Schlussbericht, 05. Juli 2018

Sensorik in der Beleuchtung

Potenzial und Massnahmen

energieschweiz
Unser Engagement: unsere Zukunft.

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

Adresse
EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: CH-3003 Bern
Infoline 0848 444 444, www.infoline.energieschweiz.ch
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch, twitter.com/energieschweiz

Inhalt

Zusammenfassung 4
Résumé 5
Sintesi 6
1. Einsatz von Sensorik in der Beleuchtung 7
1.1 Gegenstand und Abgrenzung 7
1.2 Anwendungsübersicht 7
1.3 Technik und Produkte 8
1.4 Stromeigenverbrauch der Sensorik 10
1.5 Fallbeispiel: Beleuchtungserneuerung einer Lagerhalle 10
2. Sensorik in Normen und Vorschriften 14
3. Einsparpotenziale durch Sensorik 15
3.1 Definition von Potenzial 15
3.2 Potenzial bis 2025 anhand Zielvereinbarungen 15
3.2.1 Zielvereinbarungen der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW) 15
3.2.2 Beleuchtungsmassnahmen in den Zielvereinbarungen 15
3.2.3 Angewendete Regelung 17
3.2.4 Gewählte Ersatzleuchtmittel 19
3.2.5 Anteil der Massnahmenwirkung Sensorik je Raumnutzung 19
3.3 Potenzial bis 2050 anhand Modellierung 21
3.4 Raumnutzung "Wohnen" 23
3.5 Diskussion des Potenzials 23
3.6 Einschätzung von Energieberatern zur Durchdringung 24
4. Hemmnisse und Herausforderungen 26
4.1 Umfrage bei Energieberatern 26
4.2 Diskussion der einzelnen Hemmnisse 27
5. Massnahmenvorschläge 29
5.1 Umfrage bei Energieberatern 29
5.2 Diskussion der einzelnen Massnahmenvorschläge 29
6. Öffentliche Beleuchtung 31
6.1 Strassenbeleuchtung 31
6.2 Unterführungen 32
7. Literaturverzeichnis 33
Anhang 34

Weisskopf Partner GmbH
Bau Energie Umwelt
Albisriederstrasse 184 b
8047 Zürich
Telefon 044 404 80 40
Fax 044 404 80 30
info @ weisskopf-partner.ch
www.weisskopf-partner.ch

Zusammenfassung

Die künstliche Beleuchtung ist ein bedeutsamer Stromverbraucher: Im Jahr 2016 entfielen 12.4% des gesamtschweizerischen Elektrizitätsverbrauchs darauf [5]. Es besteht Einsparpotenzial. Effizienzmassnahmen zur Reduktion des Strombedarfs für die Beleuchtung verfolgen hauptsächlich die folgenden beiden Ansätze:

- Durch die Verbesserung der Leuchteneffizienz kann die installierte Leistung reduziert werden.
- Mittels bedarfsgerechter Steuerung kann die Anzahl der Beleuchtungs-Volllaststunden reduziert werden.

Sensorik erfasst die Anwesenheit von Personen und/oder das verfügbare Tageslicht. Dadurch kann sie die Lichtquellen bedarfsgerecht steuern. Damit kommt ihr die Schlüsselrolle zur Reduktion der Volllaststunden zu.

Die vorliegende Studie untersucht das Einsparpotenzial durch Einsatz von Sensorik bei der Innenbeleuchtung in naher Zukunft (bis ins Jahr 2025). Dazu wurden Energie-Zielvereinbarungen ausgewertet, die von Schweizer Unternehmen mit Bund und Kantonen abgeschlossen wurden und die unter anderem auch Massnahmen zur Steigerung der Leuchteneffizienz und zum Einsatz von Sensorik enthalten. Insgesamt wurden rund 7'700 Beleuchtungsmassnahmen verteilt über 1'400 Standorte ausgewertet. Rund 5'000 dieser Massnahmen sind wirtschaftlich und werden seit 2013 sukzessive bis 2025 von den Unternehmen umgesetzt. Vollständig umgesetzt werden sie eine jährliche Einsparwirkung von 87 GWh erreichen. Etwas weniger als 10% dieser Wirkung ist auf den Einsatz von Sensorik zurückzuführen, rund 90% auf die Reduktion der installierten Leistung. Aufgrund der Menge und der Verteilung der ausgewerteten Daten ist dieser Verteilschlüssel repräsentativ. Die vorliegende Studie beschränkt sich bei Aussagen zum Potenzial von Sensorik auf diese relativen Anteile und rechnet nicht auf absolute Wirkungen schweizweit hoch. Eine Studie des BFE zum Potenzial von Gebäudetechnikmassnahmen bis im Jahr 2050 [3] kommt für ein Szenario mit verstärkter Massnahmenförderung auf einen vergleichbaren Anteil von rund 10%.

Bei den ausgewerteten Massnahmen wird die Reduktion der installierten Leistung vollständig dominiert durch die Umrüstung von konventionellen Leuchtmitteln auf LED. Die LED-Technologie kommt für die meisten Beleuchtungsanwendungen in Frage und kann flächendeckend eingesetzt werden. Die Marktdurchdringung von LED läuft zudem weitgehend autonom ab. Demgegenüber eignet sich Sensorik nicht für jede Situation und die Nachrüstung kann anspruchsvoll sein. Diese Umstände kommen im Verteilschlüssel zum Ausdruck.

Der Einsatz von Sensorik kann in einzelnen Projekten zu sehr hohen Einsparungen führen und eine gute Wirtschaftlichkeit aufweisen. Trotzdem wird Sensorik noch nicht durchgängig eingesetzt, wo sie sinnvoll wäre. Eine im Rahmen dieser Studie durchgeführte Befragung von Energieberatern in der Deutschschweiz schätzt die Durchdringung von Sensorik bei Erneuerungsprojekten auf rund 50% bei der Präsenz- und 25% bei der Tageslichtregelung, bei Neubauprojekten auf rund 70% bei Präsenz- und 40% bei Tageslichtregelungen.

Wichtige Hemmnisse für eine bessere Marktdurchdringung identifizieren die befragten Energieberater bei fehlenden Projektvorgaben seitens der Auftraggeber und bei der mangelnden Berücksichtigung von Sensorik durch Installateure. Eine wichtige Massnahme für einen konsequenteren und korrekten Einsatz von Sensorik ist daher die Förderung des Wissenstransfers zu den entsprechenden Akteuren.

Weisskopf Partner GmbH

Résumé

L'éclairage artificiel est un consommateur d'énergie significatif: en 2016, il représentait 12,4% de la consommation d'électricité en Suisse [5]. Il existe un potentiel d'économies. Les mesures d'efficience destinées à réduire les besoins en électricité pour l'éclairage suivent principalement les deux approches suivantes:

- L'amélioration de l'efficience des luminaires permet de réduire la puissance installée.
- Le nombre d'heures de pleine charge peut être diminué grâce à une commande adaptée aux besoins.

Les capteurs détectent la présence des personnes et/ou la lumière naturelle disponible. Ils commandent ainsi les sources lumineuses en fonction des besoins et jouent, de ce fait, un rôle clé dans la réduction des heures de pleine charge.

La présente étude analyse le potentiel d'économies réalisable grâce à l'utilisation de capteurs dans le domaine de l'éclairage intérieur dans un avenir proche (d'ici 2025). Dans cette optique, il a été procédé à l'évaluation des conventions d'objectifs énergétiques conclues par les entreprises suisses avec la Confédération et les cantons et contenant notamment des mesures relatives à l'augmentation de l'efficience des luminaires et à l'utilisation de capteurs. Au total, près de 7 700 mesures d'éclairage réparties dans plus de 1 400 lieux ont été exploitées. 5 000 d'entre-elles environ sont des mesures économiques qui sont appliquées depuis 2013 par les entreprises, et le seront jusqu'en 2025. Leur mise en œuvre complète permettra d'économiser 87 GWh par an.

Un peu moins de 10% de ces économies sont imputables à l'utilisation de capteurs, près de 90% à la réduction de la puissance installée. Cette clé de répartition est représentative en raison de la quantité et de la répartition des données exploitées. En cas de déclarations sur le potentiel des capteurs, cette étude se limite à ces proportions relatives et ne réalise aucune estimation sur les effets absolus dans l'ensemble de la Suisse. Une étude de l'OFEN sur le potentiel des mesures relatives aux installations techniques jusqu'en 2050 [3] conclut à une proportion comparable de 10% environ pour un scénario avec un encouragement renforcé des mesures.

Parmi les mesures évaluées, la réduction de la puissance installée est totalement dominée par le remplacement des lampes traditionnelles par des LED. La technologie des LED intervient dans la plupart des applications d'éclairage et peut être utilisée de manière généralisée. Par ailleurs, la pénétration du marché par les LED a lieu de manière totalement autonome. Les capteurs, en revanche, ne sont pas adaptés à toutes les situations et l'ajout de tels dispositifs peut être exigeant. La clé de répartition reflète ces conditions.

L'utilisation de capteurs dans certains projets peut entraîner de très importantes économies et présenter une bonne rentabilité. Cependant, ils ne sont pas encore systématiquement utilisés dans les cas opportuns. Un sondage réalisé dans le cadre de cette étude auprès des conseillers en énergie en Suisse alémanique estime la pénétration des capteurs dans les projets de rénovation à environ 50% pour la régulation en fonction de la présence et 25% pour la régulation en fonction de la lumière du jour, et dans les projets de construction neuve à environ 70% pour la régulation en fonction de la présence et 40% pour la régulation en fonction de la lumière du jour.

Selon les conseillers en énergie interrogés, le manque de spécifications sur le projet du côté du mandant et la non-prise en compte des capteurs par les installateurs sont des obstacles importants à une meilleure pénétration du marché. Encourager le transfert du savoir vers les acteurs correspondants est donc une mesure phare pour une utilisation systématique et adaptée des capteurs.

Sintesi

L'illuminazione artificiale è un fattore importante per il consumo di elettricità: nel 2016 in Svizzera ha assorbito il 12,4 % dei consumi elettrici totali [5]. C'è ad ogni modo un potenziale di risparmio. Le misure per aumentare l'efficienza e ridurre il consumo di corrente per l'illuminazione applicano essenzialmente i due approcci seguenti:

- migliorando l'efficienza delle lampade, si può ridurre la potenza installata;
- con una regolazione conforme al bisogno si può ridurre il numero di ore di illuminazione a pieno carico.

I sensori rilevano la presenza di persone e/o la luce diurna disponibile, consentendo di regolare le sorgenti luminose conformemente al bisogno e ricoprendo di conseguenza un ruolo chiave nel ridurre le ore a pieno carico.

Il presente studio prende in esame il potenziale risparmio conseguibile nel corso dei prossimi anni (fino al 2025) con l'impiego di sensori per l'illuminazione interna. Inoltre, sono stati analizzati accordi sugli obiettivi energetici stipulati da imprese svizzere con la Confederazione e i Cantoni, che comprendono fra l'altro anche misure per aumentare l'efficienza luminosa e impiegare sensori. Complessivamente sono state analizzate circa 7700 misure di illuminazione ripartite fra 1400 luoghi diversi. Circa 5000 di queste misure sono economicamente convenienti e dal 2013 vengono messe in atto progressivamente dalle imprese. Con la loro completa attuazione, nel 2025, si raggiungerà un risparmio annuo di 87 GWh.

Poco meno del 10 % di questo effetto è dovuto all'impiego di sensori, circa il 90 % alla riduzione della potenza installata. Considerate la quantità e la distribuzione dei dati analizzati, questa chiave di ripartizione è rappresentativa. Il presente studio si limita ad affermazioni concernenti il potenziale dei sensori per queste quote relative e non proietta i risultati per gli effetti assoluti a livello svizzero. Per uno scenario con una maggiore promozione delle misure tecniche per gli edifici, uno studio dell'UFE sul potenziale di tali misure fino al 2050 [3] giunge a una quota paragonabile di circa il 10 %.

Nel caso delle misure analizzate, la riduzione della potenza installata è ottenuta integralmente passando dalle lampade convenzionali a quelle a LED. La tecnologia LED può essere presa in considerazione per la maggioranza degli impianti di illuminazione e può essere impiegata ovunque. Inoltre, la penetrazione dei LED nel mercato avviene in gran parte in modo autonomo. Per contro, i sensori non sono adatti a ogni situazione e dotarne gli impianti esistenti può essere un compito arduo. Questi fatti si rispecchiano nella chiave di ripartizione.

In singoli progetti l'impiego di sensori può consentire ingenti risparmi e offrire una buona economicità. Ciò malgrado i sensori non vengono ancora sistematicamente impiegati in tutti i casi in cui sarebbe ragionevole farlo. Un sondaggio fra consulenti energetici della Svizzera tedesca condotto nel quadro del presente studio stima che nei progetti di rinnovo la penetrazione dei sensori sia approssimativamente del 50 % per la regolazione dell'illuminazione in presenza e del 25 % per la regolazione secondo la luce naturale, mentre nel caso dei progetti di nuovi edifici tali valori passano rispettivamente al 70 % e al 40 % circa.

I consulenti energetici intervistati ritengono che fra i principali ostacoli a una migliore penetrazione del mercato vi siano la mancanza di prescrizioni del committente del progetto a questo riguardo e il fatto che i sensori non sono presi sufficientemente in considerazione dagli installatori. Una misura importante per un impiego più coerente e corretto dei sensori è pertanto la promozione del trasferimento delle conoscenze in materia fra gli attori coinvolti.

1. Einsatz von Sensorik in der Beleuchtung

1.1 Gegenstand und Abgrenzung

Die Beleuchtungssensorik erfasst die Anwesenheit von Personen und/oder das verfügbare Tages- bzw. Umgebungslicht. Entsprechend dem Bedarf steuert sie die Lichtquellen durch Zuschalten, Abschalten oder Dimmen. Das Zuschalten wird häufig manuell belassen ("Manuell on / Auto off"). Dadurch werden am zuverlässigsten unnötige Zuschaltungen vermieden. Die Steuerung durch Sensorik verringert damit die Anzahl Volllaststunden der Beleuchtung.

Die vorliegende Studie fokussiert auf Innenanwendungen der Sensorik. Die beiden zentralen Ziele der Studie lauten:

- Untersuchung des Einsparpotenzials durch Sensorik in naher Zukunft
- Untersuchung von Hemmnissen und Vorschläge für Massnahmen zum verstärkten Ausschöpfen des Sensorikpotenzials

Der Betrachtungszeitraum beträgt bis um 2025. Es wird vom heute verfügbaren Stand der Technik und den heutigen Vorschriften ausgegangen. Das ermöglicht auch, aktuelle Zielvereinbarungen von Unternehmen mit Bund und Kantonen als zentrale Datenquelle auszuwerten, da diese eine Laufdauer von 10 Jahren haben. Daneben werden Vergleiche mit einer Studie des BFE gezogen, die sich auf das Potenzial von Gebäudeautomationsmassnahmen bis ins Jahr 2050 bezieht [3].

Bei den LED findet noch immer eine schnelle Entwicklung statt. Die Lichtausbeute von LED wird weiter verbessert. Die Produktpalette wächst rasant. LED werden in der Studie nicht weiter vertieft, aber das Effizienzpotenzial durch Einsatz von LED spielt in dieser Studie eine zentrale Rolle als Vergleichsgrösse zum Effizienzpotenzial durch Sensorik.

Folgende Aspekte werden nicht oder nur knapp behandelt:

- Aussen- und öffentliche Beleuchtung: Sensorik verbreitet sich in der öffentlichen Beleuchtung und der Aussenbeleuchtung derzeit stark, vor allem bei der Strassenbeleuchtung. Dieses Thema wird zusammenfassend vorgestellt (siehe Kapitel 6).
- Zeitschaltuhren: Fixe Zeitschaltungen können in vielen Fällen eine angemessene und verhältnismässig einfache Variante zur Steuerung von Beleuchtungsanlagen sein. Verbreitet sind etwa fixe Nachlaufzeiten bei der Beleuchtung von Treppenhäusern oder fixe Tages-/Wochenabläufe via übergeordnetes System. Letztere kann auch ergänzend bzw. übersteuernd zur Sensorik eingesetzt werden. Bei Nachrüstungen im Bestand können Zeitschaltungen aus Kostensicht interessant sein. In diesem Bericht werden Zeitschaltungen nicht vertieft.
- Storen: Die Abschirmung von direkter Sonneneinstrahlung über z.B. Storen ist für den Wärmeschutz zentral, beeinflusst aber auch die Tageslichtnutzung. Auf Kombinierbarkeit von Storen- und Beleuchtungssteuerung wird in dieser Studie nicht eingegangen.

1.2 Anwendungsübersicht

Folgende Konzepte kommen beim Sensorikeinsatz zur Anwendung. Die Übergänge sind fliessend. Die Konzepte sind teilweise kombiniert anwendbar:

- **Präsenzregelung**: Es werden Bewegungs- und Präsenzmelder unterschieden. Ein zentraler Unterschied liegt in der Empfindlichkeit: Präsenzmelder erfassen kleinste Bewegungen, Bewegungsmelder reagieren auf gröbere Veränderungen wie etwa beim Gehen. In Kombination zur Personendetektion wird auch das Tageslicht erfasst. Prä-

senzmelder messen das Tageslicht permanent und schalten die Beleuchtung bei ausreichend Umgebungslicht wieder ab. Bewegungsmelder mit ihrer Nachlaufzeit messen es nur beim Einschaltvorgang.
- Tageslichtregelung: Durch innen- oder aussenliegende Sensoren wird bei ausreichend einfallendem Licht die Beleuchtungsanlage reduziert oder abgeschaltet (Dämmerungsschalter).
- Konstantlichtregelung: Die Steuerung hält die Beleuchtungsstärke auf dem geforderten Niveau konstant und dimmt dazu die Beleuchtung ergänzend zum einfallenden Tageslicht dazu.
- Schwarmregelung: Das stellt eine Differenzierung der Präsenzregelung dar, bei der benachbarte Leuchten miteinander kommunizieren. Wenn eine Leuchte ein Ereignis detektiert, schaltet sie benachbarte Leuchten dazu. In der Umgebung der betroffenen Leuchten wird eine minimale Grundbeleuchtung gehalten. Im Vergleich zu einer vollständig beleuchteten Fläche wird dadurch Energie eingespart.

