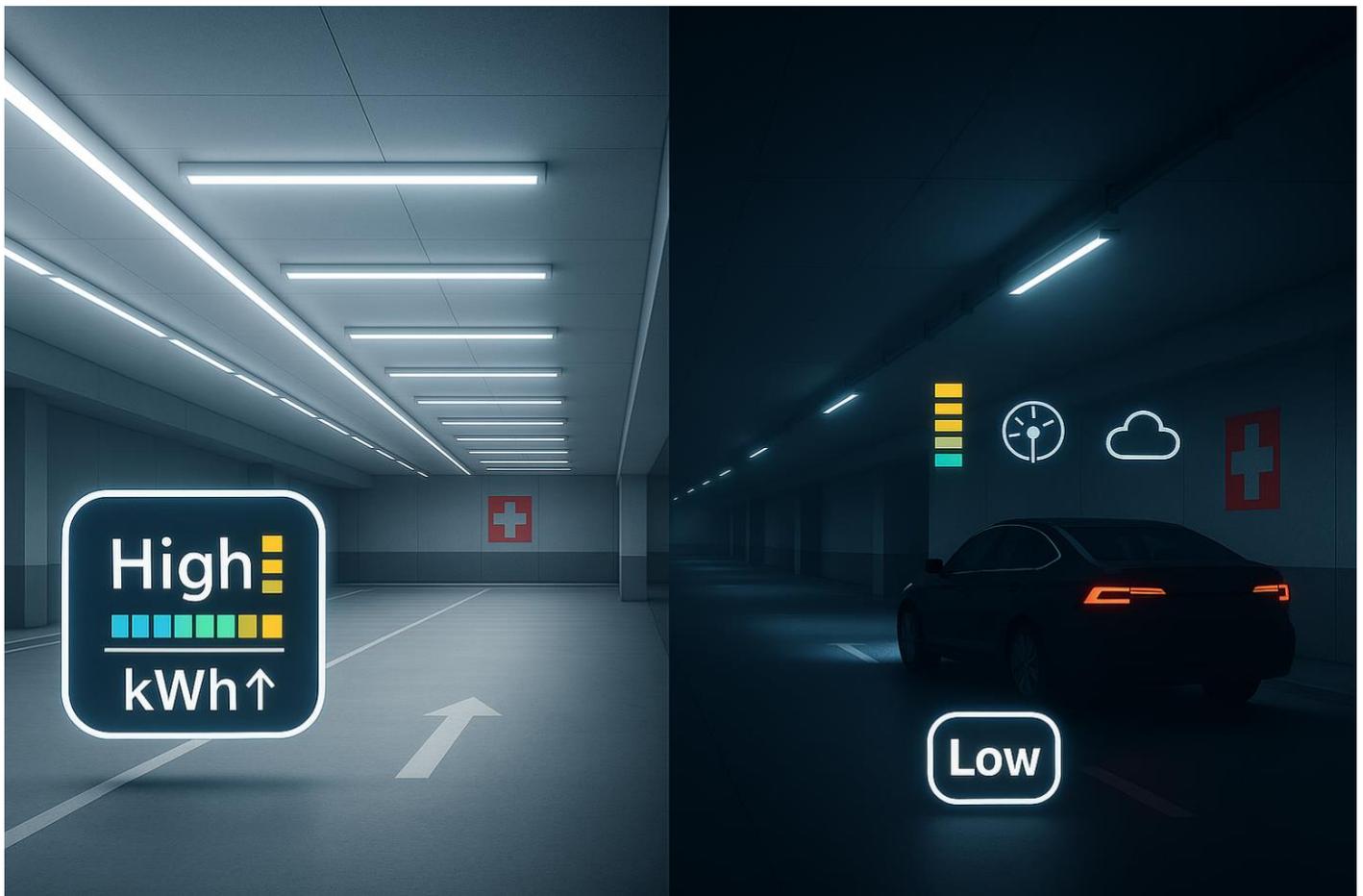


Ab wann rentieren Smart-LED-Röhren in der Schweiz?

Wirtschaftlichkeitsanalyse in Park- & Treppenhäusern
anhand realer Schweizer Strompreise.



Autoren:

Aklin Damian, Deomic Arnel, Nguyen Jason, Schiess Philipp

Abgabedatum: 24.07.2025

Gruppe: 2

Modul: Blockwoche – Smart Living

Betreuung: Rechsteiner Martina

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1. Motivation und Relevanz des Themas	1
1.2. Herausforderungen in Schweizer Park- und Treppenhäusern	1
1.3. Smart-LED-Röhren Technologie und Anwendungsfall	1
1.4. Einsatz generativer KI.....	2
2. Fragestellung und Hypothesen.....	2
2.1. Zentrale Forschungsfrage und Leitfragen	2
2.2. Zielsetzung	2
2.3. Hypothesen	2
3. Theoretischer Hintergrund.....	3
3.1. Vergleich herkömmlicher LED-Röhren und Smart-LED-Röhre.....	3
3.2. Energieverbrauch, Sensorik und IoT-Funktionalitäten.....	3
3.3. Marktpreise und technologische Standards	4
4. Methodik und Vorgehen.....	5
4.1. Anforderungsanalyse und Konzeption	5
4.2. Technologieauswahl und Systemarchitektur	5
4.3. Datenerhebung und Datenverarbeitung.....	5
4.4. Analyseverfahren und Rechenmodelle.....	6
5. Ergebnisse und Fallanalyse	7
5.1. Beispielhafte Berechnungen mit realen Strompreisdaten [3].....	7
5.1.1. Kosten und Stromverbrauch herkömmlicher LED-Röhre	7
5.1.2. Kosten und Stromverbrauch einer Smart-LED-Röhre	8
5.2. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in verschiedenen Szenarien	9
6. Diskussion.....	10
6.1. Interpretation der Resultate	10
6.2. Einschränkungen	10
6.3. Rebound-Effekte und soziale Aspekte.....	10
7. Fazit & Ausblick.....	11
7.1. Zusammenfassung der Erkenntnisse.....	11
7.2. Empfehlungen für Gebäudebetreiber	11
7.3. Potenzial zur Weiterentwicklung der Arbeit & Webapplikation	11
8. Quellenverzeichnis	12
8.1. Literaturverzeichnis.....	12
8.2. Abbildungsverzeichnis.....	13
8.3. Tabellenverzeichnis	14
8.4. Projekt Dashboard.....	14

9. Anhang	14
9.1. <i>Berechnungsformeln und Parameter.....</i>	<i>14</i>
9.2. <i>LED-Daten:</i>	<i>16</i>
10. Innovation Booster Ideen	17
10.1. <i>Idee 1: Predictive Maintenance Plattform für Smart Building Infrastructure.....</i>	<i>17</i>
10.2. <i>Idee 2: Carbon Footprint Tracker für intelligente Beleuchtung.....</i>	<i>17</i>
10.3. <i>Idee 3: Adaptive Lighting-as-a-Service (Laas) Plattform</i>	<i>18</i>
10.4. <i>Weiterführende Ideen / Ausbaustufen</i>	<i>18</i>
10.4.1. <i>Ausbaustufe 1: Multi-Sensor Integration</i>	<i>18</i>
10.4.2. <i>Ausbaustufe 2: KI-gestützte Optimierung.....</i>	<i>18</i>
10.4.3. <i>Ausbaustufe 3: Blockchain-basierte Energiemarktplätze</i>	<i>19</i>

1. Einleitung

In der Schweiz beansprucht die Beleuchtung rund 11 % des gesamten Stromverbrauchs, was im Jahr 2021 etwa 6.5 TWh entsprach [1]. Wie Abbildung 1 veranschaulicht, entfällt rund 46 % dieses Verbrauchs auf den Dienstleistungssektor, zu dem unter anderem auch Parkhäuser und Treppenhäuser zählen. Aufgrund dieses hohen Anteils wurde der Dienstleistungssektor im Rahmen dieser Arbeit näher untersucht. Der Fokus liegt dabei auf wenig frequentierten, aber dauerhaft beleuchteten Bereichen, sogenannten Dauerlichtzonen, in denen LED-Röhren jährlich zwischen 4'000 und 8'000 Betriebsstunden aufweisen [2]. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zu untersuchen, ab welchem Zeitpunkt sich die Mehrkosten für Smart-LED-Röhren durch Energieeinsparungen amortisieren und ab wann diese gegenüber herkömmlichen LED-Lösungen wirtschaftlich vorteilhaft

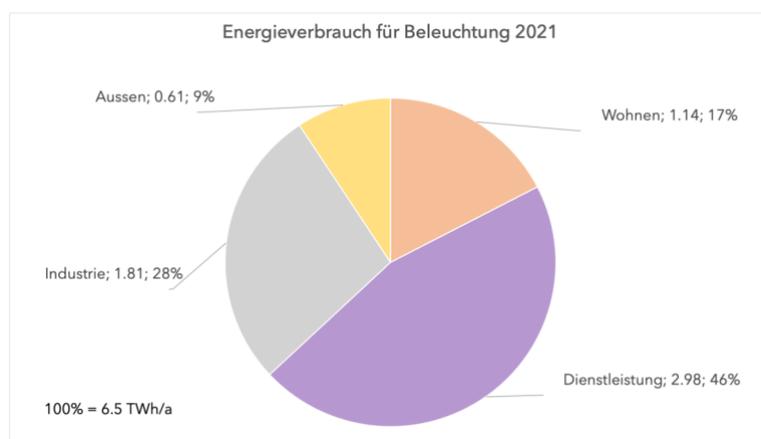


Abbildung 1: Elektrizitätsverbrauch Beleuchtung nach den 4 Hauptsektoren [1]

sind.

