



**Schlussbericht** vom 26. Februar 2018

---

# Entwicklung einer energieeffizienten Be- leuchtung für Unterführungen

## Autonome LED-Röhren

---





# LEDCity

**Datum:** 26. Februar 2018

**Ort:** Zürich

**Subventionsgeberin:**

Schweizerische Eidgenossenschaft, handelnd durch das  
Bundesamt für Energie BFE  
Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprogramm  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Subventionsempfänger:**

LEDCity AG  
Technoparkstrasse 1  
CH-8005 Zürich  
[www.ledcity.ch](http://www.ledcity.ch)

Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz)  
Pfungstweidstrasse 85  
CH-8005 Zürich  
[www.ewz.ch](http://www.ewz.ch)

**Autoren:**

Patrik Deuss, LEDCity AG, [patrik.deuss@ledcity.ch](mailto:patrik.deuss@ledcity.ch)  
Florian Gärtner, LEDCity AG, [florian.gaertner@ledcity.ch](mailto:florian.gaertner@ledcity.ch)

**BFE-Programmleitung:** Yasmine Calisesi, [yasmine.calisesi@bfe.admin.ch](mailto:yasmine.calisesi@bfe.admin.ch)  
**BFE-Projektbegleitung:** Roland Brüniger, [roland.brueeniger@r-brueniger-ag.ch](mailto:roland.brueeniger@r-brueniger-ag.ch)  
**BFE-Vertragsnummer:** SI/501508-01

**Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.**

**Bundesamt für Energie BFE**

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · [contact@bfe.admin.ch](mailto:contact@bfe.admin.ch) · [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)



## Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht untersucht, weshalb unter anderem Unterführungen in der Schweiz rund um die Uhr mit voller Leistung beleuchtet werden und was getan werden muss, um den Energieverbrauch signifikant zu reduzieren. Das Ziel dieses Projektes war eine höchsteffiziente Lichtlösung zu entwickeln, welche die Bedürfnisse aller Nutzergruppen abdeckt. Das innovative Leuchtmittel soll kostengünstig installiert werden können, durch eine automatische Helligkeitsanpassung die Energiekosten senken und die Lebensdauer der Leuchtdioden erhöhen. Das Lichtprojekt wurde in einer Unterführung des ewz durchgeführt, in welcher zuvor zehn Leuchtstoffröhren installiert waren. Für das Projekt wurden LED-Röhren mit einem integrierten Radar entwickelt, damit die bestehenden Fassungen mit einer Kunststoffabdeckung übernommen werden konnten. Durch die interaktive Lichtlösung konnte der Systemenergieverbrauch gegenüber der bestehenden Leuchtstoffröhren um rund 90 % gesenkt werden. Wie Vergleichsmessungen ergeben haben, konnte gegenüber konventionellen LED-Röhren der Energieverbrauch um rund 70 % reduziert werden. Dies ist ausschliesslich auf die Integration einer Steuerung und einem Radar im Leuchtmittel zurückzuführen.

## Résumé

Le présent rapport examine pourquoi, en Suisse, les passages souterrains sont éclairés à pleine puissance 24 heures sur 24 et ce qui doit être fait pour réduire de manière significative la consommation d'énergie. L'objectif de ce projet était de développer une solution d'éclairage hautement efficace répondant aux besoins de tous les groupes d'utilisateurs. La source lumineuse innovante doit être installée de manière rentable, réduire les coûts énergétiques et augmenter la durée de vie des diodes électroluminescentes grâce à un réglage automatique de la luminosité. Le projet d'éclairage a été réalisé dans un passage souterrain de l'ewz, éclairé à l'origine par dix tubes fluorescents. Pour le projet, des tubes à LED avec un radar intégré ont été développés pour que les prises existantes puissent être recouvertes d'une couverture en plastique. La solution d'éclairage interactif a réduit la consommation d'énergie du système d'environ 90% par rapport aux tubes fluorescents existants. Des mesures comparatives ont montré que la consommation d'énergie était réduite d'environ 70% par rapport aux tubes LED conventionnels. Ceci est dû exclusivement à l'intégration d'un contrôleur et d'un radar dans la source lumineuse.

## Abstract

The present report examines why, among other things, underpasses in Switzerland are illuminated at full power around the clock and what needs to be done to significantly reduce energy consumption. The aim of this project was to develop a highly efficient lighting solution that meets the needs of all user groups. The innovative light source should be installed cost-effectively, reduce the energy costs and increase the life of the light-emitting diodes by means of an automatic brightness adjustment. The light project was carried out in an underpass of the ewz, in which ten fluorescent tubes were previously installed. For the project, LED tubes with integrated radar were developed so that the existing sockets could be covered with a plastic cover. The interactive lighting solution reduced system energy consumption by around 90% compared to existing fluorescent tubes. Comparative measurements have shown that energy consumption was reduced by around 70% compared to conventional LED tubes. This is due exclusively to the integration of a controller and a radar in the light source.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>3</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>4</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>5</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>6</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>8</b>
1.1. Ausgangslage .....	8
1.2. Ziel des Projektes.....	8
<b>2. Grundlagen – Randbedingungen</b> .....	<b>9</b>
2.1. Standort.....	9
2.2. Bestehende Installation .....	10
2.3. Energieverbrauch und Kosten.....	10
2.4. Alternativen / Möglichkeiten um den Energieverbrauch zu senken .....	10
<b>3. Vorgehen / Methode</b> .....	<b>11</b>
3.1. Zeitplan .....	11
3.2. Vorgehen.....	11
3.3. Messablauf.....	12
<b>4. Ergebnisse</b> .....	<b>14</b>
4.1. Messergebnisse der Unterführung .....	14
4.1.1. Zeitintervall: 1 Woche.....	14
4.1.2. Zeitintervall: 1 Tag.....	15
4.1.3. Zeitintervall: 1 Stunde .....	17
4.1.4. Anzahl aktive Leuchten pro Personendurchgang .....	18
4.2. Labormessungen .....	20
4.2.1. Leuchtstoffröhre Philips TL RS 40W/33-640 .....	20
4.2.2. LEDCity Halbautonome LED-Röhre.....	22
4.3. Akzeptanzumfrage .....	25
<b>5. Diskussion / Schlussfolgerungen</b> .....	<b>26</b>
<b>6. Ausblick, nächste Schritte nach Projektabschluss</b> .....	<b>27</b>
<b>7. Anhang</b> .....	<b>28</b>



A	Messdaten & -grafiken Objekt „Stauffacherquai Unterführung“ - Energieverbrauch .....	28
A1	Dienstag, 03.10.2017 .....	28
A2	Mittwoch, 04.10.2017 .....	31
A3	Donnerstag, 05.10.2017.....	33
A4	Freitag, 06.10.2017 .....	35
A5	Samstag, 07.10.2017 .....	37
A6	Sonntag, 08.10.2017.....	39
A7	Montag, 09.10.2017 .....	41
B	Messdaten Objekt „Stauffacherquai Unterführung“ - erweiterte Analyse .....	43
B1	Dienstag, 03.10.2017 .....	43
B2	Mittwoch, 04.10.2017 .....	44
B3	Donnerstag, 05.10.2017.....	45
B4	Freitag, 06.10.2017 .....	46
B5	Samstag, 07.10.2017 .....	47
B6	Sonntag, 08.10.2017.....	48
B7	Montag, 09.10.2017 .....	49

## Abkürzungsverzeichnis

ewz	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich
LED	Light emitting diode
E	Energie
P	Leistung
t	Zeit
$E_v$	Energieverbrauch
$E_k$	Energiekosten
KVG	Konventionelles Vorschaltgerät



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan der Unterführung.....	9
Abbildung 2: Unterführung des ewz an der Kreuzung Stauffacherquai / Manessestrasse (47.369121, 8.528039) .....	9
Abbildung 3: Funktionsprinzip der entwickelten LEDCity LED-Röhre.....	12
Abbildung 4: Installierter Netzanalysator im Schalttableau der Anlage .....	13
Abbildung 5: Vergleich der Technologien über eine Woche .....	15
Abbildung 6: Vergleich der Technologien über einen Wochentag (Mittwoch, 04.10.2017).....	16
Abbildung 7: Vergleich der Technologien über eine Stunde (02.10.2017, 10:00 - 11:00 Uhr).....	17
Abbildung 8: 1h Messanalyse Dienstag, 03.10.2017 von 09:00 - 10:00 mit Datenpunktkategorisierung .....	18
Abbildung 9: 1h Messanalyse Freitag, 06.10.2017 von 03:00 - 04:00 mit Datenpunktkategorisierung	19
Abbildung 10: konventionelles Vorschaltgerät Knobel Ferroprofil Perfektstart R1B für Leuchtstoffröhren .....	20
Abbildung 11: Messung Anlaufstrom FL Röhre TL RS 40W/33-640 inkl. konventionellem Vorschaltgerät .....	21
Abbildung 12: Strom Oberschwingungsspektrum FL Röhre TL RS 40W/33-640 inkl. KVG .....	21
Abbildung 13: Messung Anlaufstrom 1 LEDCity LED-Röhre Halbautonom inkl. Dimmrampe 100%-20% und 20%-100%.....	23
Abbildung 14: Strom Oberschwingungsspektrum 4 Stück LED-Röhren Halbautonom 100% Betriebsmodus .....	24
Abbildung 15: Strom Oberschwingungsspektrum 4 Stück LED-Röhren Halbautonom 20% Dimm-Betriebsmodus .....	24
Abbildung 16: Energievergleich (1 Tag) FL, LED, LED Dynamisch – Dienstag 03.10.2017.....	28
Abbildung 17: Energieverbrauch (1 Tag) LED Dynamisch – Dienstag 03.10.2017 .....	29
Abbildung 18: Energievergleich (1 Tag) FL, LED, LED Dynamisch – Mittwoch 04.10.2017.....	31
Abbildung 19: Energieverbrauch (1 Tag) LED Dynamisch – Mittwoch 04.10.2017 .....	31
Abbildung 20: Energievergleich (1 Tag) FL, LED, LED Dynamisch – Donnerstag 05.10.2017 .....	33
Abbildung 21: Energieverbrauch (1 Tag) LED Dynamisch – Donnerstag 05.10.2017.....	33
Abbildung 22: Energievergleich (1 Tag) FL, LED, LED Dynamisch – Freitag 06.10.2017.....	35
Abbildung 23: Energieverbrauch (1 Tag) LED Dynamisch – Freitag 06.10.2017 .....	35
Abbildung 24: Energievergleich (1 Tag) FL, LED, LED Dynamisch – Samstag 07.10.2017.....	37
Abbildung 25: Energieverbrauch (1 Tag) LED Dynamisch – Samstag 07.10.2017 .....	37
Abbildung 26: Energievergleich (1 Tag) FL, LED, LED Dynamisch – Sonntag 08.10.2017 .....	39
Abbildung 27: Energieverbrauch (1 Tag) LED Dynamisch – Sonntag 08.10.2017 .....	39
Abbildung 28: Energievergleich (1 Tag) FL, LED, LED Dynamisch – Montag 09.10.2017.....	41
Abbildung 29: Energieverbrauch (1 Tag) LED Dynamisch – Montag 09.10.2017 .....	41



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vorgehen / Zeitplan .....	11
Tabelle 2: Messparameter Netzanalysator .....	13
Tabelle 3: Messpunktspitzen Dienstag, 03.10.2017 von 09:00 - 10:00 .....	19
Tabelle 4: Messpunktspitzen Freitag, 06.10.2017 von 03:00 - 04:00 .....	19
Tabelle 5: Messstatistik FL Röhre TL RS 40W/33-640 inkl. konventionellem Vorschaltgerät .....	20
Tabelle 6: Messdaten 4 Röhren 100 % Betriebsmodus .....	22
Tabelle 7: Messdaten 3 Röhren 100 % Betriebsmodus .....	22
Tabelle 8: Messdaten 4 Röhren 20 % Dimmmodus .....	22
Tabelle 9: Messdaten 3 Röhren LEDCity Halbautonom 20 % Dimmmodus .....	22
Tabelle 10: Errechnete Daten 1 Röhre LEDCity Halbautonom 100% Betriebsmodus.....	23
Tabelle 11: Errechnete Daten 1 Röhre LEDCity Halbautonom 20% Betriebsmodus.....	23
Tabelle 12: Vergleich der Technologien .....	26
Tabelle 13: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Dienstag, 03.10.2017 .....	30
Tabelle 14: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Mittwoch, 04.10.2017 .....	32
Tabelle 15: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Donnerstag, 05.10.2017 .....	34
Tabelle 16: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Freitag, 06.10.2017 .....	36
Tabelle 17: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Samstag, 07.10.2017 .....	38
Tabelle 18: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Sonntag, 08.10.2017 .....	40
Tabelle 19: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Montag, 09.10.2017 .....	42
Tabelle 20: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Dienstag, 03.10.2017 .....	43
Tabelle 21: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Mittwoch, 04.10.2017 .....	44
Tabelle 22: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Donnerstag, 05.10.2017 .....	45
Tabelle 23: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Freitag, 06.10.2017 .....	46
Tabelle 24: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Samstag, 07.10.2017 .....	47
Tabelle 25: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Sonntag, 08.10.2017 .....	48
Tabelle 26: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Montag, 09.10.2017 .....	49



# 1. Einleitung

## 1.1. Ausgangslage

Begonnen hat das Projekt mit der Erkenntnis aus der grundlegenden Formel:  $E = P * t$

$$\text{Energie} = \text{Leistung} * \text{Zeit}$$

Die Leuchtmittelindustrie entwickelt ständig leuchteffizientere Produkte, was sich im Faktor Leistung (P) widerspiegelt. Die Steigerung bewegt sich jedoch im einstelligen Prozentbereich. Im Faktor Zeit (t) der Formel steckt in den meisten Fällen ein wesentlich höheres Energiesparpotential. In einem ersten Schritt wurden bereits Messungen von LEDCity in Kooperation mit dem ewz durchgeführt, welche gezeigt haben, dass Unterführungen in rund 97 % der Zeit ungenutzt bleiben. Daher genügt es, wenn die Beleuchtung nur in 3 % der Zeit unter Volllast betrieben wird. Eine weitere Erkenntnis ist, dass nicht alle Leuchtmittel vom Anfang eines Tunnels bis zum Ende zusammen leuchten müssen.

## 1.2. Ziel des Projektes

Um die obigen Punkte der verkürzten Nutzungszeit sowie eine individuelle Leuchtmittelregulierung zu erreichen wurde das Ziel definiert, die Steuerung zu dezentralisieren und in jeder LED-Röhre zu integrieren. Somit erreicht man eine unabhängige und dynamische Lichtsteuerung. In einem nächsten Schritt wurden LED-Röhren mit integrierten Sensoren gesucht. Auf dem Markt liessen sich vereinzelt nichteuropäische Hersteller von sensorgesteuerten Röhren auffinden. Sie entsprachen jedoch nicht den Anforderungen, welche durch die internationale Fernmeldeunion in der Vollzugsordnung für den Funkdienst definiert wurden und mussten aufgebessert werden. In Kooperation mit dem ewz wurden die ersten Röhren montiert und getestet. Die Sensorik war jedoch zu träge und unflexibel, um sie für schnellere Verkehrsteilnehmer zu nutzen. Doch nicht nur das ewz war an neuen Leuchtmitteln interessiert. LEDCity kontaktierte mehrere Unternehmen um die Nachfrage zu ermitteln. Dabei zeigte sich, dass viele Unternehmen an einfachen energie- und nicht zuletzt kostensparenden Leuchtmitteln interessiert sind. Nun soll mithilfe dieses weiterführenden Projektes die Grenzen der beiden reduzierbaren Faktoren Leistung (P) und Nutzungszeit (t) und die Akzeptanz der Bevölkerung auf die zu entwickelnde Lösung ausgelotet werden.



## 2. Grundlagen – Randbedingungen

### 2.1. Standort

Da es sich um eine Pilotanlage handelt, wurde zusammen mit dem ewz nach einer Unterführung gesucht, welche ausschliesslich für Fussgänger passierbar ist. Dies um Verkehrsunfälle auszuschliessen, welche aufgrund von Fehlfunktionen auftreten könnten. Der gewählte Standort befindet sich neben der Leichtathletikanlage Sihlhölzli:



Abbildung 1: Lageplan der Unterführung



Abbildung 2: Unterführung des ewz an der Kreuzung Stauffacherquai / Manessestrasse (47.369121, 8.528039)



## 2.2. Bestehende Installation

In der Unterführung waren zehn Leuchten installiert. In den Leuchten wiederum waren zehn Leuchtstoffröhren (Typ Philips TL RS 40W/33-640) mit konventionellen Vorschaltgeräten (Typ Knobel R1B) installiert. Die Systemleistung einer einzelnen Leuchte lag bei rund 53 W. Gemäss der Produktaufschrift benötigte die Leuchtstoffröhre 40 W Leistung. Das konventionelle Vorschaltgerät benötigte demnach 13 W der Systemleistung von 53 W. Die Beleuchtungsanlage wird rund um die Uhr betrieben, sodass die folgenden Berechnungen auf einer Nutzungszeit von 24 h pro Tag beruhen. Da das ewz die eingesparte Energiemenge an ihre Kunden verkaufen kann, wurde gemäss Angaben vom ewz bei der Rentabilitätsberechnung mit 19 Rp./kWh gerechnet.