Bei Beleuchtungsprojekten in Wirtschaft und Verwaltung kommen praktisch nur noch LED zum Einsatz. Sie verdrängen die Fluoreszenz- und Halogenleuchtmittel. Das zeigen etwa die Auswertung von Massnahmen in Zielvereinbarungen (siehe Kapitel 3.2.4) oder die Vollzugsuntersuchung Beleuchtung im Kanton Zürich [8]. Mit den LED als Leuchtmittel verändern sich auch die Möglichkeiten und Herausforderungen von Sensorik:

- Die Schalt- und Dimmbarkeit von LED-Beleuchtung ist potenziell sehr gut. Das erlaubt etwa kürzere Nachlaufzeiten bei Präsenzregelung oder besseres "Fahren" bei Konstantlichtregelung. Notwendig sind aber qualitativ gut verbaute und dadurch erst langlebige LED-Produkte.
- Der Lichtausstoss von LED sinkt über die Lebensdauer. Durch die Reduktion der Betriebszeiten verzögert Sensorik diesen Prozess.
- Als Faustregel durch den Einsatz von LED anstelle herkömmlicher Leuchtmittel gilt häufig bis zu 50% Stromeinsparung. Der Anteil der Einsparung durch die "nachgelagerte" Sensorik wird dadurch kleiner als bei herkömmlichen Leuchtmitteln. Dies verschiebt die Grenzen der Wirtschaftlichkeit. Dies kann zum pauschalen Fehlschluss verleiten, dass sich Sensorik aufgrund der geringeren Stromeinsparung nicht mehr rechnet.

Hinsichtlich des Themas Lebensdauer von Leuchtmittel und Sensorik gibt es unterschiedliche Aspekte. Im Rahmen dieser Studie konnten diese nicht vertieft und geprüft werden. Auf der einen Seite wird durch den Einsatz von Sensorik ein komplexeres Gesamtsystem geschaffen, das aufgrund der grösseren Anzahl Komponenten theoretisch ein höheres Ausfallsrisiko hat. Auf der anderen Seite ist durch die reduzierte Betriebszeit der Beleuchtung im Durchschnitt auch die Temperatur in der Vorschaltelektronik der LED tiefer, was deren Lebensdauer verlängern sollte.

1.3 Technik und Produkte

Die Detektion der Personenpräsenz geschieht entweder durch eine "passive" Technik, bei der die von der Person ausgestrahlte Wärmestrahlung ausgewertet wird (PIR, Passiv Infrarot) oder durch eine "aktive" Technik, bei der das Echo ausgewertet wird (Radar, Ultraschall). Marktdominierend sind PIR-Sensoren. Ein Beispiel von Radar-Sensoren ist in Kapitel 6.2 aufgeführt. Möglich ist auch die Auswertung von CCD-Sensoren oder Kameraaufnahmen - etwa im prämierten Strassenbeleuchtungsprojekt der EKZ in Urdorf (siehe Kapitel 6.1). Diese sind aber auf Licht angewiesen - was beim Strassenverkehr durch die Scheinwerfer der "schnellen Verkehrsteilnehmer" und die Grundbeleuchtung der Kandelaber implizit gewährleistet wird.

Neben der Detektion der Personenpräsenz spielt die Erfassung der Umgebungslichtstärke eine zentrale Rolle (Tageslichtsensor), da die künstliche Beleuchtung nur dann zugeschaltet werden soll, wenn die Umgebungslichtstärke zu tief ist. Dies geschieht über Fotozellen.

Im Folgenden findet sich eine knappe Übersicht über verschiedene technische/bauliche Aspekte der Produkte (Innenbereich).

Sensoren können in Leuchten bzw. Leuchtmitteln integriert oder aber separat installiert sein. Bei den integrierten Sensoren ist das typische und verbreitete Beispiel die Stehleuchte mit Präsenzerfassung und Tageslichtregelung. Die Integration in Leuchtmittel ist selten. Ein gutes Beispiel sind Retrofit-LED-Röhren, welche Leuchtstoffröhren ersetzen (siehe Abbildung 1.1). Diese eignen sich gut in z.B. Parkgaragen oder Unterführungen (siehe Kapitel 6.2). Separate Sensoren gibt es etwa für Deckenmontage oder Wandmontage. Auch die Integration in Wandtaster ist gängig (siehe Abbildung 1.2, rechts).

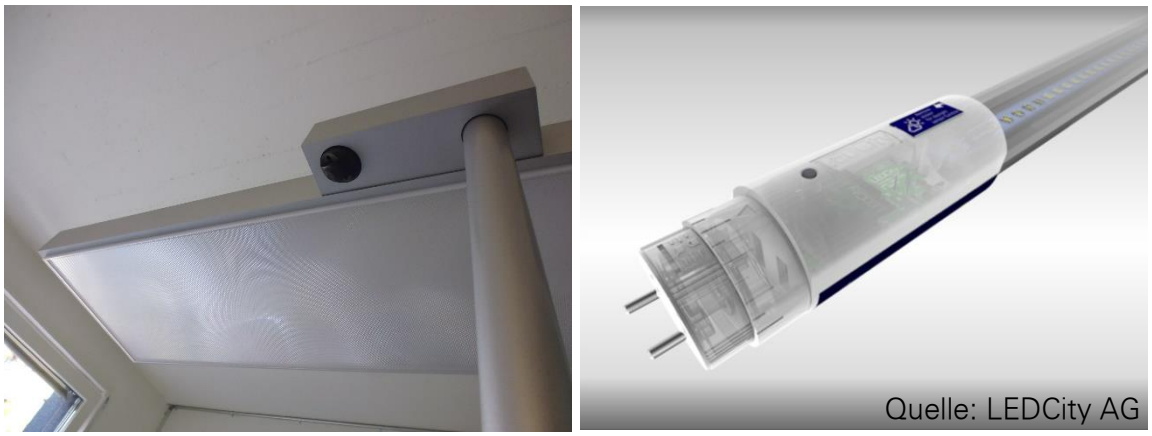


Abbildung 1.1: Integriere Sensorik für Präsenz- bzw. Bewegungs- und Tageslichtregelung in Stehleuchte (links) und in LED-Retrofit-Röhre (rechts)

Quelle: ThebenHTS AG Quelle: Feller AG

Abbildung 1.2: Präsenzmelder für Deckenmontage (links) und Bewegungsmelder mit integriertem Taster (rechts)

Ein Sensor schaltet einen Kreis, an dem eine oder mehrere Leuchten angeschlossen sind. Es können mehrere Sensoren zu einem Verbund geschlossen werden, mit Master- oder Slave-Funktion. Dadurch kann z.B. bei verwinkelten Grundrissen gewährleistet werden, dass der Erfassungsbereich der Sensoren vollständig ist. Die Komplexität und die Anforderungen an die Programmierung wachsen bei solchen Konstrukten. Sensorik wirkt isoliert oder aber eingebunden in die Gebäudeautomation. Als Standards sind DALI oder KNX weit verbreitet.

1.4 Stromeigenverbrauch der Sensorik

Je grösser im konkreten Projekt das Verhältnis von der Anzahl Sensoren zur Anzahl bzw. Leistung der gesteuerten Leuchten ist, desto bedeutsamer wird der Stromeigenverbrauch der Sensorik.

Bei einem Bewegungsmelder-Qualitätstest wurden im Jahr 2013 Eigenstromverbräuche von PIRs zwischen 0.4 und 1.5 Watt gemessen [2]. Gemäss Herstellerauskünften gelten solche Werte auch aktuell noch. Mit einem hocheffizienten Bewegungsmelder-Prototyp aus dem Jahr 2014 wurden Werte von < 0.05 Watt erreicht. Der Prototyp wurde im Rahmen des vom österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie finanzierten Programms "Haus der Zukunft" erstellt [7].

Bei [3] wird insbesondere bei der Konstantlichtregulierung der Eigenverbrauch der Elektronik als potenziell sehr bedeutsam bezeichnet und eine Stand-by-Ausschaltung über Nacht vorgeschlagen.

1.5 Fallbeispiel: Beleuchtungserneuerung einer Lagerhalle

Das folgende Fallbeispiel illustriert die Erneuerung einer Beleuchtungsanlage bei fix installierten Leuchten. Es handelt sich um grosse Lagerhallen eines Versandhandels. Die Beleuchtung war bisher unreguliert. Aufgrund der anstehenden Erneuerung stand der Einsatz von Präsenzmeldern zur Debatte.

Abbildung 1.3: Lagerhalle mit bisheriger Beleuchtung (Leuchtstoffröhren T8/KVG)

Die Eigenschaften der bisherigen und neuen Beleuchtung sind in Tabelle 1.1 aufgeführt:

Alter der Anlage	25 Jahre
Nutzungszone	Lagerhallen
Fläche	3'853 m^2, verteilt über 5 Geschosse
Leuchtmittel bisher	Einflammige T8-Leuchtstoffröhren mit konventionellem Vorschaltgerät, Leistung 58 Watt
Spezifische Leistung bisher	7.4 W/m^2
Leuchtmittel neu	LED-Leuchten mit einer Lichtausbeute von 136 lm/W
Spezifische Leistung neu	4.1 W/m^2

Tabelle 1.1: Ausgewählte Eigenschaften der Beleuchtungserneuerung

Die Lagerhallen sind sehr gut frequentiert, da es sich um ein Versandhaus handelt. Es bestanden deshalb seitens des involvierten Installateurs grosse Vorbehalte hinsichtlich des Einsatzes von Präsenzmeldern. Die Argumente waren:

- Störender "Discoeffekt"
- Geringe Einsparung aufgrund hoher Frequentierung und damit schlechte Wirtschaftlichkeit

Um die Stichhaltigkeit der vermuteten Dauerpräsenz zu untersuchen, wurden letztendlich vom Energieberater während zweier Wochen Zählungen durchgeführt. Dafür wurden eigens PIR-Datenlogger gebaut, da solche Zähler auf dem Markt nicht erhältlich sind (siehe Abbildung 1.4). Diese wurden an geeigneten Stellen in den Lagerhallen angebracht.

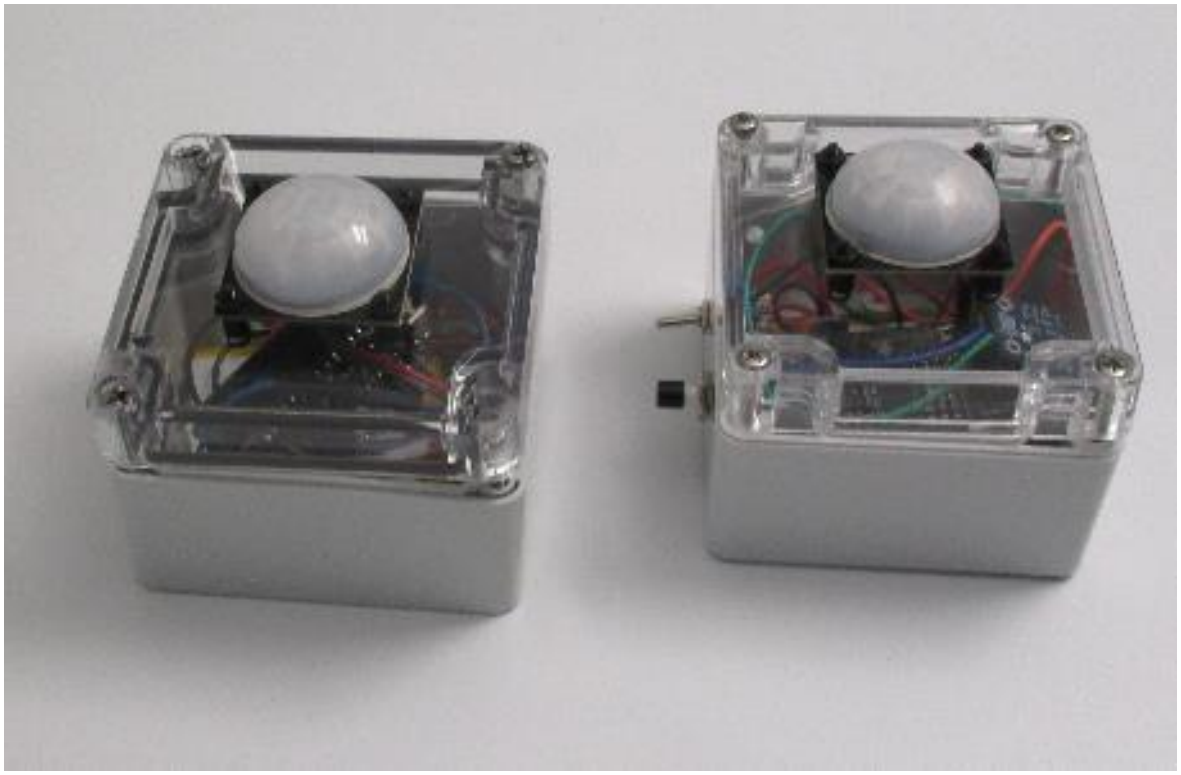


Abbildung 1.4: PIR-Datenlogger zur Erhebung der Frequentierung von Räumen

Das Resultat der Zählungen ist beispielhaft für zwei der fünf Stockwerke an drei ausgewählten Tagen dargestellt. Auffällig ist, dass das Lager im UG (siehe Abbildung 1.5) deutlich weniger frequentiert ist als das Lager im 2. OG (siehe Abbildung 1.6). Bisher brannte das

Licht während der gesamten Betriebszeit. Gut ersichtlich sind die Betriebszeiten von wochentags 6:30-18:30 und samstags 08:00-16:00 Uhr. Im Lager UG ist der Schlussrundgang 18:30 gut sichtbar, bei dem auch das Licht jeweils ausgeschaltet wird.

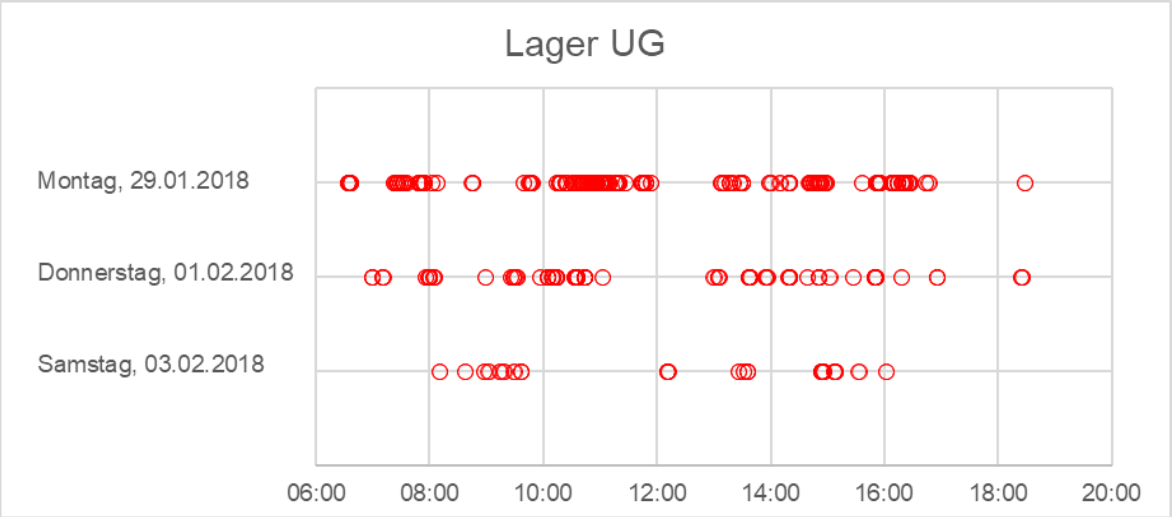


Abbildung 1.5: Zählungen der Personenpräsenz im Lager UG an drei ausgewählten Tagen. Jeder Punkt steht für eine Präsenzdetektion des PIR-Datenloggers.

