

Zumtobel Research

LED-Pilot-Projekt VZ Werd.
Vergleich von zwei Beleuchtungsanlagen in zwei identischen
Korridoren mit herkömmlicher Leuchtstofflampentechnik und mit
LED-Technik und optimiertem Lichtmanagement.

Schlussbericht der Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik,
Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Zumtobel Licht AG, Zürich
27. 10. 2011

ISBN 978-3-902940-12-4

Vorwort		5
----------------	--	---

Zusammenfassung		6
------------------------	--	---

1 Problemstellung		8
2 Stand der Wissenschaft		
3 Forschungshypothesen		

4 Forschungsmethoden	4.1 Messmethode und Installation	10
	4.2 Untersuchungsablauf und Gesamtergebnisse	11

5 Diskussion und Ausblick		16
6 Literatur		

7 Partner		17
------------------	--	----



Verwaltungszentrum Werd

Das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich realisierte zusammen mit der Eteam GmbH und der Zumtobel Licht AG ein Pilot-Messprojekt: In einem Zeitraum von vier Monaten wurden im Verwaltungszentrum Werd die Lichtlösungen von zwei vergleichbaren Korridoren bewertet. Der eine Flur blieb unverändert: Die herkömmlichen Leuchtstofflampen mit Präsenzmeldern schalteten ab, wenn sich zehn Minuten lang niemand im Korridor aufgehalten hatte. Der andere Flur wurde auf LED-Leuchten umgerüstet. Zudem wurde die Abschaltverzögerung der Präsenzmelder in mehreren Schritten bis auf eine Minute reduziert. Aus häufigem Schalten oder Dimmen resultieren im Fall von LEDs keine Komforteinschränkungen und kein Verschleiß. Der gemessene Stromverbrauch lag bei der LED-Lösung mit optimierter Präsenzüberwachung um 81 Prozent tiefer als bei vergleichbaren Leuchten mit Leuchtstofflampen.

Zusammenfassung

Im Verwaltungszentrum Werd wurde die Beleuchtung von zwei identischen Korridoren hinsichtlich Energiesparpotential mit LED und optimierter Präsenzregelung untersucht:

