten wurde nicht miteinbezogen. Die installierte Leistung konnte zwischen altem und neuem Zustand um nur ca. 10% reduziert, weil die Beleuchtungsstärke vor dem Ersatz zu niedrig war und erhöht werden musste.

Die Energieeinsparung durch die Tageslichtsensorik beträgt in den zwei Hallen mit 3-Schicht-Betrieb über den ganzen Tag gemessen 23%. Betrachtet man nur den Zeitraum der möglichen Tageslichtnutzung erreicht man eine Einsparung von 55%. Dieser Wert ist ein gutes Mass für ähnliche Hallen mit normalem Tag-Betrieb.

Projektpartner waren die Reasco Immobilien AG und Firma Zumtobel (Planung, Lieferung Leuchten und Sensorik)



Abbildung 22: Innenansicht Industriehalle SIG AllCap, Neuhausen am Rheinfall (Bild: Zumtobel)

## Alte Beleuchtung

Die ursprüngliche Beleuchtung bestand aus Lichtbändern mit 2-flammigen FL-Röhren. Es wurde eine Beleuchtungsstärke an den Arbeitsplätzen von rund 300 Lux erreicht. Dies war zu wenig für die Tätigkeiten an den hochpräzisen Maschinen.

## Neue Beleuchtung

Die Beleuchtungsstärke wurde im Rahmen der Umstellung auf LED-Lichtbänder auf 500 Lux erhöht. Die neuen LED-Leuchten sind mit einer Leuchtenlichtausbeute von 139 lm/W rund 50% effizienter als die alten. Aufgrund der Erhöhung der Beleuchtungsstärke fällt die absolute Energieeinsparung durch die neuen Leuchten aber mit ca. 10 Prozent nur gering aus.

Neben dem Ersatz der Leuchten wurde eine tageslichtabhängige Steuerung installiert. Auf dem Dach des Gebäudes befindet sich ein spezieller Tageslichtsensor, welcher die direkte und diffuse solare Einstrahlung in alle Himmelsrichtung kontinuierlich misst, aufzeichnet und die Messdaten an das zentrale Steuersystem der Beleuchtung weiterleitet. Je nach verfügbarem Tageslicht wird die Beleuchtung in der Halle gedimmt oder ganz ausgeschaltet.

- Leuchten: Zumtobel Tecton C, 114 W und 75 W
- Dachsensor: Zumtobel Aussensensor LM-TLM
- Steuerung und Vernetzung: Luxmate von Zumtobel



Abbildung 23: Neue LED-Lichtleisten und Tageslicht-Dachsensor, Quelle: Zumtobel Licht AG

Nach der Inbetriebnahme brannte die Beleuchtung trotz Tageslicht auch mit der neuen Lichtlösung rund um die Uhr auf Nennleistung durch. Die Sensortechnik funktionierte zwar einwandfrei, aber es herrschte eine gewisse Skepsis gegenüber dem System. Bedenken vor einem Produktionsunterbruch des Maschinenparks, auf Grund einer versehentlichen Unterbelichtung im Raum, führten dazu, dass die Tageslichtsteuerung vorerst nicht in Betrieb genommen wurde.

Somit musste beim Firmenmanagement erst Vertrauen in die Sensortechnik geschaffen werden. Ein Faktencheck konnte das ausreichende Vorhandensein von Tageslicht belegen. Die Tageslichtsteuerung wurde in Betrieb genommen und in zwei Schritten optimiert.

## Messungen

Die elektrische Leistung und der Energieverbrauch der Beleuchtung wurden mit einem fest installierten Zähler gemessen und aufgezeichnet. Die Messdaten konnten ausgelesen und ausgewertet werden. Die Installation eines mobilen Zählers war in diesem Projekt nicht notwendig.

Neben den Energie- und Leistungsmessungen wurden die Beleuchtungsstärken an sechs Punkten in den zwei Industriehallen während 40 Tagen im Frühling 2022 kontinuierlich geloggt. Auf diese Weise konnte das Vorhandensein von ausreichend Tageslicht belegt und der Betreiber überzeugt werden, die Tageslichtsteuerung in Betrieb zu nehmen.

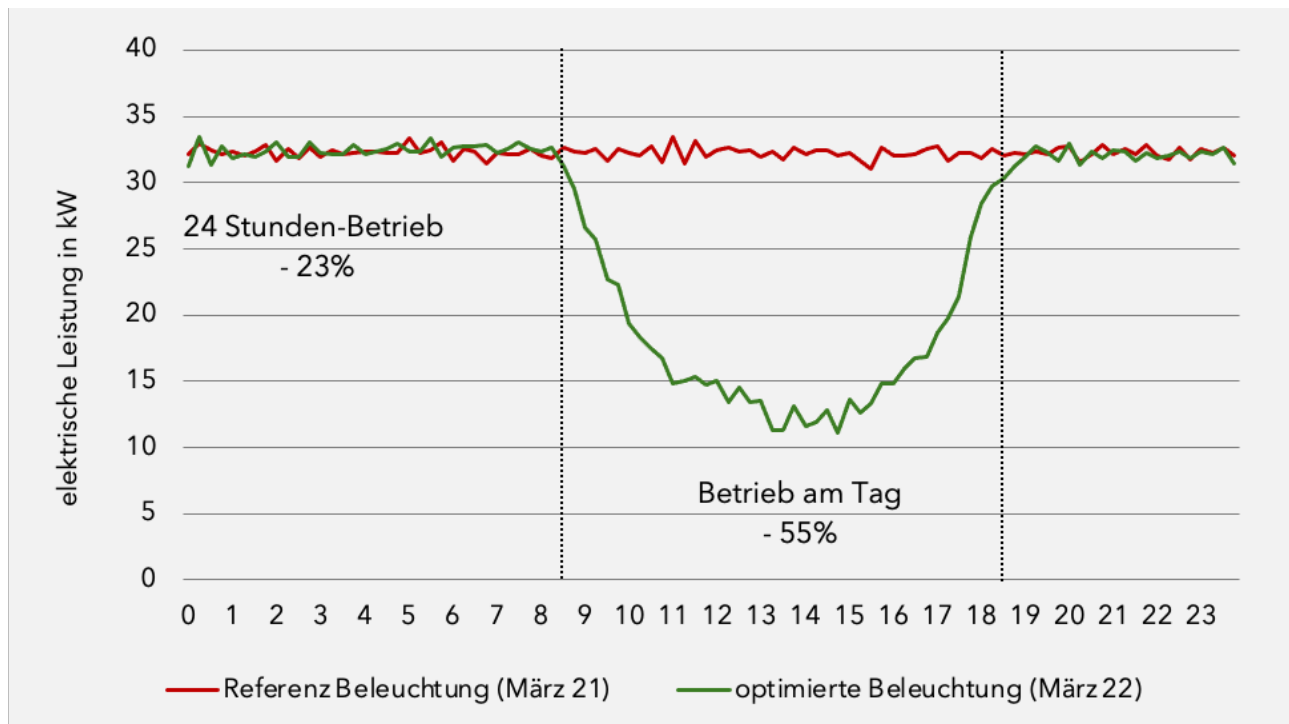


Abbildung 24: Typischer Tagesgang der Leistung Industriehalle SIG, Beleuchtung mit und ohne Tageslichtsensorik

Die Abbildung zeigt den Tagesgang der Leistung der neuen Beleuchtung mit und ohne Tageslichtsensorik an zwei vergleichbaren Tagen im Frühling 2021 und 2022.