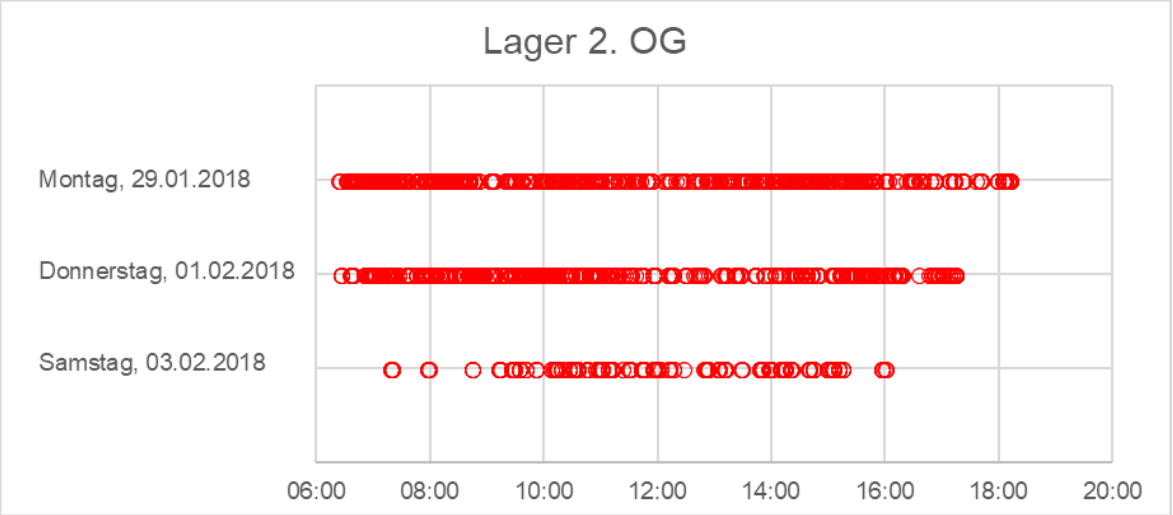


Abbildung 1.6: Zählungen der Personenpräsenz im Lager 2. OG an drei ausgewählten Tagen. Jeder Punkt steht für eine Präsenzdetektion des PIR-Datenloggers.

Mit den erfassten Daten konnte die Nützlichkeit von Präsenzmeldern über die gemessenen zwei Wochen hinweg genau ausgewiesen werden. Tabelle 1.2 zeigt die relative Stromeinsparung auf, die bei der Anwendung von Präsenzmeldern resultieren würde, gegenüber dem Stromverbrauch bei Dauerbetrieb der Beleuchtung. Die Einsparungen wurde für drei unterschiedlich gewählte Nachlaufzeiten berechnet.

Eingestellte Nachlaufzeit	Einsparung im Lager UG	Einsparung im Lager 2. OG
15 Minuten	50%	5%
10 Minuten	60%	10%
5 Minuten	74%	22%

Tabelle 1.2: Relative Stromeinsparung gegenüber der Dauerbeleuchtung in den beiden Lagern, abhängig von unterschiedlich gewählten Nachlaufzeiten der Beleuchtung

Weisskopf Partner GmbH

Auch das Lager im UG kann als gut frequentiert gelten. Allerdings zeigen die Resultate, dass der persönliche Eindruck täuschte, Präsenzmelder würden sich aufgrund der hohen Frequentierung nicht lohnen.

Die dank der Messungen überzeugenden Berechnungen der Einsparwirkung überzeugten schliesslich sowohl Auftraggeber als auch Installateur von der Zweckmässigkeit einer Präsenzregelung.

Weisskopf Partner GmbH

2. Sensorik in Normen und Vorschriften

Die Anforderungen an die Beleuchtung und damit auch die Beleuchtungsregelung sind in der Norm SIA 387/4 "Elektrizität in Gebäuden - Beleuchtung" behandelt. Bis April 2017 galt die Norm SIA 380/4 "Elektrische Energie im Hochbau", Teil Beleuchtung.

Auf die Norm stützen die energetischen Vorschriften der Kantone (MuKEn), Minergie und das Förderprogramm ProKilowatt des BFE ab.

Hinsichtlich Sensorik sind drei Bereiche der Norm zentral:

- Methoden: Durch Einsatz von Sensorik bei der Regelung wird die Anzahl der Volllaststunden der Beleuchtungsanlage reduziert. Der spezifische jährliche Energiebedarf der Beleuchtung verringert sich. Die Norm liefert die Methoden zur Berechnung dieser Reduktion.
- Anforderungen: Es werden Anforderungen definiert, wobei für die sensorbasierte Regelung die bevorzugten Funktionstypen beschrieben werden.
- Grenz- und Zielwerte: die Norm führt je Raumnutzung Grenz- und Zielwerte für die spezifische installierte Leistung (W/m^2) und für den spezifischen jährlichen Energiebedarf (kWh/m^2) bezogen auf die Energiebezugsfläche der Beleuchtung auf. Die zweite Grösse wird durch Sensorikeinsatz beeinflusst.

Die Grenz- und Zielwerte aus der Norm werden von den Energievorschriften verwendet. Im Energienachweis "EN-12 Beleuchtung" muss ein bewilligungsfähiges Projekt beim Einzelnachweis im Durchschnitt über alle Räume den Zielwert für die spezifische installierte Leistung einhalten. Beim Systemnachweis muss der Grenzwert für den spezifischen jährlichen Elektrizitätsverbrauch der Beleuchtung eingehalten werden.

Das hat Konsequenzen: Nur falls bei einem Projekt für die Bewilligung der Weg des Systemnachweises gewählt wird, wirkt sich die im Projekt eingeplante Beleuchtungssensorik positiv auf die Werte aus. Beim Einzelnachweis hat die Sensorik keinen Einfluss auf die Projektwerte.

Die Vorschriften basieren derzeit noch auf der alten Version der Norm SIA 380/4. Aufgrund der rasanten Entwicklung bei den LED-Leuchtmitteln über die letzten Jahre sind die in der alten Version der Norm definierten Zielwerte der spezifischen installierten Leistung für den Einzelnachweis aus aktueller Sicht "grosszügig" bemessen. Ein Projekt mit Raumnutzungen, die für den Sensorikeinsatz geeignet sind, kann deshalb auch gut mit dem Einzelnachweis eingegeben werden - obwohl dies nicht Sinn der Sache ist. Das ändert, sollten die Vorschriften die neue SIA 387/4 übernehmen. In der neuen Version der Norm wurden 31 der 37 verschiedenen Raumnutzungs-Zielwerte gegenüber der alten Version um -15% bis -55% gesenkt. Das erschwert den Einzelnachweis für Projekte, die geeignet sind für den Sensorikeinsatz.

Weiter ist zu beachten, dass sich die Vorschriften auf Zweckbauten und nicht den Wohnbau beziehen, und dass erst Projekte mit einer Energiebezugsfläche Beleuchtung > 1'000 m^2 nachweispflichtig sind.

In einer Vollzugsuntersuchung der HSLU im Auftrag des Kantons Zürich 2017 wurde festgestellt, dass häufig eine nicht zweckmässige Nachweisart gewählt wird [8]. Die Vollzugsuntersuchung empfiehlt eine Entscheidungshilfe zur Wahl der geeigneten Nachweisart und macht einen konkreten Vorschlag dazu. Der Bericht empfiehlt auch die Erweiterung der Einzelanforderung mit einer Selbstdeklaration zur Sensorik.

Weisskopf Partner GmbH

3. Einsparpotenziale durch Sensorik

3.1 Definition von Potenzial

Potenziale werden üblicherweise wie in Tabelle 1.1 differenziert, wobei sich das Potenzial dabei auf einen beliebigen Sachverhalt beziehen kann.

Potenzial	Konkretisierung für die Sensorik
Technisches Potenzial	Stromeinsparung bei der Beleuchtung durch Einsatz bester marktverfügbarer Technik in der Sensorik
Wirtschaftliches Potenzial	Stromeinsparung unter zusätzlichen Anforderungen an die Amortisationszeit
Erwartetes / realisiertes Potenzial	Stromeinsparung unter zusätzlicher Berücksichtigung von Hemmnissen (fehlende Information, Trägheit in der Entscheidung, etc.)

Tabelle 3.1: Gängige Definition von "Potenzial" und Konkretisierung zum Einsatz von Sensorik in der Beleuchtung

Von Interesse sind hier wirtschaftliches und erwartetes Potenzial. In Kapitel 3.2 wird für die Herleitung davon auf Zielvereinbarungen von Unternehmen abgestützt.

3.2 Potenzial bis 2025 anhand Zielvereinbarungen

3.2.1 Zielvereinbarungen der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW)

Viele Schweizer Unternehmen haben mit Kantonen und Bund eine Zielvereinbarung abgeschlossen, mit welcher unternehmensspezifische Energieeffizienz- und CO_2-Reduktionsziele avisiert werden. Gründe für den Abschluss einer Zielvereinbarung sind kantonale Energievorschriften für Energie-Grossverbraucher, die Rückerstattung der Lenkungsabgabe auf CO_2 und der Netzzuschläge auf Strom, Anreize lokaler Elektrizitätswerke oder aber rein freiwilliges Engagement der Unternehmen. Die Energie-Agentur der Wirtschaft ist ein Umsetzungspartner für die Zielvereinbarungen.

Ein Kernelement jeder Zielvereinbarung ist die Erhebung und Planung potenzieller Energieeffizienz-Massnahmen. Die Energie-Agentur der Wirtschaft nutzt dazu u.a. seit 2013 eine eigene Online-Applikation "Check-up-Tool", in welcher rund 300 Massnahmen-Vorlagen bestehen und auf konkrete Situationen angewendet werden können. Diese Massnahmenvorlagen wurden durch das BFE geprüft und für das Zielvereinbarungswesen zugelassen.

3.2.2 Beleuchtungsmassnahmen in den Zielvereinbarungen

Folgende Massnahmen aus dem Check-up-Tool sind für die vorliegende Studie von Interesse:

- Installation einer Präsenzsteuerung[1] und/oder einer Tageslichtregelung (im Folgenden Typ "Sensorik" genannt)
- Reduktion oder Ersatz von Leuchtmitteln oder Leuchten (im Folgenden Typ "Leuchtmittel/Leuchten")
- Die Kombination der beiden genannten Massnahmen (im Folgenden Typ "Leuchtmittel/Leuchten inkl. Sensorik". In dieser Massnahmenvorlage wirkt die Sensorik als nachgelagerte Massnahme auf die dank Leuchtmittelersatz reduzierte installierte Leistung.

[1] Basierend auf Präsenz- oder Bewegungsmeldern

Weisskopf Partner GmbH

Im Check-up-Tool wird für diese Massnahmen eine Berechnungsvorlage angeboten, die methodisch u.a. auf die Norm SIA 380/4 abstützt. Dadurch wird eine einheitliche und effiziente Massnahmenerarbeitung gewährleistet.

Die drei Beleuchtungsmassnahmen wurden zwischen 2013 und 2017 rund 7'700 Mal konkret evaluiert, verteilt über 1'400 Standorte schweizweit. Dies geschah jeweils durch einen Energieberater der EnAW in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen. Aufgrund der grossen Anzahl an Standorten kann davon ausgegangen werden, dass die evaluierten Massnahmen eine robuste Repräsentation für die Gesamtwirtschaft darstellen.

Zentrales Kriterium, ob eine evaluierte Massnahme für die Umsetzung vorgesehen wird, ist ihre Wirtschaftlichkeit. Dieses Vorgehen entspricht den Vorgaben des BFE für die Erstellung von Zielvereinbarungen [6]. Die Kennzahl dafür ist der statische Payback, also das Verhältnis von Investition und jährlicher Kosteneinsparung. Bei einem Payback von 8 Jahren oder weniger gilt eine Infrastrukturmassnahme als wirtschaftlich. Dabei ist zu beachten, dass nicht der gesamte Teil der Investition in die Payback-Berechnung einbezogen wird, sondern nur der Anteil der Investition, der für die Energieeffizienzsteigerung relevant ist (Kosten für die Werterhaltung werden abgezogen). Die Konsequenz davon ist, dass Investitionen bei alten Anlagen schneller die Wirtschaftlichkeitsgrenze erreichen.

Die Auswertung von Sensorikmassnahmen in den EnAW-Zielvereinbarungen zielt damit in Richtung des wirtschaftlichen Potenzials, wobei das Instrument der Zielvereinbarung selber bereits gewisse Hemmnisse abbaut (z.B. fehlende Information bei den Unternehmen, behoben durch Beratungsleistungen).

Abbildung 3.1 zeigt die Verteilung des resultierenden Paybacks bei den 7'700 evaluierten Massnahmen, differenziert nach Massnahmentyp. Erwartungsgemäss weisen die Massnahmen Typ "Leuchtmittel/Leuchten" einen tendenziell tieferen Payback auf, weil auch einfache Reduktion der Leistung oder Einsetzen von Retrofit-Lösungen durch diese Massnahmen abgedeckt sind. Allerdings sind die Unterschiede zu den beiden Massnahmentypen mit Sensorik nicht sehr gross. Ein signifikanter Teil sämtlicher Massnahmen wird als wirtschaftlich beurteilt und im Rahmen der Zielvereinbarung für die Umsetzung geplant oder ist bereits umgesetzt worden (siehe Tabelle 3.2).

Die Massnahmen werden im Folgenden wie folgt unterschieden:

- Erhobene Massnahmen: Gesamtheit der seit 2013 evaluierten Massnahmen
- Geplante Massnahmen: Teilmenge der für die Umsetzung geplanten Massnahmen. Dies trifft für die per Definition wirtschaftlichen Massnahmen mit einem Payback < 8 Jahre zu, kann aber auf freiwilliger Basis auch auf Massnahmen mit einem höheren Payback zutreffen. Diese stehen für das Potenzial, das im Rahmen dieser Studie von Interesse ist.
- Umgesetzte Massnahmen: Teilmenge der bis 2017 umgesetzten Massnahmen. Die Umsetzung ist ein fortlaufender Prozess bis Ende der zehnjährigen Laufzeit der Zielvereinbarungen.

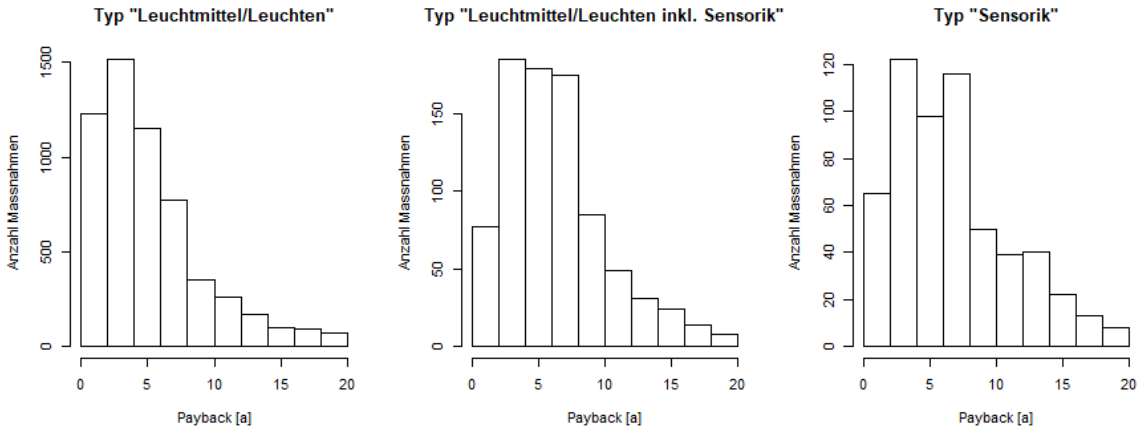


Abbildung 3.1: Verteilung des Paybacks bei den rund 7'700 erhobenen Massnahmen aus den Zielvereinbarungen der EnAW, differenziert nach Massnahmentyp

Massnahmentyp	**Anzahl erhoben**	**Anteil geplant**	**Anteil umgesetzt (per 2017)**
Leuchtmittel/Leuchten	6'121	68%	16%
Leuchtmittel/Leuchten inkl. Sensorik	919	56%	13%
Sensorik	663	60%	13%

Tabelle 3.2: Anzahl der erhobenen Massnahmen, Anteil der davon geplanten und Anteil der per 2017 umgesetzten Massnahmen (am Total der erhobenen Massnahmen)

3.2.3 Angewendete Regelung

Abbildung 3.2 zeigt die Anzahl der Massnahmen differenziert nach gewählter Regelung. Die Massnahmen Typ "Leuchten/Leuchtmittel" entfallen darin, da sie keine Sensorik beinhalten. Die am häufigsten gewählte Regelung ist die Präsenzregelung, gefolgt von der Kombination Präsenz-/Tageslichtregelung und der Tageslichtregelung. Bei der Kombination "Präsenz- und Tageslichtregelung" liessen sich auf Ebene der abgespeicherten Datenbankwerte die Massnahmenwirkungen nicht weiter aufschlüsseln.

Weisskopf Partner GmbH

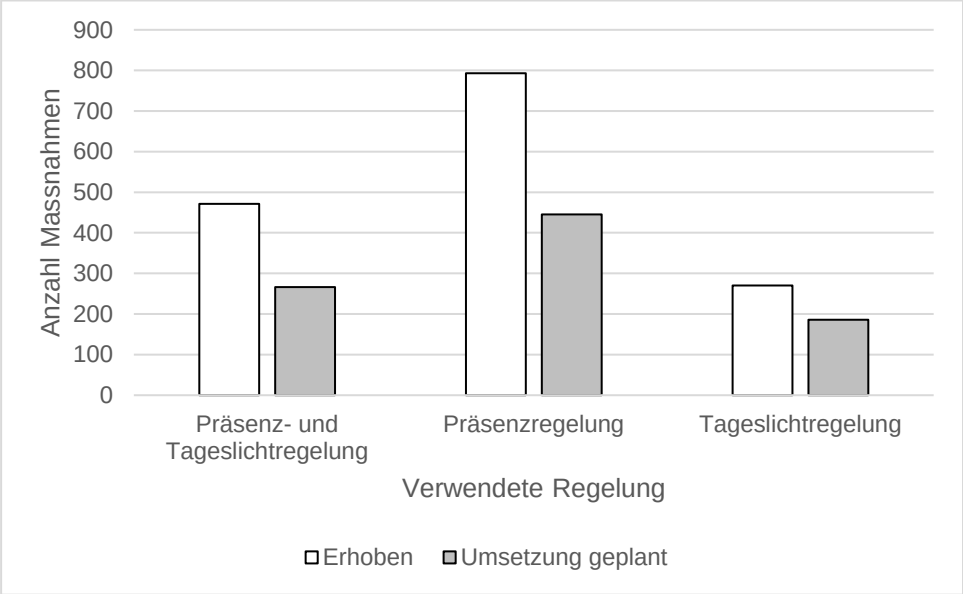


Abbildung 3.2: Verteilung der Anzahl Sensorikmassnahmen auf die angewendete Regelung, mit Unterscheidung nach erhobenen und wirtschaftlichen/zur Umsetzung geplanten Massnahmen

Bei der durchschnittlichen Wirkung je Massnahme jedoch liegen die Wirkungen auf Präsenzregelung deutlich unter den Wirkungen aufgrund Tageslichtregelung (siehe Abbildung 3.3).