1.1. Motivation und Relevanz des Themas

Steigende Strompreise in der Schweiz [3] sowie der zunehmende Bedarf an energieeffizienter Gebäudetechnik [1] fördern das Interesse an intelligenten Beleuchtungslösungen. Besonders in Bereichen mit hoher Betriebsdauer, wie etwa Park- und Treppenhäusern, bieten Smart-LED-Röhren erhebliche Potenziale zur Energieeinsparung [2]. Ziel dieser Arbeit ist es daher, zu ermitteln, nach welcher Betriebszeit sich die höheren Anschaffungskosten für Smart-LED-Röhren im Vergleich zu konventionellen LED-Röhren durch geringere Energiekosten amortisieren. Diese Fragestellung ist insbesondere für Betreiber relevant, deren Anlagen dauerhaft hohe Betriebsstunden aufweisen und somit hohe Energiekosten verursachen. Der Einsatz intelligenter Sensorik ermöglicht neben der Reduktion von Betriebskosten zudem eine Optimierung der Wartungsintervalle.

1.2. Herausforderungen in Schweizer Park- und Treppenhäusern

In vielen Schweizer Park- und Treppenhäusern ist die Beleuchtung dauerhaft in Betrieb, unabhängig von der tatsächlichen Nutzung. Dies führt zu unnötig hohen Stromkosten, erhöhtem Verschleiss der Leuchtmittel und erschwert die Wartung, da Ausfälle häufig erst durch Zufall entdeckt werden. Die dadurch entstehenden Ineffizienzen sind ein signifikanter Treiber des hohen Stromverbrauchs im Dienstleistungssektor.

1.3. Smart-LED-Röhren Technologie und Anwendungsfall

Smart-LED-Röhren, wie beispielsweise die Nomus Tube [4] von LEDCity [5], verwenden Präsenz- und Tageslicht Sensorik, Bluetooth-Mesh-Vernetzung [6] sowie Cloud-Monitoring für eine bedarfsorientierte Lichtsteuerung. Diese Technologien ermöglichen neben einer automatischen

Störungsmeldung auch eine vorausschauende Wartung und führen zu erheblichen Energieeinsparungen. Laut Feldstudien beträgt das Einsparpotenzial im Vergleich zu konventionellen, dauerhaft eingeschalteten LED-Röhren zwischen 50 und 90 % [7]. Dies trägt nicht nur zur Reduktion der Betriebskosten bei, sondern erhöht zusätzlich die Lebensdauer der eingesetzten Leuchtmittel.

1.4. Einsatz generativer KI

Schliesslich sei erwähnt, dass generative KI-Systeme in verschiedenen Phasen dieser Arbeit eingesetzt wurden. Konkret wurde ChatGPT zur Optimierung und Präzisierung sprachlicher Formulierungen, zur Unterstützung der strukturellen Überarbeitung und zur Verbesserung des inhaltlichen Verständnisses verwendet.

2. Fragestellung und Hypothesen

Die Leuchten in Park- und Treppenhäusern brennen bis zu 8'000 Stunden pro Jahr und treiben so den schweizerischen Strombedarf in die Höhe. Viele Treppen- und Parkhäuser verwenden heutzutage noch herkömmliche LED-Röhren, da die Anschaffungskosten signifikant tiefer sind als für eine smarte Lösung. Die zentrale Frage lautet daher, wann sensorbasierte Smart-LED-Röhren ihre Mehrinvestition durch geringere Stromkosten ausgleichen.

2.1. Zentrale Forschungsfrage und Leitfragen

Die Untersuchung konzentriert sich auf eine Kernfrage: Wie viele Jahre muss eine Smart-LED-Röhre im Durchschnitt unter der Berücksichtigung der historischen Strompreisdaten des Schweizer Bundes leuchten, damit die Smart-LED-Röhre rentabler wird als eine herkömmlich LED-Röhre?

Zur Beantwortung dieser Hauptfrage dienen die folgenden Leitfragen:

- Wie hoch sind die Anschaffungs- und Installationskosten für eine Smart-LED-Röhre im Vergleich zu einer herkömmlichen LED-Röhre in der Schweiz?
- Wie lange muss die Smart-LED-Röhre im Betrieb sein, damit sich die Investition amortisiert?
- Wie stark reduziert sich der Stromverbrauch (in kWh/Jahr) durch Sensoren und bedarfsgerechtes Dimmen im Vergleich zum Dauerbetrieb?
- Wie stark beeinflusst der historische Strompreis die Rentabilität bzw. die Amortisationszeit?

2.2. Zielsetzung

Ziel dieser Untersuchung ist es, anhand einer eigens entwickelten Webapplikation und historischer Strompreisdaten des Schweizer Bundes [3] herkömmliche LED-Röhren mit Smart-LED-Röhren zu vergleichen. Dabei wird insbesondere der Amortisationszeitpunkt von Smart-LED-Röhren in Schweizer Park- und Treppenhäusern ermittelt, wobei angenommen wird, dass Installations- und Wartungskosten für beide Röhrenarten identisch sind. Das Tool quantifiziert die potenziellen Stromeinsparungen und verdeutlicht Betreibern, ab welchem Jahr die Investition in Smart-LED-Röhren einen positiven wirtschaftlichen Mehrwert generiert.

2.3. Hypothesen

Die erste Hypothese geht davon aus, dass die Kombination aus Präsenz- und Tageslicht Sensorik den Stromverbrauch einer LED-Röhre in Park- und Treppenhäusern um 40 – 60 % gegenüber dem Dauerbetrieb senkt (vgl. [7]). Darauf aufbauend lautet die zweite Hypothese, dass sich Smart-LED-Röhren bei Stromtarifen von mindestens 0.28 CHF/kWh im Kanton Zürich und den üblichen Laufzeiten in Park- und Treppenhäusern innerhalb von vier bis sechs Jahren amortisieren (vgl. [3]).

3. Theoretischer Hintergrund

Dieses Kapitel fasst die technischen Unterschiede zwischen herkömmlichen und Smart-LED-Röhren zusammen, erläutert das daraus resultierende Energieeinsparpotenzial und stellt die für die Wirtschaftlichkeitsrechnung relevanten Preisunterschiede dar. Wartungs- oder CO₂-Effekte bleiben bewusst ausser Betracht, da sich die Arbeit allein auf die Amortisation über Schweizer Strompreise und Anschaffungskosten fokussiert.

3.1. Vergleich herkömmlicher LED-Röhren und Smart-LED-Röhre

Herkömmliche LED-Röhren liefern konstantes Licht ohne Regelmöglichkeiten. Smart-LED-Röhren, wie z. B. die Nomus Tube von LEDCity [8], hingegen integrieren Präsenz- und Tageslichtsensorik sowie Bluetooth-Mesh-Kommunikation [6] und können jede Lampe individuell dimmen oder abschalten [4]. Dieser Funktionsunterschied bildet die Grundlage für die folgende Wirtschaftlichkeitsanalyse.