## 2.3. Energieverbrauch und Kosten

In diesem Abschnitt werden der Energieverbrauch und die Energiekosten der bestehenden Leuchten eruiert. Dies geschieht hier rein rechnerisch. In den kommenden Kapiteln werden diese Ergebnisse durch reale Messungen detaillierter untersucht. Gemäss den oben genannten Angaben, welche in den folgenden Kapiteln ebenfalls genauer erläutert werden, kann der Energieverbrauch einer Leuchte wie folgt berechnet werden:

$$E_v = 0.053 \text{ kW} * 24 \text{ h} * 365 \text{ d} = 464 \text{ kWh/Jahr}$$

Die Energiekosten welche pro Jahr und Leuchte anfallen, werden wie folgt berechnet:

$$E_k = 464 \frac{\text{kWh}}{\text{Jahr}} * 0.19 \frac{\text{CHF}}{\text{kWh}} = \text{CHF } 88/\text{Jahr}$$

Diese ersten Rechnungen zeigen auf, wie hoch die Energiekosten pro Leuchte waren, um einen ersten Anhaltspunkt zu geben. Noch nicht berücksichtigt sind hier Unterhaltskosten, welche bei der alten Technik deutlich höher ausfallen dürften. Es fällt auf, dass die hohen Energiekosten hauptsächlich durch den 24-Stundenbetrieb anfallen. Könnte die Betriebszeit reduziert werden, würden die Energiekosten deutlich niedriger ausfallen. Aufgrund eines politischen Beschlusses der Stadt Zürich, ist es nicht erlaubt, die öffentliche Beleuchtung komplett auszuschalten.

## 2.4. Alternativen / Möglichkeiten um den Energieverbrauch zu senken

Heutzutage bieten Hersteller immer öfters nur noch Komplettleuchten an, bei welchen das Leuchtmittel nicht ersetzt werden kann oder die Auswahl auf einen Hersteller eingeschränkt wird. Dies führt dazu, dass es nicht mehr viele Lösungen gibt, um bestehende Leuchten auf-/umzurüsten. Ein Komplettersatz der Leuchte führt zu einer Vergrösserung der grauen Energiebilanz, sowie zu deutlichen Mehrkosten. Eine kosteneffiziente Alternative wären konventionelle LED-Röhren, welche in die bestehenden Leuchten eingebaut werden könnten. Jedoch wird hier das Problem nicht gelöst, dass die Beleuchtungszeit viel zu lange ist.



## 3. Vorgehen / Methode

### 3.1. Zeitplan

Meilensteine	Beschrieb	Zeitraum
Vorstudie	- Konzept - Energieeinsparpotential berechnen	10.2015 – 02.2016
Bachelorarbeit	- Entwicklung Funktionsmuster - Weiterführung Entwicklung	03.2016 – 11.2016
Entwicklung	- Entwicklung Prototyp	02.2017 – 07.2017
Bau / Durchführung	- Installation Pilotanlage - Zwischenbericht	06.2017 – 07.2017
Messungen / Erfolgskontrolle	- Durchführung von Messungen - Umfrage Akzeptanz	07.2017 – 01.2018
Dokumentation / Abschluss	- Schlussbericht	01.2018 – 02.2018

Tabelle 1: Vorgehen / Zeitplan

### 3.2. Vorgehen

Da das gewünschte Produkt für einen wirtschaftlichen Ersatz nicht gefunden werden konnte, entwickelte die LEDCity AG selber eine Lösung. Diese wurde in der Unterführung installiert. Hierfür musste bei der Installation lediglich das Vorschaltgerät der alten Leuchte entfernt werden. Dieses Vorschaltgerät wird bei LED-Leuchtmitteln nicht mehr benötigt, da kein Gas gezündet werden muss. Der effiziente Prozess in den Leuchtdioden läuft rein elektrochemisch ab. Durch die Entfernung des Vorschaltgerätes konnte der Leistungsverbrauch bereits um 13 W reduziert werden. Nach der fachgerechten Installation der neuen intelligenten LED-Röhren, welche in die bestehenden Leuchten eingesetzt werden konnten, wurden Messungen unter Realbedingungen durchgeführt. Bei den neuen Leuchtmitteln wurde eine Nachlaufzeit von 15 Sekunden und ein Dimmwert von 20 % gewählt. Dies bedeutet, dass 15 Sekunden nach der letzten Detektion die Leuchtmittel von 100 % Lichtstärke langsam auf 20 % der Lichtstärke dimmen. Die folgende Abbildung zeigt den spezifischen zeitlichen Ablauf der Lichtsteuerung auf.

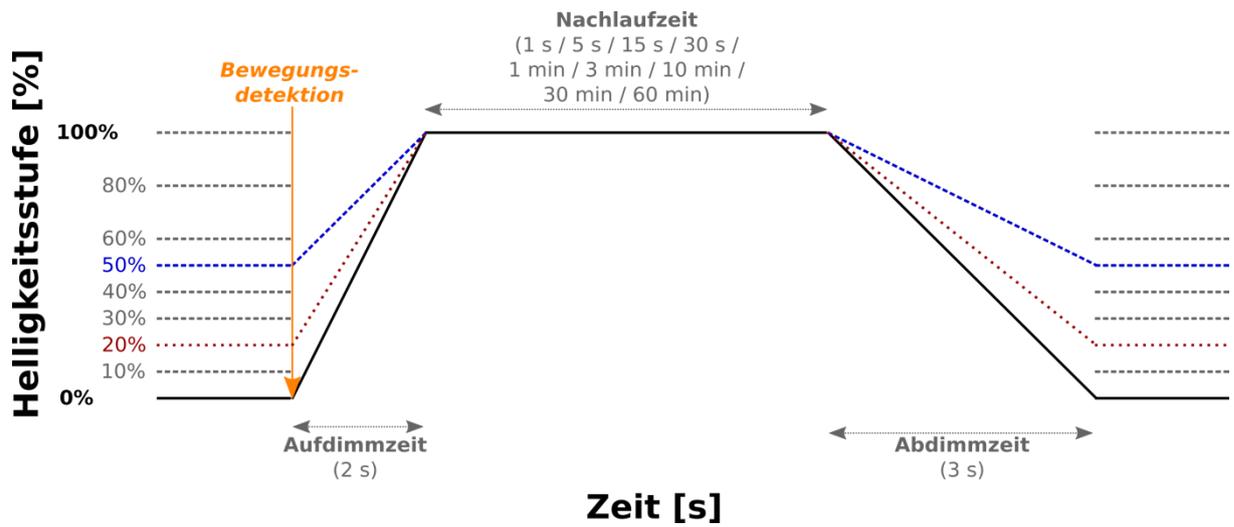


Abbildung 3: Funktionsprinzip der entwickelten LEDCity LED-Röhre

### 3.3. Messablauf

Da die Anlage dem ewz gehört, wurde die Messung durch Messspezialisten des ewz eingerichtet. Dabei kam ein Netzanalysator (Modell: PQ-Box 100) für Nieder-, Mittel- und Hochspannungsnetze von der Firma A. Eberle GmbH & Co. KG zum Einsatz. Da das Messgerät vom ewz sehr häufig genutzt wird, konnte es nur für eine Woche reserviert werden. Ebenfalls wurden einzelne Leuchtmittel im Labor des ewz nachträglich ausgemessen, um weiterführende Angaben machen zu können.

Zur Erfassung des Stromes der Phase L1 wurde eine Mu-Metall Ministromzange 0...5A (Ident-Nr. 111.7043) verwendet. Mit dem Netzanalysator werden die folgenden Parameter im Sekundentakt erfasst:

Messparameter	Messeinheit
Spannung U_L1	V
Strom I_L1	A
Wirkleistung P_L1	W
Scheinleistung S_L1	VA
Blindleistung Q_L1	Var
Leistungsfaktor PF_L1	-
Leistungsfaktor cos phi	-

Tabelle 2: Messparameter Netzanalysator

Da die Altanlage bereits im Winter 2016/17 entfernt wurde, konnte sie nicht mehr ausgemessen werden. Es war jedoch bekannt, welche T12-Leuchtstoffröhren installiert waren. Dadurch war es im Nachhinein möglich, eine solche Leuchtstoffröhre mit dem zugehörigen Vorschaltgerät im Labor auszumessen. Da die Altanlage nicht gedimmt oder ausgeschalten wurde, konnte der vorhergehende Energieverbrauch einfach ermittelt werden.

Zusammen mit dem Bundesamt für Energie (BFE) wurde entschieden, nicht nur die Alt- und Neuanlage zu untersuchen, sondern ebenfalls der Leistungsverbrauch bei konstanter LED-Beleuchtung. Bei der Installation der Messeinrichtung wird daher eine Messung gemacht, bei der allen LED-Röhren eine Bewegung vorgetäuscht wird. Dadurch sind alle LED-Röhren gleichzeitig auf dem maximalen Leistungswert. Dieser Wert entspricht handelsüblichen nicht dimmbaren LED-Röhren.

Nach dieser Messung wird die Messeinrichtung, wie sie in der folgenden Abbildung ersichtlich ist, für eine Woche in Betrieb sein. Dadurch konnten die oben beschriebenen Messparameter eruiert und ausgewertet werden.



Abbildung 4: Installierter Netzanalysator im Schalttableau der Anlage



## 4. Ergebnisse

### 4.1. Messergebnisse der Unterführung

In den folgenden Abschnitten werden die Messresultate über verschiedene Zeitintervalle aufgezeigt. Dies um die Abbildung optisch besser darstellen zu können. Die Messauflösung blieb jeweils dieselbe. Bei der ersten Abbildung wird ein Zeitintervall von sieben Tagen gewählt. Messbeginn war der Dienstag 03.10.2017 um 00:00 Uhr. Nach sieben Tagen wurde die Messung am Montag 10.10.2017 um 24:00 Uhr beendet. Auf der y-Achse der Abbildungen ist jeweils die zeitabhängige Leistungsaufnahme dargestellt. Daneben sind auch die auf Sekundenbasis integrierten Zahlen für den tatsächlichen Energieverbrauch in den Plots abgebildet.

#### 4.1.1. Zeitintervall: 1 Woche

Insgesamt benötigte die alte Beleuchtung über diesen Zeitraum 89'039 Wh. Dies wird mit der grauen Fläche dargestellt (inkl. blauen Flächen). Dies entspricht einer durchschnittlichen Leistung von 530 W. Die Vorschaltgeräte benötigten davon rund 130 W (basierend auf gemessener Laborleistung, abzüglich der ausgewiesenen Röhrenleistung) respektive über dasselbe Zeitintervall 21'840 Wh, was rund einen Viertel der Gesamtleistung ausmacht.

Wären konventionelle LED-Röhren (LEDCity 100 %) ohne einer intelligenten Steuerung installiert worden, betrüge der Energieverbrauch über die sieben Tage 31'584 Wh, bei einer durchschnittlichen Leistung von rund 188 W. Dies entspricht einer Einsparung von 64 %, gegenüber der alten Beleuchtung mit Leuchtstoffröhren.

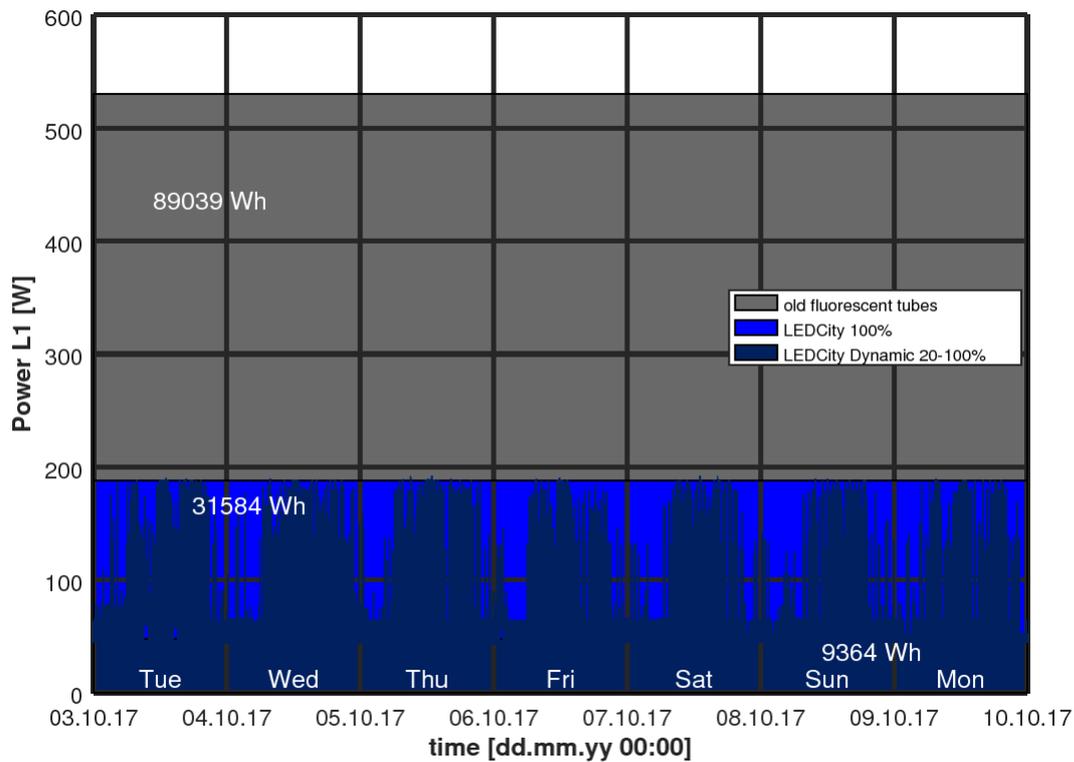


Abbildung 5: Vergleich der Technologien über eine Woche

Mit den steuerungsintegrierten LED-Röhren (LEDCity Dynamic 20-100%) konnte der Energieverbrauch auf 9'364 Wh reduziert werden. Dies entspricht einer durchschnittlichen Leistung von 56 W, respektive 5.6 W pro Leuchte (vorher 53 W). Der Energieverbrauch konnte gegenüber der Leuchtstoffröhre um 89 % und gegenüber der konventionellen LED-Röhre um 71 % gesenkt werden. Die dunkelblaue Fläche der steuerungsintegrierten LED-Röhre scheint in der Grafik dichter als in der Realität, was auf die Pixelbreite zurückzuführen ist. In den kommenden Grafiken wird der Unterschied besser ersichtlich.

#### 4.1.2. Zeitintervall: 1 Tag

Die folgende Grafik stammt aus Messresultaten vom Mittwoch, 04.10.2017. Je kürzer das Zeitintervall gewählt wird, desto eher kann erkannt werden, dass kurze Nachlaufzeiten entscheidend für die Reduktion des Energieverbrauches sind. Kurze Nachlaufzeiten sind jedoch erst durch die LED-Technologie möglich, da die Leuchtstoffröhrentechnologie anfällig auf häufiges Ein- und Ausschalten ist.