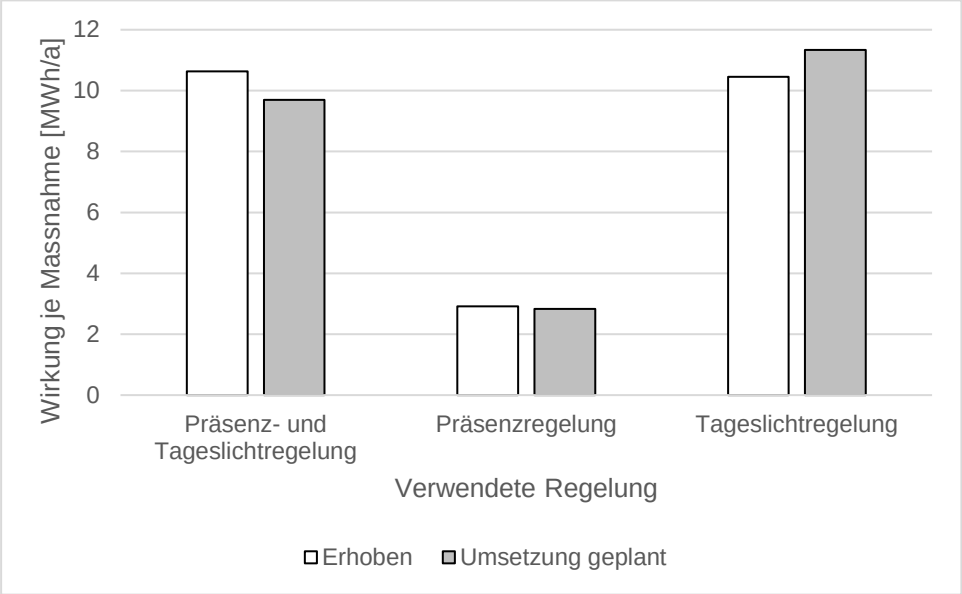


Abbildung 3.3: Durchschnittliche Wirkung pro Sensorikmassnahme, differenziert nach Regelung und nach erhobenen bzw. zur Umsetzung geplanten Massnahmen

Hinsichtlich der Wirkung über alle Massnahmen hinweg resultieren dadurch die kombinierten Massnahmen an erster Stelle, gefolgt von Tageslichtregelung und Präsenzregelung (siehe Abbildung 3.4).

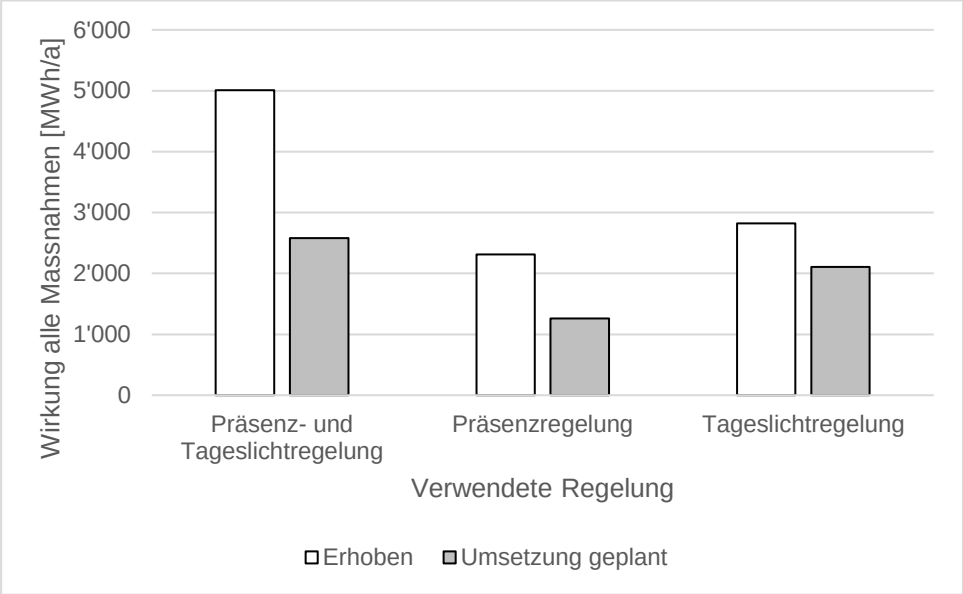


Abbildung 3.4: Wirkung aller Sensorikmassnahmen, differenziert nach Regelung und nach erhobenen bzw. zur Umsetzung geplanten Massnahmen

3.2.4 Gewählte Ersatzleuchtmittel

Tabelle 3.3 zeigt die Anteile beim Leuchtmittel- bzw. Leuchtenersatz bei den erhobenen Massnahmen, mit bisherigem Leuchtmittel und gewähltem Ersatzleuchtmittel (Anteile gemessen an der Anzahl Massnahmen, nicht an den Stückzahlen der Leuchtmittel bzw. Leuchten in den Massnahmen). Die Massnahmen Typ "Sensorik" entfallen darin, da sie keinen Leuchtmittelersatz beinhalten.

Das Resultat ist eindeutig. Der Ersatz fast ausschliesslich durch LED statt - einzig ein vernachlässigbarer Anteil an T5-Leuchtstoffröhren wird als Ersatz für T8-Leuchtstoffröhren vorgeschlagen.

Leuchtmittel im Bestand	**Gewählter Ersatz**	**Anteil**
FL T8	LED	47%
FL T8	FL T5	2%
FL T5	LED	4%
Halogen	LED	16%
Halogen-Metalldampf	LED	4%
Kompaktlampe	LED	7%
Glühlampe	LED	5%
Diverse	LED	9%

Tabelle 3.3: Anteile beim Leuchtmittel- bzw. Leuchtenersatz bei den erhobenen Massnahmen der Zielvereinbarungen

3.2.5 Anteil der Massnahmenwirkung Sensorik je Raumnutzung

Durch die Auswertung der Massnahmen in den Zielvereinbarungen ist es zwar nicht möglich, ein absolutes Einsparpotenzial durch Sensorik schweizweit abzuleiten. Es lässt sich jedoch ein Verhältnis zwischen Einsparung durch effiziente Leuchtmittel/Leuchten (installierte Leistung) und Sensorik (Volllaststunden) untersuchen.

Bei der Erfassung der Massnahmen im Check-up-Tool wurde auch die jeweilige Raumnutzung erhoben. Damit können mit der Auswertung der Massnahmen Aussagen zu Sensorik bis auf Ebene der einzelnen Raumnutzung gemacht werden. Tabelle 3.4 fasst diese zentralen Resultate zusammen: Es wird der Anteil der Sensorikmassnahmen am Total der Massnahmenwirkung Leuchtmittel/Leuchten und Sensorik aufgezeigt. Die Angabe der Raumnutzung ist kein Pflichtfeld bei der Massnahmenerfassung. Bei rund einem Viertel der geplanten Massnahmen ist sie nicht bekannt.

Raumnutzung	Anzahl geplante Beleuchtungs-massnahmen	Geplante Wirkung Beleuchtung [MWh/a]	Anteil Sensorik an der Wirkung
Raumnutzung nicht angegeben	1'025	20'612	5%
Einzel-/Gruppenbüro	418	3'868	8%
Lehrerzimmer/Aufenthalt	40	33	27%
Spezialräume	156	988	3%
Restaurant	231	1'601	7%
Produktion (grobe Arbeit)	493	14'367	10%
Produktion (feine Arbeit)	441	16'335	8%
Lagerhallen	275	6'043	14%
Verkehrsfläche	555	7'212	5%
Nebenräume	194	526	25%
Dusche / Garderoben	59	130	19%
WC	101	194	53%
Total, aufgeführte Raumnutzungen	**3'988**	**71'909**	**8%**
Total, sämtliche Raumnutzungen	**5'072**	**86'697**	**7%**

Tabelle 3.4: Anteil der Sensorik am Total (Leuchtmittel/Leuchten und Sensorik) der geplanten Massnahmenwirkung je Raumnutzung

Hinsichtlich des Potenzials sind die geplanten Massnahmen in den Zielvereinbarungen von zentralem Interesse. Der Anteil Sensorik an der Wirkung ist aber über alle Umsetzungsgrade hinweg sehr stabil und bewegt sich auch bei den erhobenen und bei den per 2017 umgesetzten Massnahmen bei etwas weniger als 10% (siehe Tabelle 3.5).

	Anteil Sensorik an der Wirkung	
	Aufgeführte Raumnutzungen	Sämtliche Raumnutzungen
Erhobene Massnahmen	8%	8%
Geplante Massnahmen (siehe auch Tabelle 3.4)	8%	7%
Umgesetzte Massnahmen (per 2017)	10%	9%

Tabelle 3.5: Anteil der Sensorik am Total (Leuchtmittel/Leuchten und Sensorik) der erhobenen, geplanten und umgesetzten Massnahmenwirkung

In Tabelle 3.4 werden nur Raumnutzungen aufgeführt, bei denen in den Zielvereinbarungen der EnAW ausreichend Massnahmen zu sowohl Leuchtmittel/Leuchten als auch zu Sensorik vorhanden sind, um belastbare Aussagen zu machen. Die Häufigkeit und Verteilung der Massnahmenwirkung je Raumnutzung ist in Anhang A.1 aufgeführt.

Die Anteile der aufgeführten Raumnutzungen stehen nicht repräsentativ für die Gesamtwirtschaft, da es bei den Zielvereinbarungen einen Überhang zu industriellen Betrieben gibt. Der Anteil der Sensorik am Total der aufgeführten bzw. über alle Raumnutzungen hinweg ist deshalb mit Vorsicht zu interpretieren. Allerdings weisen die bedeutendsten Raumnutzungstypen, in denen sich produzierende Unternehmen und Dienstleistungsbetriebe unterscheiden, nur kleine Unterschiede im Anteil der Sensorik an der Wirkung auf:

- Produktion (grobe Arbeit): 10%
- Produktion (feine Arbeit): 8%
- Einzel-/Gruppenbüro: 8%
- Lagerhallen: 14%

3.3 Potenzial bis 2050 anhand Modellierung

In einer Studie des BFE wurde das Potenzial von Massnahmen im Bereich der Gebäudetechnik bis ins Jahr 2050 modelliert [3]. Als Ausgangsjahr wurde 2010 verwendet. Die Studie eignet sich zum Vergleich mit der Auswertung der Zielvereinbarungen.

Die Einsparwirkung der Massnahmen wurde in zwei sich ergänzenden Szenarien untersucht:

- Referenzszenario: Erwartete autonome Durchdringung von Massnahmen und Effizienzfortschritten ohne zusätzliche und verstärkte energiepolitische Instrumente - aber unter Berücksichtigung aktueller gesetzlicher Vorgaben von Bund und Kantonen, sowie Förderprogrammen und Aktivitäten von EnergieSchweiz und anderen Akteuren. Vergleichbar mit dem Szenario "Weiter wie bisher" bei den Energieperspektiven des BFE.
- Effizienzszenario: Durch zusätzliche Anreize und Anforderungen in Form von geeigneten Instrumenten erlangen Gebäudetechnikmassnahmen eine stärkere Markt- und Bestandsdurchdringung. Das Effizienzszenario ist im Bereich Gebäudetechnik vergleichbar mit dem Szenario "Politische Massnahmen (POM)" der Energieperspektiven.

Abbildung 3.5 aus [3] stellt die Szenarien und die Massnahmenwirkung schematisch dar.

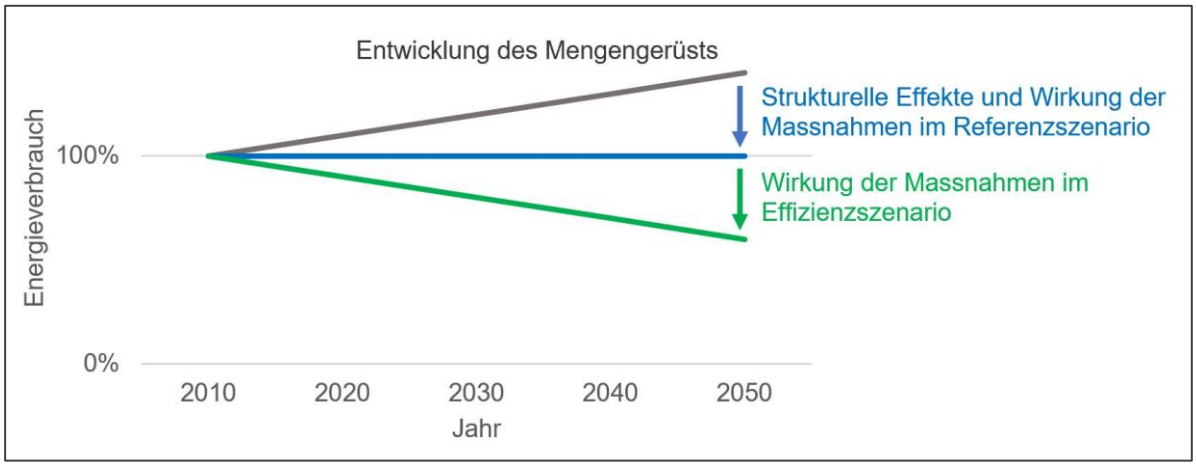


Abbildung 3.5: Entwicklung des Mengengerüsts und der Szenarien (schematische Darstellung), aus [3]

Die Beleuchtung wurde aufgeschlüsselt in verschiedene Massnahmen betrachtet. Tabelle 3.6 listet unter dem Verwendungszweck "Beleuchtung" untersuchten Massnahmen auf. Von den 11 Massnahmen können 10 zu den in der vorliegenden Studie verwendeten Kategorien "Leuchten/Leuchtmittel" und "Sensorik" zugeordnet werden. Die fixe Zeitschaltung wird in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt (siehe Kapitel 1.1 "Gegenstand und Abgrenzung").

Nr.	Massnahme [3]	Beitrag zur Massnahmenwirkung im Effizienzszenario	Zuordnung
T.B01	Effiziente Leuchten	59%	Leuchten/Leuchtmittel
T.B10	Ersatz von FL durch LED Röhren	2%	Leuchten/Leuchtmittel
T.B12	Retrofit LED Leuchtmittel	8%	Leuchten/Leuchtmittel
T.B02	Beleuchtung der Hauptsehaufgabe	5%	Leuchten/Leuchtmittel
T.B03	Anpassung der Beleuchtungsstärke	13%	Leuchten/Leuchtmittel
T.B08	Zeitschaltung Beleuchtung	3%	-
T.B05	Beleuchtung "manuell On/auto Off"	3%	Sensorik
T.B06	Tageslichtabhängige Beleuchtungsstärke	1%	Sensorik
T.B11	Konstantlichtregelung	1%	Sensorik
T.B14	Schwarmregulierung	2%	Sensorik
T.B09	Betriebskontrolle und Inbetriebnahme Sensorik	2%	Sensorik

Tabelle 3.6: Untersuchte Massnahmen beim Verwendungszweck "Beleuchtung" in [3], mit Nummer und Beitrag zur Einsparwirkung im Effizienzszenario sowie Zuordnung zu den Kategorien in der vorliegenden Studie

Im Effizienzszenario prognostiziert die Gebäudetechnikstudie nun eine Einsparwirkung im Jahr 2050 gegenüber 2010 von:

- Leuchten/Leuchtmittel: 768 GWh
- Sensorik: 82 GWh

Der Anteil der Sensorik am Total Sensorik und Leuchten/Leuchtmittel beträgt rund 10% und ist damit praktisch gleich wie bei der Auswertung der Zielvereinbarungen (siehe Kapitel 3.2).

Die modellierten Einsparwirkungen liegen in der Veröffentlichung der Gebäudetechnikstudie nur beim Effizienzszenario bis auf die Massnahme aufgeschlüsselt vor. Es bleibt die Frage, wie hoch der Anteil der Sensorik im Referenzszenario ist. Dieser Vergleich konnte nicht gezogen werden. Der Anteil der Sensorik muss dort aber nochmals geringer sein, da die beschriebenen prozentualen Durchdringungsgrade der einzelnen Sensorik-Massnahmen im Vergleich mit den Leuchten/Leuchtmittel-Massnahmen im Referenzszenario tiefer sind als im Effizienzszenario. Das erscheint plausibel. Die verstärkte Förderung wirkt sich bei der anspruchsvolleren Sensorik stärker aus.