- Im bisherigen Betrieb wurde die neuen LED-Leuchten ohne Tageslichtsteuerung betrieben. Die Leistungsaufnahme liegt rund um die Uhr bei knapp 33 kW.
- Nach Inbetriebnahme der Tageslichtsteuerung sinkt die Leistungsaufnahme der Beleuchtung während des Tages bis auf einen Drittel der Anschlussleistung ab.
- Entsprechend den Beleuchtungsstärkemessungen hätte die Beleuchtung zeitweise bei vollem Sonnenlicht auch vollständig abgeschaltet werden können. Da jedoch nicht alle Bereiche in den Industriehallen von genügend Tageslicht profitieren können und nur eine zentrale Tageslichtmessung vorhanden ist, wurde auf die vollständige Abschaltung der künstlichen Beleuchtung verzichtet.

## Energiebilanz nach SIA 387/4:2017

	Einheit	SIA Grenzwert	SIA Zielwert	Projektwert alt	Projektwert neu
Beleuchtungsstärke	Lux	500		Nacht: 400, Tag > 1000	
Fläche	m <sup>2</sup>	6'598			
Leistung	kW	76.5	49.5	32.9	32.9
	W/m <sup>2</sup>	11.6	7.5	5.0	5.0
Volllaststunden	h/a	7'676	6'668	8'760	6'721
Energiebedarf	MWh/a	587.5	330.0	288.0	221.0
	kWh/m <sup>2</sup>	89.0	50.0	43.7	33.5
Einsparung					-23%

Tabelle 7: Energiebilanz SIG allCap nach SIA 387/4:2017

Verglichen mit den Kennwerten der SIA-Norm 387/4 (elektrische Energie in Gebäuden für Beleuchtung) lag der Energiebedarf ohne Lichtsteuerung knapp unter dem SIA-Grenzwert.

Die mittels Tageslichtsensorik optimierte Beleuchtung senkt den gesamten Stromverbrauch für Beleuchtung um 23% unter den SIA-Zielwert. Da der 3-Schichtbetrieb die Beleuchtung rund um die Uhr benötigt, scheint die Einsparung auf den ersten Blick gering. Bezogen auf einen normalen Tagesbetrieb erzielt die Tageslichtsteuerung aber eine Einsparung von 55%.

Am 1. August 2023 wurde eine revidierte SIA-Norm mit strengeren Anforderungen in Kraft gesetzt. Der neue SIA-Zielwert liegt in dieser Nutzung bei 15.7 kWh/m<sup>2</sup>.

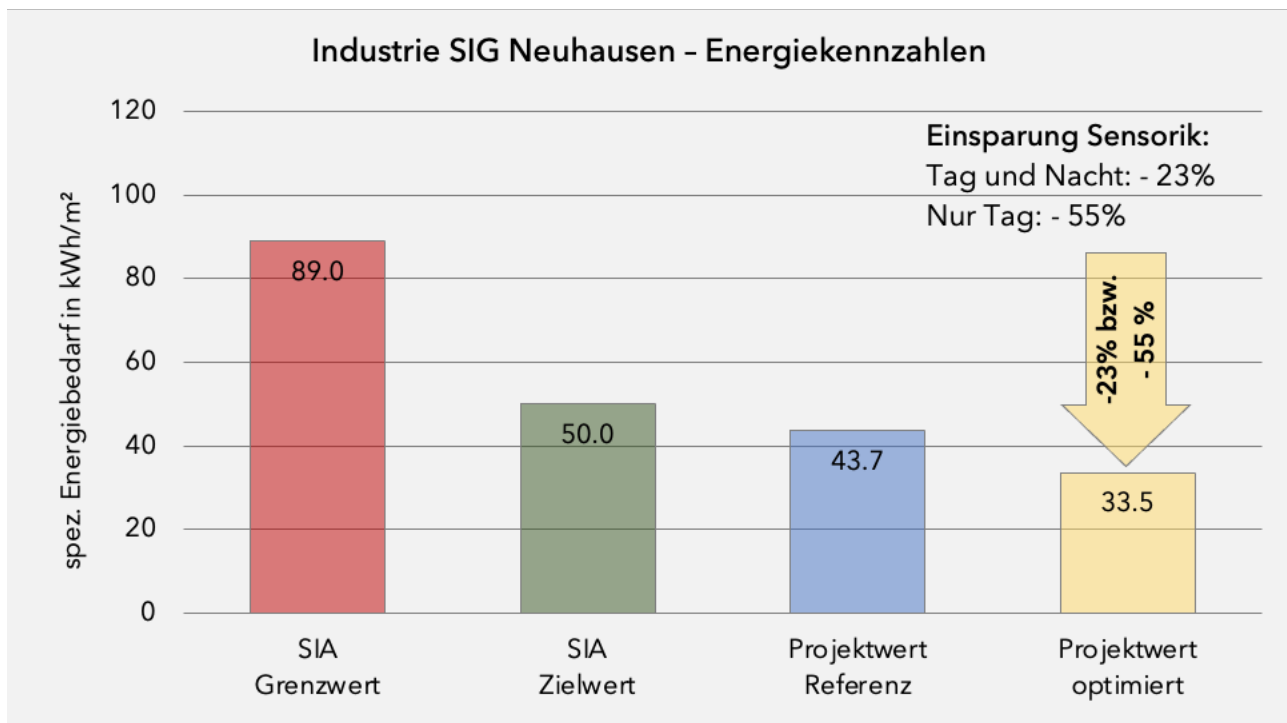


Abbildung 25: Energiebedarf der alten und neuen Beleuchtung und Vergleich mit den SIA-Anforderungen

## 4.5 Fallstudie 5: Schulhaus «Sennweid» in Baar

### Projektbeschreibung

Das 3-stöckige Oberstufenschulhaus in Baar hat eine Grundfläche von rund 2000 m<sup>2</sup> und bietet Platz für ca. 350 Schülerinnen und Schüler. Das Gebäude wurde 2002 erbaut. Nach 20 Jahren wird die Schulzimmer-Beleuchtung etappenweise auf LED-Leuchten mit eingebauter Intelligenz umgerüstet.

Die alte Beleuchtung bestand aus Pendelleuchten mit T5-Leuchtstoffröhren sowie eine externe Tageslichtsteuerung. Bei der neuen Beleuchtung wurden ebenfalls Pendelleuchten eingesetzt; die LED-Leuchten sind mit integrierten Präsenz- und Tageslichtsensoren bestückt und können via Handy-Applikation einjustiert werden.