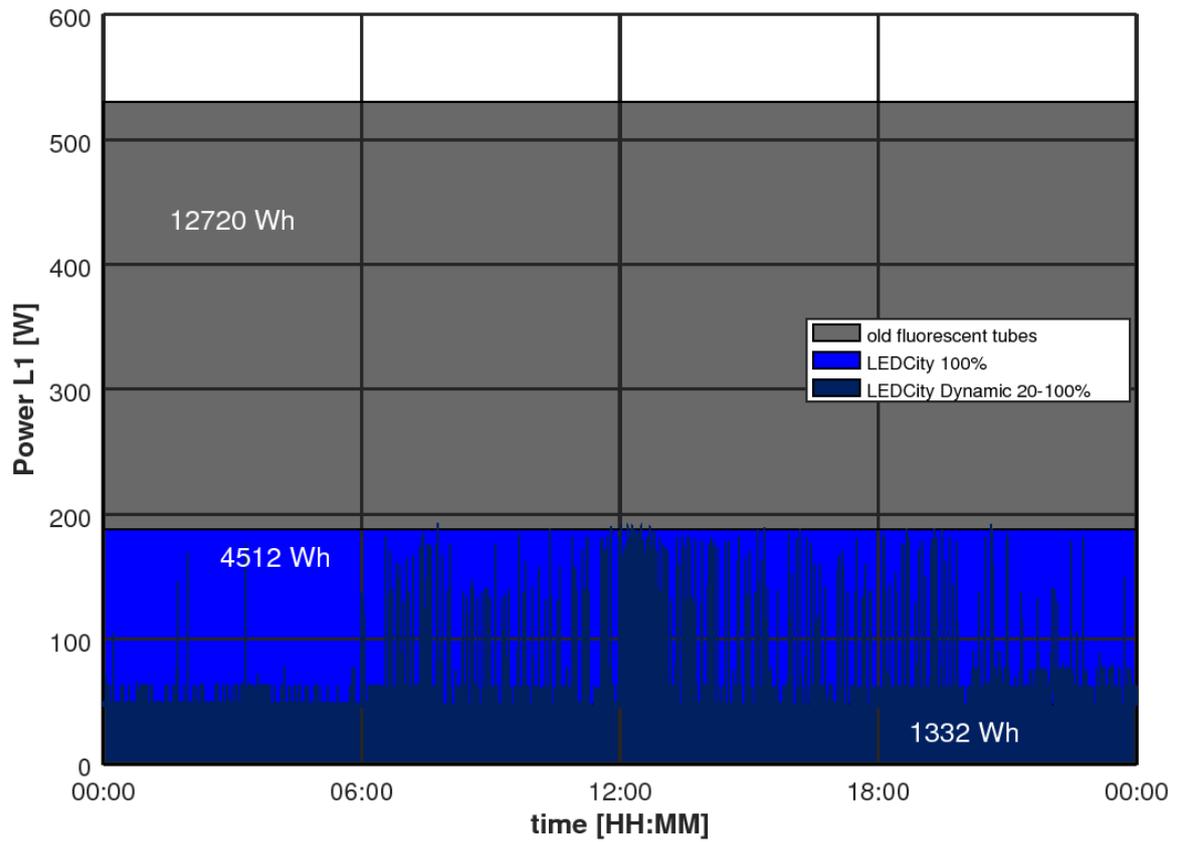


Abbildung 6: Vergleich der Technologien über einen Wochentag (Mittwoch, 04.10.2017)



#### 4.1.3. Zeitintervall: 1 Stunde

In der unteren Grafik wurde das Zeitintervall noch weiter minimiert. Durch die Herabsetzung des Zeitintervalls von einem Tag auf eine Stunde, wird jedoch auch ein Fehler ersichtlich: Eine der 10 verbauten LED-Röhren hat mit Fehlauflösungen zu kämpfen. Dies wird durch die kleinen Sprünge im Diagramm zwischen 60 und 70 W ersichtlich. LEDCity geht davon aus, dass Vibrationen der Strasse solche Detektionen auslösen. Denn die Unterführung verläuft im 90° Winkel zu einer Brücke, welche wahrnehmbare Schwingungen aufweist. Die betroffene LED-Röhre wurde ersetzt, jedoch wiesen ebenfalls die neuen LED-Röhren dieses Merkmal auf. Seither wird die Sensibilität der Sensoren um 10 % reduziert. Weiter unten im Bericht werden mögliche Fehlerquellen genauer untersucht. In Anhang A - Messdaten & -grafiken Objekt „Stauffacherquai Unterführung“ sind alle Tagesübersichten im Messzyklus grafisch als auch tabellarisch dargestellt.

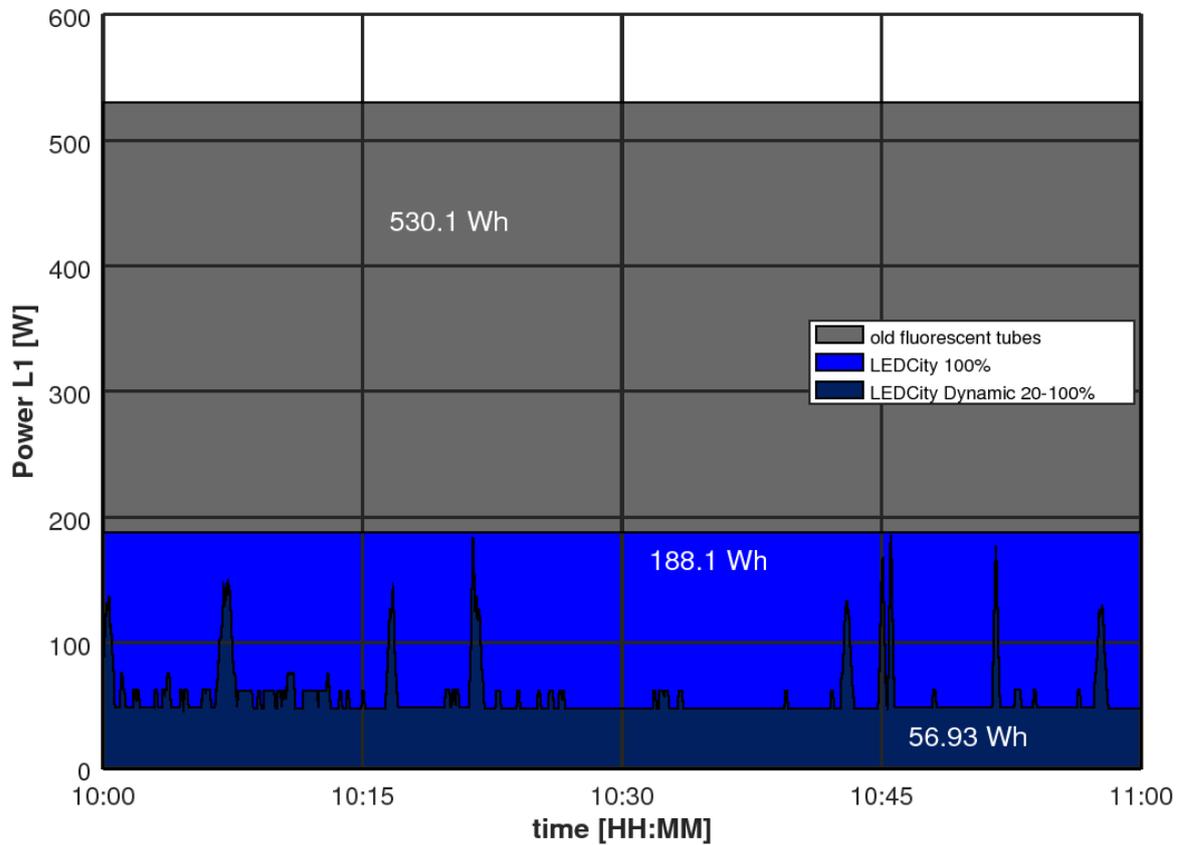


Abbildung 7: Vergleich der Technologien über eine Stunde (02.10.2017, 10:00 - 11:00 Uhr)



#### 4.1.4. Anzahl aktive Leuchten pro Personendurchgang

Aus den einwöchigen Messdaten konnten auch weitere Analysen gemacht werden, wie beispielsweise die Kategorisierung, wie viele der 10 LED-Röhren Leuchtmittel gleichzeitig aktiv sind. Dies basiert auf dem Leistungsunterschied zwischen dem gemessenen 20 % und 100 % Betriebsfall, welcher auf eine einzelne LED-Röhre heruntergerechnet werden kann. In Anhang B Messdaten Objekt „Stauffacherquai Unterführung“ ist die diesbezügliche Analysetabelle dargestellt. Aus Übersichtlichkeitsgründen referenzieren wir hier in diesem Kapitel nur einige wenige einstündige Ausschnitte dieser Detailanalyse.

Die folgende Abbildung 8 zeigt den 1 h Leistungsverlauf für den „aktivsten“ resp. den grössten Energiebedarf Zyklus innerhalb der 1-wöchigen Messdauer, welcher einem stündlichen Leistungsbedarf von 81.7 W entspricht. Die Erklärung für diesen überdurchschnittlichen Energieverbrauch ist die Reinigungsequipe der Stadt, welche zu diesem Zeitpunkt (03.10.2017 09:00 – 10:00) gerade die Unterführung von Laub und Abfall säubert.

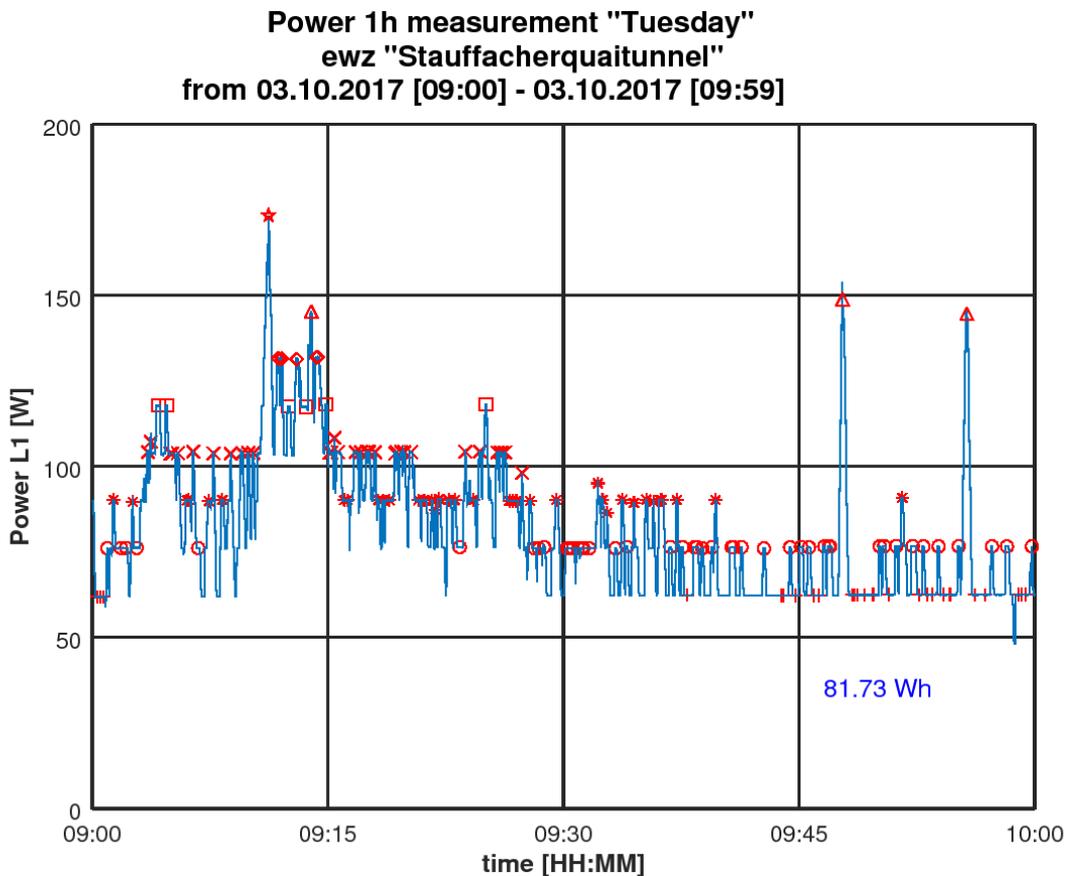


Abbildung 8: 1h Messanalyse Dienstag, 03.10.2017 von 09:00 - 10:00 mit Datenpunktkategorisierung



In der folgenden Tabelle wurden die Anzahl Messpunktspitzen für das einstündige Messintervall aufgelistet (1 Messpunktspitze ist definiert als klar erkennbarer Maximalwert innerhalb eines 5 Sekundenfensters).

		Messpunkte (>5s) Anzahl aktiver LED Röhren (100% Modus)									
Datum [YYYY-MM-DD]	Zeitbereich [HHMM-HHMM]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2017-10-03	0900-0959	27	44	38	31	6	5	3	0	1	0

Tabelle 3: Messpunktspitzen Dienstag, 03.10.2017 von 09:00 - 10:00

Die zwei Messspitzen zwischen 09:45 und 10:00 bei ca. 150 W stammen von zwei normalen Personendurchgängen (Symbol  $\Delta$ ) wo jeweils maximal sieben LED-Röhren gleichzeitig aktiv (100% Betriebsmodus) waren.

Die „sparsamste“ Zyklus liegt nicht weiter verwunderlich mitten in der Nacht (Siehe Abbildung 9).

		Messpunkte (>5s) Anzahl aktiver LED Röhren (100% Modus)									
Datum [YYYY-MM-DD]	Zeitbereich [HHMM-HHMM]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2017-10-06	0300-0359	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 4: Messpunktspitzen Freitag, 06.10.2017 von 03:00 - 04:00

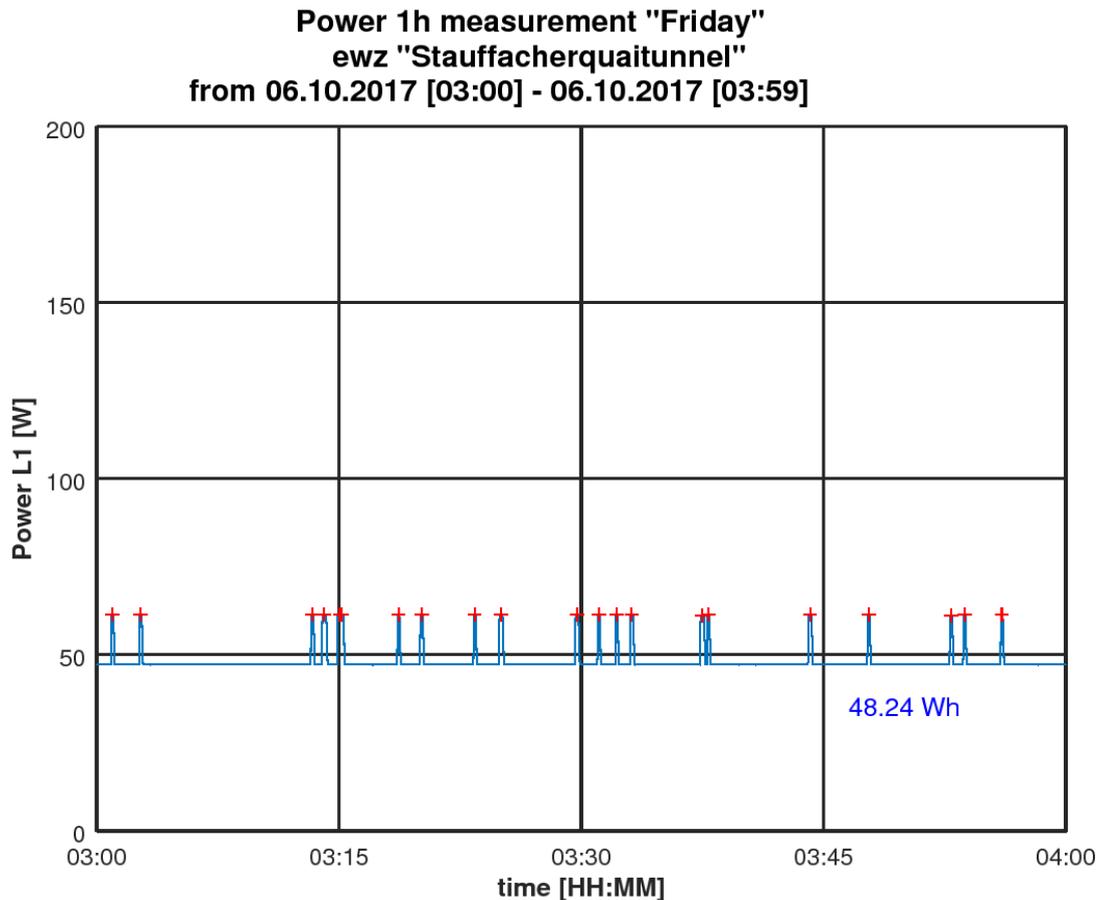


Abbildung 9: 1h Messanalyse Freitag, 06.10.2017 von 03:00 - 04:00 mit Datenpunktkategorisierung



## 4.2. Labormessungen

Im Gegensatz zu den Messungen in Kapitel «Messergebnisse der Unterführung» wurden die Labormessungen, welche in diesem Kapitel beschrieben sind, mit einem Messintervall von einer Minute aufgezeichnet. Für die Labormessung wurde das gleiche Messequipment wie in der Unterführung verwendet.

Die Messungen fanden im Eichlabor (Eichstelle WHH-341) der ewz an der Pfingstweidstrasse 85, 8005 Zürich am Mittwoch, 11.10.2017 statt.

Vom Messablauf her wurde zuerst wie bereits in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben wurde die alte Installation, welche aus Vorschaltgerät sowie Leuchtstoffröhre bestand, ausgemessen. Im Anschluss wurden jeweils die LEDCity Halbaunomne LED-Röhren in den zwei Operationsmodi (100% eingeschaltet und 20% gedimmt) ausgemessen. Dies musste mit mehreren Röhren in Serie gemacht werden, um auch in einem für die Stromzange akzeptablen Messbereich zu sein, wenn alle Röhren in gediminten Zustand operieren.

### 4.2.1. Leuchtstoffröhre Philips TL RS 40W/33-640

Die Messung an einer Leuchtstoffröhre Philips TL RS 40W/33-640 inkl. konventionellem Vorschaltgerät (siehe Abbildung 10) erfolgte von 09:11 bis 09:21.