Obwohl die Schlussfolgerung zum Anteil Sensorik gleich ist, muss die Frage nach der Vergleichbarkeit zwischen den beiden Studien aufgeworfen werden. Abgesehen von den offensichtlichen Unterschieden in der Methode existieren folgende Verschiedenheiten:

- Umfasste Sektoren: In der Gebäudetechnikstudie werden alle Gebäude einbezogen, aufgeschlüsselt nach "Wohnen, Büro, Schulen, Übrige". In der vorliegenden Auswertung sind Wohnbauten nicht vertreten, es handelt sich ausschliesslich um Industrie, Dienstleistungs- und Gewerbebauten. Allerdings ist die Aufschlüsselung nach konkreter Raumnutzung vorhanden.
- Bestand und Neubau: In der Gebäudetechnikstudie werden sowohl Bestand als auch Neubau integriert. In den Zielvereinbarungen ist vorwiegend der Bestand adressiert, allerdings kann aus Sicht einer Anlage auch die Kompletterneuerung einer Beleuchtungsanlage als "Neubau" gelten.

Als Ausgangsjahr verwendet die Gebäudetechnikstudie 2010, bei den Zielvereinbarungen ist es vorwiegend 2012. Das ist eine wichtige Gemeinsamkeit, da die Ausschöpfung des LED-Potenzials dadurch noch bei beiden Studien am Anfang stand.

In absoluten Zahlen ist die Vergleichbarkeit der beiden Studie aufgrund der Unterschiede nicht gegeben. Hinsichtlich des relativen Anteils der Sensorik hingegen erscheint ein Vergleich belastbar - zumal das Resultat praktisch gleich ist.

3.4 Raumnutzung "Wohnen"

Die Nutzung "Wohnen" fehlt vollständig bei der Auswertung der Zielvereinbarungen in Kapitel 3.2. Bei Wohnbauten können die Raumnutzungen hinsichtlich des Sensorikeinsatzes wie folgt unterschieden werden:

1. Raumnutzungen wie Treppenhaus, Keller, Wasch-/Trockenraum oder Garage, die für bedarfsgerechte Steuerung sehr geeignet sind und bereits heute signifikant damit ausgerüstet sind (Zeitschaltungen oder Bewegungsmelder, kaum Tageslichtregelung).
2. Raumnutzung Wohnen, bei der heute Sensorik oder Zeitschaltungen praktisch nicht vorhanden sind.

Die Studie zum Potenzial von Gebäudetechnikmassnahmen [3] umfasst auch Wohnbauten, wobei bei diesen nur die erste Kategorie der oben genannten Raumnutzungen enthalten sind.

In [4] wird für das Gebäudeparkmodell der Anteil der Raumnutzung "Wohnen" bei Gebäuden "Wohnen MFH" auf 91% und bei Gebäuden "Wohnen EFH" auf 89% geschätzt. Die Frage, welches Potenzial die bedeutsame Fläche "Wohnen" für den Einsatz von Sensorik birgt, kann im Rahmen der hier vorliegenden Studie nicht vertieft werden. Der Durchdringungsgrad dürfte heute noch bei praktisch 0% liegen. Sensorik könnte durch Aufkommen von Heimautomatisierung oder aber durch Integration in Leuchten Verbreitung finden.

Die potenzielle Einsparwirkung muss jedoch kritisch hinterfragt werden:

- Wie viel Licht brennt unnötig: Für die Einsparwirkung muss neben der Durchdringung von Sensorik auch das Basisszenario berücksichtigt werden: Wie viel Licht brennt unnötig. "Lichterlöschen" wird von Privaten meistens an erster Stelle genannt bei der Frage nach Energiesparmöglichkeiten im Haushalt. Nicht wegen der grössten Wirkung, sondern weil die Beleuchtung so sichtbar ist (im Gegensatz zu gekippten Fenstern oder Heizen bei Abwesenheit). Das Basisszenario müsste vertieft abgeklärt werden.
- Anteil des Funktionstyps "Manuell on/Auto off": Dieser ist aus Sicht Energieeffizienz bei der Präsenzregelung zu bevorzugen. Private könnten den Mehrwert der Automatisierung nun aber gerade darin empfinden, dass die Beleuchtung automatisch zuschaltet. Damit würde der Anteil an unnötig ausgelösten Zuschaltungen ansteigen.
- Rolle des Eigenverbrauchs: Da pro Sensor nur eine bis wenige Leuchten gesteuert werden dürften, käme dem Eigenverbrauch der Sensorik eine grössere Rolle zu.

Wirksamer als Einsatz einzelner Sensoren dürfte ein zentral gesteuerter "Abwesenheitsmodus" sein, der neben der Beleuchtung auch die Heizung und die allfällige Lüftung betreffen müsste. Dies bedingt eine solide Heimautomatisierung.

Im Zeithorizont der vorliegenden Studie bis 2025 dürfte die Verbreitung von Sensorik bei der Raumnutzung "Wohnen" eine vernachlässigbare eine Rolle spielen und wäre überdies schwierig zu fördern.

3.5 Diskussion des Potenzials

Die Sensorik senkt die Volllaststunden der Beleuchtung, was im konkreten Projekt den Energieverbrauch enorm reduzierten kann (siehe z.B. das Fallbeispiel in Kapitel 1.5). In der

Weisskopf Partner GmbH

Auswertung von 7'700 erhobenen Energieeffizienz-Massnahmen bei Zielvereinbarungen der EnAW bestreitet die Sensorik jedoch nur Anteil von durchschnittlich etwas weniger als 10% an der gesamten Wirkung Leuchtmittel/Leuchten und Sensorik, über alle Raumnutzungen hinweg.

Die Modellierung des Potenzials von Gebäudetechnikmassnahmen bis im Jahr 2050 kommt auf eine praktisch gleiche Schlussfolgerung [3].

Dieses Resultat erscheint auf den ersten Blick als gering. Im Verhältnis zeigt sich jedoch vor allem der enorme Sprung, der durch das Aufkommen von LED möglich ist. Der Grossteil der Zielvereinbarungen weist das Ausgangsjahr 2012 auf, als die Durchdringung der LED in den Bestandsanlagen noch ganz am Anfang stand. LED kommen zudem für fast alle Anwendungen in Frage (siehe auch Kapitel 3.2.4), während Sensorik nicht für jeden Raum geeignet ist.

Zudem gilt bei LED, dass sie den Markt auch autonom relativ gut durchdringen - bei der Sensorik ist das nur teilweise der Fall. Eine Betrachtung der Hemmnisse und möglicher Massnahmen zur besseren Ausschöpfung des Sensorikpotenzials ist von daher sehr angebracht und wird in den folgenden Kapiteln behandelt.

3.6 Einschätzung von Energieberatern zur Durchdringung

Zum Einsatz von Sensorik in der Beleuchtung wurde im Rahmen dieser Studie auch eine Befragung bei 48 Energieberatern aus der Deutschschweiz durchgeführt, der Rücklauf betrug genau 50%. Unter anderem wurden die Berater angefragt, die Durchdringung der Sensorik bei Erneuerungsprojekten (Ersatz von Beleuchtungsanlagen) und bei Neubauprojekten einzuschätzen. Eine Durchdringung von 100% bedeutete, dass sämtliche für die entsprechende Regelungstechnik geeigneten Flächen auch mit dieser ausgestattet werden.

Die Resultate sind in Tabelle 3.7 zusammengefasst. Die Unterschiede sind statistisch signifikant, auch wenn die Verteilung teilweise recht breit streut (Verteilung siehe Abbildung 3.6).

	Präsenzregelung	**Tageslichtregelung**
Erneuerungsprojekte	49% (± 20%)	24% (±17%)
Neubauprojekte	68% (± 24%)	37% (± 21%)

Tabelle 3.7: Einschätzung zur Marktdurchdringung mit Mittelwert und Standardabweichung

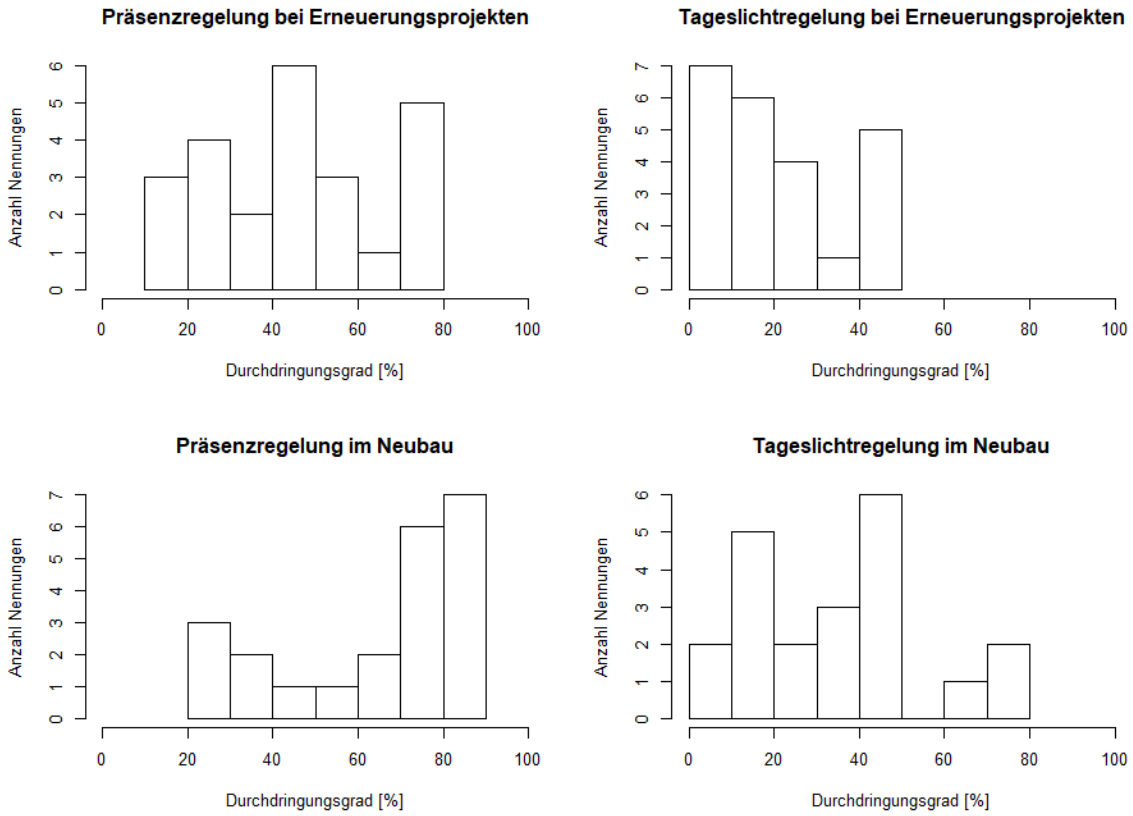


Abbildung 3.6: Verteilung der Einschätzung von Energieberatern hinsichtlich der Durchdringung von Präsenz- und Tageslichtregelung in Erneuerungs- und Neubauprojekten

Weisskopf Partner GmbH

4. Hemmnisse und Herausforderungen

4.1 Umfrage bei Energieberatern

Zu Hemmnissen beim Einsatz von Sensorik in der Beleuchtung wurde eine Befragung bei Energieberatern aus der Deutschschweiz durchgeführt. Es wurde eine Auswahl an Vorschlägen mit Möglichkeit zur Ergänzung vorgelegt, welche sich auf die Akteure Auftraggeber, Planer und Installateur beschränkten. Hemmnisse bei Vorschriften wurden in dieser Studie nicht aufgenommen, da diese nicht mit Instrumenten beeinflusst werden können.

Abbildung 4.1 zeigt die Resultate der Befragung, die durchschnittliche Zustimmungsrate der Energieberater je Hemmnis, differenziert nach Präsenz- und Tageslichtregelung (0% entspricht fehlender Zustimmung, 100% entspricht vollständiger Zustimmung).

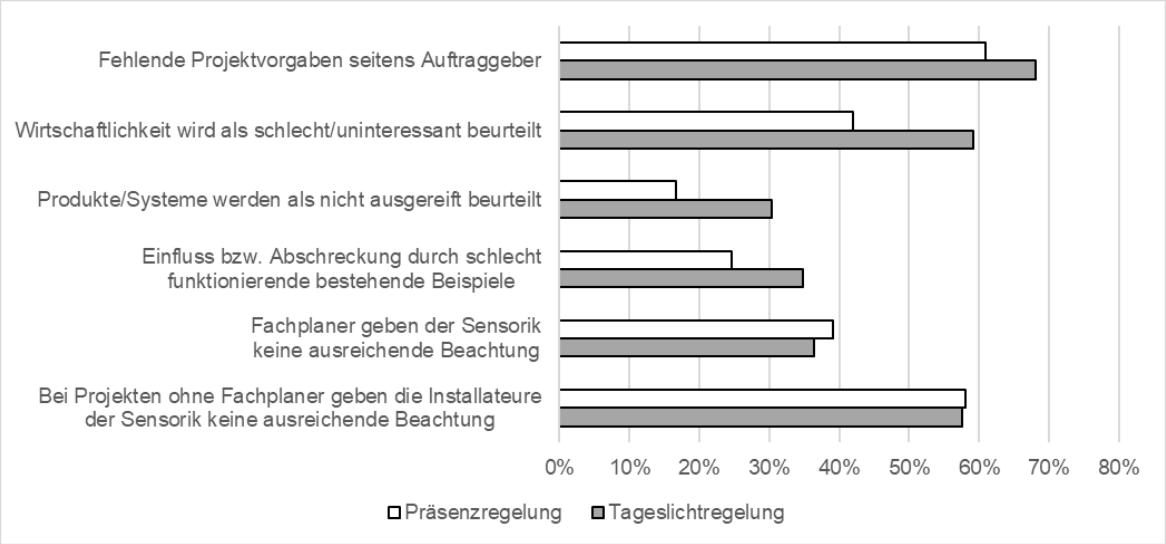


Abbildung 4.1: Durchschnittliche Zustimmungsrate von Energieberatern zu Hemmnissen beim Einsatz von Sensorik in der Beleuchtung

Die durchschnittlichen Zustimmungsraten zu den Hemmnissen können wie folgt zusammengefasst werden (siehe Tabelle 4.1). Die genaue Verteilung der Antworten ist im Anhang A.2 aufgeführt.

Hemmnis	Präsenzregelung	Tageslichtregelung
Fehlende Projektvorgaben seitens Auftraggeber	Trifft stark zu	Trifft stark zu
Wirtschaftlichkeit wird als schlecht/uninteressant beurteilt	Trifft wenig zu	Trifft stark zu
Produkte/Systeme werden als nicht ausgereift beurteilt	Trifft nicht bis wenig zu	Trifft wenig zu
Einfluss bzw. Abschreckung durch schlecht funktionierende bestehende Beispiele	Trifft nicht bis wenig zu	Trifft wenig zu
Fachplaner geben der Sensorik keine ausreichende Beachtung	Trifft wenig zu	Trifft wenig zu
Bei Projekten ohne Fachplaner geben die Installateure der Sensorik keine ausreichende Beachtung	Trifft stark zu	Trifft stark zu

Tabelle 4.1: Durchschnittliche Zustimmung von Energieberatern zu Hemmnissen beim Einsatz von Sensorik in der Beleuchtung

4.2 Diskussion der einzelnen Hemmnisse

Projektvorgaben seitens Auftraggeber

Fehlende Projektvorgaben seitens Auftraggeber wurde als Hemmnis sowohl bei Präsenz- und Tageslichtregelung gleich und am stärksten von allen gewichtet.

Projektvorgaben wirken sehr effektiv und können in schlanker Form gemacht werden. Ein gutes Beispiel sind etwa die Vorgaben der Stadt Zürich[2] für etwa Büros. Darin werden Richtlinien und Richtwerte für die geforderte Beleuchtungsstärke, die Zonierung sowie die Steuerung definiert.

Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Eine als schlecht beurteilte Wirtschaftlichkeit wird bei der Präsenzregelung deutlich weniger als Hemmnis wahrgenommen als bei der Tageslichtregelung.

Auftraggeber und teilweise auch Planer sind der Meinung, dass eine Sensorik aufgrund des geringen Stromverbrauchs von LED-Beleuchtungen gar nicht mehr nötig und dadurch auch nicht wirtschaftlich ist. Die Einsparungen sind aber auch bei LED-Anlagen in den Fällen, wo eine Sensorik von den Umständen her Sinn gibt, immer noch sehr gross. Bei Nachrüstungen können jedoch allfällig notwendige Umverdrahtungen zu unverhältnismässig hohen Kosten führen.

Vereinzelt wurde genannt, dass die häufig höheren Investitionskosten bei der Tageslichtregulierung ein Hindernis sind.

Ausgereiftheit von Produkten/Systemen

Die fehlende Ausgereiftheit von Produkten wurde sowohl bei Präsenz- als auch bei Tageslichtregelung am wenigsten gewichtet. Vereinzelt wurde von Energieberatern dennoch ein Ranking der Produkttauglichkeit als sinnvolles Instrument bezeichnet.

In einem Teilprojekt zur Revision der SIA Norm 380/4 wurden im Jahr 2012 Präsenzmelder verschiedener Hersteller einem Qualitätstest unterzogen und teilweise grössere Abweichungen zu den deklarierten Werten festgestellt [2].

Führende Hersteller haben im Jahr 2014 den Verein Sensnorm gegründet. Unter Sensnorm wird derzeit ein standardisiertes Verfahren zur Prüfung und Deklaration von Sensorikprodukten ausgearbeitet (www.sensnorm.com).

Schlecht funktionierende Beispiele

Von den Energieberatern wurde eine Anzahl schlecht funktionierender Beispiele erwähnt. Vorwiegende Gründe waren unvollständige oder fehlende Inbetriebnahme/Programmierung/Konfiguration, vereinzelt auch zu komplex geplante Anlagen.