Korridor 1

mit Leuchtstofflampen und Präsenzmeldern mit 10-Minuten-Intervall

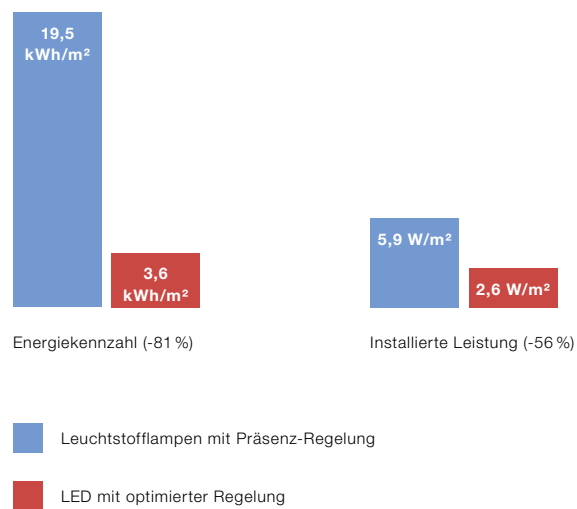
Korridor 2

mit LED-Licht-Linie und Präsenzmeldern mit variablen Intervallen

Außerdem sollte die Akzeptanz des Systems bei den Nutzern ermittelt werden. In beiden Korridoren herrschten dieselben Beleuchtungsstärken und Lichtverteilungen. Die Einstellung und Überwachung der Anlage wurde mit dem Zumtobel Automatisierungsrechner Litenet flexis N2 vorgenommen. Während die Beleuchtung und die Regulierung in Korridor 1 (8. Obergeschoss) während der gesamten Messperiode von 4 Monaten unverändert blieb, wurden bei der LED-Beleuchtung (7. OG) die Verzögerungsintervalle der Präsenzmelder in mehreren Schritten reduziert. Dank dem verschleißfreien Sofortstartverhalten der LED-Leuchten ist eine Verkürzung der Verzögerungszeit im Gegensatz zu den Leuchtstofflampen problemlos möglich. Die LED-Beleuchtung spart im optimalen Betrieb (1-Minute-Intervall ohne Restlicht im Aus-Zustand, Messperiode 3) gegenüber der bisherigen Leuchtstofflampentechnik über 80 % elektrische Energie ein. Erstens wurde die installierte Leistung von 5,9 W/m² auf 2,6 W/m² reduziert, zweitens ging auch die tägliche Betriebszeit von 13,2 h/d bei der Beleuchtung mit Leuchtstofflampen auf 5,7 h/d bei LED zurück. Die Reduktion der Verzögerungszeit von 10 auf 5 Minuten (Messperiode 2) bringt praktisch keine Energieeinsparung, so dass diese Einstellung nicht empfehlenswert ist. In der Messperiode 4 wurde während des Tages ein Dimmniveau von 15 % für den Abwesenheitszustand definiert; dies soll die Akzeptanz der abrupten Beleuchtungsschaltung verbessern. Der Einspareffekt wurde mit der Restlicheinstellung von 81 % auf 77 % nur geringfügig vermindert, so dass eine hohe Akzeptanz der Anlage in diesem Fall mit sehr guter Energieersparnis einher geht.

Dieses Resultat zeigt exemplarisch auf, dass die LED-Technik mit entsprechender Lichtregelung ein enormes Sparpotential aufweist gegenüber heute üblichen und als ebenfalls energieeffizient geltenden Flurbeleuchtungskonzepten.

Korridorbeleuchtung Leuchtstofflampen versus LED



Eine gute Wirtschaftlichkeit von LED-Leuchten mit optimierter Lichtregelung in Verkehrsflächen dürfte derzeit trotz sehr hoher und nachgewiesener Stromersparung nicht in jedem Fall gegeben sein. Um eine Amortisationszeit von 5 bis 8 Jahren erreichen zu können, darf der Mehrpreis von LED ca. CHF 50,- bis CHF 100,- pro Downlight oder pro Laufmeter Lichtleiste betragen.

1 Problemstellung

2 Stand der Wissenschaft

Problemstellung

Das VZ Werd ist das erste Verwaltungszentrum der Stadt Zürich. Das ehemalige Bankgebäude wurde saniert und im Dezember 2004 in Betrieb genommen. Es umfasst 620 Arbeitsplätze des Sozial- und Finanzdepartements. Durch die Sanierung konnte der Energieverbrauch des Gebäudes um rund die Hälfte reduziert werden. Das VZ Werd trägt die Minergie-Auszeichnung. In energieoptimierten Minergiebauten wird primär durch verbesserte Wärmedämmung und interne Abwärmenutzung der Heizenergieverbrauch gesenkt. Gleichzeitig kann sich damit auch der prozentuale Anteil des Stromverbrauchs in der Energiebilanz erhöhen, wenn bei der Elektrizität nicht ebenfalls Effizienzmassnahmen getroffen werden. In Gebäuden wie dem Verwaltungszentrum Werd macht die künstliche Beleuchtung einen erheblichen Anteil des Stromverbrauchs aus. Die Fragestellung war deshalb, ob es noch ein nennenswertes Sparpotenzial durch optimierte Lichtlösungen geben kann, wenn bereits sehr effiziente Technologien im Einsatz sind.