3.2. Energieverbrauch, Sensorik und IoT-Funktionalitäten

Für den Vergleich von Energieverbrauch und Funktionsumfang wird eine Smart-LED-Röhre mit einer herkömmlichen Standard-T8-LED-Röhre betrachtet. Die herkömmliche T8-LED-Röhre [9] nimmt im Betrieb etwa 20 W auf und leuchtet in Park- oder Treppenhäusern meist durchgehend, ohne weitere Funktionalitäten zu bieten. Dagegen besitzt die Smart-LED-Röhre zusätzlich Präsenz- und Tageslichtsensoren, die Energieeinsparungen von rund 50 – 90 % [7] ermöglichen. Dies wird in der Abbildung 2 für einen Zeithorizont von einer Stunde in einer Fussgängerunterführung visualisiert, bei der eine Neon-Röhre, eine herkömmliche LED-Röhre und eine Smart-LED-Röhre (mit Dimm-Funktion) verglichen wurden.

Die elektrische Leistung der Smart-LED-Röhre bleibt zwar ähnlich, doch der Jahresverbrauch sinkt proportional [7]. Ausserdem werden bei den Smart-LED-Röhren Kommunikationsprotokolle wie Bluetooth-Mesh [6] übertragen, um lediglich Schalt- und Dimm-Befehle zu steuern.

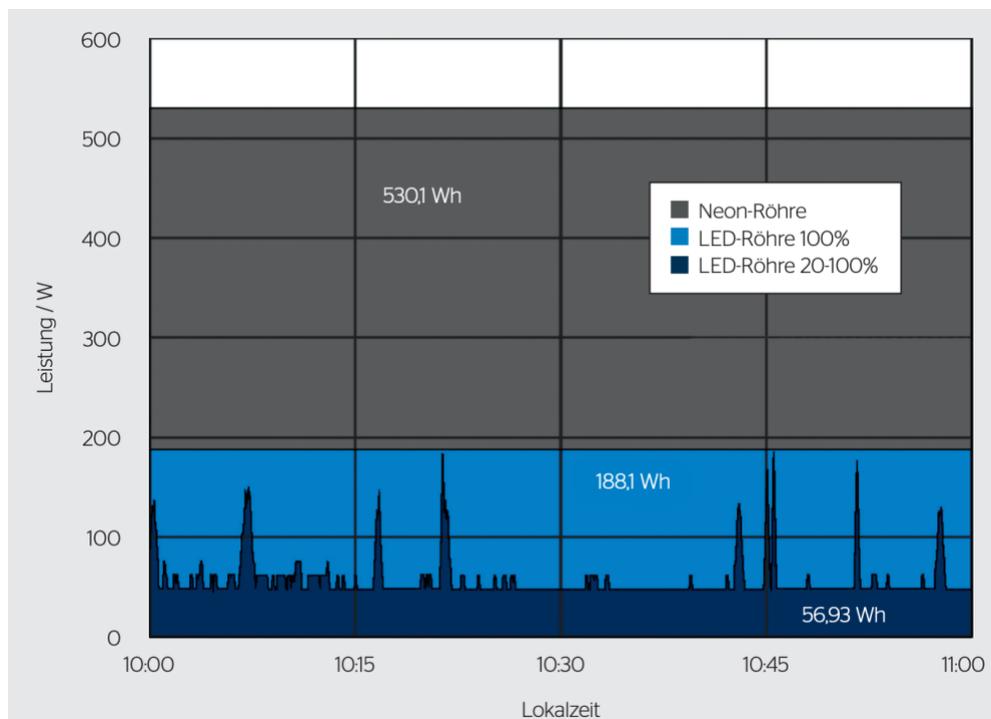


Abbildung 2: Vergleich Messwerte von drei Beleuchtungsröhren [2]

3.3. Marktpreise und technologische Standards

Für die Kostenrechnung wird ein Stückpreis von ca. 7 CHF [10] [11] für eine herkömmliche T8-LED-Röhre wie z. B. der von Philips CorePro [9] und ab 60 CHF für eine Smart-LED-Röhre mit Sensorik und Funk angesetzt [12]. Damit kostet die Smart-Variante etwa das Fünf- bis Zehnfache der konventionellen Lösung. Da die Installationskosten als identisch angenommen werden, fliesst ausschliesslich dieser Preisaufschlag in die Amortisationsberechnung ein, während die Stromersparungen den Mehrpreis perspektivisch ausgleichen sollen.

Modellname	Typ	Leistung effektiv (W)	Preis (CHF)	Verbrauch im Vergleich zu Basis LED (%)	Quelle
Philips CorePro	Herkömmlich	20 W	7.50	100 % (Basis)	[9,20]
SMART+ WiFi Tube	Smart	7.2 W	24.50	ca. 40 %	[21,22]
MasterConnect LEDtube	Smart	11.2 W	87	ca. 45 %	[23,24]
SubstiTUBE T8 LED	Smart	1.9 W	49	ca. 10–19 %	[25,26]

Table 1: Technische Daten und Preise ausgewählter LED-Röhren im Vergleich

4. Methodik und Vorgehen

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde eine webbasierte Analyseplattform entwickelt, die historische Strompreisdaten mit technischen LED-Spezifikationen verknüpft. Das BW-SMART Energy Analysis Dashboard [13], ersichtlich in Abbildung 3, ermöglicht interaktive Amortisationsberechnungen unter Berücksichtigung realer Schweizer Strompreise und verschiedener Effizienzscenarien. Die Methodik gliedert sich in vier Bereiche: Konzeption der Anwendung, technische Umsetzung, Datenerhebung sowie die Entwicklung von Rechenmodellen für die Wirtschaftlichkeitsanalyse.

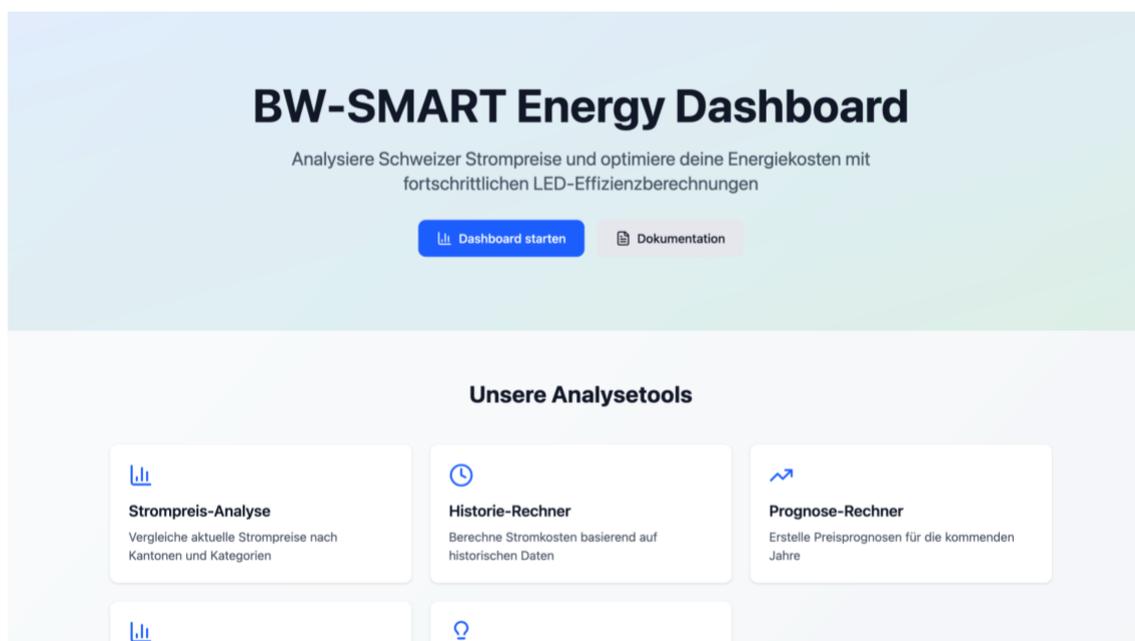


Abbildung 3: BW-SMART Energy Dashboard [13]

4.1. Anforderungsanalyse und Konzeption

Die Entwicklung des BW-SMART Energy Analysis Dashboards [Git-Link unter 8.4] erfolgte in mehreren Schritten. Zunächst wurden die Anforderungen an ein Tool zur Analyse der Wirtschaftlichkeit von LED-Investitionen definiert. Im Fokus standen die effiziente Erfassung und Auswertung historischer Strompreise sowie geeignete Methoden zur Amortisationsanalyse. Die Web-Anwendung ermöglicht eine interaktive Analyse historischer Daten, Berechnungen mit realen und prognostizierten Werten sowie Szenarienvergleiche auf Kantonsebene.

4.2. Technologieauswahl und Systemarchitektur

Die technische Umsetzung erfolgte mit Python/Flask [14] im Backend und Next.js/React [15] im Frontend. Als Datenbank kam SQLite [16] zum Einsatz, während Docker [17] die Containerisierung für das «Deployment» ermöglichte.