Als Hemmnis wird die Wirkung schlechter Beispiele dennoch tief gewichtet.

Einbezug von Sensorik durch Fachplaner

Der Einbezug von Sensorik durch Fachplaner wird als durchschnittlich recht gut beurteilt.

Einbezug von Sensorik durch Installateure

Häufig werden bei Projekten keine Fachplaner hinzugezogen, insbesondere bei Erneuerungsprojekten. Damit kommt Installateuren bei Erneuerungsprojekten eine Schlüsselrolle

[2] https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/hbd/Deutsch/Hochbau/Weitere%20Dokumente/-Fachstellen/Energie-Gebaeudetechnik/Richtlinien_Standards_Formulare/Allgemein/Richtlinie-Standard-Raummodul-Buero.pdf

Weisskopf Partner GmbH

zu. Dass Installateure die Sensorik dabei zu wenig berücksichtigen, gehört zu den am stärksten gewichteten Hemmnissen für deren Einsatz. Die Sensorik erhöht die Komplexität einer Anlage, was Installateure abschrecken kann.

Weitere Hemmnisse

Im Zusammenhang mit Erneuerungsprojekte wird immer wieder die aktuelle Installationsarchitektur genannt. Die gebaute Verschaltung passt nicht zur sinnvollen Gruppen beim Sensorikeinsatz. Dieses Problem muss meistens durch kostspielige Umverdrahtung oder durch Kompromisse beim Sensorikeinsatz gelöst werden. Auch im Fallbeispiel der Lagerhalle (siehe Kapitel 1.5) waren Hauptgang und Seitengänge nicht in separaten Kreisen geschaltet. Es war damit nicht möglich den Hauptgang auf eine Grundbeleuchtung zu dimmen und die Seitengänge ganz abzuschalten. In diesem Fall entschied sich der Bauherr konsequent für eine Neuverdrahtung und eine Einführung von DALI. Ein zusätzlicher Vorteil dieser Variante war, dass bei anstehenden Umplatzierungen von Gestellen im Lager auch die Beleuchtung umprogrammiert und in veränderten Gruppen zusammengefasst werden kann.

Weisskopf Partner GmbH

5. Massnahmenvorschläge

5.1 Umfrage bei Energieberatern

Auch zu möglichen Massnahmen zur besseren Ausschöpfung des Sensorikpotenzials wurden Energieberater befragt. Es wurde eine Auswahl an Vorschlägen mit Möglichkeit zur Ergänzung vorgelegt, welche sich auf die Akteure Auftraggeber, Planer und Installateur beschränkten. Die finanzielle Förderung wurde nicht aufgenommen. Mit den wettbewerblichen Ausschreibungen ProKilowatt besteht bereits eine breit aufgestellte Förderung, welche bei Beleuchtungsmassnahmen implizit die Sensorik berücksichtigt bzw. einfordert.

Abbildung 5.1 zeigt die Resultate der Befragung, die durchschnittliche Zustimmungsrate der Energieberater je Massnahme, differenziert nach Präsenz- und Tageslichtregelung (0% entspricht der Einschätzung als "nutzlos", 100% entspricht der Einschätzung als "sehr nützlich").

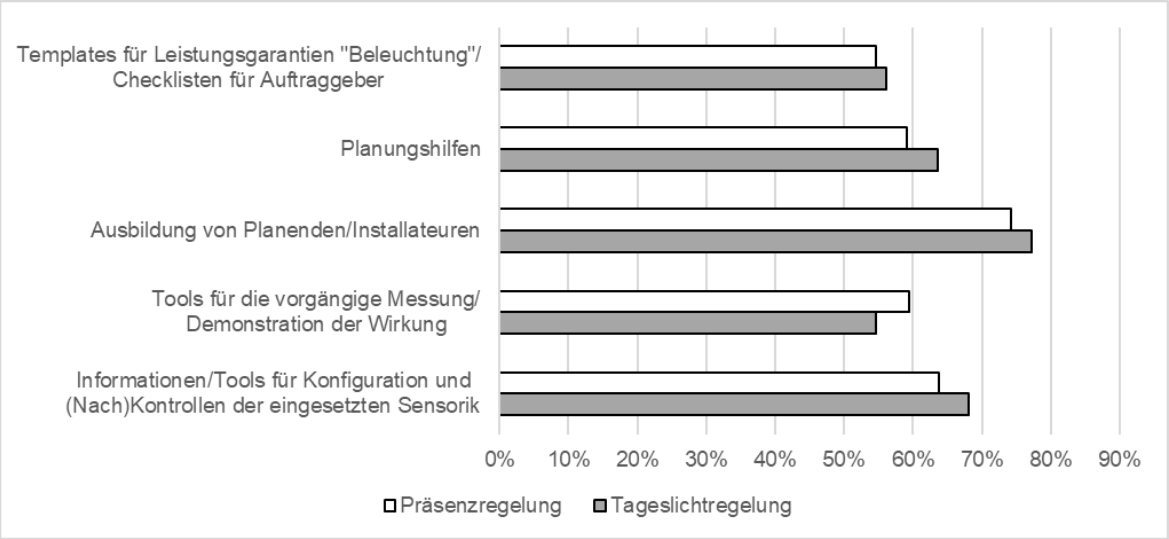


Abbildung 5.1: Durchschnittliche Zustimmungsrate von Energieberatern hinsichtlich Massnahmen zur besseren Ausschöpfung des Sensorikpotenzials

Die Beurteilung der Massnahmen liegt in einem deutlich engeren Bereich als noch die Hemmnisse und kommt immer auf die Einschätzung "ziemlich nützlich" zu liegen. Auch gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen Präsenz- und Tageslichtregelung. Allerdings ist die Einheitlichkeit der Zustimmung (die Verteilung der einzelnen Nennungen) unterschiedlich. Sie ist in Anhang A.3 aufgeführt.

5.2 Diskussion der einzelnen Massnahmenvorschläge

Leistungsgarantien und Checklisten für Auftraggeber

Mit den Leistungsgarantien-Formularen zu unterschiedlichen Themen wie Lüftung oder Heizung wurden bei EnergieSchweiz gut anwendbare und übersichtliche Dokumente für Auftraggeber geschaffen. Eine Leistungsgarantie im Bereich Beleuchtung inkl. Sensorik kann ein sinnvolles Instrument sein.

Planungshilfen

Planungshilfen in der Beleuchtung sollten den konsequenten Einsatz von Sensorik einbeziehen. Ob allenfalls Bedarf für spezifische Planungshilfen in bestimmter Form besteht, müsste bei der Zielgruppe der Fachplaner und der Installateure abgeklärt werden.

Es finden sich auch bei Herstellern teilweise gute Planungshilfen für den Einstieg, mit typischen Auslegungen für bestimmte Raumnutzungen und Entscheidungshilfen.

Ausbildung von Planenden/Installateuren

Die kantonalen Energievorschriften basieren heute noch auf der Norm SIA 380/4 und dürften in kommender Zeit auf die derzeitige Version SIA 387/4 aktualisiert werden (siehe Kapitel 5). In diesem Zusammenhang wird gezielter Wissenstransfer an unterschiedliche Zielgruppen wie Fachplaner, Architekten etc. vorgeschlagen [8]. Ein solches Weiterbildungsangebot sollte auch einen Fokus auf die Sensorik legen.

Die Energieberater-Befragung zu Hemmnissen zeigte, dass insbesondere bei der Zielgruppe der Installateure eine Notwendigkeit zu Wissenstransfer geortet wird (siehe Kapitel 4.2).

Tools für die vorgängige Messung/Demonstration der Wirkung

Wie etwa die Befragung der Energieberater zur Marktdurchdringung von Sensorik zeigt, ist deren Verbreitung in Erneuerungsprojekten kleiner als beim Neubau (siehe Kapitel 3.4). Für Erneuerungsprojekte können Tools in der Planungsphase sehr wirksam sein.

Im Fallbeispiel Beleuchtungserneuerung Lagerhalle (siehe Kapitel 1.5) hatte die vorgängige Messung der Frequentierung und genaue Bestimmung der Massnahmenwirkung entscheidenden Einfluss auf die Haltung der involvierten Akteure zum Einsatz von Präsenzmeldern. Auch bei der Tageslichtnutzung sind vorgängige Messungen mit denkbar. Allerdings scheinen keine Tools mit folgenden Eigenschaften auf dem Markt erhältlich zu sein:

- Einfache Bedienbarkeit
- Datenlogger
- Automatisierte Auswertung über eine einfach bedienbare Software bis hin zu Schnittstellen zu etablierter Planungssoftware wie z.B. Relux

Beim Fallbeispiel in Kapitel 1.5 wurde vom Energieberater selber ein PIR-Datenlogger gebaut und die Auswertung in Excel geschrieben. Bei Präsenzmeldern können vorgängig auch Kameraaufnahmen ausgewertet werden. Allerdings ist dies sehr zeitaufwändig und nicht so genau, wie das automatische Loggen.

Ein Tool wäre ein niederschwelliges und trotzdem wirksames Mittel: der Einsatz ist sehr einfach und günstig. Der Auftraggeber kommt bereit konkret in Kontakt mit der später eingesetzten Sensorik, die auch im Tool verbaut ist, und erlebt deren Wirkung anhand der gut verständlichen Messung.

Informationen/Tools für Konfiguration und Nachkontrollen

Fehlende oder unzureichende Justierung der installierten Sensorik ist ein häufig genanntes Problem. Die entsprechenden Akteure sollten gezielt informiert oder mit Tools versorgt werden. Dabei handelt es sich um Installateure und/oder technisches Personal. Wichtige Gründe für die Unterlassung dürften Zeitdruck und mangelnde Berücksichtigung sein. An die Zielgruppe zu gelangen, wird deshalb nicht einfach sein. Allenfalls kann der Einsatz moderner Medien dies vereinfachen (3D-Animationen, Schulungsvideos die auf konkrete Fälle gemünzt sind).

Sensorikprodukte mit ungenügender Bedienungsfreundlichkeit bei den Einstellungen erschweren das Problem (siehe z.B. Vergleich unterschiedlicher Präsenzmelder in [2]). Auch hier gibt es moderne Ansätze. So bieten gewisse Hersteller bereits Apps für bestimmte Produkte, mit denen per Smartphone vor Ort einfach und schnell die Einstellungen installierter Sensorik abgerufen und umprogrammiert werden können.

Weisskopf Partner GmbH

6. Öffentliche Beleuchtung

Die öffentliche Beleuchtung machte im Jahr 2016 rund 400 GWh aus [5]. Die Beleuchtung im öffentlichen Raum ist nicht Gegenstand dieser Studie. Durch das Aufkommen von LED und den Einsatz von Sensorik finden auch in diesem Bereich starke Veränderungen statt. Im Folgenden wird deshalb ein kurzer informativer Überblick zu Steuerung und Sensorik in der Strassenbeleuchtung geboten.

6.1 Strassenbeleuchtung

Die folgenden Angaben wurden aus der Publikation Faktor Nr. 44 "Strassen beleuchten" und aus der von SAFE (Swiss Agency for Energy Efficiency) betriebenen Plattform top-streetlight.ch abgeleitet.

Bei der Steuerung können grob folgende Konzepte unterschieden werden:

- Statische Dimmung: Die herkömmliche und einfachste Steuerung ohne Sensorik ist die zeitgesteuerte Dimmung bis hin zur Nachtabschaltung. Die Abdimmung rechtfertigt sich mit dem reduzierten Verkehrsfluss in der Nacht. Deutlich weiter in der bedarfsgerechten Steuerung gehen die folgenden beiden Konzepte. Sie konkurrieren nur bedingt, sondern haben vielmehr unterschiedliche Einsatzbereiche.
- Vorauseilendes Licht: Detektion von Verkehrsteilnehmern anhand Sensoren an den Kandelabern (PIR oder Radar) und Steuerung mehrerer vorausliegender Leuchten gleichzeitig. Nach einer bestimmten Nachlaufzeit wird die Beleuchtung wieder zurückgefahren. Dieses Konzept eignet sich grundsätzlich für dünn besiedelte Gebiete mit niedrigen Verkehrsfrequenzen. In dicht besiedelten Gebieten kann das dynamische Hoch- und Runterfahren der Leuchten für Anwohner störend wirken. Zum "vorauseilenden Licht" gibt es bereits etliche umgesetzte Projekte.
- Verkehrsbeobachtendes Licht: das aktuelle Verkehrsvolumen wird erfasst und die Dimmstufe der Beleuchtung an diesen angepasst. Bei schwachem Verkehrsfluss wird die Beleuchtung weniger stark hochgefahren als bei starkem (siehe Abbildung 6.1). Dieses Konzept eignet sich grundsätzlich für dicht besiedelte Gebiete mit stark variierenden Verkehrsströmen. Diese Variante ist auch im umgekehrten Fall sehr bedarfsgerecht. Sollte der Verkehrsfluss spätnachts sehr stark anwachsen, so fährt die Beleuchtung auf ein entsprechend hohes Niveau (Beispiel: Ende eines Konzerts). Der Verkehrsfluss selber wird durch Kameraauswertungen erfasst. Das verkehrsbeobachtende Licht wurde durch das prämierte Leuchtturm-Projekt der EKZ in Urdorf im Jahr 2015 erstmals umgesetzt.

Weisskopf Partner GmbH

Abbildung 6.1: Durch den Verkehrsfluss gesteuerte Beleuchtungsstärke ("verkehrsbeobachtendes Licht") in Urdorf. Gut sichtbar ist auch, dass der Bereich der Fussgängerstreifen von der Absenkung ausgenommen wird (Quelle: EKZ).

Die Einsparungen durch den Einsatz von Sensorik sind sehr bedeutsam. Beispiele sind:

- Vorauseilend: Bei einem Projekt einer Strasse in Wittenbach (SG) lagen die Einsparungen gegenüber einer reinen LED-Variante mit statischer Nachtabsenkung bei rund 80% (Quelle: topstreetlight.ch).
- Verkehrsbeobachtend: Im erwähnten Projekt in Urdorf resultierte gegenüber der Halbnachtbeleuchtung eine Einsparung von 30% (Quelle: Faktor Nr. 44).

6.2 Unterführungen

In einem vom BFE unterstützten Projekt wurden 2017 in einer Unterführung der Stadt Zürich autonome LED-Röhren eingesetzt, die Einsparung nachvollziehbar gemessen und eine Akzeptanzumfrage bei Passanten mit sehr gutem Resultat durchgeführt [1]. Die LED-Röhren sind eine Entwicklung der Firma LEDCity.

Die Röhren detektieren unabhängig voneinander ein Ereignis, dimmen innert 2 Sekunden von 20% auf 100% mit einer Nachlaufzeit von 15 Sekunden. Die Detektion geschieht mittels Radar, damit die Kunststoffabdeckungen der bisherigen Leuchten belassen werden konnten. Die bisherige Beleuchtung bestand aus alten Leuchtstoffröhren mit 53 Watt Leistung (T12 mit konventionellem Vorschaltgerät). Die Beleuchtung in der Unterführung ist 24 Stunden pro Tag in Betrieb.

Die Einsparungen durch den Einsatz von Sensorik sind auch hier bedeutsam:

- Die LED-Röhren wiesen ohne Regulation mit einer Leistung von 18.8 Watt gegenüber den Leuchtstoffröhren eine Einsparung von 64% auf.
- Die regulierten LED-Röhren wiesen über den gesamten Messzeitraum eine durchschnittliche Leistung von 5.6 Watt auf (inklusive Radar) und führten gegenüber der Variante LED unreguliert zu einer Einsparung von 71%. Der Eigenverbrauch des Radars wurde vom Hersteller mit um 1 Watt angegeben.