Für die messtechnische Überprüfung der alten und der neuen Anlage wurden in zwei Schulzimmern während 137 Tagen Energie- und Leistungsmessungen durchgeführt. Die Energieeinsparung beträgt 58%, wobei 2/3 auf das Konto der Sensorik gehen und 1/3 der effizienteren Lichttechnik zugeschrieben werden können.

Die mittlere Beleuchtungsstärke bei der neuen Beleuchtung beträgt 590 Lux und liegt um 100 Lux über dem Wert der bisherigen Beleuchtung (490 Lux).

Der messtechnische Aufwand in diesem Objekt war sehr gross, da der Einfluss der Schülerinnen und Lehrer einerseits und der Einfluss der unterschiedlichen Tageslichtsituationen andererseits eine aussagekräftige Analyse der Daten erschwerte.

Projektpartner waren die Schulgemeinde Baar sowie die Firmen Nevalux (Planung) und Steinel (Lieferung der Sensor-Leuchten )



Abbildung 26: Aussenansicht Schulhaus Sennweid, Baar (Bild: archetage ag)

### Alte Beleuchtung

Die alte Beleuchtung in den Schulzimmern war mit 9 direktstrahlenden Pendelleuchten (Typ Ribag Spina 80 Watt T5 mit Parabolspiegel Reflektor) bestückt. Die Steuerung erfolgte durch Tageslichtregelung (Luxmate), ohne Präsenzmelder. Zusätzlich waren zwei Leuchten (24 Watt) zur Wandtafelbeleuchtung installiert.



Abbildung 27: Alte Beleuchtung im Klassenzimmer Schulhaus Sennweid, Baar

### Neue Beleuchtung

Die neue Beleuchtung in den Schulzimmern ist mit 6 direkt-indirekt strahlenden Pendelleuchten (Typ Nevalux Elani) bestückt. Die intelligente Lichtregelung ist in jeder Leuchte integriert, inkl. CO<sub>2</sub> Sensor zur Messung der Luftqualität. Zusätzlich sind zwei Leuchten (38 Watt) zur Wandtafelbeleuchtung installiert.



Abbildung 28: Neue Beleuchtung im Klassenzimmer Schulhaus Sennweid, Baar

## Messungen

Während drei Messperioden (Frühling, Sommer, Herbst) und total 137 Tagen wurde der Lastgang der elektrischen Leistung der alten und neuen Beleuchtung mit einem mobilen Energie- und Leistungsmessgerät im Ein-Minuten-Intervall aufgezeichnet. Für die Auswertung wurden 37 Schultage mit gleichen Nutzungs- und Klimabedingungen ausgewählt. Das ergibt ein gutes Resultat des Energieverbrauchs bzw. der Einsparung zwischen alter und neuer Beleuchtung.

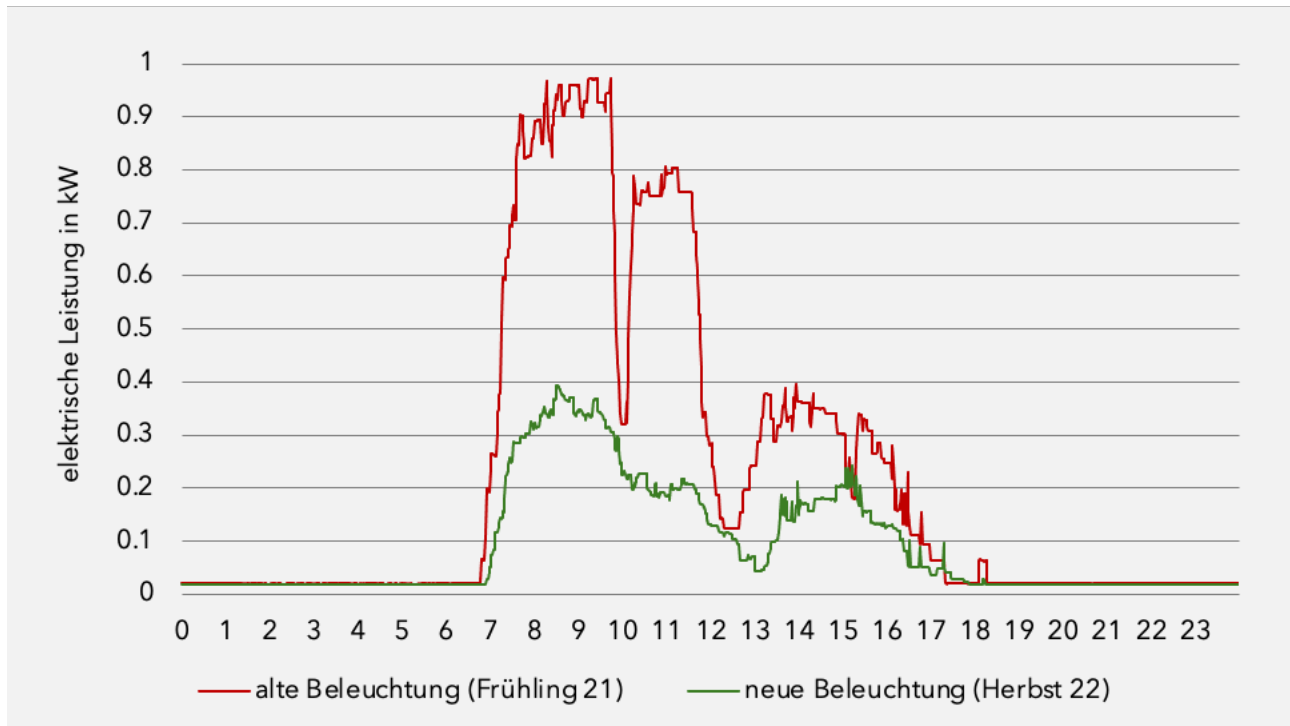


Abbildung 29: Mittlerer Tagesgang der Leistung Schulhaus Sennweid, alte und neue Beleuchtung (je 32 Schultage)

Die Abbildung zeigt den Tagesgang der Leistung der alten und neuen Beleuchtung an zwei vergleichbaren Tagen während der dunklen Jahreszeit.

- Die alte, 20-jährige Beleuchtung mit Leuchtstofflampen hatte eine Tageslichtregulierung. Der Tagesgang der Leistung (gemittelt über 32 Schultage) zeigt die typische Charakteristik dieses Systems: Maximum während den Morgenstunden, 10-Uhr-Pause, Mittagszeit und eine weniger ausgeprägter Anstieg des Verbrauchs der Beleuchtung am Nachmittag.
- Die neue Beleuchtung weist ein ähnliches Profil auf, der Energieverbrauch ist um durchschnittlich 58% tiefer als bei der bisherigen Beleuchtung.
- Erkennbar ist bei der alten und der neuen Beleuchtung die Standby-Leistung von jeweils 16 Watt, die bei einer Lichtregelung mit Vernetzung der Leuchten nicht vermeidbar ist. Mit  $0.05 \text{ W/m}^2$  ist der Standby sehr niedrig.