Abbildung 10: konventionelles Vorschaltgerät Knobel Ferroprofil Perfektstart R1B für Leuchtstoffröhren

In der folgenden Tabelle ist jeweils der statistische Mittelwert zu allen gemessenen Parametern ersichtlich:

Parameter	Ergebnis
Strom [A]	$0.478 \pm 0.001$
Wirkleistung [W]	$53.06 \pm 0.05$
Blindleistung [Var]	$95.3 \pm 0.3$
Scheinleistung [VA]	$109.8 \pm 0.3$
Cos phi	$0.487 \pm 0.001$

Tabelle 5: Messstatistik FL Röhre TL RS 40W/33-640 inkl. konventionellem Vorschaltgerät



#### 4.2.1.1. Anlaufstrom

In der folgenden Grafik ist der Anlaufstrom der Leuchtstoffröhre ersichtlic (Messwert  $I_{max}$  [grün] / Messwert  $I_{avg}$  [rot] 10 ms Intervall) wobei festgehalten werden kann, dass dieser mit bis zu 1.05 A über das doppelte des gemessenen Nennstromes beträgt.

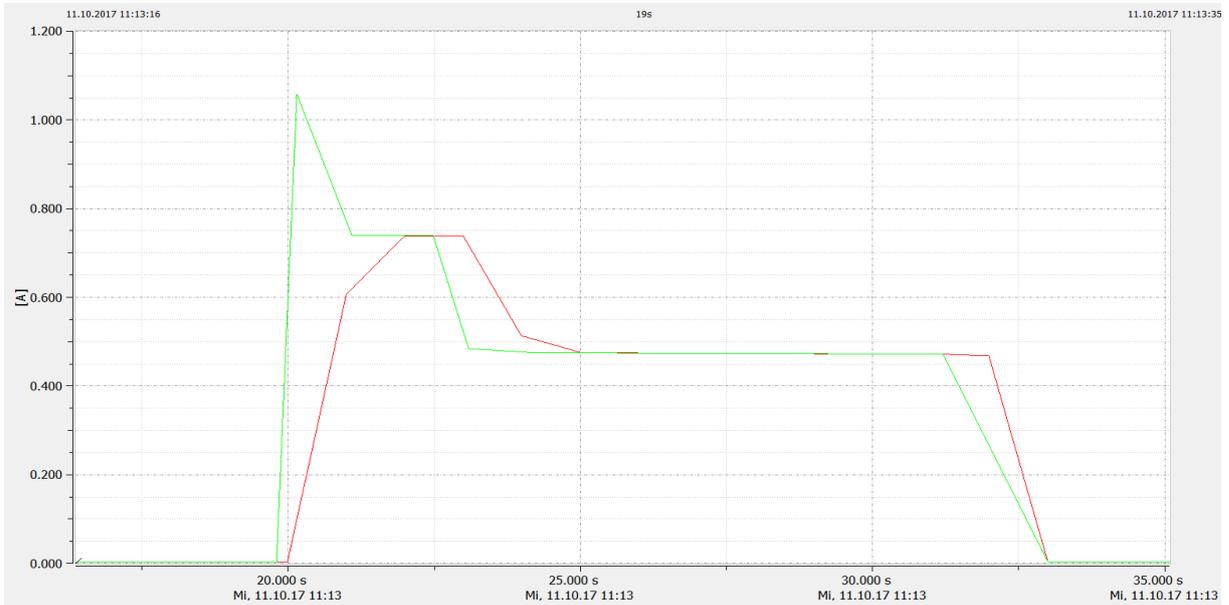


Abbildung 11: Messung Anlaufstrom FL Röhre TL RS 40W/33-640 inkl. konventionellem Vorschaltgerät

#### 4.2.1.2. Oberschwingungen

In der folgenden Abbildung ist das Strom Oberschwingungsspektrum der Leuchtstoffröhre (95 %-Wert [rot] / Max-Wert [blau]) bis zur 50. Oberschwingung dargestellt. Der Hauptanteil neben der Grundschwingung besteht fast gänzlich aus der 3. Oberschwingung mit weiteren kleineren Anteilen der 5. und 7. Oberschwingung.

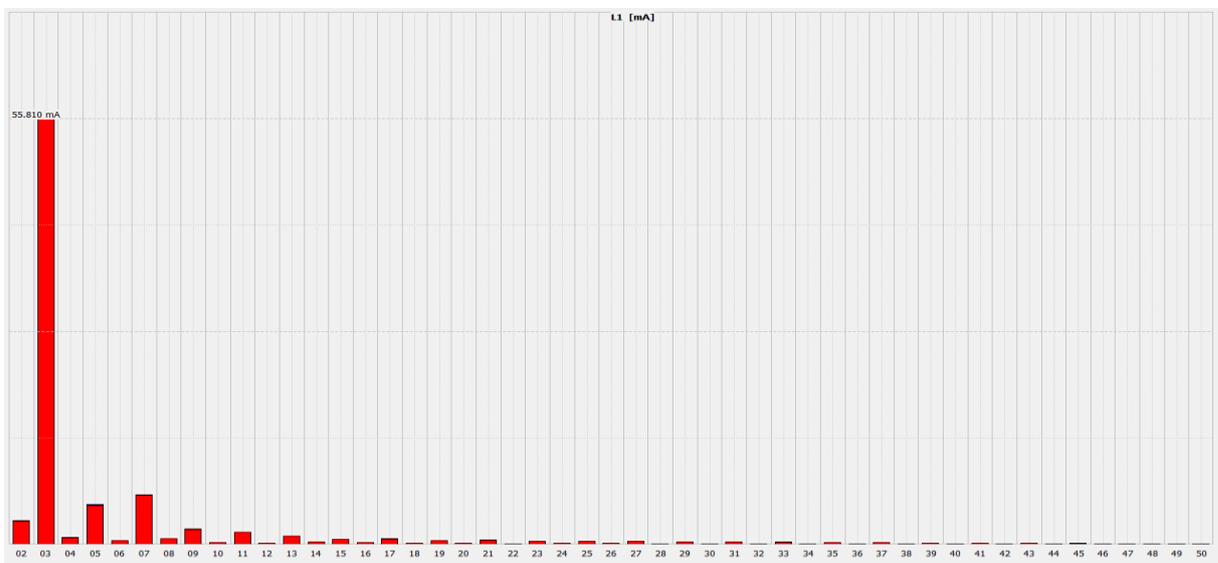


Abbildung 12: Strom Oberschwingungsspektrum FL Röhre TL RS 40W/33-640 inkl. KVG



#### 4.2.2. LEDCity Halbautonome LED-Röhre

Die Messung an den LEDCity Halbaunomen LED-Röhren erfolgte wie bereits einleitend erwähnt einmal in Serie von jeweils 3 sowie 4 Röhren um im Nennmessbereich der Strommesszange zu liegen.

Parameter	Ergebnis
Strom [A]	$0.3483 \pm 0.0005$
Wirkleistung [W]	$75.1 \pm 0.1$
Blindleistung [Var]	$-25.98 \pm 0.09$
Scheinleistung [VA]	$80.1 \pm 0.1$
Cos phi	$0.9451 \pm 0.0005$

Tabelle 6: Messdaten 4 Röhren 100 % Betriebsmodus

Parameter	Ergebnis
Strom [A]	$0.2620 \pm 0.0006$
Wirkleistung [W]	$56.3 \pm 0.1$
Blindleistung [Var]	$-19.68 \pm 0.08$
Scheinleistung [VA]	$60.2 \pm 0.1$
Cos phi	$0.9439 \pm 0.0004$

Tabelle 7: Messdaten 3 Röhren 100 % Betriebsmodus

Parameter	Ergebnis
Strom [A]	$0.1183 \pm 0.0003$
Wirkleistung [W]	$19.71 \pm 0.06$
Blindleistung [Var]	$-17.10 \pm 0.08$
Scheinleistung [VA]	$27.22 \pm 0.06$
Cos phi	$0.755 \pm 0.002$

Tabelle 8: Messdaten 4 Röhren 20 % Dimmmodus

Parameter	Ergebnis
Strom [A]	$0.0891 \pm 0.0004$
Wirkleistung [W]	$14.80 \pm 0.08$
Blindleistung [Var]	$-12.9 \pm 0.1$
Scheinleistung [VA]	$20.51 \pm 0.09$
Cos phi	$0.754 \pm 0.003$

Tabelle 9: Messdaten 3 Röhren LEDCity Halbautonom 20 % Dimmmodus



Durch die Skalierung der obigen Daten mit der jeweiligen Stückzahl können wir auf die Parameter einer einzelnen Röhre schliessen.

Parameter	Skalierung von 3 Röhren	Skalierung von 4 Röhren
Strom [A]	0.087333	0.087075
Wirkleistung [W]	18.7666	18.775
Blindleistung [Var]	-6.56	-6.495
Scheinleistung [VA]	20.0666	20.025

Tabelle 10: Errechnete Daten 1 Röhre LEDCity Halbautonom 100% Betriebsmodus

Parameter	Skalierung von 3 Röhren	Skalierung von 4 Röhren
Strom [A]	0.0297	0.029575
Wirkleistung [W]	4.9333	4.9275
Blindleistung [Var]	-4.3	-4.275
Scheinleistung [VA]	6.83666	6.805

Tabelle 11: Errechnete Daten 1 Röhre LEDCity Halbautonom 20% Betriebsmodus

#### 4.2.2.1. Anlaufstrom

Bei derselben Messung des Anlaufstromes mit einer LEDCity-Röhre Halbautonom konnte kein deutlicher Stromanstieg in Bezug auf den gemessenen Mittelwert festgestellt werden. (Messwert  $I_{max}$  [grün]/ Messwert  $I_{avg}$  [rot] 10ms Intervall).

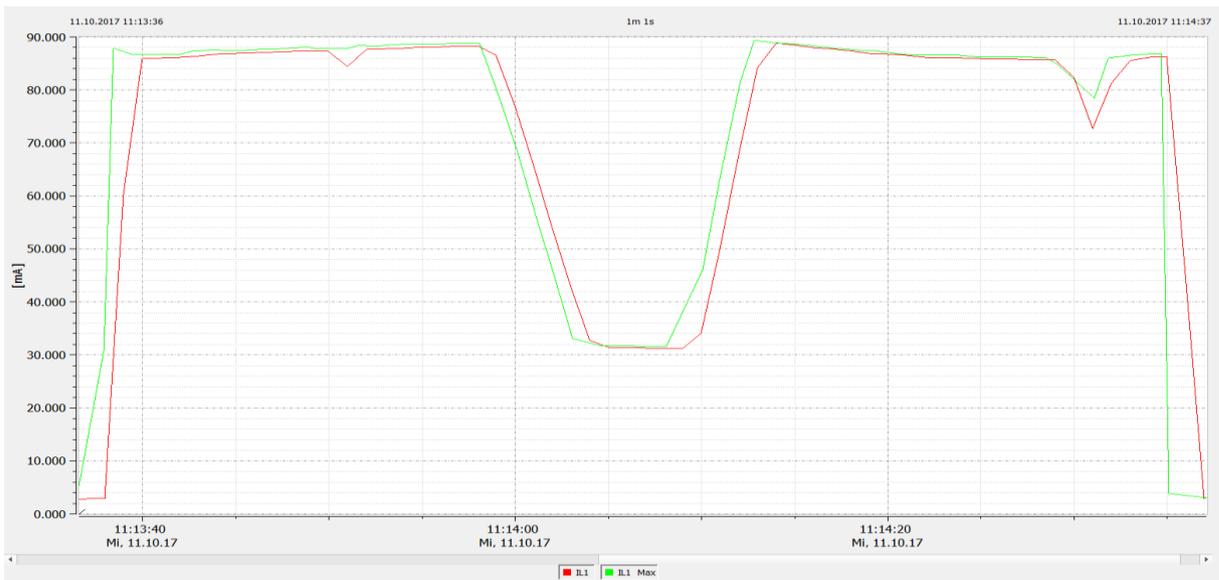


Abbildung 13: Messung Anlaufstrom 1 LEDCity LED-Röhre Halbautonom inkl. Dimmrampe 100%-20% und 20%-100%



#### 4.2.2.2. Oberschwingungen

In den folgenden Grafiken sind die jeweiligen Strom Oberschwingungsspektren der LEDCity-Röhre Halbautonom (95%-Wert [rot] / Max-Wert [blau]) bis zur 50. Oberschwingung dargestellt.

Im 100 % Betriebsmodus der Halbautonomen LED-Röhre besteht der Hauptstromanteil neben der Grundschwingung im Gegensatz zur Leuchtstoffröhre insbesondere aus den ungeraden Oberschwingungen.

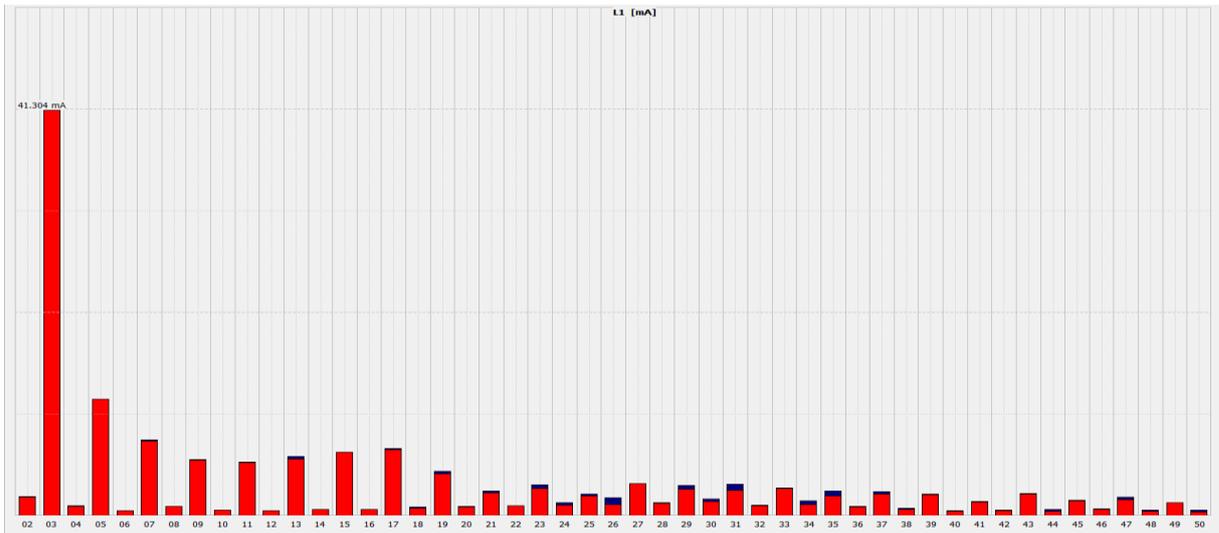


Abbildung 14: Strom Oberschwingungsspektrum 4 Stück LED-Röhren Halbautonom 100% Betriebsmodus

Im 20 % Betriebsmodus verändert sich der Oberschwingungsanteil wie in den folgenden Grafiken dargestellt. Tendenziell steigt der Anteil aller ungeraden Oberschwingungen an, welche ebenfalls exponentiell von der 3 bis zur 49 abzunehmen scheinen. Der grösste Anstieg im Vergleich zum 100 % Betriebsmodus sind bei den 5, 7, 9, 11, 13 Oberschwingungen festzustellen. Die dritte harmonische Oberschwingung nimmt im Vergleich zum 100 % Betriebsmodus ab.