Stand der Wissenschaft

Weniger wissenschaftliche als vielmehr praktische Erkenntnisse zeigen, dass in Fluren von Verwaltungsgebäuden ein hohes Energie-sparpotenzial verborgen liegt. Es handelt sich lediglich um Durchgangszonen oder auch informelle Kurz-Kommunikationszonen. Im Fall von mangelhafter Tageslichtversorgung ist somit über viele Stunden des Arbeitstages und auch zu Tagesrandzeiten das Kunstlicht in Betrieb. Präsenzüberwachung bietet in Verbindung mit LED-Technologie hervorragende Möglichkeiten für Energieersparnis; in manchen gut tageslichtversorgten Fluren ergibt sich ein zusätzliches Potenzial durch Tageslichtsteuerung. Der Nutzerkomfort oder die Lebensdauer dieser innovativen Lichtquellen werden durch häufiges Schalten oder Dimmen nicht beeinträchtigt. Über die Energiebilanz der Präsenzüberwachung gibt folgende Studie ergänzend einen sehr guten Überblick:

The performance of occupancy-based lighting control systems:

A review

X. Guo, DK Tiller, GP Henze and CE Waters

Lighting Research and Technology 2010

<http://lrt.sagepub.com/content/42/4/415.full.pdf>

Forschungshypothesen

Vermutet wurde, dass die innovativen LED-Slotlightleuchten einen Beitrag zur Energieersparnis in Fluren bei gleicher Lichtqualität leisten, auch wenn die bereits sehr effizienten Leuchten auf Leuchtstofflampenbasis als Vergleichsbasis herangezogen werden.

Zweite Hypothese war, dass die Präsenzüberwachung neben den Leuchten zusätzliche Energieersparnis im Hochhaus Werd bietet, dass aber eine Variation der Verzögerungszeiten nicht mit entsprechender Energieersparnis verbunden sein muss. Es soll analysiert werden, welche Betriebsweise von Leuchten und Lichtsteuerung die beste Energiebilanz aufweist.

4 Forschungsmethoden

4.1. Messmethode und Installation

Die Pilotmessung sah wie folgt aus:

- Von zwei identischen Korridoren mit Lichtbändern wurde während mehrerer Monate kontinuierlich die elektrische Leistung mittels Datenlogger aufgezeichnet. (Speicherintervall: 1 Minute)
- Die Beleuchtungsstärken beider Korridore waren vergleichbar.
- In beiden Korridoren wurde das Licht mittels Bewegungsmeldern geregelt.
- Der Korridor im 8. OG war mit konventionellen Lichtbändern mit Leuchtstofflampen ausgerüstet; diese Beleuchtung wurde während der gesamten Messperiode wie bisher unverändert betrieben.
- Der Korridor im 7. OG war mit LED-Lichtbändern ausgerüstet; die Lichtsteuerung wurde während der Messperiode mehrfach verändert.

Beschreibung der Leuchten

7. OG	Zumtobel LED-Lichtband SLOTLIGHT 1/57 W, 28 m à 23 Watt Maximale Leistung im Betrieb für 100 lx: 187 W oder 2,6 W/m ² Korridorfläche.
8. OG	Zumtobel SLOTLIGHT 1/35 W T16, 19 Lampen à 35 W (+3 W EVG) Maximale Leistung im Betrieb für 100 lx: 420 W oder 5,9 W/m ² Korridorfläche.



In den Unterverteilungen im 7. und 8. Stock des Verwaltungsgebäudes wurde jeweils ein Elektrozähler installiert, der ausschließlich die Beleuchtung im Korridor erfasst. Die Zähler verfügen über einen Datenlogger, der die einzelnen Messwerte auf Speicherkarten schreibt. Für die Messung wurde ein Speicherintervall von einer Minute eingestellt. Pro Tag und Korridor wurden so 1440 einzelne Leistungswerte aufgezeichnet; gesamt sind es über 300 000 Messwerte. Neben der automatischen Aufzeichnung wurden zudem manuelle Stichproben ausgelesen.