## Energiebilanz nach SIA 387/4:2017

	Einheit	SIA-Grenzwert	SIA Zielwert	Projektwert alt	Projektwert neu
Beleuchtungsstärke	Lux	500		490	590
Fläche	m <sup>2</sup>	160			
Leistung	kW	1.76	1.15	1.71	1.33
	W/m <sup>2</sup>	11.0	7.2	10.7	8.3
Volllaststunden	h/a	1'312	464	723	387
Energiebedarf	MWh/a	2.31	0.53	1.24	0.52
	kWh/m <sup>2</sup>	14.4	3.3	7.8	3.2
Einsparung					-58%

Tabelle 8: Energiebilanz Schulhaus Sennweid nach SIA 387/4:2017

Verglichen mit den Kennwerten der SIA-Norm 387/4 (elektrische Energie in Gebäuden für Beleuchtung) lag der alte Zustand etwa bei der Minergieanforderung (Mittelwert zwischen SIA Grenzwert und Zielwert). Die ursprüngliche Beleuchtung entsprach dem besten Stand der Technik bei der Erstellung des Gebäudes im Jahre 2002.

Die neue Beleuchtung mit intelligenten LED-Leuchten senkt den Verbrauch um 58% und liegt damit unter dem Zielwert der SIA-Norm 387/4 (Ausgabe 2017)

Am 1. August 2023 wurde die revidierte SIA-Norm mit strengeren Anforderungen in Kraft gesetzt. Der neue SIA-Zielwert liegt in dieser Nutzung bei 1.8 kWh/m<sup>2</sup>.

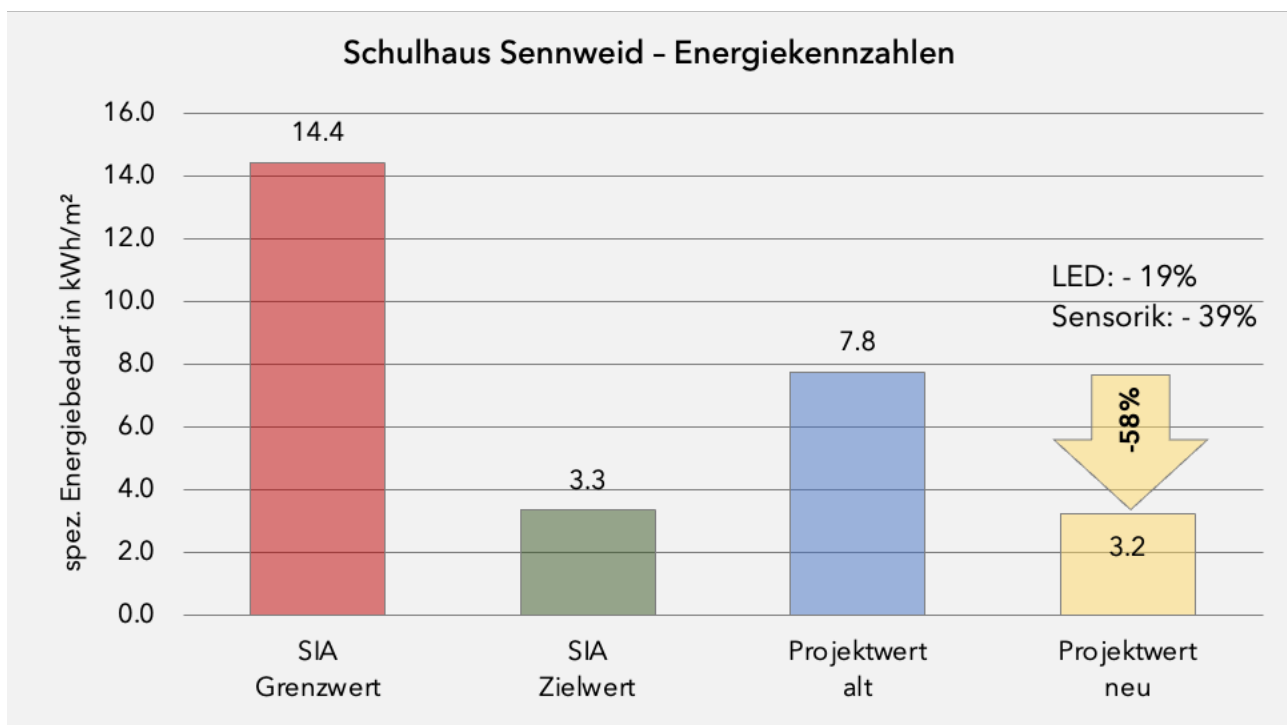


Abbildung 30: Energiebedarf der alten und neuen Beleuchtung und Vergleich mit den SIA-Anforderungen



## 4.6 Fallstudie 6: Parkgarage «Heuried» in Zürich

### Projektbeschreibung

Die Parkgarage der Wohnsiedlung Heuried in der Stadt Zürich umfasst 6 Parkdecks mit rund 360 Parkplätzen und insgesamt 7360 m<sup>2</sup> Fläche. Beleuchtet wurde die Garage früher mit offenen Leuchtstofflampen. Präsenzmelder schalten das Licht bei Abwesenheit von Fahrzeugen und Personen nach ca. 15 Minuten ab.

In einem Pilotversuch wurde die Beleuchtung eines der sechs Parkdecks zwischen 2015 und 2018 auf eine intelligente Beleuchtung umgerüstet. Der Versuch dauerte lange, denn bei den ersten Versuchen erfüllte das neue System die Erwartungen nicht. 2018 funktionierte die neue Beleuchtung dann optimal und Mitte 2021 wurden auch die übrigen Parkdecks umgerüstet.

Die neuen LED-Leuchten verfügen über integrierte Hochfrequenz-Sensoren, die untereinander kommunizieren und ein perfektes Schwarmlicht erzeugen, wenn Autos oder Personen die Garage passieren. Die Parametrierung erfolgt über eine Handy-Applikation.

Die messtechnische Überprüfung der alten und der neuen Anlage wurde in einem der sechs Parkdecks während mehrerer Monate in den Jahren 2015 (alte Beleuchtung), 2016 (neue Beleuchtung, 1. Versuch) und 2018 (2. erfolgreicher Versuch) durchgeführt.

Die Energieeinsparung beträgt 92%, wobei 53% auf das Konto der Sensorik gehen und 39% der effizienteren Lichttechnik zugeschrieben werden können. Die mittlere Beleuchtungsstärke bei der neuen Beleuchtung beträgt 190 Lux und liegt über dem Wert der bisherigen Beleuchtung (150 Lux).

Auftraggeber war das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, die Planung stammt von der Firma WSMAG und Steinel hat die Sensor-Leuchten geliefert.



Abbildung 31: Aussenansicht Tiefgarage Heuried, Zürich (Bild: Stefan Gasser)

### Alte Beleuchtung

Die alte Beleuchtung in der Tiefgarage war mit offenen Balkenleuchten (58 Watt, EVG) bestückt. Die Steuerung erfolgt durch separate Präsenzmelder mit einer Nachlaufzeit von 15 Minuten. Alle Leuchten eines Parkdecks waren zu einer Gruppe zusammengefasst.