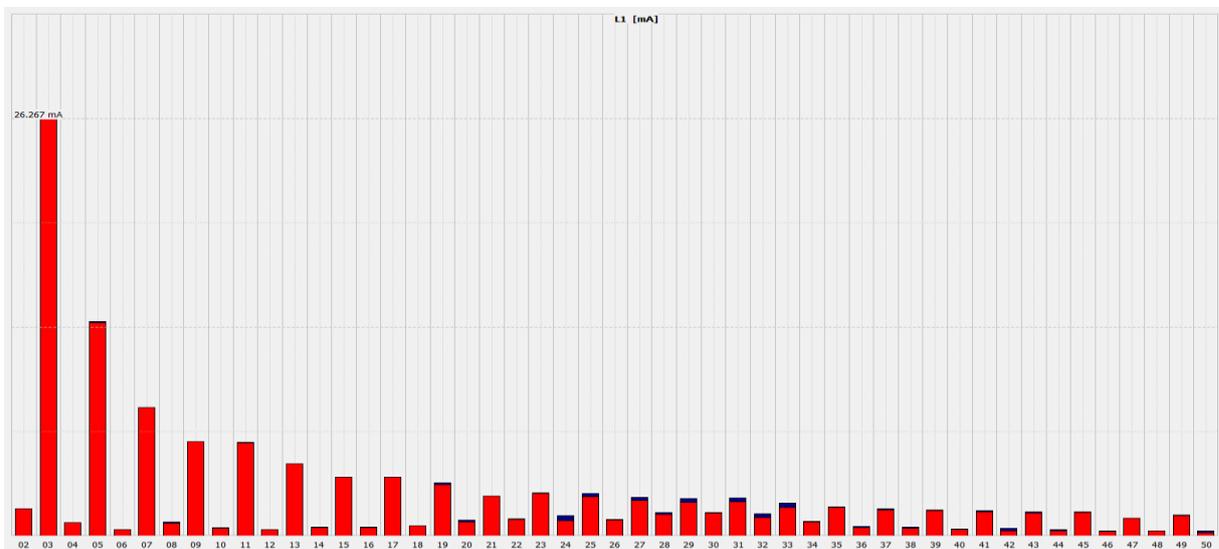
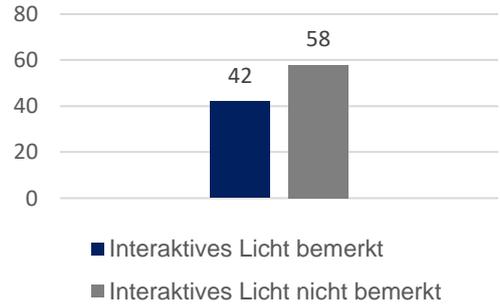


Abbildung 15: Strom Oberschwingungsspektrum 4 Stück LED-Röhren Halbautonom 20% Dimm-Betriebsmodus

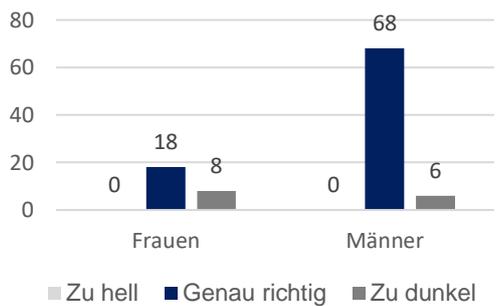


### 4.3. Akzeptanzumfrage

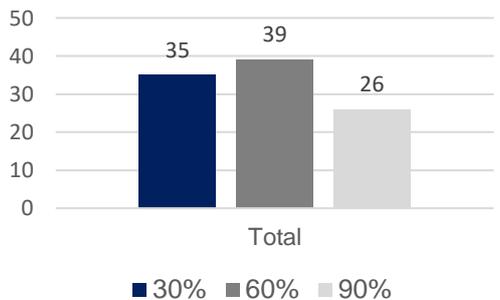
Am 10. Januar 2018 wurden zwischen 11:00 Uhr und 19:00 Uhr hundert Passanten zur Beleuchtung befragt. Ziel war es herauszufinden, ob die Energieeinsparung die Fussgänger negativ beeinflusst. Bei der ersten Frage wurden die befragten Personen nicht über den Umbau aufgeklärt. Dadurch sollte geklärt werden, ob die Personen überhaupt eine Veränderung wahrnehmen, obwohl rund 90 % an Energie eingespart wurde. Frage: **Ist Ihnen an der Beleuchtung etwas aufgefallen?**



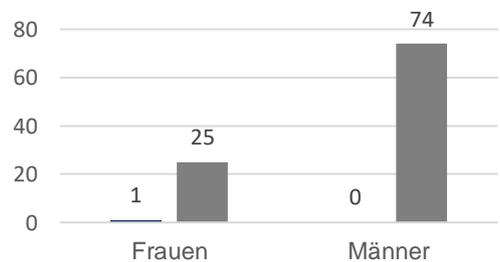
Nach der ersten Frage wurden die Personen über den Umbau informiert. Danach wurde die zweite Frage über die Lichtintensität gestellt. Bei dieser Frage muss angemerkt werden, dass Personen welche mit «zu dunkel» geantwortet haben, ausschliesslich am Nachmittag vorgekommen sind. Aufgrund der direkten Sonneneinstrahlung und dem anschliessenden Wechsel in die Unterführung, verändert sich die Wahrnehmung. Sobald die Dämmerung einsetzte, war es keiner Person in der Unterführung zu dunkel. Frage: **Ist Ihnen die Beleuchtung zu hell, genau richtig oder zu dunkel?**



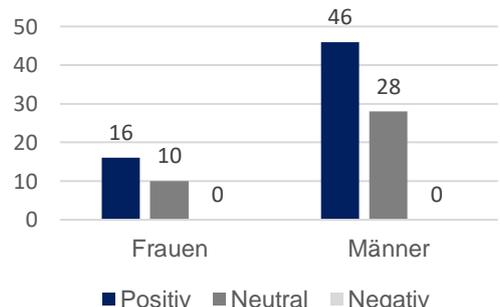
Bei der dritten Frage wurde die Sensibilität auf das Thema Energiesparen untersucht. Zudem sollte herausgefunden werden, wie hoch die Personen die Einsparung einschätzen aufgrund von den Veränderungen, welche sie zur konventionellen Beleuchtung wahrgenommen haben. Die meisten Personen schätzten eine geringere Einsparung, als sie erzielt wurde. Frage: **Wie hoch schätzen Sie die Energieeinsparung aufgrund der neuen Beleuchtung?**



Bei der vierten Frage sollte herausgefunden werden, ob die Energieeinsparungen die Personen negativ beeinflussen. Eine Person beantwortete die Frage mit «ja», mit der Begründung, dass sie sich in der Nacht vermutlich aufgrund der Dunkelheit unwohl fühlen würde. In der Nacht fanden es jedoch alle Personen hell genug. Frage: **Fühlen Sie sich aufgrund der Lichtsituation unwohl?**



Um die Umfrage abzurunden, wurde am Schluss, nachdem alle Informationen bekannt waren, nach dem Gesamteindruck gefragt. Hier zeigten alle Personen Verständnis, dass sich die Lichtsituation leicht geändert hat, jedoch dadurch 90 % der Energie eingespart werden konnte. Frage: **Wie ist Ihr Gesamteindruck zur Beleuchtung?**





## 5. Diskussion / Schlussfolgerungen

Um eine übergreifende Aussage zu machen, werden die Technologien hier übersichtshalber in einer Tabelle nochmals miteinander verglichen. In der Tabelle wurden die Messwerte einer Woche auf das Jahr hochgerechnet. Zudem wurde ein Vergleich bei einer üblichen LED-Lebensdauer von 50'000 h dargestellt. Die halbautonome LED-Röhre dürfte diese Lebensdauer sogar noch überschreiten, da sie sich die meiste Zeit im gedimmten Zustand befindet und die Elektronik sowie die LEDs aufgrund einer geringeren Temperaturentwicklung geschont wird.

	Konventionelle Leuchtstoffröhre	Konventionelle LED-Röhre	Halbautonome LED-Röhre
Lebensdauer [h]	13'000	50'000	> 50'000
Lebensdauer [Jahre]	1.484	5.708	> 5.708
Elektrizitätskosten [Rp/kWh]	0.19	0.19	0.19
Energieverbrauch pro Woche und Leuchte [kWh]	8.904	3.158	0.936
Energieverbrauch pro Jahr und Leuchte [kWh]	464.255	164.658	48.803
Energieverbrauch über 50'000 h pro Leuchte [kWh]	2'649.968	939.868	278.568
Energieeinsparung über 50'000 h pro Leuchte [kWh]	0	1'710.1	2'371.4
Energiekosten pro Jahr und Leuchte [CHF]	88.208	31.285	9.273
Energiekosten über 50'000 h pro Leuchte [CHF]	503.494	178.575	52.928
Kosteneinsparung über 50'000 h pro Leuchte [CHF]	0	324.919	450.566

Tabelle 12: Vergleich der Technologien

### 5.1. Unterhaltskosten

In der Tabelle wurden die Unterhaltskosten bewusst weggelassen, da diese orts- und marktabhängig sind und deshalb stark variieren können. Die konventionelle Leuchtstoffröhre muss gemäss den Herstellerangaben deutlich öfters ersetzt werden. Ebenfalls muss das Vorschaltgerät bei der Variante «Konventionelle Leuchtstoffröhre» periodisch ersetzt werden. Jedoch ist hier unklar, ob das Unterhaltspersonal für eine einzelne Leuchtstoffröhre/Vorschaltgerät mit dem Servicewagen anreist, wie lange diese Arbeiten dauern und wie hoch die Stundenansätze gewählt werden.



## 5.2. Energetische- und ökonomische Sichtweise

Aus **energetischer Sicht** schneidet die Variante «Halbautonome LED-Röhre» gemäss den Messresultaten am besten ab. Der Energieverbrauch ist deutlich geringer, als bei den zwei anderen Varianten. Die graue Energie, welche durch die Herstellung entsteht wurde in diesem Bericht nicht untersucht. Die Variante «Konventionelle LED-Röhre» und «Halbautonome LED-Röhre» dürften einen ähnlichen ökologischen Rucksack mit sich bringen. Die Variante «Konventionelle Leuchtstoffröhre» wird sich am ehesten von den zwei anderen Varianten unterscheiden, da der Hauptbestandteil Glas ist und Quecksilber enthalten ist. Zudem ist die Lebensdauer deutlich geringer. Daher müsste eine LED-Röhre mit knapp vier Leuchtstoffröhren verglichen werden.

Aus **ökonomischer Sicht** schneidet ebenfalls die Variante «Halbautonome LED-Röhre» gemäss den Messresultaten am besten ab. Über die Lebensdauer von 50'000 h spart sie CHF 451 gegenüber der konventionellen Leuchtstoffröhre, sowie CHF 126 gegenüber der konventionellen LED-Röhre. Auch hier müsste fairerweise wieder knapp vier Leuchtstoffröhren mit den Preisen der LED-Röhren verglichen werden, da diese öfters ersetzt werden müssen. Für die verwendeten LED-Röhren musste das Vorschaltgerät der Leuchtstoffröhre entfernt werden, um einen optimalen Betrieb in derselben Leuchte zu gewährleisten. Dieses Vorschaltgerät muss jedoch sowieso am Ende der Lebensdauer ersetzt oder entfernt werden, da ansonsten der Stromkreislauf unterbrochen wird. Zudem rechnet sich der Ausbau alleine schon wegen dem erhöhten Energieverbrauch, welcher durch das Vorschaltgerät verursacht wird.

Sicherlich muss vor jedem Einsatz geprüft werden, ob eine intelligente Beleuchtungslösung sinnvoll ist. Weniger sinnvoll sind Orte, bei denen das Licht konstant benötigt wird oder wenn das Licht nahezu nie eingeschaltet wird. Aus ökologischer Sicht wäre der Einsatz grossflächig sinnvoll, jedoch rechnet es sich aus ökonomischer Sicht nur, wenn die Beleuchtung rege genutzt wird. Wenn bei der Planung von Beleuchtungsprojekten die Möglichkeit genug früh berücksichtigt wird, kann auf die aufwändige Installation von Bewegungsmeldern verzichtet werden. Wie sich gezeigt hat, leuchten bei der Dezentralisierung der Sensorik fast nie alle Leuchtmittel gleichzeitig unter Vollast. Gerade beim Einsatz in grossflächigen Gebäuden, kann durch die Dezentralisierung der Lichtsteuerung nochmals deutlich mehr gespart werden. Der Einsatz in Unterführungen kann gemäss den erzielten Erkenntnissen klar empfohlen werden.

## 6. Ausblick, nächste Schritte nach Projektabschluss

Viele Unterführungen sind für Rollstuhlfahrer und somit auch für Fahrradfahrer gut passierbar. Die Sensitivität der Sensoren konnte während dem Projekt deutlich erhöht werden, sodass für Fussgänger das Licht genug weit voraus eilt. Für schnellere Verkehrsteilnehmer wie Fahrradfahrer ist die Lösung jedoch noch unbefriedigend. Deshalb entwickelt LEDCity weiter an einer Lösung für schnellere Verkehrsteilnehmer. Bis zum Zeitpunkt der Veröffentlichung des Berichtes konnten bereits erste Prototypen entwickelt werden, bei welchen die Detektionsreichweite nochmals mehr als verdoppelt werden konnte. Das Ziel ist es, diese neuen Leuchtmittel nach erlangen der Serienreife flächendeckend in Unterführungen und Tunnels einzubauen.



## 7. Anhang

### A Messdaten & -grafiken Objekt „Stauffacherquai Unterführung“ - Energieverbrauch

A1 Dienstag, 03.10.2017

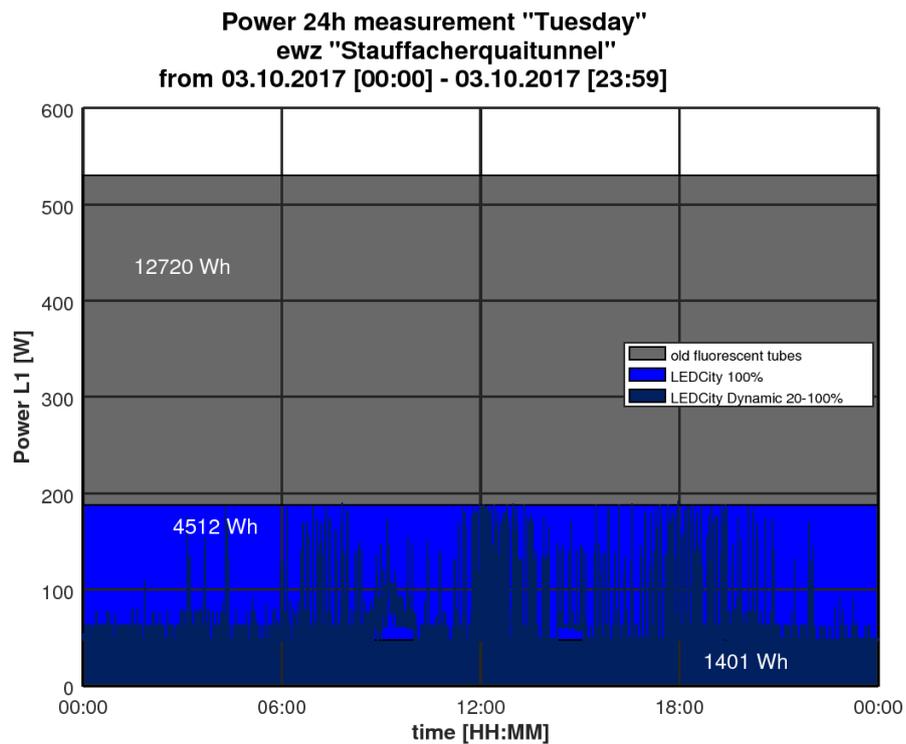


Abbildung 16: Energievergleich (1 Tag) FL, LED, LED Dynamisch – Dienstag 03.10.2017

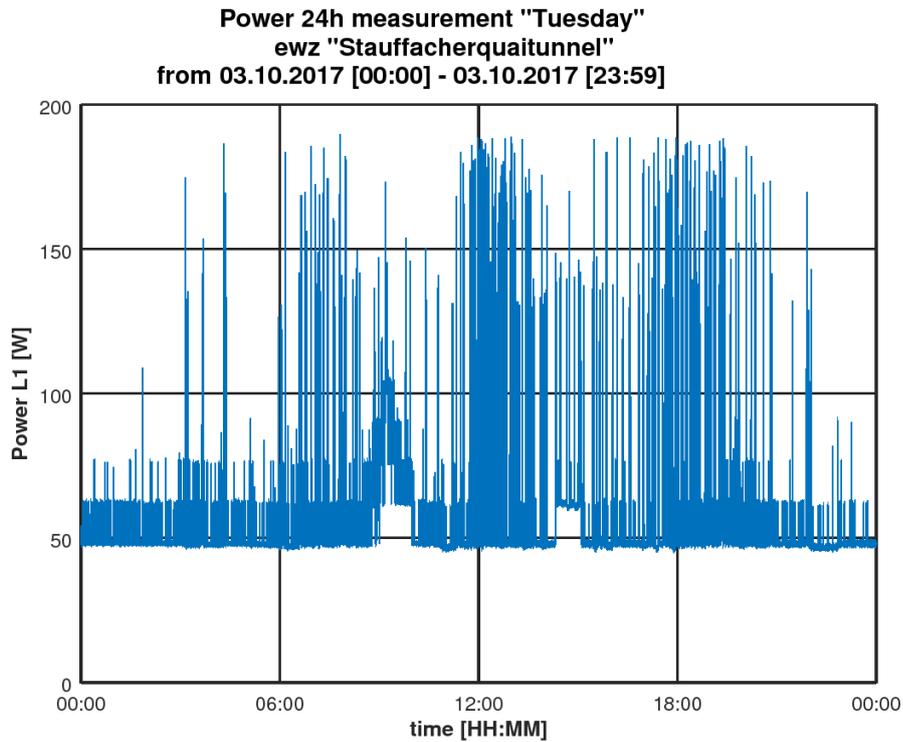


Abbildung 17: Energieverbrauch (1 Tag) LED Dynamisch – Dienstag 03.10.2017

Datum [YYYY-MM-DD]	Zeitbereich [HHMM-HHMM]	Energieverbrauch [Wh]
2017-10-03	0000-0059	51.42
2017-10-03	0100-0159	51.62
2017-10-03	0200-0259	51.33
2017-10-03	0300-0359	58.06
2017-10-03	0400-0459	52.83
2017-10-03	0500-0559	52.18
2017-10-03	0600-0659	58.29
2017-10-03	0700-0759	61.83
2017-10-03	0800-0859	62.01
2017-10-03	0900-0959	81.73
2017-10-03	1000-1059	53.09
2017-10-03	1100-1159	54.51
2017-10-03	1200-1259	69.86
2017-10-03	1300-1359	60.3
2017-10-03	1400-1459	61.96
2017-10-03	1500-1559	58.18
2017-10-03	1600-1659	55.94
2017-10-03	1700-1759	63.75
2017-10-03	1800-1859	67.37
2017-10-03	1900-1959	68.84
2017-10-03	2000-2059	55.86