4.3. Datenerhebung und Datenverarbeitung

Die historischen Strompreisdaten wurden über die API der Eidgenössischen Elektrizitätskommission (EiCom) [3] automatisiert bezogen und in einer SQLite-Datenbank gespeichert. Die Preisangaben werden direkt von der EiCom API in der Standardeinheit CHF/kWh übernommen. Zusätzlich wurden LED-Produktinformationen [Datenquellen im Anhang 9.2] manuell recherchiert, darunter technische Spezifikationen (Leistung, Effizienz, Lebensdauer), Preisdaten und Herstellerinformationen. Die CO₂-Faktoren sind nicht Teil der LED-Datenbank, sondern werden in den Berechnungen als Konstanten verwendet [18].

4.4. Analyseverfahren und Rechenmodelle

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit wurden mehrere Berechnungsansätze implementiert und in der Abbildung 4 verwendet:

- **Historische Kostenanalyse:** Berechnung der jährlichen Stromkosten basierend auf dem effektiven Energieverbrauch unter Berücksichtigung der Effizienz der LED-Röhren. Die kumulierten Gesamtkosten ergeben sich aus den Anschaffungskosten plus der auflaufenden jährlichen Stromkosten.
- **Amortisationsberechnung:** Der «Break-Even-Point» wird durch lineare Interpolation zwischen den Kostenpunkten aufeinanderfolgender Jahre ermittelt. Dies ermöglicht eine präzise Bestimmung des Zeitpunkts, ab dem sich die Investition in effizientere LED-Modelle wirtschaftlich rechnet.
- **Strompreisprognose:** Für die Zukunftsprojektion wurde das Holt-Winters [19] Exponential Smoothing Verfahren mit Wachstumsgrenzen implementiert (maximal 50 % im ersten Jahr, danach 10 % jährlich). Zusätzlich werden Szenarien mit einer Abweichung von ±20 % berechnet.
- **Total Cost of Ownership (TCO):** Die Gesamtkostenbetrachtung umfasst Anschaffungskosten und Stromkosten über die gesamte Lebensdauer, ohne externe Faktoren.
- **CO₂-Bilanzierung:** Die Umweltauswirkungen werden basierend auf dem Schweizer Strommix (0,1 kg CO₂/kWh) und geschätzten Herstellungsemissionen (3,0 kg CO₂ pro LED-Röhre [20]) berechnet.

Sämtliche detaillierten Berechnungsformeln und Parameter sind in Anhang 9.1 dokumentiert

LED-Übersicht

Berechne die Gesamtkosten einer Lampe über ihre komplette Lebensdauer von 8.3 Jahren bei 6,000 Betriebsstunden pro Jahr.

Filter-Einstellungen

Kanton: Zürich | Kategorie: C3 (Mittelbetrieb) | Lampe: SMART+ LEB Tube - 24.5 CHF | Einbaujahr: 2017 (2015 - 2030)

Ausgewählte Lampe

SMART+ LEB Tube
 Preis: 24.5 CHF
 Leistung: 18 W
 Effizienz: 40% (10.8 W)
 Ersparnis: 9.2W (ggü. Standard)

Lebensdauer

8.3 Jahre
 Einbau: 2017
 Ersatz: 2025
 50,000 Betriebsstunden

Gesamtkosten

132.01 CHF
 Anschaffung: 24.5 CHF
 Strom: 107.51 CHF
 Über 8.3 Jahre

Energieverbrauch

900 kWh
 Jährlich: 108 kWh
 Täglich: 0.3 kWh
 Über die Lebensdauer

Einsparungen

+74.58 CHF
 Energie: 100 kWh
 Vs. Standard LED
Rentabel

Amortisation

1.5 Jahre
 In 2019
 Über die Lebensdauer

Abbildung 4: LED-Übersicht von dem Dashboard [13]

5. Ergebnisse und Fallanalyse

Die folgenden Ergebnisse vergleichen herkömmliche und Smart-LED-Röhren hinsichtlich Stromverbrauchs und Gesamtkosten. Ziel ist die Bewertung ihrer langfristigen Wirtschaftlichkeit.

5.1. Beispielhafte Berechnungen mit realen Strompreisdaten [3]

Die Berechnungen gliedern sich in zwei Abschnitte: Der erste analysiert den Stromverbrauch und die Kosten einer herkömmlichen LED-Röhre, der zweite widmet sich der smarten Variante.

Für die modellhafte Berechnung werden die Anschaffungskosten sowie der jährliche Stromverbrauch unter der Annahme eines typischen Dauerbetriebs herangezogen. Die jährliche Betriebszeit beträgt bei beiden Röhrentypen rund 6'000 Stunden.

5.1.1. Kosten und Stromverbrauch herkömmlicher LED-Röhre

Bei der herkömmlichen LED-Röhre wurde eine durchschnittliche Leistung von 20 W und ein Einkaufspreis von 7.50 CHF [21] berücksichtigt. Diese LED-Röhre ist ein Standard-Modell von Digitec und dient dem Vergleich mit den Smart-LED-Röhren. Im Ausgangsjahr werden die Anschaffungskosten berechnet. Alle Jahre danach werden wie folgt berechnet:

$6'000\text{h/Jahr} \times 20\text{ W} \times \text{Stromkosten in dem entsprechenden Jahr}$

Kostenvergleich über die Lebensdauer

Kumulative Kosten (Anschaffung + Strom) von 2024 bis 2032

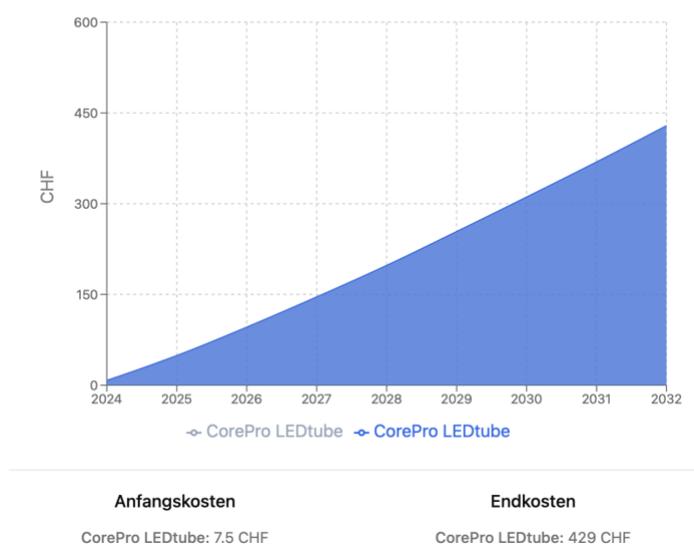


Abbildung 5: Kosten herkömmliche LED über Lebensdauer [13]

Bei einer durchschnittlichen Betriebsdauer von 6'000 Stunden pro Jahr und einem Strompreis von 0.228 CHF/kWh betragen die jährlichen Stromkosten rund 27.50 CHF.

In der Abbildung 5, ist ersichtlich, dass die Kosten einer herkömmlichen LED-Röhre auf ihre Lebensdauer von ca. 8.3 Jahren rund 429 CHF kosten.

Die Gesamtkosten von rund 429 CHF ergeben sich aus der Summe der Anschaffungskosten und der über 8.3 Jahre kumulierten jährlichen Stromkosten, wobei jeweils die historischen Strompreise des entsprechenden Jahres berücksichtigt wurden (siehe detaillierte Kalkulation im Anhang 9.1).

5.1.2. Kosten und Stromverbrauch einer Smart-LED-Röhre

Für die drei im Modell eingesetzten Smart-LED-Röhren werden vergleichbare Modelle zur herkömmlichen LED-Röhre ausgewählt. Dafür eignen sich folgende drei Typen:

Die SMART+ WiFi Tube, mit Anschaffungskosten von 24.50 CHF [22] und eine Leistung von 18 W [23]. Sie verbraucht nur ca. 40 % des Stroms im Vergleich zur herkömmlichen LED-Röhre, was einer effektiven Leistung von 7.2 W entspricht [Datenquellen im Anhang 9.2].

Die MasterConnect LEDtube hat hohe Anschaffungskosten von 87 CHF [24] und eine Leistung von 25 W [25]. Im Vergleich zur herkömmlichen LED-Röhre benötigt sie lediglich 45 % des Stromverbrauchs [Datenquellen im Anhang 9.2]. Daher wird in unserem Dashboard für diese Lampe mit einer Leistung von 11.2 W gerechnet.