Abbildung 32: Alte Beleuchtung in der Garage Heuried (mit Beleuchtungsstärke)

### Neue Beleuchtung

Die LED-Leuchten wurden neu platziert. Zum Einsatz kommen Sensor-Leuchten von Steinel (Modell RS PRO Connect 5100), die in kleinen Lichtgruppen zusammengefasst sind. Nach 1-Minute ohne Bewegung dimmen die Leuchten der jeweiligen Gruppe auf 10% Orientierungslicht zurück; nach 15 Minuten werden die Leuchten ganz abgeschaltet.



Abbildung 33: Neue Beleuchtung in der Garage Heuried (mit Beleuchtungsstärke, hinten Orientierungslicht)

## Messungen

Der Tagesgang der Leistung der alten Beleuchtung wurde während rund eines Monats kontinuierlich aufgezeichnet. Anschliessend wurde die Beleuchtung auf die LED-Sensor-Leuchten umgebaut und die neue Anlage wieder während eines Monats ausgemessen. Da die die Hochfrequenzsensoren offensichtlich Fehlschaltungen verursachten, welche auf andere elektromagnetische Felder in der Garage zurückzuführen waren, mussten neue Leuchten mit optimierter Sensorik installiert werden. Die dritte Messung zeigte dann den gewünschten Erfolg.

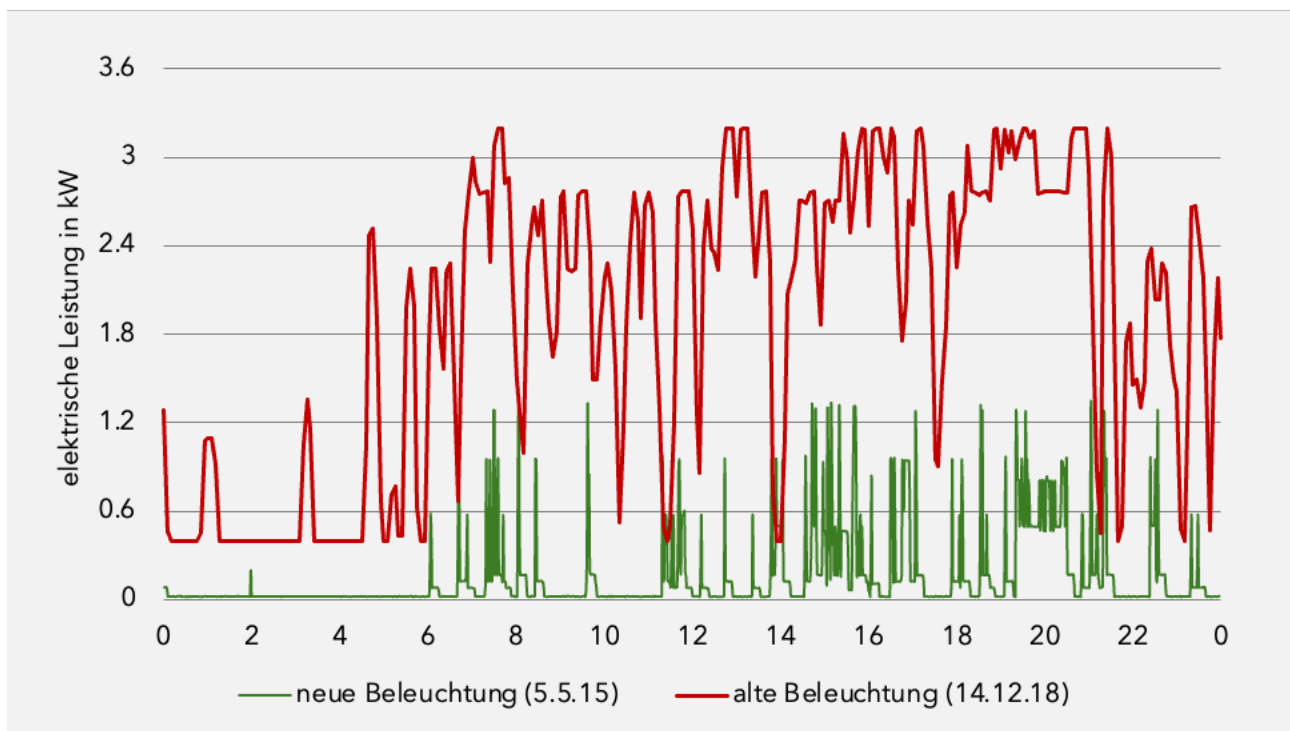


Abbildung 34: Typischer Tagesgang der Leistung in der Garage Heuried alte und neue Beleuchtung

Die Abbildung zeigt den Tagesgang der Leistung der alten und neuen Beleuchtung an zwei vergleichbaren Tagen.

- Die alte Beleuchtung war mit Leuchtstoffröhren ausgerüstet und es waren separate Präsenzmelder installiert. Weil das ganze Parkdeck in einer Gruppe zusammengefasst war und die Präsenzmelder eine Nachlaufzeit von 15 Minuten auswiesen, war die Beleuchtung sehr häufig in Betrieb.
- Bei der neuen Beleuchtung kommen LED-Leuchten mit integrierten Hochfrequenz-Sensoren zum Einsatz. Die Nachlaufzeit ist auf eine Minute eingestellt; ein Orientierungslicht mit 10% der vollen Helligkeit brennt noch 15 Minuten weiter, bevor die Beleuchtung ganz ausgeschaltet wird.
- Während die alte Beleuchtung nie ganz ausschaltet, weil ein Teil der Leuchten immer in Betrieb ist, bleibt bei der neuen Beleuchtung eine Stand-by-Leistung von 22 Watt, was einer spezifischen Leistung von  $0.02 \text{ W/m}^2$  entspricht.

## Energiebilanz nach SIA 387/4:2017

	Einheit	SIA-Grenzwert	SIA Zielwert	Projektwert alt	Projektwert neu
Beleuchtungsstärke	Lux	150		120	190
Fläche	m <sup>2</sup>	1270			
Leistung	kW	3.56	2.29	3.21	1.33
	W/m <sup>2</sup>	2.8	1.8	2.5	1.0
Volllaststunden	h/a	4'672	2'336	5'318	1'009
Energiebedarf	MWh/a	16.61	5.34	17.07	1.34
	kWh/m <sup>2</sup>	13.1	4.2	13.4	1.1
Einsparung					-92%

Tabelle 9: Energiebilanz Garage Heuried nach SIA 387/4:2017

Verglichen mit den Kennwerten der SIA-Norm 387/4 (elektrische Energie in Gebäuden für Beleuchtung) lag der alte Zustand etwa beim Grenzwert. Die Wirkung der Präsenzmelder war bescheiden.

Die neue Beleuchtung mit intelligenten LED-Leuchten senkt den Verbrauch um 92% und liegt damit deutlich unter dem Zielwert der SIA-Norm 387/4 (Ausgabe 2017)

Am 1. August 2023 wurde die revidierte SIA-Norm mit strengeren Anforderungen in Kraft gesetzt. Der neue SIA-Zielwert liegt in dieser Nutzung bei 2.1 kWh/m<sup>2</sup>.