2017-10-03	2100-2159	52.1
2017-10-03	2200-2259	48.76
2017-10-03	2300-2359	48.87

Tabelle 13: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Dienstag, 03.10.2017



A2 Mittwoch, 04.10.2017

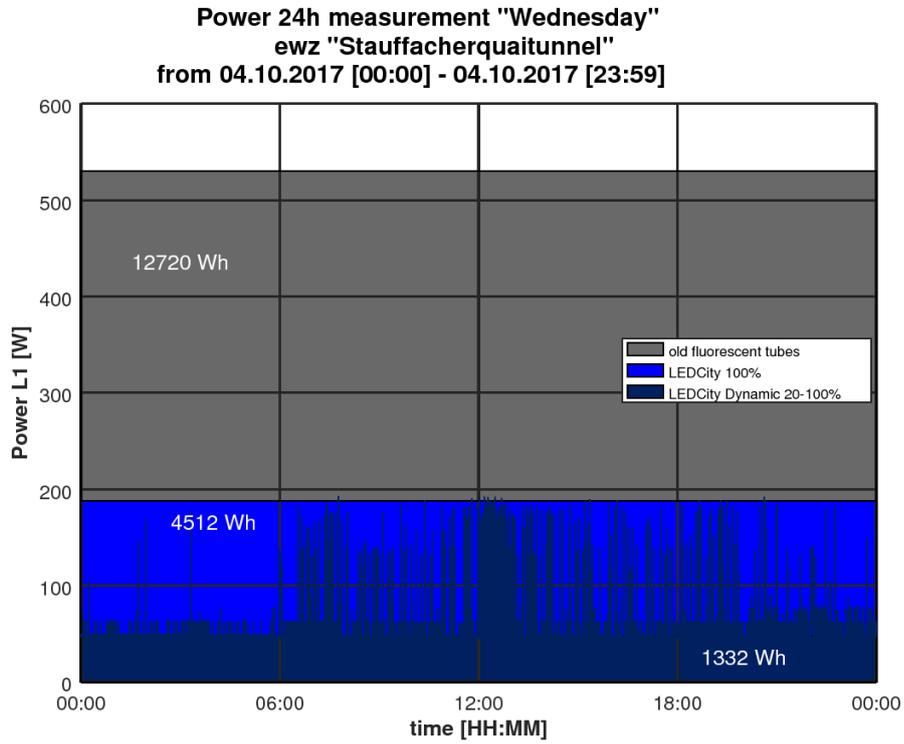


Abbildung 18: Energievergleich (1 Tag) FL, LED, LED Dynamisch – Mittwoch 04.10.2017

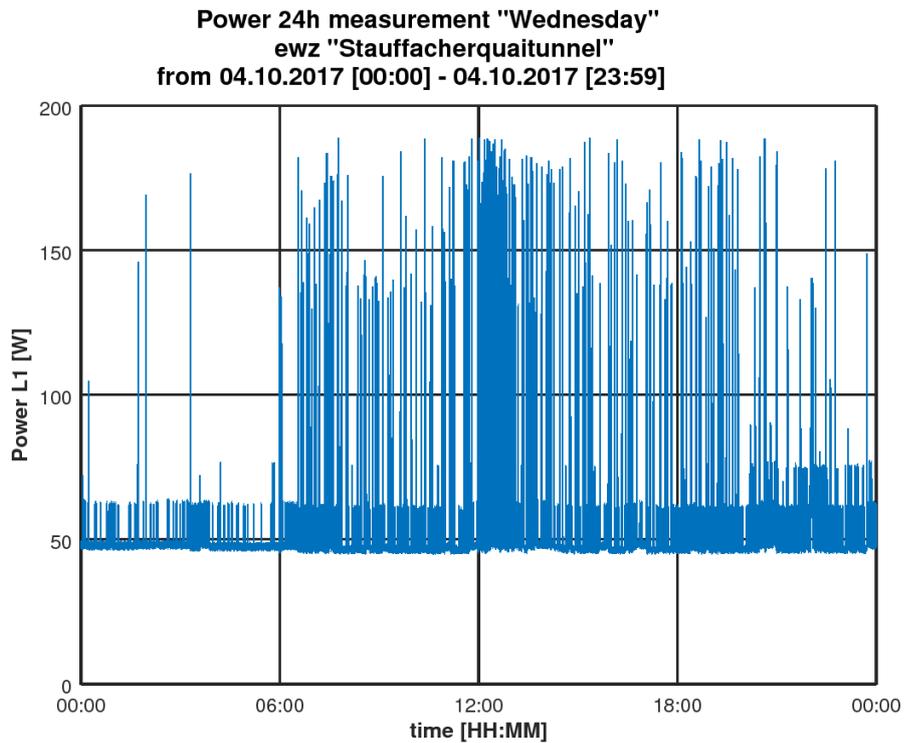


Abbildung 19: Energieverbrauch (1 Tag) LED Dynamisch – Mittwoch 04.10.2017



<b>Datum</b> <b>[YYYY-MM-DD]</b>	<b>Zeitbereich</b> <b>[HHMM-HHMM]</b>	<b>Energieverbrauch</b> <b>[Wh]</b>
2017-10-04	0000-0059	49.42
2017-10-04	0100-0159	49.66
2017-10-04	0200-0259	49.12
2017-10-04	0300-0359	50.7
2017-10-04	0400-0459	48.68
2017-10-04	0500-0559	49.23
2017-10-04	0600-0659	54.91
2017-10-04	0700-0759	57.26
2017-10-04	0800-0859	56.54
2017-10-04	0900-0959	53.74
2017-10-04	1000-1059	54.94
2017-10-04	1100-1159	56.31
2017-10-04	1200-1259	75.98
2017-10-04	1300-1359	61.57
2017-10-04	1400-1459	55.28
2017-10-04	1500-1559	55.97
2017-10-04	1600-1659	53.69
2017-10-04	1700-1759	56.13
2017-10-04	1800-1859	58.54
2017-10-04	1900-1959	59.56
2017-10-04	2000-2059	56.38
2017-10-04	2100-2159	56.52
2017-10-04	2200-2259	57.31
2017-10-04	2300-2359	54.86

Tabelle 14: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Mittwoch, 04.10.2017



A3 Donnerstag, 05.10.2017

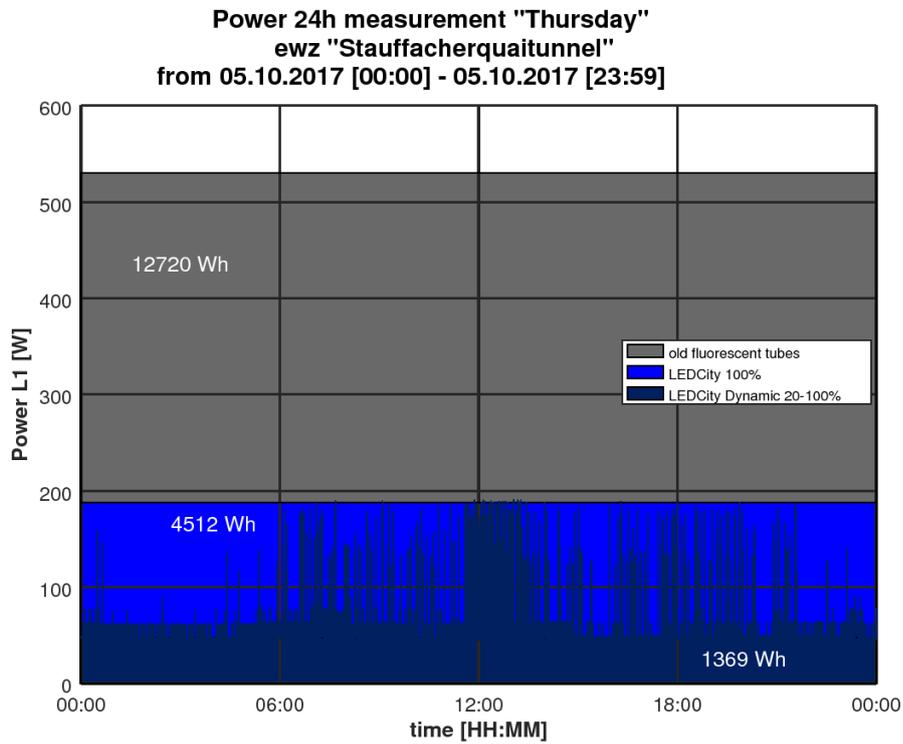


Abbildung 20: Energievergleich (1 Tag) FL, LED, LED Dynamisch – Donnerstag 05.10.2017

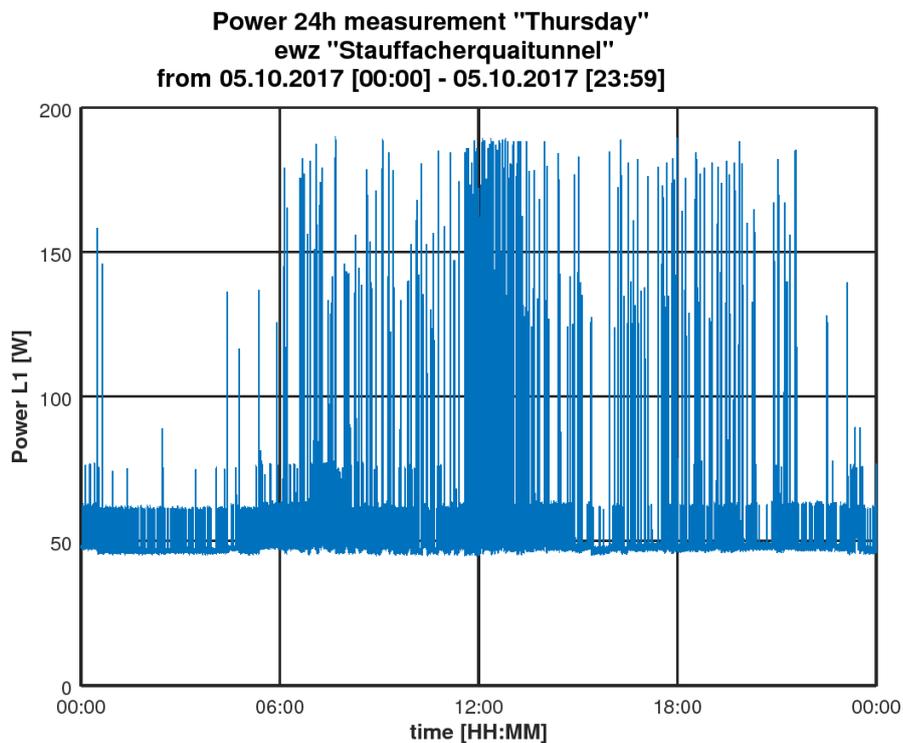


Abbildung 21: Energieverbrauch (1 Tag) LED Dynamisch – Donnerstag 05.10.2017



<b>Datum</b> <b>[YYYY-MM-DD]</b>	<b>Zeitbereich</b> <b>[HHMM-HHMM]</b>	<b>Energieverbrauch</b> <b>[Wh]</b>
2017-10-05	0000-0059	53.23
2017-10-05	0100-0159	50.07
2017-10-05	0200-0259	49.59
2017-10-05	0300-0359	49.57
2017-10-05	0400-0459	50.64
2017-10-05	0500-0559	53.44
2017-10-05	0600-0659	58.31
2017-10-05	0700-0759	61.76
2017-10-05	0800-0859	59.94
2017-10-05	0900-0959	61.23
2017-10-05	1000-1059	58.66
2017-10-05	1100-1159	60.31
2017-10-05	1200-1259	79.81
2017-10-05	1300-1359	68.1
2017-10-05	1400-1459	57.75
2017-10-05	1500-1559	51.14
2017-10-05	1600-1659	56.43
2017-10-05	1700-1759	59.02
2017-10-05	1800-1859	57.48
2017-10-05	1900-1959	58.58
2017-10-05	2000-2059	51.81
2017-10-05	2100-2159	54.77
2017-10-05	2200-2259	51.77
2017-10-05	2300-2359	55.16

Tabelle 15: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Donnerstag, 05.10.2017



A4 Freitag, 06.10.2017

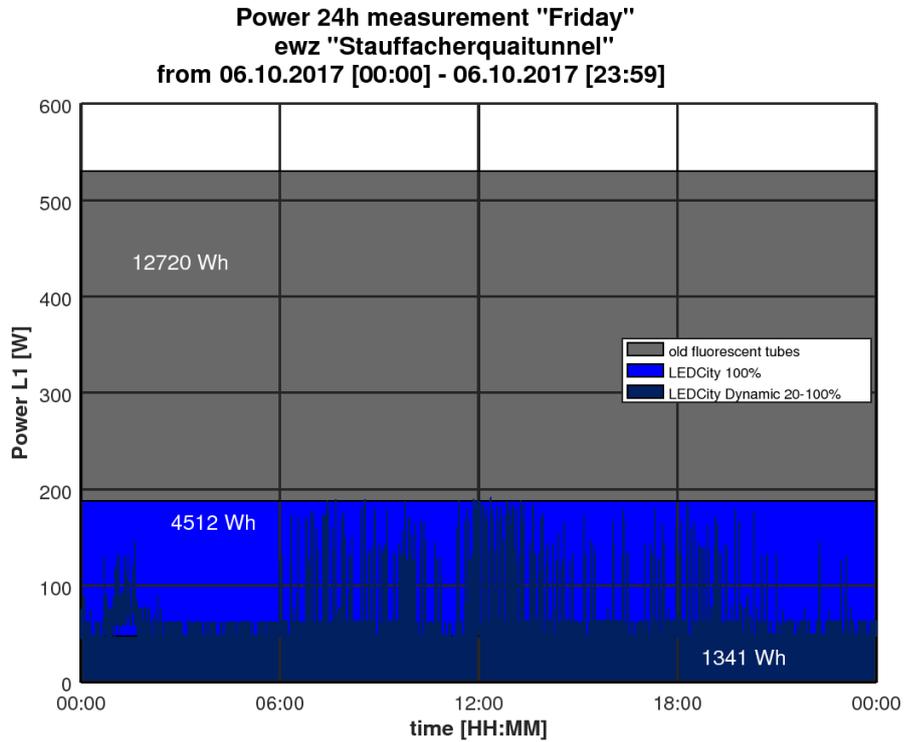


Abbildung 22: Energievergleich (1 Tag) FL, LED, LED Dynamisch – Freitag 06.10.2017