4.2. Untersuchungsablauf und Gesamtergebnisse

Messablauf		A	B	C	D	E
Korridor 1 T16	Ganze Messperiode	0 %	0 Sek.	10 min	0 Sek.	0 %
Korridor 2 LED	1. Messperiode	0 %	0 Sek.	10 min	0 Sek.	0 %
	2. Messperiode	0 %	1 Sek.	5 min	5 Sek.	0 %
	3. Messperiode	0 %	1 Sek.	1 min	5 Sek.	0 %
	4. Messperiode	15 %	1 Sek.	1 min	5 Sek.	0 %

A: Dimmniveau im Korridor ohne Personenpräsenz

B: Einschaltflanke des Lichtes bei Detektion von Personenpräsenz

C: Nachlaufzeit – keine Personenpräsenz

D: Abschaltflanke des Lichtes am Ende der Nachlaufzeit

E: Nacht und Wochenende

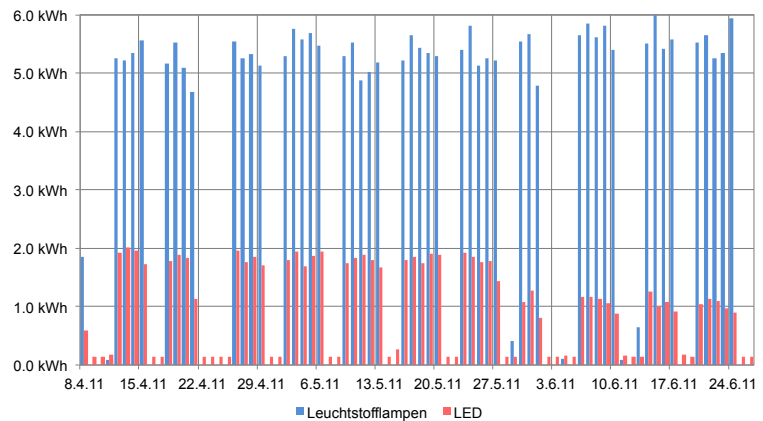
Zusammenfassung der Ergebnisse	Messperiode 1 10.4. bis 21.4.2011		Messperiode 2 22.4. bis 27.5.2011		Messperiode 3 28.5. bis 26.6.2011		Messperiode 4 18.7. bis 3.8.2011	
	T16	LED	T16	LED	T16	LED	T16	LED
Ausschaltverzögerung in Minuten	10	10	10	5	10	1	10	1
Mittelwert Betrieb h/Tag	12,6	10	12,8	9,7	13,2	5,7	12,8	6,5
Einsparung		-21 %		-24 %		-57 %		-49 %
Stromverbrauch/Tag kWh	5,3	1,9	5,4	1,8	5,6	1,1	5,4	1,2
Einsparung		-65 %		-66 %		-81 %		-77 %
Schalzhäufigkeit/Tag	4,1	32,8	3,4	29,3	3,9	100,1	4,3	101,5

In der 1. Messperiode waren die Betriebsstunden der LED-Beleuchtung um 21 % (2,6 h/d) tiefer als diejenigen der konventionellen Beleuchtung. Der Energieverbrauch war bei LED um 65 % tiefer. LED schaltete im Durchschnitt 33-mal, die T16-Leuchten 4-mal pro Tag.

In der 2. Messperiode lagen die Betriebsstunden der LED-Beleuchtung um 24 % (3,1 h/d) tiefer als diejenigen der konventionellen Beleuchtung. Der Energieverbrauch war bei LED um 66 % tiefer. Die Verkürzung der Ausschaltverzögerung von 10 auf 5 Minuten bringt also praktisch keinen Beitrag zur Energieeinsparung. Die LED-Beleuchtung schaltete im Durchschnitt 30-mal pro Tag, die T16-Leuchten 3,4-mal.

In der 3. Messperiode lagen die Betriebsstunden der LED-Beleuchtung um 57 % (7,5 h/d) tiefer als diejenigen der konventionellen T16-Beleuchtung. Der Energieverbrauch war bei LED um 81 % tiefer. Die Verkürzung der Ausschaltverzögerung von 10 auf 1 Minute bringt also einen erheblichen Beitrag zur Energieeinsparung. Die LED-Beleuchtung schaltete im Durchschnitt 100-mal pro Tag, die T16-Leuchten 4-mal.