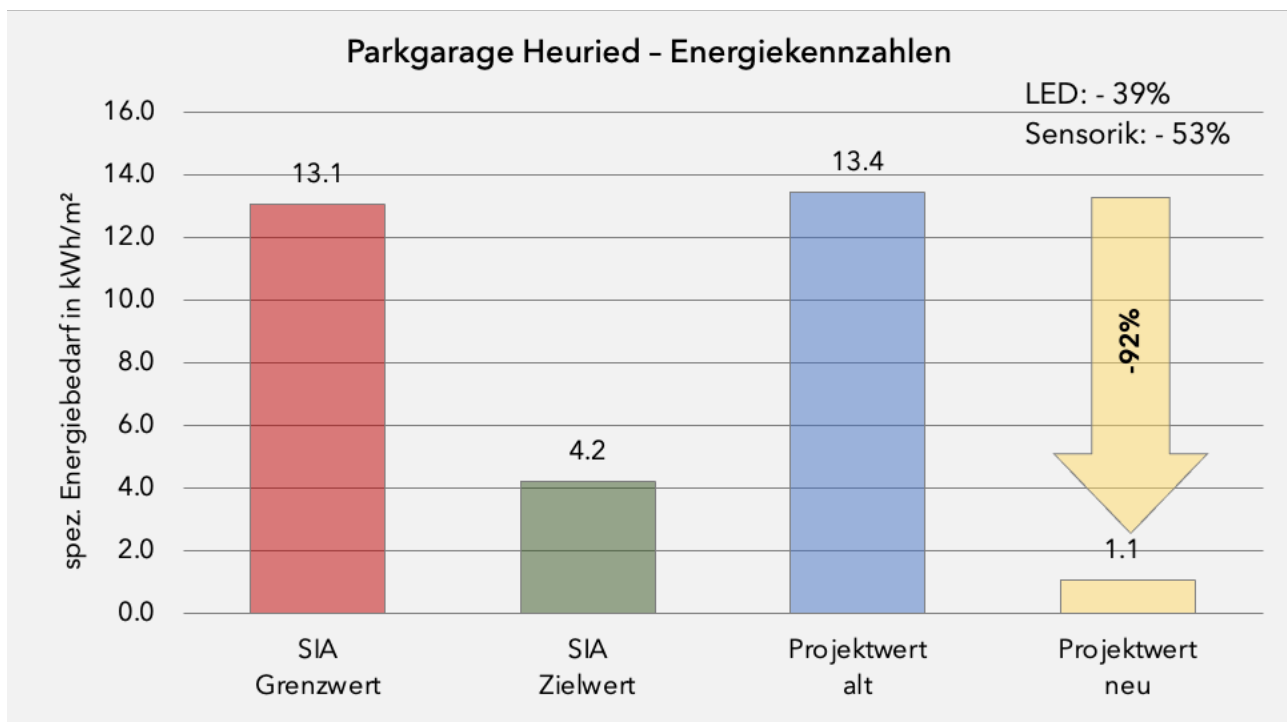


Abbildung 35: Energiebedarf der alten und neuen Beleuchtung und Vergleich mit den SIA-Anforderungen

## 4.7 Abgebrochene Projekte

Neben den vorher dokumentierten Projekten mit einer «erfolgreichen» Erneuerung bzw. Optimierung der Sensor-gesteuerten Beleuchtungsanlage mussten zwei Projekte im Rahmen von «SensoLight» nach erfolgter Aufnahme des Ist-Zustandes abgebrochen werden. In beiden Fällen hatte die Bauherrschaft betriebliche bzw. finanzielle Bedenken über den Nutzen der energetischen Optimierung gestellt.

Die zwei Beispiele werden hier kurz erläutert – nicht um die Betreiber zu rügen, sondern um aufzuzeigen, dass im Bereich der Lichtregulierung – insbesondere der intelligenten Beleuchtung – einerseits noch viel Überzeugungsarbeit geleistet werden muss und andererseits gewisse bauliche Voraussetzungen (z. B. ungeeigneter Sonnenschutz) nicht ohne weiteres behoben werden können, wenn sie aus energetischer Sicht ungünstig geplant wurden.

### Bürgerspital Solothurn

Der Neubau des Spitals Solothurn ist ein 15-stöckiges, mit Licht durchflutetes, freistehendes Hochhaus, welches für die Nutzung von Tageslicht grundsätzlich sehr geeignet ist. Die Beleuchtung ist mit effizienten LED-Leuchten ausgerüstet. Sensoren der Firma Swisslux und ein KNX-Netzwerk sind eine gute Voraussetzung, die Leuchten kontinuierlich an das Tageslicht anpassen zu können und die Korridor-Beleuchtung bei Personenabwesenheit auf Orientierungslicht zu dimmen (analog dem Fallbeispiel im Spital Biel).

Nach den durchgeführten Messungen zeigte sich, dass sowohl Tageslicht- als auch Präsenzregulierung nicht aktiviert waren. Die Versuche, die Betreiberin des Spitals für die Inbetriebnahme der installierten Sensorik zu motivieren, sind nicht gelungen. Die Skepsis vor möglichen negativen Auswirkungen im gerade eben eröffneten Spital war zu gross.

Das Projekt musste nach der Auswertung des Ist-Zustandes abgebrochen werden. Das Projekt wurde von der Firma Swisslux vorgeschlagen.

### Kultur und Sportzentrum, Volketswil

Im Kultur- und Sportzentrum Gries in Volketswil (KUSPO) wurden in der 3-fach-Turnhalle die alten Deckenrasterleuchten mit Leuchtstofflampen mit neuen LED-Einsätzen und vernetzter Sensorik bestückt. Die installierte Leistung – und damit auch der Energieverbrauch – konnte halbiert werden.

Die Messungen zeigten, dass die eingebaute, vernetzte Sensorik nicht den optimalen Effekt bringt, weil ein Teil der Leuchten (Kranzbeleuchtung) nicht an die Lichtsteuerung angeschlossen ist und weil die Tageslichtnutzung durch manuelle Übersteuerung des Sonnenschutzes nicht im möglichen Umfang genutzt werden kann. Für eine energieeffiziente Tageslichtnutzung hätten zudem statt des geschlossenen Behangs variable, helle Lamellen montiert werden sollen. Eine Umrüstung kam aus ästhetischen und Kosten-Gründen nicht in Frage.

Das Projekt musste nach der Auswertung des Ist-Zustandes abgebrochen werden. Das Projekt wurde von der Firma Nevalux vorgeschlagen.

## 5 Empfehlungen für Planende

### 5.1 Typologie der Sensoren

Grundsätzlich ist zwischen Sensoren zur Erfassung von Bewegung und Sensoren für Tageslichtdetektion zu unterscheiden.

Bei den Tageslichtsensoren gibt es Modelle, die auf dem Dach oder an einer Aussenfassade montiert sind. Ferner Typen, die das Tageslicht aus dem Raum heraus gegen das Fenster messen und Decken-Sensoren im Raum. Letztere sind für die Tageslichtmessung aus physikalischer Sicht am wenigsten geeignet, lassen sich aber mit Sensoren für die Erfassung von Personen in einem einzigen Gerät kombinieren.