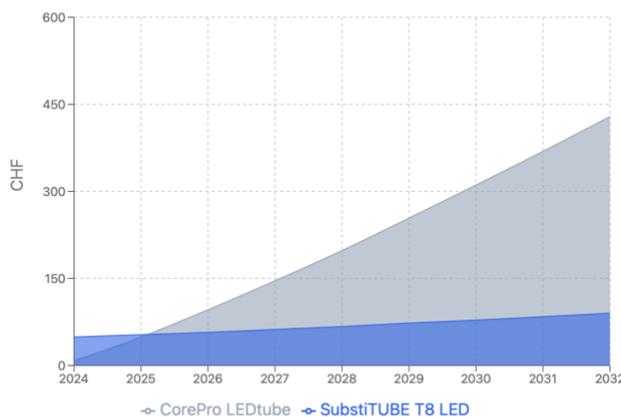
Die SubstiTUBE T8 LED ist mit 49 CHF [26] eine Smart-LED-Röhre im mittleren Preissegment. Sie hat eine Leistung von 19.3 W [27] und ist bis zu 90 % sparsamer als die in unserem Modell verwendete herkömmliche LED-Röhre. 90 % sparsamer bei keinen Vorbeigängen und 81 % bei einer mittleren Rate für vorbeigehende Personen von 12 Stück [7]. Für diese Lampe wird im Dashboard mit einer Leistung von 1.9 W gerechnet. Sie ist damit die am wenigsten verbrauchende LED-Röhre und hat sehr niedrige Jährliche Kosten.

Bei diesen Werten zeigt sich langfristig ein deutlich geringerer Energieverbrauch der smarten Lösung. Trotz der höheren Anfangsinvestition ergibt sich über mehrere Jahre hinweg ein potenzieller Kostenvorteil durch die niedrigeren Betriebskosten.

Wie Abbildung 6 zeigt, verbraucht die Smart-LED-Röhre im Vergleich zur herkömmlichen LED-Röhre signifikant weniger Strom. Zwar sind die Anschaffungskosten mit 87 CHF sehr hoch, jedoch rentiert sich die Smart-LED-Röhre bereits nach etwas mehr als einem Jahr.

Kostenvergleich über die Lebensdauer

Kumulative Kosten (Anschaffung + Strom) von 2024 bis 2032



Anfangskosten	Endkosten
SubstiTUBE T8 LED: 49 CHF	SubstiTUBE T8 LED: 90 CHF
CorePro LEDtube: 7.5 CHF	CorePro LEDtube: 429 CHF

Abbildung 6: Kosten herkömmliche LED- vs. smarte LED-Röhre [13]

5.2. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in verschiedenen Szenarien

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der untersuchten LED-Röhren wurde ein Vergleich der kumulativen Gesamtkosten über einen Zeitraum von 2025 bis 2040 durchgeführt. Die Betrachtung berücksichtigt sowohl den Anschaffungspreis als auch die jährlichen Stromkosten bei einer Betriebsdauer von 6'000 Stunden pro Jahr. Die Auswertung erfolgt auf Basis prognostizierter Strompreise im Kanton Zürich und wurde für drei Smart-LED-Röhren (SubstiTUBE T8 LED, MasterConnect LEDtube und SMART+ WiFi Tube) sowie eine herkömmliche Standard-LED-Röhre, gemäss Tabelle 1, vorgenommen.

Im mittleren Szenario zeigt sich, dass die SubstiTUBE T8 LED langfristig die geringsten Gesamtkosten verursacht. Aufgrund ihres besonders niedrigen Energieverbrauchs, der durch die integrierte Sensorik ermöglicht wird, erreicht sie bereits früh den Break-Even-Punkt und bleibt über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg die wirtschaftlich attraktivste Option.

Die SMART+ WiFi Tube positioniert sich im Mittelfeld. Sie weist einen etwas höheren Anschaffungspreis auf als die SubstiTUBE, kompensiert dies jedoch durch niedrige Betriebskosten. Ihr Break-Even liegt leicht hinter dem der SubstiTUBE, dennoch bietet sie aus wirtschaftlicher Sicht eine solide Alternative, wenn zusätzliche Funktionen wie drahtlose Steuerung erwünscht sind.

Die MasterConnect LEDtube verursacht insgesamt höhere Kosten als die beiden zuvor genannten Modelle. Obwohl sie als smarte Lösung gewisse Mehrwerte wie Vernetzbarkeit bietet, kann sie diese in rein wirtschaftlicher Hinsicht nicht vollumfänglich rechtfertigen. Im Vergleich zur Standard-LED schneidet sie jedoch noch deutlich besser ab.

Die herkömmliche Standard-LED-Röhre erweist sich im Langzeitvergleich als die teuerste Lösung. Trotz des geringen Anschaffungspreises führt ihr höherer Energieverbrauch über die Jahre zu einer deutlichen Kostenakkumulation. Einen Break-Even-Point gegenüber den smarten Varianten erreicht sie im betrachteten Zeitraum nicht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Smart-LED-Röhren, insbesondere die SubstiTUBE T8 LED, ökonomisch klar überlegen sind, wenn der Betrachtungszeitraum mehrere Jahre umfasst, wie in Abbildung 7 dargestellt. Der Einsatz smarter Lichtsysteme kann somit nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Vorteile bieten, selbst unter konservativen (mittleren) Preisprognosen.

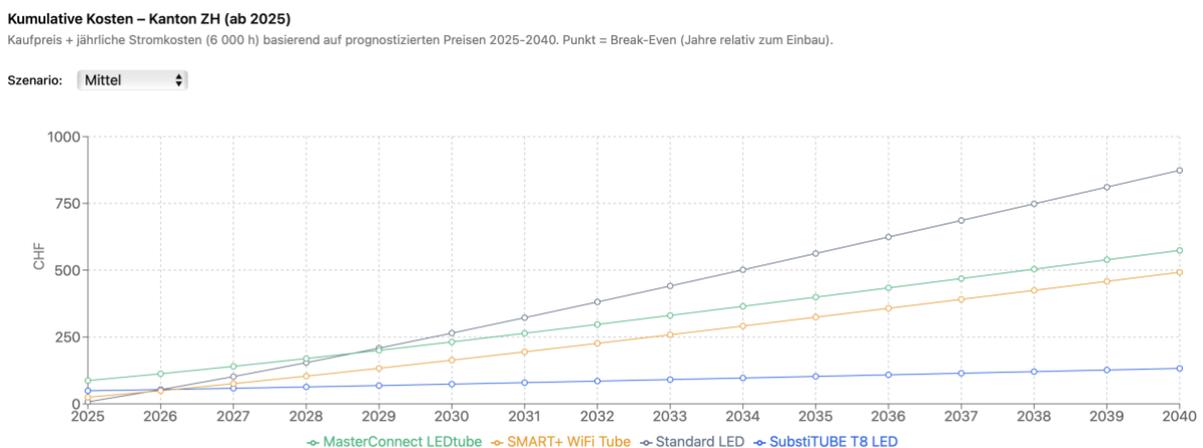


Abbildung 7: Diagramm herkömmliche LED vs. Smart-LEDs [13]

6. Diskussion

In diesem Kapitel werden die Resultate der Modellberechnungen im Bezug, der eingangs formulierten Leitfragen und Hypothesen interpretiert, deren Aussagekraft eingeordnet sowie die wesentlichen Limitationen und sozialen Einflussfaktoren reflektiert. Ziel ist es, die wirtschaftliche Aussagekraft der Untersuchung realitätsnah zu validieren und potenzielle Auswirkungen auf den praktischen Einsatz smarter LED-Röhren in der Schweiz aufzuzeigen.

6.1. Interpretation der Resultate

Die zentrale Forschungsfrage, **ab wann sich eine Smart-LED-Röhre unter Berücksichtigung realer Strompreise wirtschaftlich rentiert**, konnte klar beantwortet werden: Unter den aktuell geltenden Strompreisen (Ø 0.28 CHF/kWh, Kanton Zürich) amortisieren sich hochwertige Smart-LED-Röhren wie die SubstiTUBE T8 LED bereits nach **weniger als vier Jahren**. Diese Resultate stützen die **erste Hypothese**, wonach sensorbasierte LED-Systeme den Stromverbrauch in Dauerlichtzonen um 40-60 % reduzieren. Insbesondere bei Röhren mit ausgeprägter Dimm-Logik konnten in den Modellen sogar **Einsparungen von über 80 %** beobachtet werden. Dies deckt sich mit Feldstudien [7], auch wenn diese unter idealisierten Bedingungen durchgeführt wurden.