Die 4. Messperiode entspricht der dritten, außer dass die LED-Leuchten während des Tages nicht vollständig abgestellt, sondern auf ca. 15 % gedimmt wurden. Dadurch wird der Beleuchtungskomfort erhöht, aber die Energieeinsparung gemindert. Statt 81 % Einsparung wurden so „nur noch“ 77 % erreicht; die Einsparung bei den Vollaststunden betrug während der 4. Messperiode noch 5,7 Stunden – statt 7,5 Stunden bei vollständigem Abschalten. Die LED-Beleuchtung schaltete im Durchschnitt 100-mal pro Tag, die T16-Leuchten 4,3-mal.



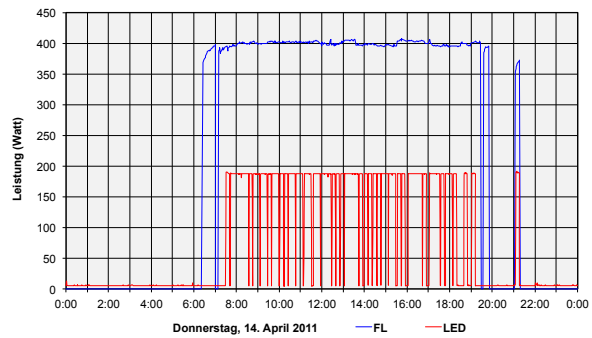
Energieverbrauch pro Tag während den ersten drei Messperioden

Diese Grafik zeigt den täglichen Energieverbrauch für die beiden Lichtlösungen in den Fluren während den ersten drei Messperioden. Die blauen Säulen stehen für die konventionelle Beleuchtung mit Leuchtstofflampen (8. OG); die rote für die neue Beleuchtung mit dem LED-Lichtband (7. OG). Durch die rund halb so hohe Anschlussleistung der LED-Beleuchtung ist deren Verbrauch bereits in der Anfangsphase mit gleicher Regelung deutlich tiefer als bei der konventionellen Beleuchtung. Während die Herabsetzung der Verzögerungszeit von 10 Minuten auf 5 Minuten bei der LED-Beleuchtung am 22. April keine zusätzliche Einsparung brachte, wird die Reduktion durch ein weiteres Heruntersetzen der Verzögerungszeit bei der LED-Beleuchtung am 28. Mai auf 1 Minute deutlich sichtbar.

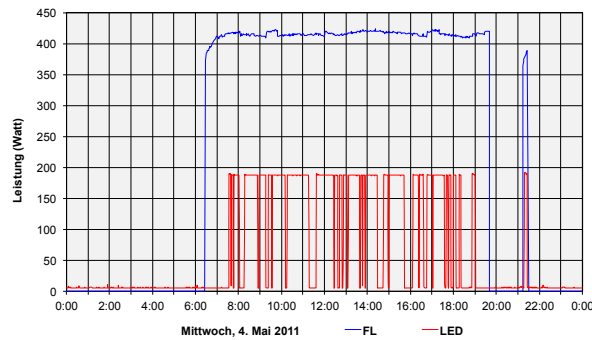
In der Grafik zeigt sich ebenfalls, dass die LED-Beleuchtung wegen des Eigenverbrauchs der DALI-Steuerung einen minimalen Standby (6 Watt für die gesamte Lichtleiste von 28 Metern) verursacht, während dieser Verbrauch bei der Leuchtstofflampen-Beleuchtung mit direkter Relaisabschaltung durch die Präsenzmelder entfällt.

Nachfolgend ein Vergleich vier typischer exemplarischer Tage der vier Messperioden. Wie die Messergebnisse gezeigt haben, ist Energieeffizienz in Verbindung mit Präsenzüberwachung in Fluren mit häufigem Ein- und Ausschalten der Anlage verbunden. Das zeigen auch die vier Grafiken.