Bei den Meldern für die Erfassung von Personen (und Fahrzeugen) wird zwischen Präsenzmeldern für kleine Bewegungen von sitzenden Personen und Bewegungsmeldern für gehende Personen unterschieden.

Beim Präsenzmelder wiederum gibt es vier unterschiedliche Verfahren, die Präsenz zu detektieren.

- PIR (Passiv-Infrarot-Sensoren) reagieren auf sich bewegende Wärmefelder. Ihre Erfassung wird durch die Wände im Raum, aber auch durch Gegenstände begrenzt.
- Hochfrequenzsensoren erfassen die Präsenz auch hinter Raumteilern und anderen Gegenständen; und wenn sie nicht gut einjustiert sind, auch in Nachbarräumen.
- Ultraschallsensoren sind in Räumen mit Raumteilern geeignet (z. B. WC-Anlagen), weil die Wellen auch hinter die Gegenstände «fliessen» können, aber nicht durch Wände. Sie sind in Europa allerdings wenig verbreitet.
- Optische Sensoren könnten in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Sie erfassen mit einer Kamera den Raum und interpretieren über einen kleinen Rechner Personenanwesenheit und auch Tageslicht.

Auch die einfacheren Bewegungsmelder können in verschiedenen Erfassungstechnologien konstruiert sein und ggf. eine einfache Tageslichterfassung beinhalten.

Die kombinierten Präsenzmelder mit integrierter Tageslichtsensorik werden in Räumen mit Tageslicht am häufigsten eingesetzt (gelber Bereich in der nachstehenden Tabelle)

Immer häufiger sind die Sensoren auch direkt in der Leuchte selbst eingebaut, was früher meist nur bei Stehleuchten der Fall war.

Erfassung Tageslicht			Erfassung Personen (und Fahrzeuge)				
Aussen-sensor	Fenster-sensor	Decken-Wand-sensor	Präsenz-melder				Bewegungs-melder
			PIR	Hoch-frequenz	Ultra-schall	optisch	

Tabelle 10: Typologie der Sensoren für Beleuchtung (gelber Bereich: häufige Kombi-Sensoren für Tageslicht und Präsenz)

## 5.2 Checkliste Sensorik

In vielen Nutzungen kann der Einsatz von Sensorik v.a. seit die LED-Technik Standard geworden ist, grosse zusätzlicher Einsparungen bringen. Diese werden leider noch viel zu wenig ausgenutzt. Einige grundlegende Aspekte bei der Auswahl, Planung, Installation und Inbetriebnahme von Sensoren sind wichtig.

### Wahl der Sensoren

- Wenn möglich Produkte einsetzen, die gemäss Norm IEC 63180:2020 oder der sens-NORM Prüfvorschrift vermessen wurden. Die Normen garantieren einen eindeutigen Erfassungsbereich und somit eine korrekte Planung.
- Präsenzmelder erfassen auch kleine Bewegungen exakt und sind reinen Bewegungsmeldern meist vorzuziehen.
- Geeignete Sensortypen auswählen. Für verschiedene Anwendungsgebiete wie beispielsweise die Erfassung in Korridoren oder grosse Montagehöhen sind spezifisch für diese Anwendungen konzipierte Sensoren auf dem Markt verfügbar.
- Moderne Sensoren lassen sich über Funk (oft Bluetooth) einregulieren und vernetzen. Das vereinfacht die Inbetriebnahme und erweitert den Funktionsumfang.
- Sensor-Leuchten: In Leuchten integrierte Sensoren haben den Vorteil, dass keine externe Installation notwendig ist; das spart Kosten. Zudem tritt die genaue Planung der Positionierung in den Hintergrund, weil ja jede (allenfalls jede zweite) Leuchte einen Sensor hat.

### Planung

- Wenn die Erfassungscharakteristik der gewählten Sensoren genau bekannt ist, kann deren Positionierung im Raum mit einem EDV-Tool vorgenommen werden (z. B. Relux Desktop, RED CAD, etc.).
- Im Laufe von 2024 soll ein neues kostenloses Onlinetool für die einfache Sensorplanung zur Verfügung stehen (ebenfalls von Relux)
- Bei der Planung ist drauf zu achten, dass möglichst kleine Leuchtengruppen je Sensor vorgesehen werden und dass diese nicht im Parallelbetrieb geschaltet werden. Nur bei unabhängigem Betrieb der einzelnen Gruppen ist eine hohe Energieeinsparung möglich.
- Bei der Platzierung der Sensoren ist die Erfassungscharakteristik des jeweiligen Sensors zu beachten und eine ausreichend hohe Sensorendichte einzuplanen um lange Nachlaufzeiten zu vermeiden.

### Inbetriebnahme

- Untersuchungen in diesem - aber auch andern Projekten - zeigen, dass Sensoren, die in Werkseinstellung montiert werden und bei der Inbetriebnahme nicht nachjustiert werden, im Mittel nur rund 50 Prozent des möglichen Einsparpotentials ausnutzen.
- Die maximale Beleuchtungsstärke auf dem Arbeitsplatz oder am Boden (je nach Nutzung) sollte max. 20 Prozent über dem Normwert liegen (also z. B. 600 Lux an einem Büroarbeitsplatz). Dieses Level muss am Präsenzmelder für jeden Raum korrekt nachjustiert werden.

- Die Nachlaufzeiten sind möglichst kurz anzusetzen: 1 Minuten in Verkehrsflächen, max. 5 Minuten in Arbeitsräumen. Dies ist aber nur bei dimmbaren Leuchten und Sensoren, welche eine Konstantlichtregelung unterstützen, möglich.
- Falls die Beleuchtungsinstallation einen mehr-stufigen Betrieb ermöglicht, kann von Volllicht auf Orientierungslicht (10% Volllicht) gewechselt werden, bevor das Licht nach z. B. 15 Minuten ganz ausgeschaltet wird.

### 5.3 Die drei Optimierungsschritte zur effizienten Beleuchtung

Der Weg zur effizientesten Beleuchtungsanlage kann in drei Schritte unterteilt werden. Die Abbildung zeigt die drei Schritte und deren «Risikofaktoren».