Auch die **zweite Hypothese**, dass sich bei einem Preisniveau ab ca. 0.28 CHF/kWh eine Amortisation innerhalb von vier bis sechs Jahren einstellt, konnte bestätigt werden. Die Webanwendung zeigte, dass bei steigenden Strompreisen die Amortisationszeit signifikant sinkt, was die hohe Preiselastizität der Wirtschaftlichkeit unterstreicht.

Die differenzierte Betrachtung einzelner Smart-LED-Typen verdeutlicht zudem, dass **nicht jede smarte Lösung automatisch wirtschaftlich ist**. Modelle mit ausschliesslich vernetzter Steuerung ohne Dimm-Funktion erreichen unter Umständen **keinen Break-Even-Point innerhalb der Lebensdauer**, was zeigt, dass der Energieeinspargrad entscheidend ist, nicht die blosse Konnektivität.

6.2. Einschränkungen

Die Modellrechnungen beruhen auf mehreren idealisierten Annahmen:

- Die **jährliche Betriebszeit von 6'000 Stunden** stellt einen Mittelwert dar, variiert jedoch je nach Gebäudeart stark. In selten frequentierten Bereichen kann die effektive Betriebszeit niedriger ausfallen, was die Amortisationsdauer verlängert.
- Die angenommene **Lebensdauer der Leuchtmittel** ist technisch, jedoch nicht empirisch validiert. Reale Bedingungen wie Feuchtigkeit, Temperaturschwankungen und häufige Schaltzyklen können die tatsächliche Nutzungsdauer reduzieren.
- Auch die **Energieeinsparung durch Sensorik** ist standortabhängig. Suboptimale Platzierung der Sensoren oder zu hohe Empfindlichkeitseinstellungen können die Einsparungen abschwächen.
- Die Berechnung geht von **identischen Installationskosten** aus. Sollte eine smarte Lösung jedoch zusätzliche Konfigurations- oder Wartungskosten verursachen (z. B. Netzwerksetup, Software-Updates), müsste dieser Mehraufwand in die TCO-Rechnung einbezogen werden.

Zudem basiert die Strompreisprognose auf einem modellierten Szenario mit definierten Wachstumsgrenzen [19], wobei reale Preisentwicklungen davon abweichen können.

6.3. Rebound-Effekte und soziale Aspekte

Die potenziellen Einsparungen durch Smart-LED-Systeme können durch sogenannte **Rebound-Effekte** teilweise aufgehoben werden. Nutzerinnen und Nutzer könnten das System aufgrund des Effizienzgefühls **länger in Betrieb lassen** oder zusätzliche Räume nachrüsten. Auch eine **Deaktivierung der Sensorik**, etwa aus Unsicherheitsgefühl bei verzögertem Lichtanspringen, kann in der Praxis auftreten.

Auf der anderen Seite bieten smarte Beleuchtungssysteme auch **soziale Mehrwerte**: In Studien wurden **positive** Auswirkungen **auf Gesundheit, Komfort und subjektives Sicherheitsempfinden** festgestellt [7]. Die Möglichkeit zur Fernüberwachung und frühzeitiger Fehlererkennung erhöht zudem die Betriebssicherheit und senkt langfristig Wartungskosten.

7. Fazit & Ausblick

Dieses Kapitel fasst die wesentlichen Resultate der Untersuchung zusammen und ordnet sie in den praktischen Kontext der Park- und Treppenhäuser ein. Abschliessend werden Ideen vorgestellt inwiefern sich die offene Webanwendung und die wissenschaftliche Arbeit inhaltlich vertiefen lassen.

7.1. Zusammenfassung der Erkenntnisse

Die Amortisationszeit intelligenter LED-Röhren variiert je nach technischer Ausführung deutlich. Die in dieser Arbeit untersuchten Modelle, dargestellt in der eigenentwickelten Webapplikation, erreichen bei einem durchschnittlichen Strompreis von 0.28 CHF pro Kilowattstunde Amortisationszeiten von unter vier Jahren. Besonders kurze Zeiträume zeigen Systeme mit integrierter Präsenz, Tageslicht Sensorik mit dimmbarer Regelung. Hingegen können smarte LED-Varianten mit ausschliesslich WiFi-Funktion ohne Dimm-Logik den Energieverbrauch sogar erhöhen, was die Wirtschaftlichkeit deutlich einschränkt. Einer der zentralen Einflussfaktoren ist das Strompreisniveau, wobei steigende Tarife die Amortisationsdauer erheblich verkürzen.

7.2. Empfehlungen für Gebäudebetreiber

Für Sanierungen in Dauerlichtzonen ist eine differenzierte Bewertung der verfügbaren smarten LED-Typen erforderlich. Neben den Anschaffungskosten sind auch Installations- und Wartungsaufwand, Standby Verbrauch sowie die Präzision der Sensorik relevante Entscheidungsfaktoren. Standorte mit mehr als 4'000 Betriebsstunden pro Jahr weisen das grösste Einsparpotenzial auf. Des Weiteren würden Pilotmessungen unter realen Bedingungen belastbare Kennzahlen liefern und das Risiko von Fehlinvestitionen reduzieren.

Trotz höherer Anfangsinvestition stellen Smart-LED-Röhren unter den aktuellen wirtschaftlichen und energetischen Rahmenbedingungen eine sinnvolle und langfristig rentable Lösung dar. Bei grösseren Abnahmemengen ist zudem von sinkenden Stückkosten auszugehen, was die Wirtschaftlichkeit weiter verbessert, und die Amortisationsdauer verkürzt.

7.3. Potenzial zur Weiterentwicklung der Arbeit & Webapplikation

Die Webanwendung [13] liegt als Open Source Projekt auf GitHub [28] vor und kann ohne Lizenzkosten weiterentwickelt werden. Zukünftige Versionen könnten modellabhängige Standby-Verbräuche, präzisere Strompreisprognosen und Sensitivitätsanalysen integrieren. Auch die bislang vereinfachten CO₂-Faktoren und tariflichen Annahmen für die Schweiz könnten durch realitätsnähere Szenarien ersetzt werden.

Neben technischen Erweiterungen bietet auch die wissenschaftliche Arbeit Potenzial für Vertiefungen. Künftige Untersuchungen könnten ökologische Aspekte wie Lebensdauer und Recycling sowie soziale Faktoren wie Sicherheitsempfinden, Akzeptanz oder Lichtkomfort stärker berücksichtigen.

Die vorliegende Arbeit schafft somit eine ökonomische Grundlage, auf der sich interdisziplinäre Bewertungen intelligenter Beleuchtungssysteme künftig fundiert aufbauen lassen.