Weisskopf Partner GmbH

7. Literaturverzeichnis

[1] Deuss Patrik und Gärtner Florian (2018): Entwicklung einer energieeffizienten Beleuchtung für Unterführungen - Autonome LED-Röhren, Bundesamt für Energie BFE, 26. Februar 2018

[2] Gasser Stefan und Schrader Björn (2013). Präsenzmelder im Qualitätstest. Teilprojekt 6 zur Revision der SIA-Norm 380/4. Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein SIA, Bundesamt für Energie/EnergieSchweiz und Amt für Hochbauten der Stadt Zürich

[3] Jakob Martin, Catenazzi Giacomo, Melliger Marc, Forster Remo, Martius Gregor, Ménard Martin (2016): Potenzialabschätzung von Massnahmen im Bereich der Gebäudetechnik. Bundesamt für Energie BFE / Korrigenda Beleuchtung, Jakob Martin, 25.05.2018

[4] Jakob Martin, Catenazzi Giacomo, Forster Remo, Egli Thomas, Kaiser Thorsten, Looser Raphael, Melliger Marc, Nägeli Claudio, Reiter Ulrich, Soini Martin, Sunarjo Benjamin (2016): Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA-Effizienzpfad Energie, Schlussbericht, Bundesamt für Energie BFE

[5] Kemmler Andreas, Koziel Sylvie, Wüthrich Philipp, Notter Benedikt, Keller Mario, Jakob Martin und Catenazzi Giacomo (2017): Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2016 nach Verwendungszwecken. Bundesamt für Energie BFE

[6] Scheidegger Andreas und Aerni Silvan (2014): Richtlinie Zielvereinbarungen mit dem Bund zur Steigerung der Energieeffizienz, 30. September 2014, Bundesamt für Energie BFE

[7] Schöberl Helmut, Hofer Richard, Mudri Robert (2014): Hochenergieeffiziente Präsenzmelder und Endverbrauchstechnologien. Nachhaltig Wirtschaften 33/2014, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien

[8] Schrader Björn (2018): Vollzugsuntersuchung Beleuchtung 2017, Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL

Anhang

A.1 Verteilung Massnahmenwirkung je Raumnutzung

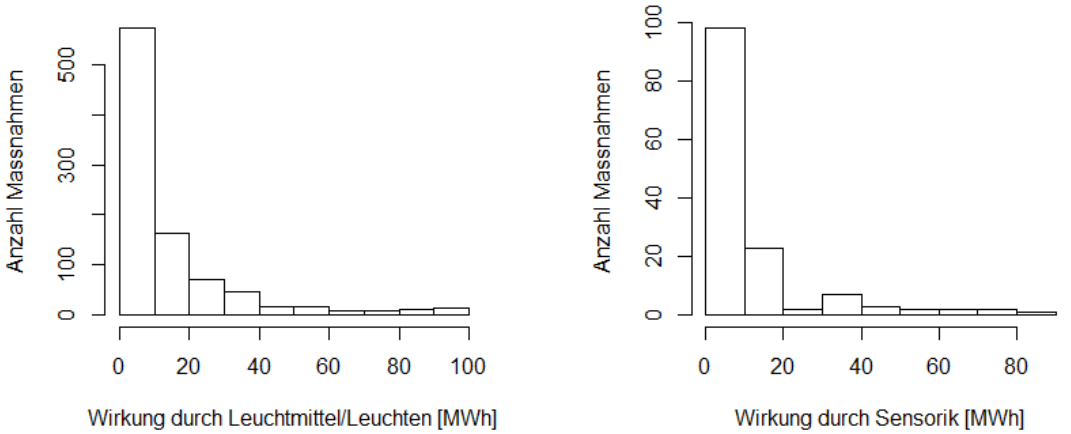
Die folgenden Histogramme zeigen je Nutzungszoen die Verteilung der wirtschaftlichen und damit für die Umsetzung geplante Massnahmenwirkungen in Zielvereinbarungen der EnAW, differenziert nach Wirkung aufgrund Massnahmen bei Leuchtmitteln/Leuchten und aufgrund Massnahmen bei der Sensorik.

Es werden nur diejenigen Raumnutzungen aufgeführt, bei welchen genügend Massnahmen für belastbare Aussagen zum Verhältnis von Leuchtmittel/Leuchten und Sensorik vorhanden sind.

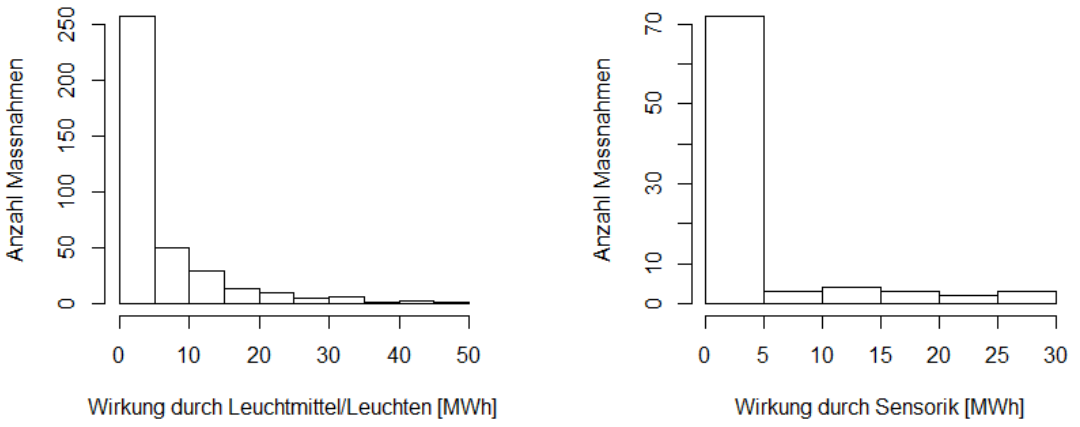
Bei Massnahmen kann es sich auch um Sammelmassnahmen handeln (Beispiel: ein Gebäude hat mehrere baugleiche WCs, in denen dieselben Massnahmen vorgesehen sind. Bei der Massnahmeerfassung in der Applikation wird dabei nur eine Massnahme mit sämtlichen Wirkungen erfasst). Dadurch kann es zu tendenziell zu grossen Massnahmen kommen.

Die Reihenfolge der Nutzungszone entspricht der SIA-Norm.

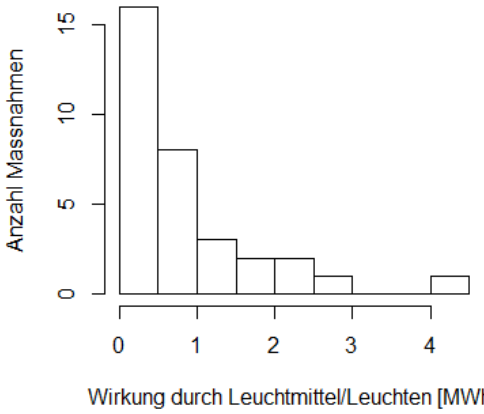
Nutzungszone unbekannt

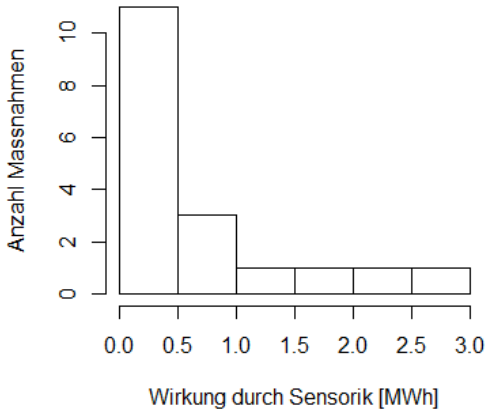


Einzel-/Gruppenbüro

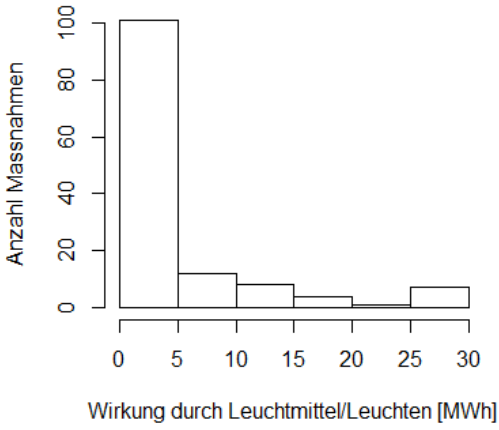


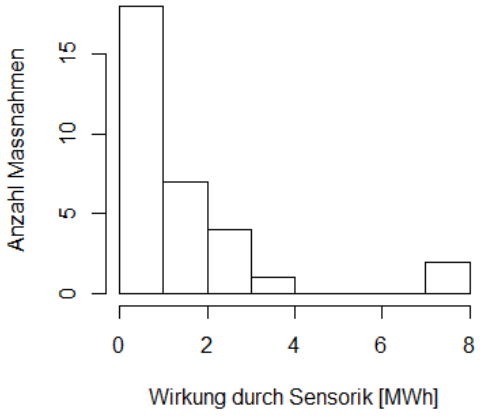
Lehrerzimmer / Aufenthalt



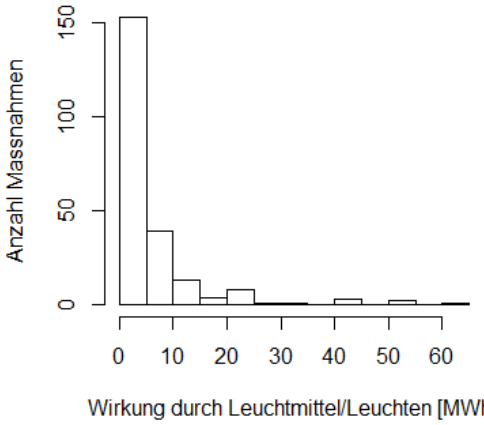


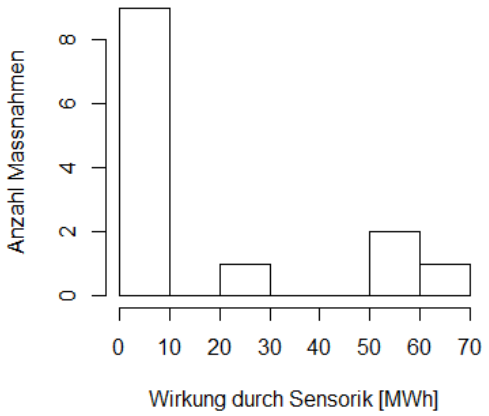
Spezialräume





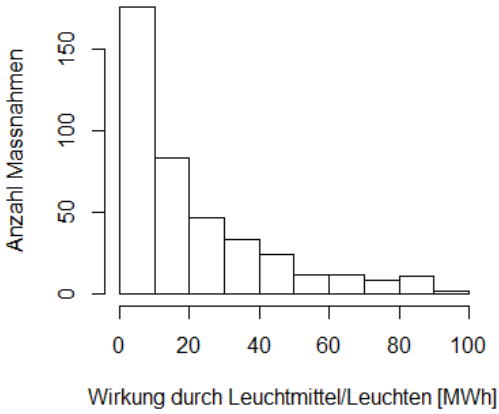
Restaurant

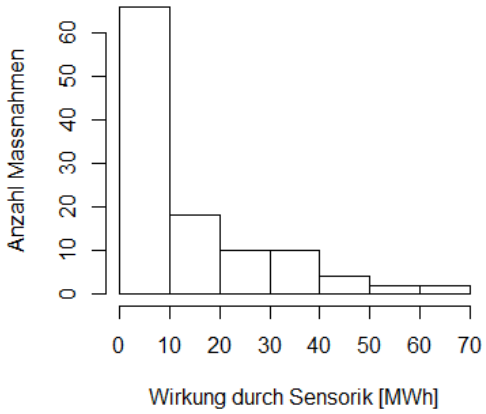




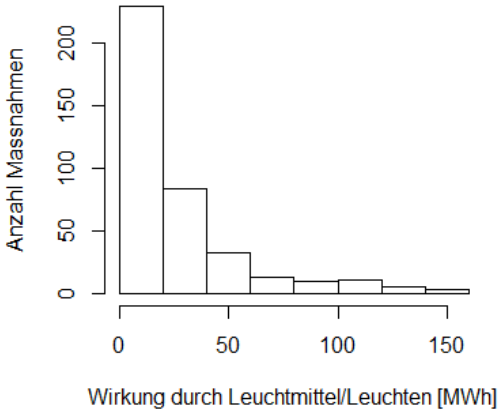
Weisskopf Partner GmbH

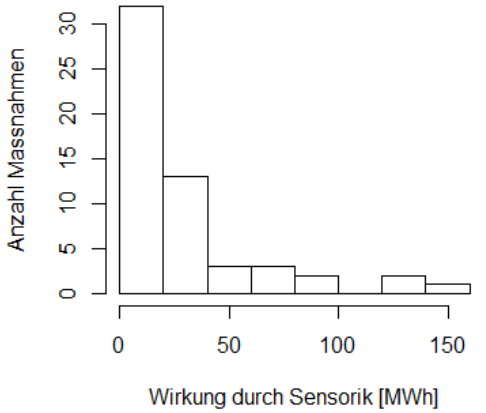
Produktion (grobe Arbeit)



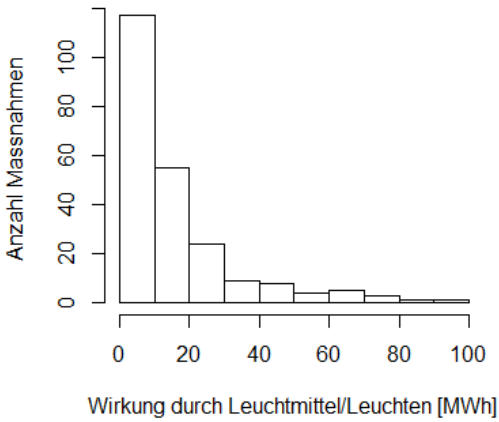


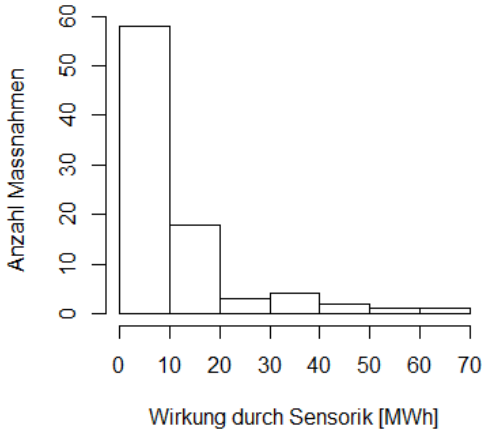
Produktion (feine Arbeit)