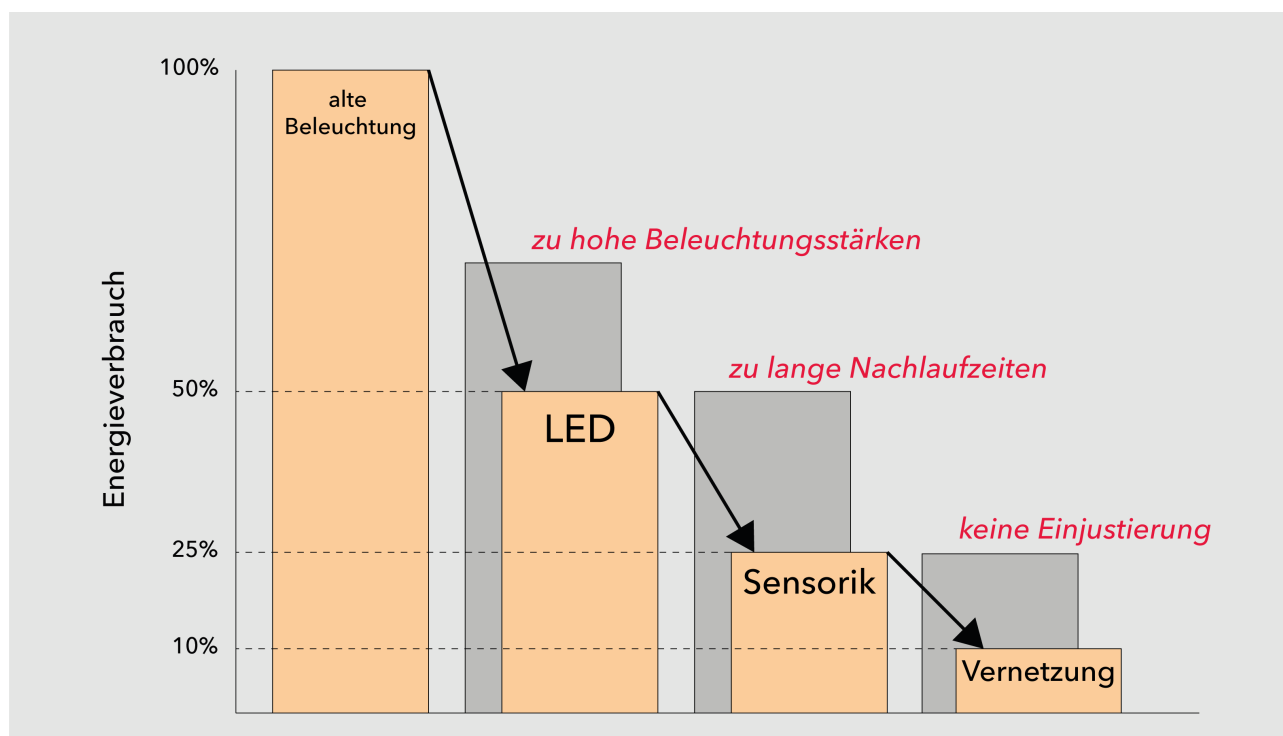


Abbildung 36: Die drei Optimierungsschritte zur effizienten Beleuchtung

#### 1. Schritt

Beim Ersatz einer konventionellen Beleuchtung mit Leuchtstofflampen durch LED-Lichtquellen kann der Energiebedarf in der Regel halbiert werden. Da viele neue Beleuchtungsanlagen leider überdimensioniert werden, geht häufig ein Teil der möglichen Energieeinsparung verloren. Solche Überdimensionierungen können im Betrieb nur korrigiert werden, wenn dimmbare Betriebsgeräte (Dali-Standard) eingesetzt werden. Die dimmbaren Leuchten sollten zudem vernetzt sein (z. B. über Bluetooth oder zwei Zusatzdrähte für Dali bis zur nächsten Elektroverteilung), so dass der maximale Lichtstrom der Leuchten zentral eingestellt, bzw. bei zu viel Licht reduziert werden kann.

Eine Leuchte mit dimmbarem Vorschaltgerät ist heute kaum mehr teurer als eine nicht dimmbare Leuchte.



## 2. Schritt

Der Einsatz von Präsenz- und Tageslichtsensoren kann den Stromverbrauch – je nach Anwendung – nochmals halbieren. Dies, sofern die Nachlaufzeiten – also die Zeit, welche die Leuchte trotz Personenabwesenheit oder genügend Tageslicht aus «Sicherheitsgründen» bis zum Ausschalten weiterbrennt. Ist diese Zeit lang, reduziert sich die mögliche Einsparung deutlich. Gemäss SIA-Norm 387/4 können bei 15-Minuten Nachlaufzeit in einem Korridor etwa 30% eingespart werden, bei 1 Minute sind es 60%. Die Einsparung ist abhängig von der Betriebsart der Sensoren (automatisch oder halbautomatisch) sowie der Nutzung (Verkehrszonen oder Arbeitszonen). Mit der Funktionsart «Halbautomat» kann zusätzlich Energie eingespart werden.

## 3. Schritt

Eine dritte Verbrauchshalbierung kann durch den Einsatz von vernetzten Leuchten mit Sensoren in jeder Leuchte (oder min. 1 Sensor für 4 bis max. 6 Leuchten) erreicht werden. Die Beleuchtungsanlage wird als «Schwarm» betrieben; d.h. nur die Leuchten in unmittelbarer Nähe der Personen (oder Fahrzeuge) brennen, die umliegenden Leuchten sind auf 10% Teillast gedimmt, die noch weiter entfernten Leuchten bleiben ausgeschaltet.

Mit der Bewegung der Personen bewegt sich das Licht wie ein Schwarm durch den Raum, die Nachlaufzeiten der Leuchten liegen typischerweise bei 1 Minute.

Eine 10-prozentige Teillast bedeutet 10% der aufgenommenen elektrischen Leistung bei rund 30% wahrgenommener Helligkeit. Das menschliche Auge hat eine nichtlineare Wahrnehmung für Helligkeit, was in diesem Fall begünstigend ist für Energiesparmassnahmen.

### Einsparfaktoren gemäss SIA 387/4

Die Fallstudien belegen, dass in Verkehrszonen der Energieverbrauch bei Beleuchtungsanlagen nach dem Prinzip der vernetzten sensorgesteuerten Leuchten mit korrekter Inbetriebnahme um bis zu 95% reduziert werden kann.

In der neuen SIA-Norm 387/4 (Version 2023) wurde dieser Funktionstyp für Verkehrsflächen mit dem Faktor 0.2 (also 80% Einsparung) und in Hauptnutzflächen mit dem Faktor 0.4 (also 60% Einsparung) aufgenommen.

Funktionstyp	Nachlaufzeit Präsenzmelder	Normale Präsenz (NP) und dauernde Präsenz (DP)		Sporadische Präsenz (SP)	
		manuell on, auto off	auto on, auto off	manuell on, auto off	auto on, auto off
Vernetzte Sensor- Leuchten	Typisch 1 Minute	-	0,4	-	0,2
auto on-off oder manuell on / auto off	1 Minute	0,5	0,6	0,3	0,4
	2 Minuten	0,6	0,7	0,4	0,5
	5 Minuten	0,7	0,8	0,5	0,6
	15 Minuten	0,8	0,9	0,6	0,7
Manuelles Schalten mit zeitgesteuertem Aus		0,95		0,8	
Manuelles Schalten		1			

Tabella 11: Korrekturfaktoren für Beleuchtungssteuerung aus der SIA-Norm 387/4

Anmerkung zur Tabelle: Die Werte für eine Nachlaufzeit von 15 Minuten wurden von der Kommission in deren letzten Sitzung ersatzlos gestrichen. Da Nachlaufzeiten von 15 Minuten aber immer noch gängige Praxis sind und durch einen Kommissionsentscheid nicht zum Verschwinden gebracht werden können, werden Sie in obiger Tabelle dennoch aufgeführt.