8. Quellenverzeichnis

8.1. Literaturverzeichnis

- [1] «Stromverbrauch für Beleuchtung in der Schweiz 2012 bis 2021». Zugegriffen: 3. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/74433.pdf>
- [2] «Licht nach Bedarf - Bulletin DE». Zugegriffen: 3. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bulletin.ch/de/news-detail/licht-nach-bedarf.html?file=files/content/news-articles/B_Artikel/2019/1906/B_1906_Vogel/B_1906_Vogel.pdf
- [3] «Strompreise Schweiz». Zugegriffen: 2. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.strompreis.elcom.admin.ch/?period=2025&period=2019&category=C2>
- [4] «NOMUS Tube», LEDCity - Intelligentes Beleuchtungssystem. Zugegriffen: 3. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://ledcity.io/produkt/nomus-tube-de/>
- [5] «LEDCity Website», LEDCity - Intelligentes Beleuchtungssystem. Zugegriffen: 3. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://ledcity.io/>
- [6] «Bluetooth® Mesh Feature Enhancements Summary», Bluetooth® Technology Website. Zugegriffen: 3. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bluetooth.com/mesh-feature-enhancements-summary/>
- [7] «Energy-Saving Research on New Type of LED Sensor Lamp with Low-Light Mode». Zugegriffen: 2. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/10/1649>
- [8] «LED RÖHRE T8 Datenblatt NOMUS». Zugegriffen: 2. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://data.ledcity.io/Datasheet_NOMUS-Tube_T8_CH.pdf
- [9] «CorePro LEDtube 1500mm 20W 840 T8 - CorePro LEDtube EM/Mains | PHILIPS». Zugegriffen: 3. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://docs.rs-online.com/4694/A700000008246307.pdf>
- [10] «Philips LED Röhre T8 CorePro (EM/Mains) Standard Output 20W 2200lm - 865 Tageslichtweiß | 150cm - Ersatz für 58W». Zugegriffen: 3. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.beleuchtungdirekt.ch/de/philips-led-rohre-t8-corepro-em-mains-standard-output-20w-2200lm-865-tageslichtweiss-150cm-ersatz-fur-58w-8719514459830>
- [11] «Philips 45983000 CorePro LEDtube 1500mm 20W 865 (G13, 20 W, 2200 lm, 1 x, E)». Zugegriffen: 3. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.galaxus.ch/de/s14/product/philips-45983000-corepro-ledtube-1500mm-20w-865-g13-20-w-2200-lm-1-x-e-leuchtmittel-23202740>
- [12] «Philips MASTERConnect LED Tube T8 (EM/Mains) High Output 7W 1050lm - 840 Kaltweiß | 60cm - IA - Ersatz für 18W». Zugegriffen: 5. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.beleuchtungdirekt.ch/de/philips-masterconnect-ledtube-t8-em-mains-high-output-7w-1050lm-840-kaltweiss-60cm-ia-ersatz-fur-18w-8718699717483>
- [13] «Dashboard». Zugegriffen: 4. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://bw-smart-energy.ch/G2_Smart_Living_Disposition.pdf
- [14] «Welcome to Python.org», Python.org. Zugegriffen: 6. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.python.org/>
- [15] «Next.js by Vercel - The React Framework». Zugegriffen: 6. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://nextjs.org/>
- [16] «SQLite Home Page». Zugegriffen: 6. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://sqlite.org/>
- [17] «Docker: Accelerated Container Application Development». Zugegriffen: 6. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.docker.com/>
- [18] Bundesamt für Energie BFE, «Energieetikette für Personenwagen: Umweltkennwerte 2024 der Strom- und Treibstoffbereitstellung». [Online]. Verfügbar unter: www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/effizienz/mobilitaet/die-energieetikette-fuer-personenwagen.exturl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gvZGUvcHVibGljYX/Rpb24vZG93bmxvYWQvMTE4MjI%3D.html&ved=2ahUKewib68Sg3KWOAxX29wIHHduNClIQFno

ECBcQAQ&usg=AOvVaw3H0m4Y3gx9

[19] 7.3 Holt-Winters' seasonal method | Forecasting: Principles and Practice (2nd ed). Zugegriffen: 21. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://otexts.com/fpp2/holt-winters.html>

[20] «EPD_Philips_MASTER_LEDtube_T8_UltraEfficient_COMF_9223984_Ref_929003482208.pdf». Zugegriffen: 6. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.signify.com/api/assets/v1/file/Signify/content/Philips-MASTER-LEDtube-T8-UltraEfficient-COMF-9223984-Ref-929003482208-EPD/EPD_Philips_MASTER_LEDtube_T8_UltraEfficient_COMF_9223984_Ref_929003482208.pdf?utm_source=chatgpt.com

[21] «Philips 45983000 CorePro LEDtube 1500mm 20W 865 (G13, 20 W, 2200 lm, 1 x, E)». Zugegriffen: 6. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.digitec.ch/de/s1/product/philips-45983000-corepro-ledtube-1500mm-20w-865-g13-20-w-2200-lm-1-x-e-leuchtmittel-23202740>

[22] «Ledvance SMART+ LED Röhre (G13, 18 W, 2300 lm, 1 x, E)». Zugegriffen: 6. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.digitec.ch/de/s1/product/ledvance-smart-led-roehre-g13-18-w-2300-lm-1-x-e-leuchtmittel-30266733?tagIds=1249-1270>

[23] «asset-13261660_retail_lamps_program_catalog_2025.pdf». Zugegriffen: 6. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ledvance.ro/00_Free_To_Use/asset-13261660_retail_lamps_program_catalog_2025.pdf

[24] «Philips Phil MasterConnect LEDtube 25W 6500K G13 865 Tageslichtweiss dimmbar (G13, 25 W, 3700 lm, 1 x, D)». Zugegriffen: 5. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.digitec.ch/de/s1/product/philips-phil-masterconnect-ledtube-25w-6500k-g13-865-tageslichtweiss-dimmbar-g13-25-w-3700-lm-1-x-d--31968774>

[25] «Technical Application Guide Philips MasterConnect LEDTube». Zugegriffen: 5. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.docs.lighting.philips.com/en_gb/oem/download/connected-lighting-solutions/MasterConnect%20LEDtube%20EM%20mains%20T8%20TAG.pdf

[26] «Osram SubstiTUBE T8 Motion Sensor EM Tube T8 FR 58 NO 19W/840 G13 (G13, 19.30 W, 3100 lm, 8 x, C)». Zugegriffen: 5. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.digitec.ch/de/s1/product/osram-substitube-t8-motion-sensor-em-tube-t8-fr-58-no-19w840-g13-g13-1930-w-3100-lm-8-x-c-leuchtmitt-17284826>

[27] «OSRAM SubstiTube T8 Motion Sensor | LEDVANCE». Zugegriffen: 6. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ledvance.com/en-int/professional-lighting/lighting-insights/product-stories/led-tubes-online-special/osram-substitube-t8-motion-sensor>

[28] P. Schiess, *Sinrath/BW-SMART-GROUP2*. (3. Juli 2025). TypeScript. Zugegriffen: 4. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://github.com/Sinrath/BW-SMART-GROUP2>

8.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Elektrizitätsverbrauch Beleuchtung nach den 4 Hauptsektoren [1]	1
Abbildung 2: Vergleich Messwerte von drei Beleuchtungsröhren [2]	3
Abbildung 3: BW-SMART Energy Dashboard [13]	5
Abbildung 4: LED-Übersicht von dem Dashboard [13]	6
Abbildung 5: Kosten herkömmliche LED über Lebensdauer [13].....	7
Abbildung 6: Kosten herkömmliche LED- vs. smarte LED-Röhre [13]	8
Abbildung 7: Diagramm herkömmliche LED vs. Smart-LEDs [13].....	9
Abbildung 8: TypeScript Code zu Amortisationszeitpunk	14
Abbildung 9: Python Code zu Holt-Winter Model.....	15

8.3. Tabellenverzeichnis

Table 1: Technische Daten und Preise ausgewählter LED-Röhren im Vergleich.....	4
Table 2: Parameter für LED-Berechnungen.....	15

8.4. Projekt Dashboard

Quellcode: <https://github.com/Sinrath/BW-SMART-GROUP2>

Website: <https://bw-smart-energy.ch/>

9. Anhang

9.1. Berechnungsformeln und Parameter

Formeln für die Wirtschaftlichkeitsanalyse

Effektive Leistungsaufnahme:

$$\text{Effektive Wattzahl} = \text{Nennleistung} * \left(\frac{1 - \text{Effizienz}}{100} \right)$$

Jährliche Stromkosten:

$$\text{Jährliche Stromkosten} = \left(\frac{\text{Effektive Wattzahl} * \text{Betriebsstunden}}{1000} \right) * \text{Strompreis}$$

Kumulative Gesamtkosten:

$$\text{Kumulative Kosten}(n) = \text{Anschaffungskosten} + \sum_{i=1}^{n-1} \text{Stromkosten}_i$$

Amortisationszeitpunkt (Break-Even-Point): Lineare Interpolation zwischen den Kosten zweier aufeinanderfolgender Jahre, wenn sich die Kostenkurven schneiden:

```
function interpolate(s0, s1, l0, l1, year0, install) {
  const d0 = s0 - l0 // Kostendifferenz Jahr 0
  const d1 = s1 - l1 // Kostendifferenz Jahr 1
  const t = d0 / (d0 - d1) // Interpolationsfaktor
  const xA = year0 + t // Absolutes Amortisationsjahr
  return { xA, y: s0 + (s1 - s0) * t, rel: xA - install }
}
```

Abbildung 8: TypeScript Code zu Amortisationszeitpunkt

Total Cost of Ownership (TCO):

$$TCO = \text{Anschaffungskosten} + \text{Lebensdauer_Stromkosten}$$

CO₂-Gesamtemissionen:

$$CO_2 \text{ gesamt} = (\text{Energieverbrauch} * \text{Emissionsfaktor}) + (\text{Stückzahl} * \text{Herstellungs_CO}_2)$$