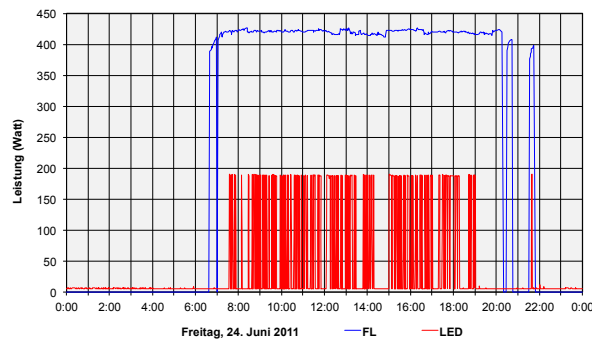
Tagesgang der Leistung an einem typischen Werktag in der
1. Messperiode



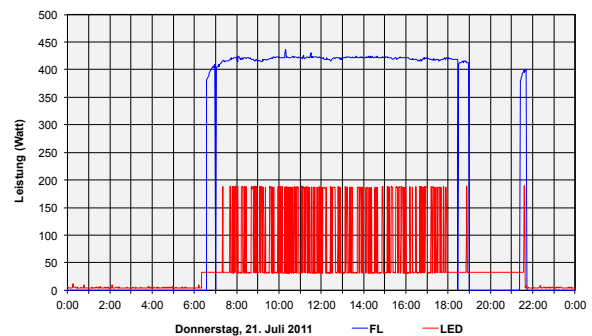
Tagesgang der Leistung an einem typischen Werktag in der
2. Messperiode



Tagesgang der Leistung an einem typischen Werktag in der
3. Messperiode



Tagesgang der Leistung an einem typischen Werktag in der
4. Messperiode



Beleuchtung Korridor:

Rechnet man die energieoptimale LED-Beleuchtung (1-Minuten-Verzögerung, kein Restlicht) auf den Ganzjahresbetrieb hoch, ergeben sich folgende Vergleichszahlen.

	LED	T16 Leuchtstofflampen
max. Betriebsleistung	187 Watt	420 Watt
Betriebsstunden	1 463 h/a	3 343 h/a
Energieverbrauch	274 kWh/a	1 404 kWh/a
Energiekennzahl	3,8 kWh/m ² = CHF 0,60/m ² a	19,5 kWh/m ² = CHF 3,10/m ² a
Grenzwert SIA 380/4		19,5 kWh/m ²
Zielwert SIA 380/4		7,5 kWh/m ²
Anforderung Minergie		10,5 kWh/m ²

Es ergibt sich eine jährliche Stromeinsparung von 15,7 kWh/m² oder CHF 2,50/m², das entspricht CHF 6,- pro Jahr und Laufmeter Korridor. Da LED-Leuchten während der gesamten Nutzungszeit (15 Jahre) keine Ersatzlampen benötigen, mindern sich auch die Unterhaltskosten – erfahrungsgemäß um etwa den gleichen Betrag wie die Energiekosteneinsparung. Bei einer angenommenen Mehrinvestition von CHF 100,- pro Laufmeter LED-Licht im Korridor ergibt sich also eine Amortisationszeit der LED-Beleuchtung von gut 8 Jahren.

Beleuchtung Liftvorplatz:

Parallel zur Korridorbeleuchtung wurden im 7. OG auch die Downlights mit Kompaktleuchtstofflampen durch LED-Varianten ausgetauscht. Die über Bewegungsmelder geregelten Lampen wurden auf der bisherigen Verzögerungszeit von 10 Minuten belassen. Der Vergleich des Liftvorplatzes mit LED-Beleuchtung zur herkömmlichen Beleuchtung ergibt über die gesamte Messzeit eine Stromeinsparung von 66%. Wie die Tabelle zeigt, sinkt die Energiekennzahl für die Beleuchtung des Liftvorplatzes von 16 kWh/m² (SIA Grenzwert = 19,5 kWh/m²) auf 7,2 kWh/m², so dass bei der LED-Lösung sogar der strenge SIA-Zielwert erreicht werden kann.