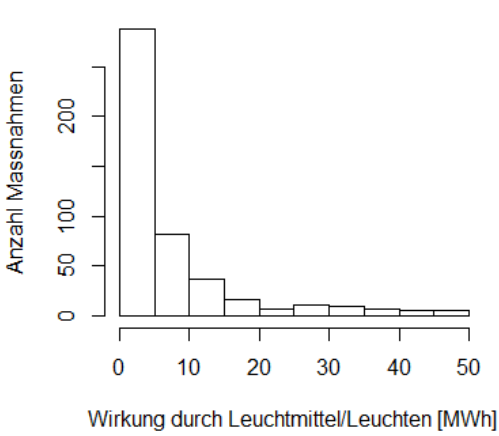
Lagerhallen

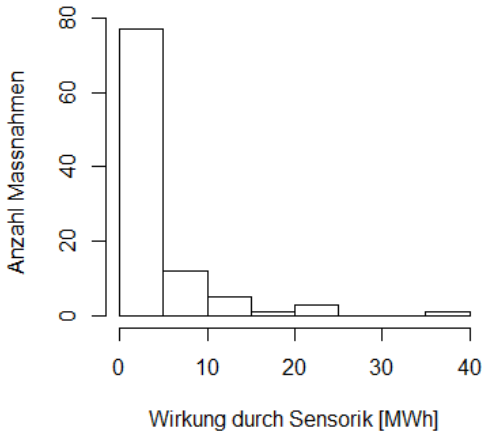




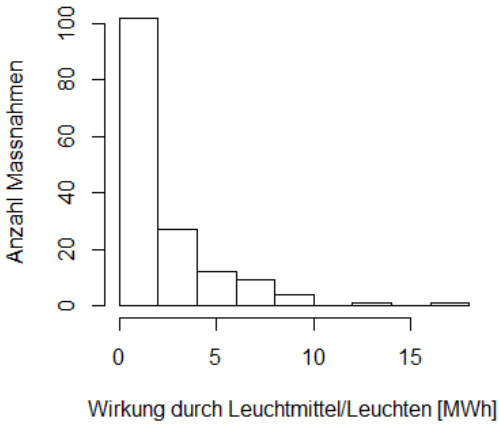
Weisskopf Partner GmbH

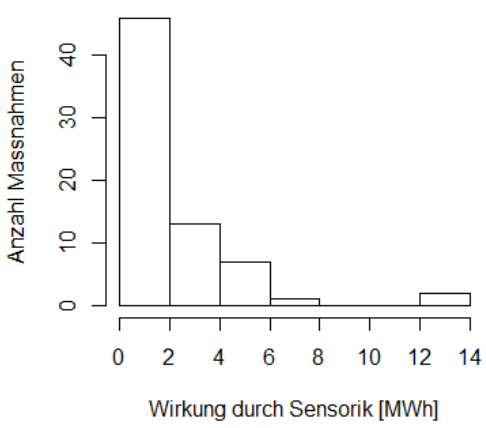
Verkehrsfläche



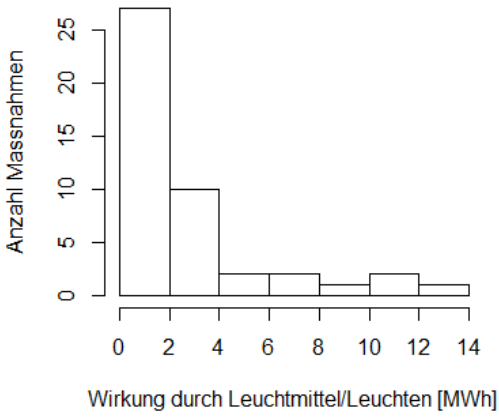


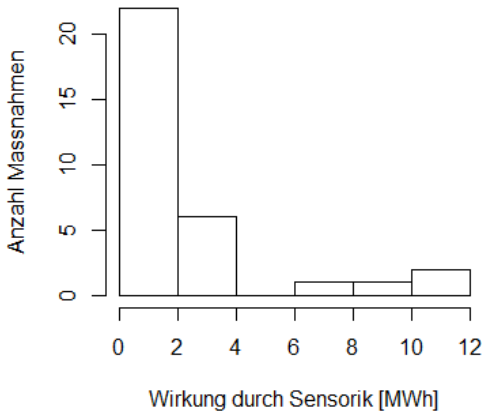
Nebenräume





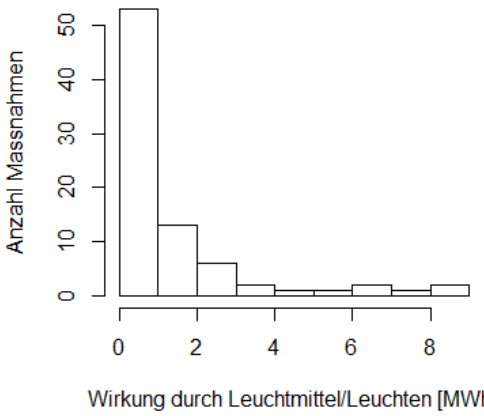
Dusche / Garderoben

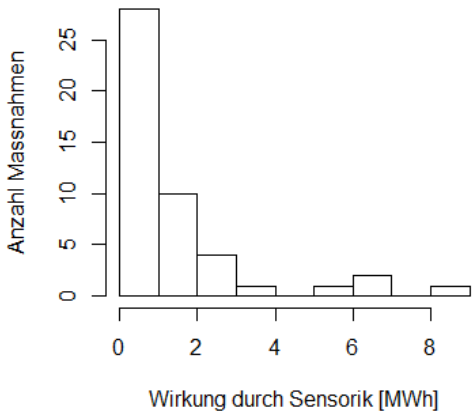




Weisskopf Partner GmbH

WC



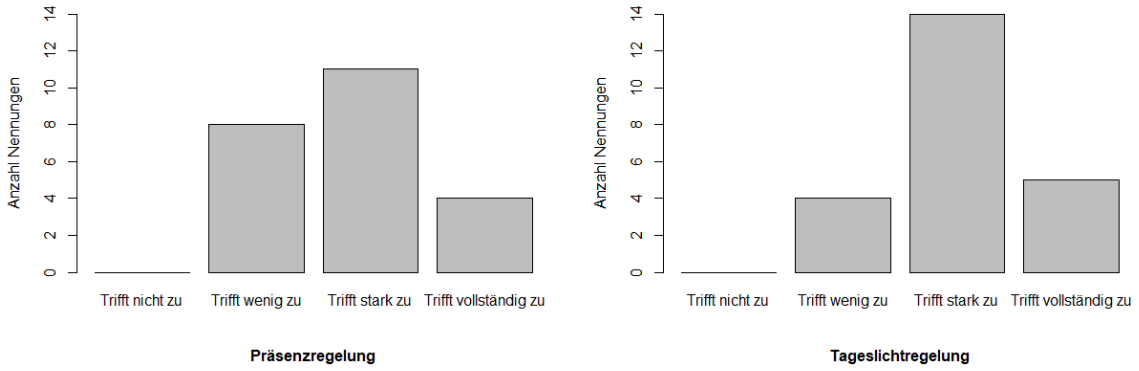


Weisskopf Partner GmbH

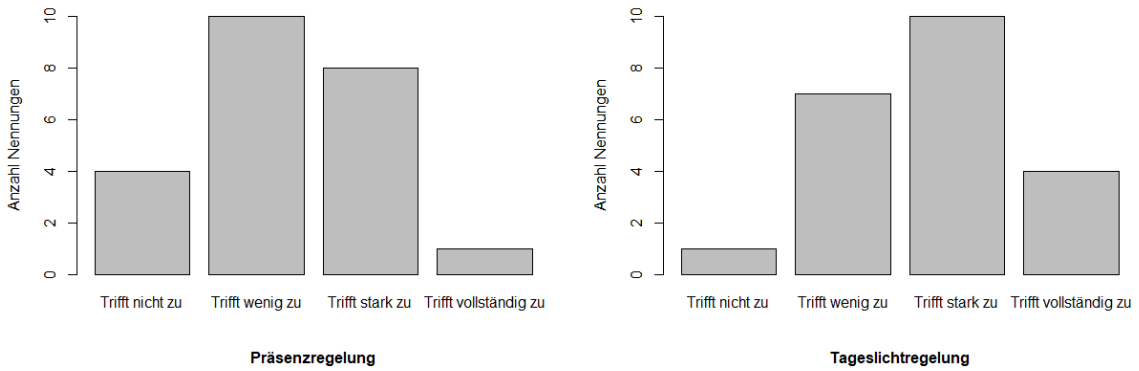
A.2 Verteilung Befragung zu Hemmnissen

Verteilung der Antworten von Energieberatern zu Hemmnissen beim Einsatz von Sensorik in der Beleuchtung.

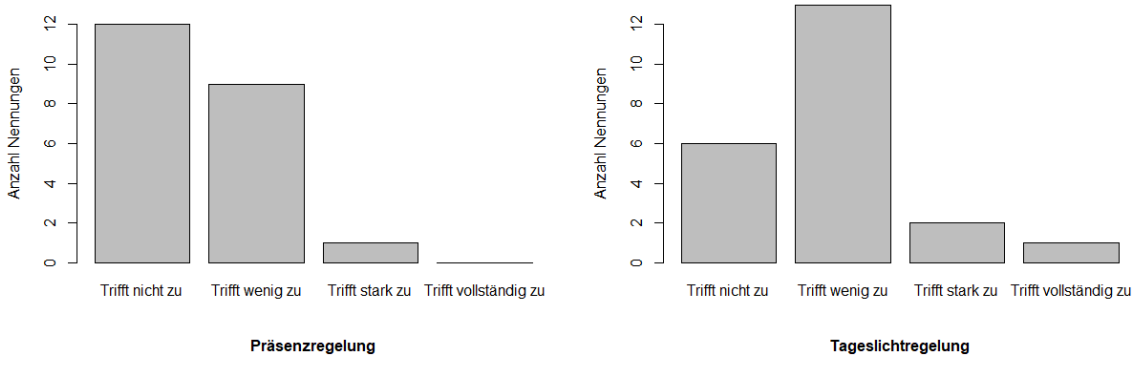
Fehlende Projektvorgaben seitens Auftraggeber



Wirtschaftlichkeit wird als schlecht/uninteressant beurteilt

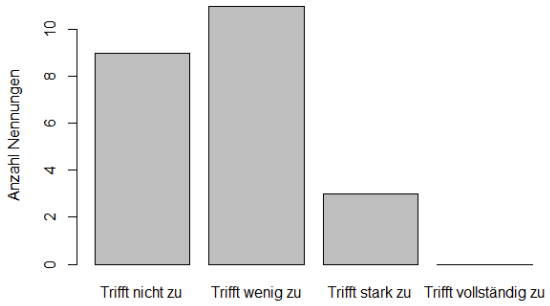


Produkte/Systeme werden als nicht ausgereift beurteilt

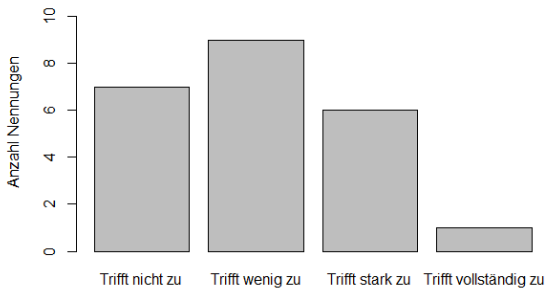


Weisskopf Partner GmbH

Einfluss bzw. Abschreckung durch schlecht funktionierende bestehende Beispiele

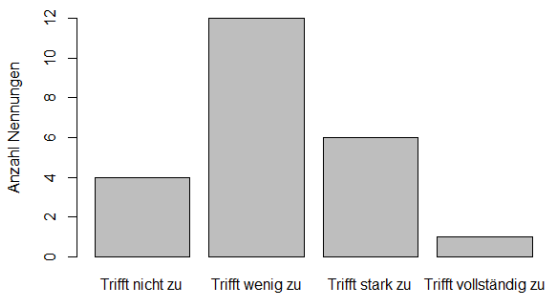


Präsenzregelung

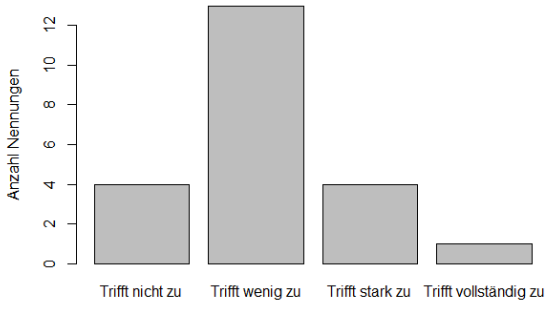


Tageslichtregelung

Fachplaner geben der Sensorik keine ausreichende Beachtung

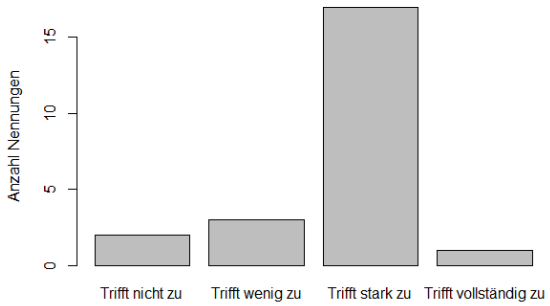


Präsenzregelung

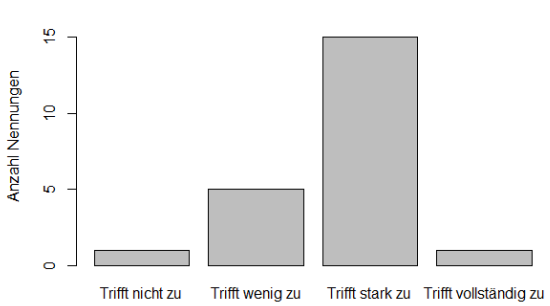


Tageslichtregelung

Bei Projekten ohne Fachplaner geben die Installateure der Sensorik keine ausreichende Beachtung



Präsenzregelung



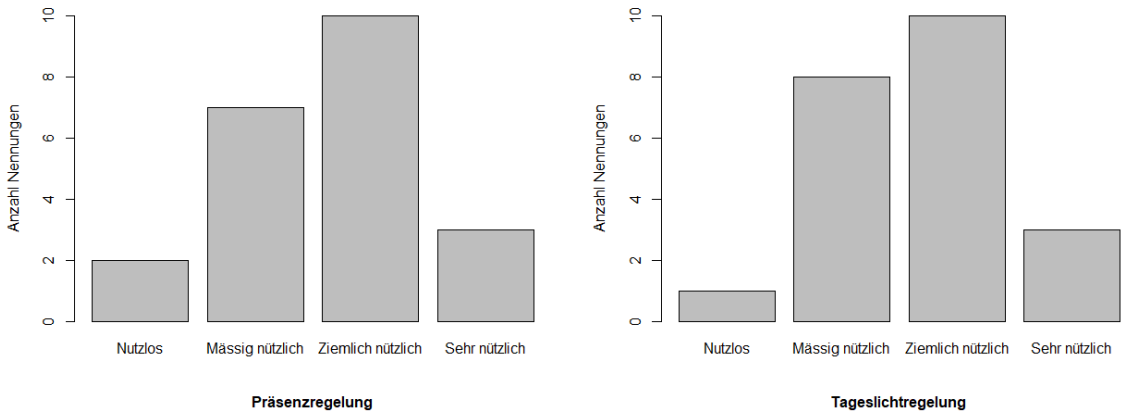
Tageslichtregelung

Weisskopf Partner GmbH

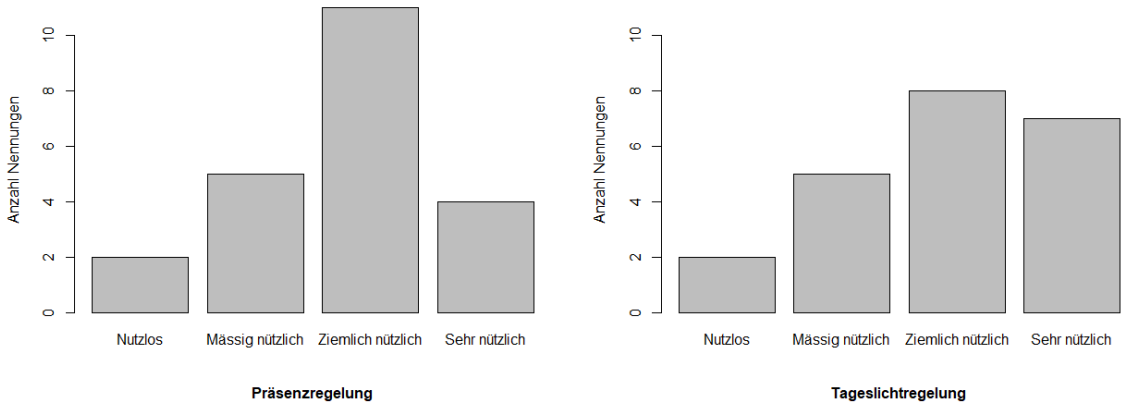
A.3 Verteilung Befragung zu Instrumenten/Massnahmen

Verteilung der Antworten von Energieberatern zu Instrumenten/Massnahmen zur Unterstützung von Sensorik in der Beleuchtung.

Templates für Leistungsgarantien "Beleuchtung"/ Checklisten für Auftraggeber

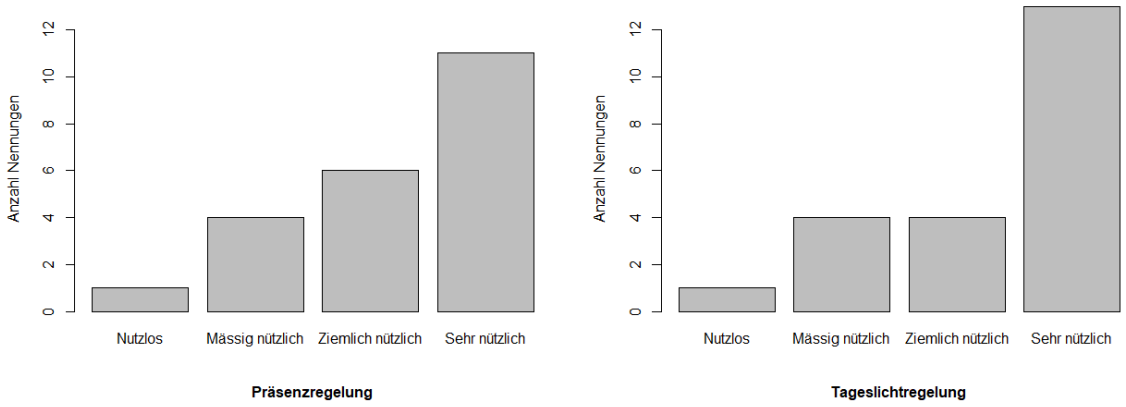


Planungshilfen

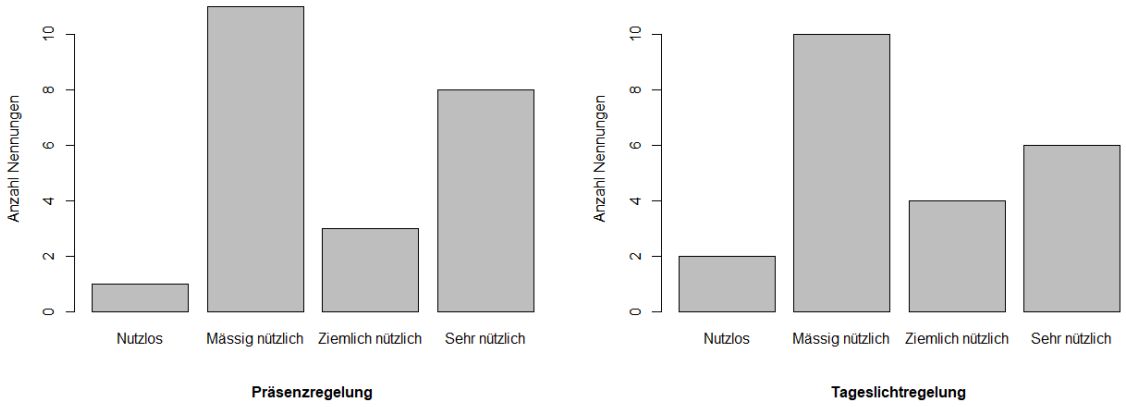


Weisskopf Partner GmbH

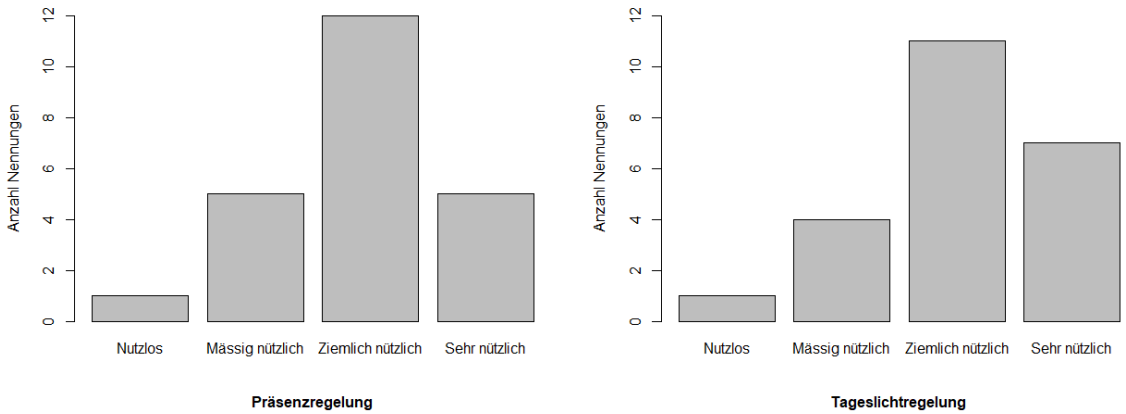
Ausbildung von Planenden/Installateuren



Tools für die vorgängige Messung/Demonstration der Wirkung



Informationen/Tools für Konfiguration und (Nach)Kontrollen der eingesetzten Sensorik



Weisskopf Partner GmbH