Parameter für die Berechnungen

Parameter	Wert	Einheit	Bemerkung
Betriebsstunden	6'000	h/Jahr	∅ für Park-/Treppenhäuser
Emissionsfaktor	0.1	kg CO ₂ /kWh	Schweizer Strommix
Herstellungs-CO ₂	3.0	kg CO ₂ /Stück	Produktionsemissionen
Prognose-Wachstum Jahr 1	max. 50 %	%	Grenze Strompreisprognose
Prognose-Wachstum Folgejahre	max. 10 %	% p.a.	Jährliche Wachstumsgrenze
Szenario-Abweichung	±20 %	%	Optimistisches / Konservatives

Table 2: Parameter für LED-Berechnungen

Strompreisprognose-Modell:

Holt-Winters Exponential Smoothing mit:

- Additiver Konfiguration
- Gedämpftem Trend
- Definierten Wachstumsgrenzen zur realistischen Prognose

```

model = ExponentialSmoothing(
    ts,
    trend='add',
    seasonal=None,
    damped_trend=True,
    initialization_method='estimated'
)
# Use stronger damping and limit trend growth
fit = model.fit(optimized=True, damping_trend=0.8) # Strong damping
forecast = fit.forecast(periods)

```

Abbildung 9: Python Code zu Holt-Winter Model

9.2. LED-Daten:

Philips 45983000 CorePro LEDtube 1500mm 20W 865:

- <https://www.digitec.ch/de/s1/product/philips-45983000-corepro-ledtube-1500mm-20w-865-g13-20-w-2200-lm-1-x-e-leuchtmittel-23202740>
- https://www.lighting.philips.com/prof/led-lamps-and-tubes/led-tubes/corepro-ledtube-em-mains-t8/929003022602_EU/product

Ledvance SMART+ LED-Röhre:

- <https://www.digitec.ch/de/s1/product/ledvance-smart-led-roehre-g13-18-w-2300-lm-1-x-e-leuchtmittel-30266733?tagIds=1249-1270>
- https://www.ledvance.ro/00_Free_To_Use/asset-13261660_retail_lamps_program_catalog_2025.pdf

Osram SubstiTUBE T8 Motion Sensor EM Tube T8 FR 58 NO 19W/840 G13:

- <https://www.digitec.ch/de/s1/product/osram-substitube-t8-motion-sensor-em-tube-t8-fr-58-no-19w840-g13-g13-1930-w-3100-lm-8-x-c-leuchtmitt-17284826>
- <https://www.ledvance.com/en-int/professional/products/product-stories/led-tubes-online-special/osram-substitube-t8-motion-sensor>

Philips Phil MasterConnect LEDtube 25W 6500K G13 865:

- <https://www.digitec.ch/de/s1/product/philips-phil-masterconnect-ledtube-25w-6500k-g13-865-tageslichtweiss-dimmbar-g13-25-w-3700-lm-1-x-d--31968774>
- https://www.docs.lighting.philips.com/en_gb/oem/download/connected-lighting-solutions/MasterConnect%20LEDtube%20EM%20mains%20T8%20TAG.pdf

10. Innovation Booster Ideen

10.1. Idee 1: Predictive Maintenance Platform für Smart Building Infrastructure

Konzept

Eine KI-gestützte Plattform, die Sensordaten von Smart-LED-Röhren nutzt, um präventive Wartung für die gesamte Gebäudetechnik zu ermöglichen. Die Plattform analysiert Nutzungsmuster, Energieverbrauch und Ausfallwahrscheinlichkeiten, um proaktive Wartungsempfehlungen zu geben.

Innovation

- **Machine Learning Algorithmen** zur Vorhersage von Ausfällen basierend auf Betriebsdaten
- **Cross-System Integration** zwischen Beleuchtung, Lüftung, Heizung und Sicherheitssystemen
- **Dynamic Cost Optimization** durch intelligente Wartungsplanung

Marktpotenzial

- Zielgruppe: Facility Management Unternehmen, grosse Immobilienverwaltungen
- Marktvolumen: 2.5 Mrd. CHF (CH Facility Management Markt)
- Kostenreduktion: 15-25 % der Wartungskosten durch präventive Massnahmen

Technische Umsetzung

- IoT-Sensoren mit Edge Computing
- Cloud-basierte Datenanalyse (Azure/AWS)
- Mobile App für Maintenance Teams
- API-Integration in bestehende Gebäudemanagementsysteme

10.2. Idee 2: Carbon Footprint Tracker für intelligente Beleuchtung

Konzept

Ein blockchain-basiertes System, das den CO₂-Fussabdruck von Smart-LED-Installationen in Echtzeit trackt und als handelbare Carbon Credits monetarisiert. Unternehmen können ihre Energieeinsparungen transparent dokumentieren und am Kohlenstoffmarkt verkaufen.

Innovation

- **Blockchain-Zertifizierung** für verifizierte Energieeinsparungen
- **Real-time Carbon Accounting** durch IoT-Sensoren
- **Automated Trading** von Carbon Credits basierend auf tatsächlichen Einsparungen
- **ESG Reporting Integration** für Nachhaltigkeitsberichte

Marktpotenzial

- Zielgruppe: Nachhaltigkeitsfokussierte Unternehmen, ESG-Investoren
- Marktvolumen: 850 Mio. CHF (CH Carbon Credit Markt bis 2030)
- Zusätzliche Einnahmen: 50-150 CHF pro Tonne CO₂ durch Credit-Verkauf

Technische Umsetzung

- Smart Contracts auf Ethereum/Polygon
- IoT-Sensoren für Energiemessung
- Machine Learning für Baseline-Berechnung
- Integration in bestehende ESG-Reporting-Tools

10.3. Idee 3: Adaptive Lighting-as-a-Service (LaaS) Plattform

Konzept

Eine vollständig serviceorientierte Lösung, die Smart-LED-Systeme als Subscription-Model anbietet. Die Plattform passt Beleuchtung automatisch an Nutzungsverhalten, Wetterbedingungen und Energiepreise an, während Kunden nur für tatsächlich genutzte Beleuchtung bezahlen.

Innovation

- **Dynamic Pricing** basierend auf Echtzeitdaten (Strompreise, Nutzung, Wetter)
- **Behavior Learning** durch KI-Analyse der Raumnutzung
- **Energy Arbitrage** durch automatische Anpassung an Strombörsenpreise
- **Outcome-based Billing** (bezahlen nur für optimale Beleuchtung)

Marktpotenzial

- Zielgruppe: KMU, Retail, Bürogebäude ohne Kapital für Investitionen
- Marktvolumen: 1.2 Mrd. CHF (CH Smart Building Services)
- Recurring Revenue: 15-30 CHF pro Lampe/Monat

Technische Umsetzung

- Cloud-native SaaS-Plattform
- Edge Computing für Echtzeitsteuerung
- Integration mit Strommarkt-APIs
- Mobile App für Nutzer-Feedback und Steuerung

10.4. Weiterführende Ideen / Ausbaustufen

Unter diesem Abschnitt sind drei Ausbaustufen aufgelistet für die Erweiterung der smarten LED-Röhren.

10.4.1. Ausbaustufe 1: Multi-Sensor Integration

Konzept: Erweiterung der LED-Röhren um zusätzliche Sensoren (Luftqualität, Lärm, Temperatur) für ganzheitliches Gebäudemonitoring.

Technische Umsetzung:

- Integration von CO₂-, VOC- und Partikelsensoren
- Korrelationsanalyse zwischen Beleuchtung und Raumklima
- Predictive Analytics für Raumnutzung und Wartungsbedarf

Marktpotenzial: Positionierung als "Smart Building Sensor Hub" mit Zusatzerlösen durch Klimadatenmonetarisierung.

10.4.2. Ausbaustufe 2: KI-gestützte Optimierung

Konzept: Machine Learning-Algorithmen zur kontinuierlichen Verbesserung der Beleuchtungssteuerung basierend auf Nutzerverhalten und Energieeffizienz.

Technische Umsetzung:

- Reinforcement Learning für adaptive Lichtsteuerung
- Predictive Modeling für Energieverbrauch
- Anomalieerkennung für präventive Wartung

Marktpotenzial: Premium-Service mit 20-30 % höherer Effizienz gegenüber Standard-Smart-LEDs.

10.4.3. Ausbaustufe 3: Blockchain-basierte Energiemärkte

Konzept: Peer-to-Peer Energiehandel zwischen Gebäuden basierend auf Smart-LED-Verbrauchsdaten und lokaler Energieerzeugung.

Technische Umsetzung:

- Smart Contracts für automatischen Energiehandel
- Integration mit PV-Anlagen und Batteriespeichern
- Mikrotransaktionen für Energie-Arbitrage

Marktpotenzial: Neue Geschäftsmodelle durch Energiehandel und Grid-Services für Netzbetreiber.