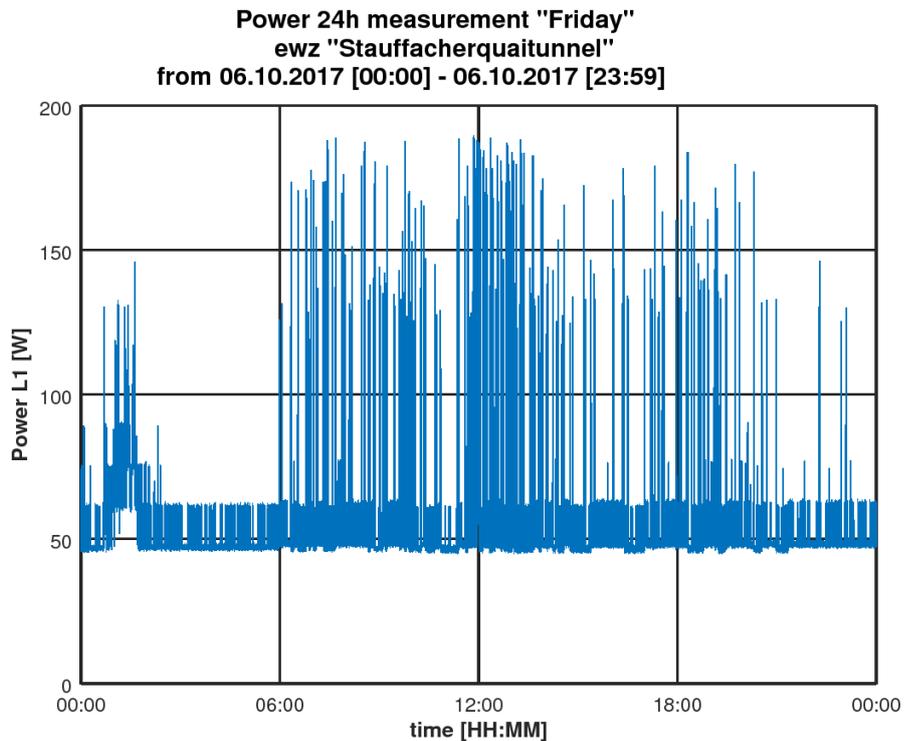


Abbildung 23: Energieverbrauch (1 Tag) LED Dynamisch – Freitag 06.10.2017



<b>Datum</b> <b>[YYYY-MM-DD]</b>	<b>Zeitbereich</b> <b>[HHMM-HHMM]</b>	<b>Energieverbrauch</b> <b>[Wh]</b>
2017-10-06	0000-0059	55
2017-10-06	0100-0159	74.27
2017-10-06	0200-0259	49.74
2017-10-06	0300-0359	48.24
2017-10-06	0400-0459	48.84
2017-10-06	0500-0559	49.64
2017-10-06	0600-0659	54.72
2017-10-06	0700-0759	60.24
2017-10-06	0800-0859	56.25
2017-10-06	0900-0959	60.46
2017-10-06	1000-1059	53.64
2017-10-06	1100-1159	58.33
2017-10-06	1200-1259	65.75
2017-10-06	1300-1359	62.51
2017-10-06	1400-1459	58.05
2017-10-06	1500-1559	53.3
2017-10-06	1600-1659	54.95
2017-10-06	1700-1759	56.83
2017-10-06	1800-1859	58.59
2017-10-06	1900-1959	57.53
2017-10-06	2000-2059	52.28
2017-10-06	2100-2159	49.8
2017-10-06	2200-2259	50.97
2017-10-06	2300-2359	50.81

Tabelle 16: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Freitag, 06.10.2017



A5 Samstag, 07.10.2017

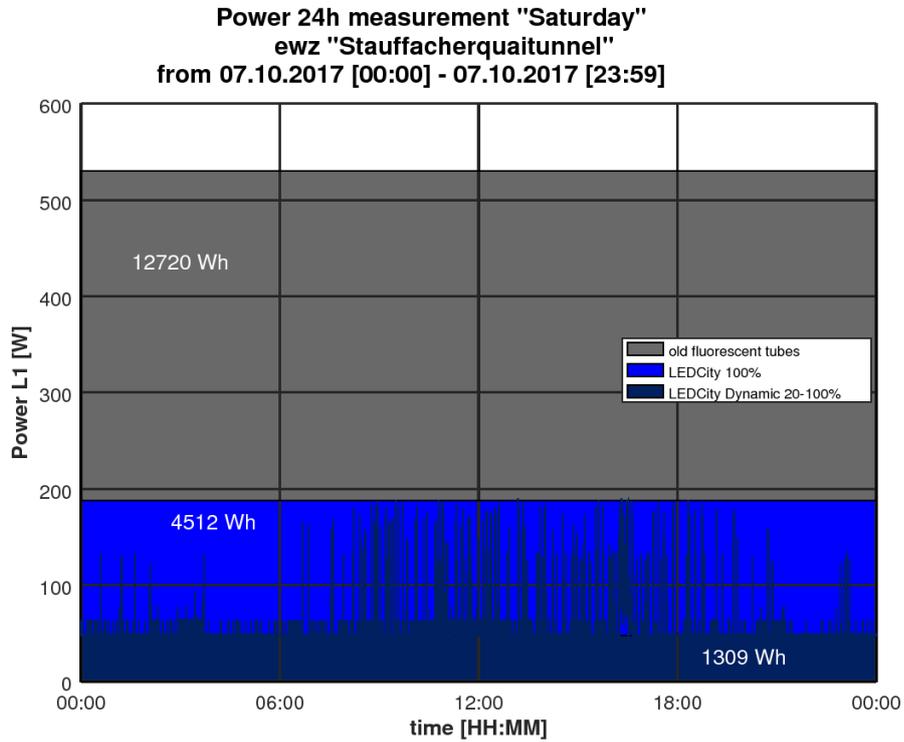


Abbildung 24: Energievergleich (1 Tag) FL, LED, LED Dynamisch – Samstag 07.10.2017

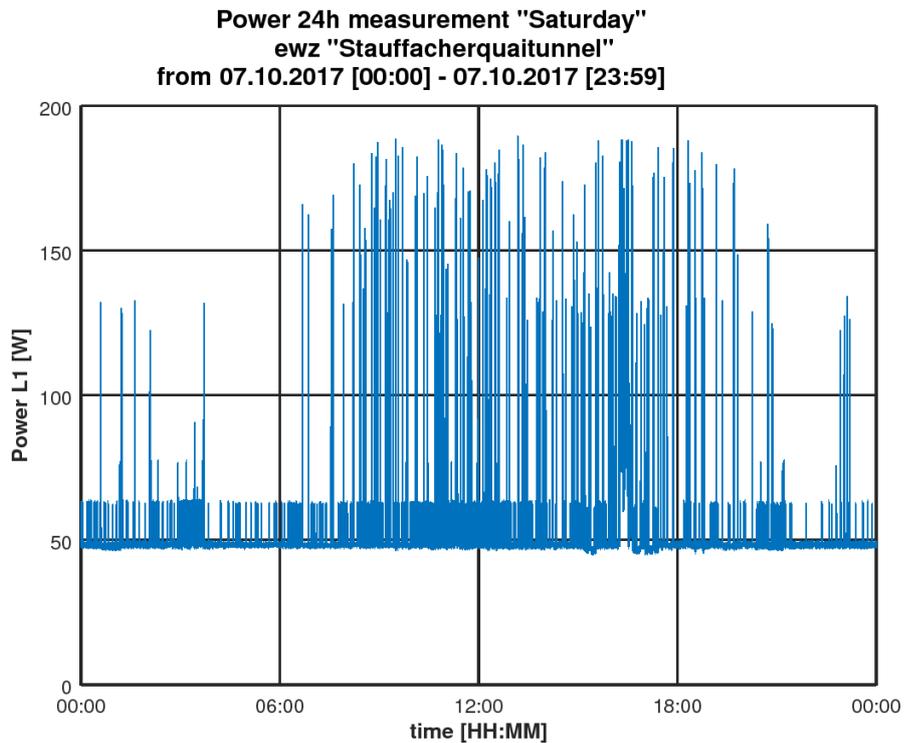


Abbildung 25: Energieverbrauch (1 Tag) LED Dynamisch – Samstag 07.10.2017



<b>Datum</b> <b>[YYYY-MM-DD]</b>	<b>Zeitbereich</b> <b>[HHMM-HHMM]</b>	<b>Energieverbrauch</b> <b>[Wh]</b>
2017-10-07	0000-0059	49.75
2017-10-07	0100-0159	50.48
2017-10-07	0200-0259	51.45
2017-10-07	0300-0359	56.31
2017-10-07	0400-0459	48.81
2017-10-07	0500-0559	48.72
2017-10-07	0600-0659	50.56
2017-10-07	0700-0759	51.14
2017-10-07	0800-0859	56.16
2017-10-07	0900-0959	59.35
2017-10-07	1000-1059	57.92
2017-10-07	1100-1159	61.15
2017-10-07	1200-1259	59.44
2017-10-07	1300-1359	59.04
2017-10-07	1400-1459	56.22
2017-10-07	1500-1559	58.35
2017-10-07	1600-1659	73.12
2017-10-07	1700-1759	54.53
2017-10-07	1800-1859	54.67
2017-10-07	1900-1959	51.13
2017-10-07	2000-2059	51.54
2017-10-07	2100-2159	48.99
2017-10-07	2200-2259	49.3
2017-10-07	2300-2359	50.66

Tabelle 17: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Samstag, 07.10.2017



A6 Sonntag, 08.10.2017

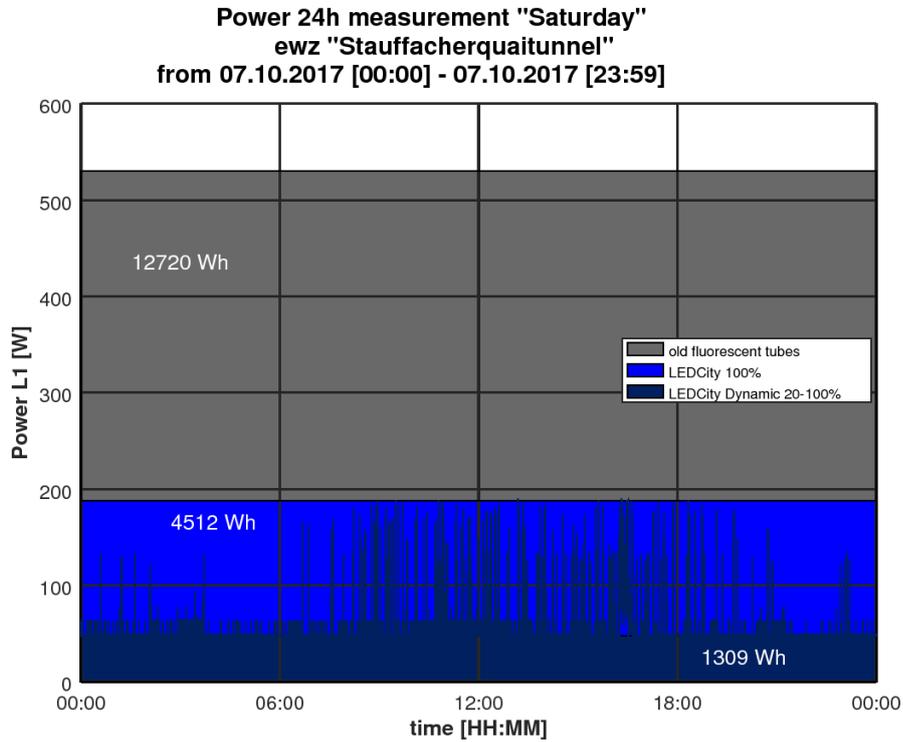


Abbildung 26: Energievergleich (1 Tag) FL, LED, LED Dynamisch – Sonntag 08.10.2017

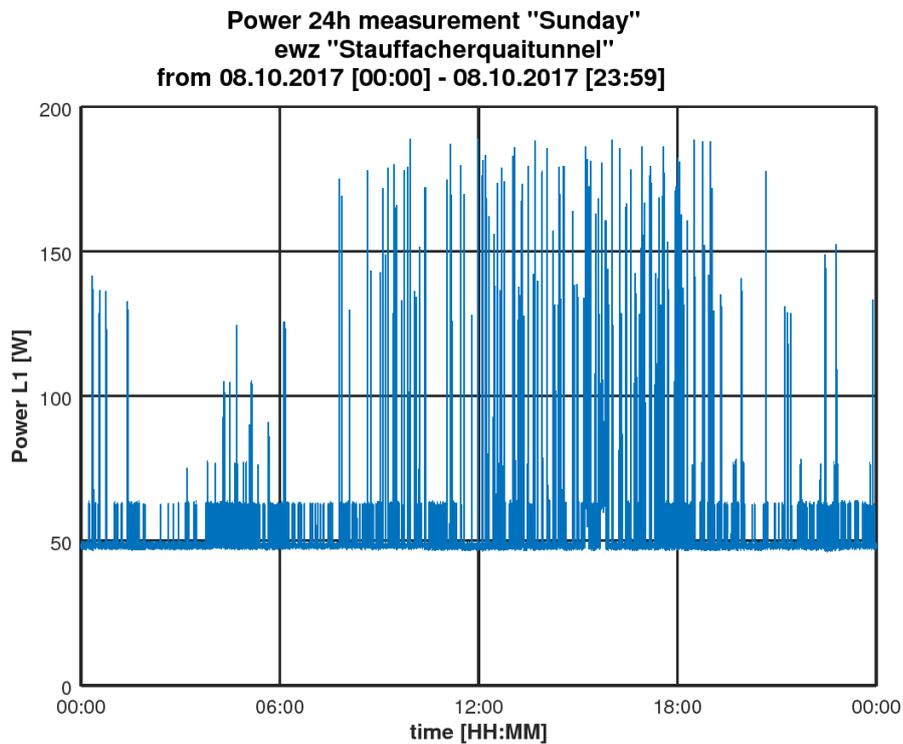


Abbildung 27: Energieverbrauch (1 Tag) LED Dynamisch – Sonntag 08.10.2017



<b>Datum</b> <b>[YYYY-MM-DD]</b>	<b>Zeitbereich</b> <b>[HHMM-HHMM]</b>	<b>Energieverbrauch</b> <b>[Wh]</b>
2017-10-08	0000-0059	52.03
2017-10-08	0100-0159	50.19
2017-10-08	0200-0259	48.71
2017-10-08	0300-0359	49.97
2017-10-08	0400-0459	52.26
2017-10-08	0500-0559	50.94
2017-10-08	0600-0659	51.89
2017-10-08	0700-0759	50.33
2017-10-08	0800-0859	51.82
2017-10-08	0900-0959	55.54
2017-10-08	1000-1059	52.45
2017-10-08	1100-1159	53.62
2017-10-08	1200-1259	56.46
2017-10-08	1300-1359	58.35
2017-10-08	1400-1459	56.24
2017-10-08	1500-1559	66.25
2017-10-08	1600-1659	57.54
2017-10-08	1700-1759	60.77
2017-10-08	1800-1859	56.96
2017-10-08	1900-1959	53.24
2017-10-08	2000-2059	49.73
2017-10-08	2100-2159	52.65
2017-10-08	2200-2259	52.9
2017-10-08	2300-2359	51.54

Tabelle 18: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Sonntag, 08.10.2017



A7 Montag, 09.10.2017

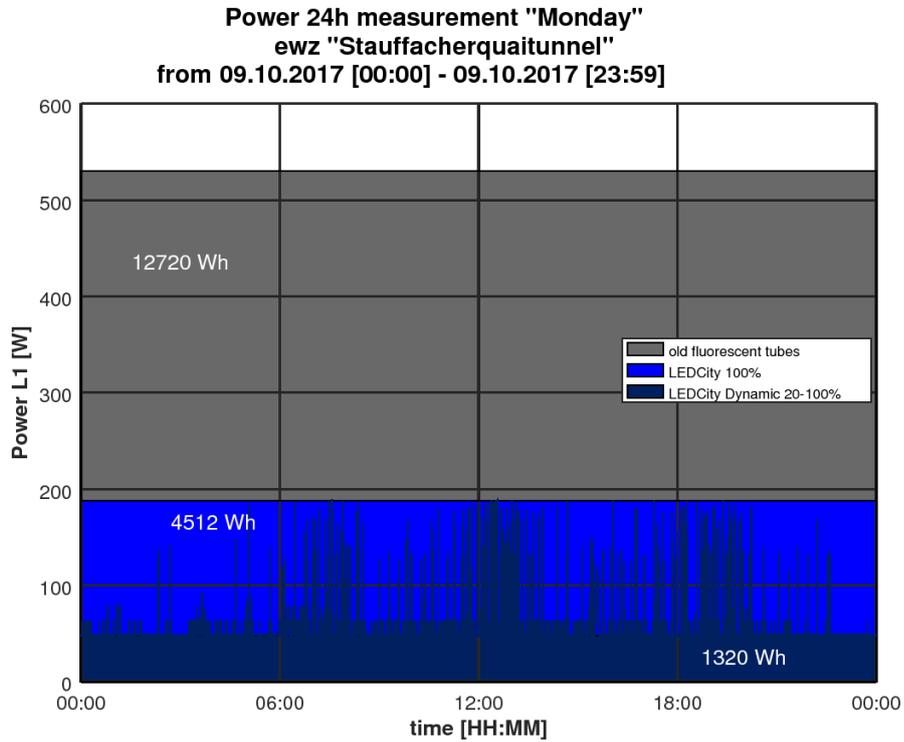


Abbildung 28: Energievergleich (1 Tag) FL, LED, LED Dynamisch – Montag 09.10.2017

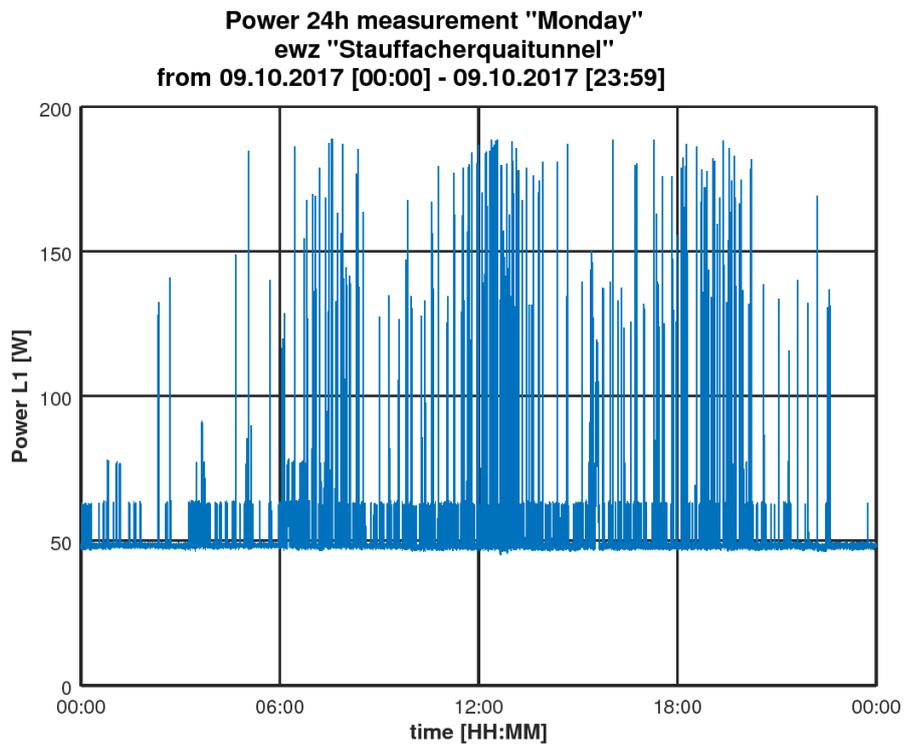


Abbildung 29: Energieverbrauch (1 Tag) LED Dynamisch – Montag 09.10.2017



<b>Datum</b> <b>[YYYY-MM-DD]</b>	<b>Zeitbereich</b> <b>[HHMM-HHMM]</b>	<b>Energieverbrauch</b> <b>[Wh]</b>
2017-10-09	0000-0059	50.26
2017-10-09	0100-0159	49.42
2017-10-09	0200-0259	49.51
2017-10-09	0300-0359	51.58
2017-10-09	0400-0459	50.04
2017-10-09	0500-0559	51.01
2017-10-09	0600-0659	59.04
2017-10-09	0700-0759	60.59
2017-10-09	0800-0859	54.53
2017-10-09	0900-0959	53.16
2017-10-09	1000-1059	51.85
2017-10-09	1100-1159	59.51
2017-10-09	1200-1259	71.06
2017-10-09	1300-1359	60.63
2017-10-09	1400-1459	51.7
2017-10-09	1500-1559	61.23
2017-10-09	1600-1659	54.84
2017-10-09	1700-1759	56.28
2017-10-09	1800-1859	60.51
2017-10-09	1900-1959	62.51
2017-10-09	2000-2059	51.4
2017-10-09	2100-2159	51.04
2017-10-09	2200-2259	50.01
2017-10-09	2300-2359	48.34

Tabelle 19: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Montag, 09.10.2017



## B Messdaten Objekt „Stauffacherquai Unterführung“ - erweiterte Analyse

B1 Dienstag, 03.10.2017

Datum [YYYY-MM-DD]	Zeitbereich [HHMM-HHMM]	Messpunkte (>5s) Anzahl aktiver LED Röhren (100% Modus)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2017-10-03	0000-0059	44	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-03	0100-0159	48	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-03	0200-0259	37	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-03	0300-0359	90	17	1	0	0	1	2	0	1	0	0
2017-10-03	0400-0459	51	6	1	0	0	0	0	0	1	1	1
2017-10-03	0500-0559	44	10	2	0	0	2	0	0	0	0	0
2017-10-03	0600-0659	61	23	2	0	0	1	1	1	2	2	2
2017-10-03	0700-0759	52	8	1	1	1	7	1	2	4	3	3
2017-10-03	0800-0859	79	29	9	1	0	2	4	0	0	0	0
2017-10-03	0900-0959	27	44	38	31	6	5	3	0	1	0	0
2017-10-03	1000-1059	38	6	2	0	0	1	2	0	0	0	0
2017-10-03	1100-1159	20	4	0	0	0	1	0	0	3	3	3
2017-10-03	1200-1259	10	0	0	0	0	7	1	1	10	10	10
2017-10-03	1300-1359	17	1	0	0	0	7	1	2	6	3	3
2017-10-03	1400-1459	73	3	0	0	0	2	3	1	1	0	0
2017-10-03	1500-1559	39	1	0	0	0	4	4	0	1	2	2
2017-10-03	1600-1659	17	2	0	0	0	3	2	0	2	2	2
2017-10-03	1700-1759	12	0	0	1	1	5	4	3	4	5	5
2017-10-03	1800-1859	23	3	1	1	0	8	2	3	6	7	7
2017-10-03	1900-1959	90	19	2	0	0	0	4	0	6	4	4
2017-10-03	2000-2059	52	10	1	0	0	0	1	0	3	2	2
2017-10-03	2100-2159	25	3	0	1	1	2	0	0	1	0	0
2017-10-03	2200-2259	13	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0
2017-10-03	2300-2359	12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 20: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Dienstag, 03.10.2017



B2 Mittwoch, 04.10.2017

		Messpunkte (>5s) Anzahl aktiver LED Röhren (100% Modus)									
Datum [YYYY-MM-DD]	Zeitbereich [HHMM-HHMM]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2017-10-04	0000-0059	19	1	0	1	0	0	0	0	0	0
2017-10-04	0100-0159	13	0	0	0	0	0	1	0	1	0
2017-10-04	0200-0259	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-04	0300-0359	38	1	0	0	0	0	0	0	1	0
2017-10-04	0400-0459	21	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-04	0500-0559	15	2	0	0	0	1	0	0	0	0
2017-10-04	0600-0659	50	0	0	0	0	4	1	2	1	1
2017-10-04	0700-0759	43	2	0	0	2	0	1	2	4	3
2017-10-04	0800-0859	21	1	0	0	1	8	6	0	1	0
2017-10-04	0900-0959	32	0	0	0	0	5	1	1	1	1
2017-10-04	1000-1059	34	4	0	0	0	3	0	4	0	2
2017-10-04	1100-1159	8	1	0	0	0	2	1	0	4	3
2017-10-04	1200-1259	6	0	0	0	0	5	3	0	18	16
2017-10-04	1300-1359	19	6	0	0	2	7	0	2	7	2
2017-10-04	1400-1459	22	3	0	0	0	1	0	2	7	0
2017-10-04	1500-1559	37	1	0	0	0	2	3	1	1	3
2017-10-04	1600-1659	14	0	1	0	3	0	1	2	1	1
2017-10-04	1700-1759	22	0	1	1	0	3	1	2	1	0
2017-10-04	1800-1859	55	4	0	0	0	3	2	0	3	2
2017-10-04	1900-1959	44	3	0	0	0	0	3	2	5	2
2017-10-04	2000-2059	64	14	2	0	0	1	0	1	1	2
2017-10-04	2100-2159	80	17	2	0	1	2	0	0	0	1
2017-10-04	2200-2259	69	20	0	1	0	2	2	0	1	0
2017-10-04	2300-2359	66	23	1	0	0	1	1	0	0	0

Tabelle 21: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Mittwoch, 04.10.2017



B3 Donnerstag, 05.10.2017

		Messpunkte (>5s) Anzahl aktiver LED Röhren (100% Modus)									
Datum [YYYY-MM-DD]	Zeitbereich [HHMM-HHMM]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2017-10-05	0000-0059	59	9	0	0	0	0	1	1	0	0
2017-10-05	0100-0159	60	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-05	0200-0259	49	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-05	0300-0359	48	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-05	0400-0459	39	4	0	0	1	1	0	0	0	0
2017-10-05	0500-0559	71	7	0	0	0	1	0	0	0	0
2017-10-05	0600-0659	74	11	0	0	0	0	1	2	3	1
2017-10-05	0700-0759	51	20	1	0	0	3	3	0	2	3
2017-10-05	0800-0859	60	14	2	0	0	3	4	1	2	0
2017-10-05	0900-0959	53	9	0	0	2	5	2	0	3	2
2017-10-05	1000-1059	53	6	0	0	1	2	3	3	1	1
2017-10-05	1100-1159	32	0	0	0	0	1	1	0	7	8
2017-10-05	1200-1259	7	1	0	1	0	4	2	3	23	14
2017-10-05	1300-1359	48	1	0	0	4	6	1	1	7	9
2017-10-05	1400-1459	44	0	0	0	1	3	1	0	3	1
2017-10-05	1500-1559	11	0	0	0	0	1	1	0	0	2
2017-10-05	1600-1659	6	0	0	0	4	5	0	1	2	2
2017-10-05	1700-1759	5	0	0	0	0	8	3	0	6	2
2017-10-05	1800-1859	19	3	0	0	0	6	1	1	4	3
2017-10-05	1900-1959	24	2	0	0	0	3	1	0	5	1
2017-10-05	2000-2059	17	2	0	0	0	1	0	3	0	0
2017-10-05	2100-2159	34	2	0	0	0	3	0	1	1	2
2017-10-05	2200-2259	56	1	0	0	1	1	0	0	0	0
2017-10-05	2300-2359	83	18	2	0	0	1	0	0	0	0

Tabelle 22: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Donnerstag, 05.10.2017



## B4 Freitag, 06.10.2017

Datum [YYYY-MM-DD]	Zeitbereich [HHMM-HHMM]	Messpunkte (>5s) Anzahl aktiver LED Röhren (100% Modus)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2017-10-06	0000-0059	44	21	8	0	0	1	0	0	0	0
2017-10-06	0100-0159	35	61	33	18	9	3	1	0	0	0
2017-10-06	0200-0259	44	4	1	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-06	0300-0359	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-06	0400-0459	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-06	0500-0559	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-06	0600-0659	54	3	1	0	2	3	0	0	4	0
2017-10-06	0700-0759	61	3	0	0	0	4	1	2	5	3
2017-10-06	0800-0859	38	0	1	0	0	5	1	1	1	1
2017-10-06	0900-0959	26	0	0	0	1	10	3	2	2	1
2017-10-06	1000-1059	23	0	0	0	0	3	2	2	0	0
2017-10-06	1100-1159	17	2	0	0	0	2	1	1	4	8
2017-10-06	1200-1259	41	0	1	0	0	4	1	2	9	9
2017-10-06	1300-1359	31	0	0	0	1	6	1	1	6	5
2017-10-06	1400-1459	87	0	0	0	4	3	2	1	0	0
2017-10-06	1500-1559	65	1	0	0	0	2	2	0	1	0
2017-10-06	1600-1659	70	0	0	0	2	5	1	0	1	0
2017-10-06	1700-1759	78	2	0	0	0	3	3	2	1	0
2017-10-06	1800-1859	51	1	0	0	1	4	2	2	0	1
2017-10-06	1900-1959	48	7	2	0	0	5	0	1	2	0
2017-10-06	2000-2059	31	2	1	0	0	4	0	0	1	0
2017-10-06	2100-2159	43	2	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-06	2200-2259	28	1	0	0	0	0	1	0	0	0
2017-10-06	2300-2359	35	1	0	0	0	1	0	0	0	0

Tabelle 23: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Freitag, 06.10.2017



B5 Samstag, 07.10.2017

Datum [YYYY-MM-DD]	Zeitbereich [HHMM-HHMM]	Messpunkte (>5s) Anzahl aktiver LED Röhren (100% Modus)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2017-10-07	0000-0059	20	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2017-10-07	0100-0159	18	1	0	0	0	2	0	0	0	0
2017-10-07	0200-0259	35	3	0	0	2	0	0	0	0	0
2017-10-07	0300-0359	113	4	1	0	0	1	0	0	0	0
2017-10-07	0400-0459	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-07	0500-0559	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-07	0600-0659	26	0	0	0	0	0	0	2	0	0
2017-10-07	0700-0759	18	0	0	0	0	2	0	1	1	0
2017-10-07	0800-0859	22	0	0	0	0	2	2	2	2	3
2017-10-07	0900-0959	47	1	0	0	0	1	2	3	2	3
2017-10-07	1000-1059	56	0	0	0	1	3	0	1	5	3
2017-10-07	1100-1159	65	2	0	0	0	5	4	1	3	1
2017-10-07	1200-1259	55	2	0	0	0	3	0	2	7	1
2017-10-07	1300-1359	43	0	0	0	2	5	0	1	2	3
2017-10-07	1400-1459	18	0	0	0	0	4	1	2	1	1
2017-10-07	1500-1559	20	0	1	0	3	9	2	0	1	2
2017-10-07	1600-1659	15	11	21	3	2	6	2	2	5	6
2017-10-07	1700-1759	3	0	0	0	1	4	1	0	3	2
2017-10-07	1800-1859	12	0	0	0	0	6	1	0	3	2
2017-10-07	1900-1959	16	0	0	0	0	1	1	0	2	0
2017-10-07	2000-2059	27	2	0	0	1	1	0	1	0	0
2017-10-07	2100-2159	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-07	2200-2259	5	1	0	1	1	0	0	0	0	0
2017-10-07	2300-2359	8	0	1	0	0	2	0	0	0	0

Tabelle 24: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Samstag, 07.10.2017



B6 Sonntag, 08.10.2017

Datum [YYYY-MM-DD]	Zeitbereich [HHMM-HHMM]	Messpunkte (>5s) Anzahl aktiver LED Röhren (100% Modus)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2017-10-08	0000-0059	6	0	0	0	0	4	1	0	0	0
2017-10-08	0100-0159	24	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2017-10-08	0200-0259	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-08	0300-0359	30	2	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-08	0400-0459	48	5	0	3	2	0	0	0	0	0
2017-10-08	0500-0559	37	2	4	1	0	0	0	0	0	0
2017-10-08	0600-0659	34	1	3	2	1	0	0	0	0	0
2017-10-08	0700-0759	23	0	0	0	0	0	0	0	2	0
2017-10-08	0800-0859	44	0	0	0	0	1	0	0	1	0
2017-10-08	0900-0959	24	0	0	0	0	1	2	2	4	1
2017-10-08	1000-1059	44	0	0	0	0	2	1	0	1	0
2017-10-08	1100-1159	8	0	0	0	1	1	0	0	5	2
2017-10-08	1200-1259	10	1	0	0	0	3	0	2	6	1
2017-10-08	1300-1359	15	4	0	0	1	6	1	0	4	3
2017-10-08	1400-1459	10	1	0	0	0	6	0	2	3	1
2017-10-08	1500-1559	21	11	16	8	0	4	1	2	3	1
2017-10-08	1600-1659	18	1	1	2	0	3	1	2	2	3
2017-10-08	1700-1759	32	0	0	0	0	6	2	1	7	1
2017-10-08	1800-1859	16	2	0	0	0	3	3	2	0	4
2017-10-08	1900-1959	41	4	0	0	0	2	1	0	1	0
2017-10-08	2000-2059	18	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2017-10-08	2100-2159	33	2	0	0	1	3	0	0	0	0
2017-10-08	2200-2259	44	6	0	0	0	0	2	0	0	0
2017-10-08	2300-2359	38	2	0	0	0	1	0	0	0	0

Tabelle 25: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Sonntag, 08.10.2017



B7 Montag, 09.10.2017

Datum [YYYY-MM-DD]	Zeitbereich [HHMM-HHMM]	Messpunkte (>5s) Anzahl aktiver LED Röhren (100% Modus)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2017-10-09	0000-0059	26	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-09	0100-0159	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-09	0200-0259	3	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
2017-10-09	0300-0359	44	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-10-09	0400-0459	21	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
2017-10-09	0500-0559	25	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
2017-10-09	0600-0659	81	19	0	0	1	1	0	1	2	1	1
2017-10-09	0700-0759	23	8	0	0	0	5	3	2	3	3	3
2017-10-09	0800-0859	37	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1
2017-10-09	0900-0959	30	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0
2017-10-09	1000-1059	24	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0
2017-10-09	1100-1159	39	2	0	0	0	4	0	2	4	2	2
2017-10-09	1200-1259	28	0	0	0	2	5	6	3	4	14	14
2017-10-09	1300-1359	33	0	0	0	0	6	1	1	6	2	2
2017-10-09	1400-1459	38	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
2017-10-09	1500-1559	42	5	4	12	3	3	4	0	0	0	0
2017-10-09	1600-1659	21	0	0	0	2	3	0	0	1	1	1
2017-10-09	1700-1759	21	0	0	0	2	3	0	2	2	2	2
2017-10-09	1800-1859	17	0	0	0	0	6	2	1	6	2	2
2017-10-09	1900-1959	21	2	0	0	0	6	2	4	4	4	4
2017-10-09	2000-2059	14	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
2017-10-09	2100-2159	10	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0
2017-10-09	2200-2259	3	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0
2017-10-09	2300-2359	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 26: Energieverbrauch LED-Röhren Halbautonom Montag, 09.10.2017