	LED	T16 Leuchtstofflampen
max. Betriebsleistung	56 Watt	125 Watt
Betriebsstunden	2 765 h/a	2 765 h/a
Energieverbrauch	155 kWh/a	346 kWh/a
Energiekennzahl	7,2 kWh/m ² = CHF 1,15/m ² a	16 kWh/m ² = CHF 2,55/m ² a
Grenzwert SIA 380/4		19,5 kWh/m ²
Zielwert SIA 380/4		7,5 kWh/m ²
Anforderung Minergie		10,5 kWh/m ²

Die LED-Downlights bringen im 16 m² großen Liftvorplatz eine jährliche Stromkosteneinsparung von CHF 5,20 pro Leuchte. Unter Berücksichtigung der wegfallenden Unterhaltskosten amortisiert sich ein Mehrpreis von CHF 50,- für ein LED-Downlight in rund 5 Jahren.

5 Diskussion und Ausblick

6 Literatur

5 Diskussion und Ausblick

Nennenswerte Energieersparnis durch Präsenzüberwachung steht unmittelbar mit häufigem Ein- und Ausschalten der Anlage oder Dimmen in Verbindung. LEDs bieten in Fluren im Vergleich zur T16-Technologie nicht nur technische Vorteile wie z. B. hinsichtlich Belastung des Systems durch Zünd- und Dimmprozesse. Auch der Lichtkomfort in dieser Anwendung steigt, insbesondere weil Leuchtdioden kein merklich verzögertes Anlaufverhalten aufweisen. Im Zusammenspiel von passender Lichtquelle und fein abgestimmtem Lichtmanagementsystem werden somit innovative, energieoptimierte Lichtlösungen mit hoher Nutzerakzeptanz für die Zukunft geschaffen, die sich in kurzen Zeiträumen amortisieren.

6 Literatur

MINERGIE Schweiz
www.minergie.ch

Programm zur Förderung energieeffizienter
Lichtlösungen im Zweckbau
www.effelux.ch

Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen
www.dgnb.de

Greenbuilding
www.greenbuilding.com

Lighting Research and Technology
<http://lrt.sagepub.com>

7 Partner

Auftraggeberin:

Stadt Zürich
Amt für Hochbauten
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik
Amsthaus III, Lindenhofstr. 21
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch/egt

Bearbeitung:

eLight GmbH
Schaffhauserstr. 34
CH-8006 Zürich
+41 (44) 273 08 62
sg@eLight.ch

Projektleitung:

Markus Simon
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik,
Amt für Hochbauten
markus.simon@zuerich.ch
www.stadt-zuerich.ch/egt

Projektteam:

Franz Sprecher (Stadt Zürich, Amt für Hochbauten)
Stefan Gasser (eLight GmbH, Zürich)



ZUMTOBEL

Deutschland

ZG Licht Mitte-Ost GmbH
Grevenmarschstrasse 74-78
32657 Lemgo
T +49/(0)5261 212-0
F +49/(0)5261 212-7777
info@zumtobel.de
zumtobel.de

ZG Licht Nord-West GmbH
Stahlwiete 20
22761 Hamburg
T +49/(0)40 53 53 81-0
F +49/(0)40 53 53 81-99
info@zumtobel.de
zumtobel.de

ZG Licht Süd GmbH
Solmsstr. 83
60486 Frankfurt
T +49/(0)69 26 48 89-0
F +49/(0)69 26 48 89-80
info@zumtobel.de
zumtobel.de

Österreich

ZG Lighting Austria GmbH
Donau-City-Strasse 1
1220 Wien
T +43/(0)1/258 26 01-0
F +43/(0)1/258 26 01-82845
welcome@zumtobel.at
zumtobel.at

Schweiz

Zumtobel Licht AG
Thurgauerstrasse 39
8050 Zürich
T +41/(0)44/305 35 35
F +41/(0)44/305 35 36
info@zumtobel.ch
zumtobel.ch

Headquarters

Zumtobel Lighting GmbH
Schweizer Strasse 30
Postfach 72
6851 Dornbirn, AUSTRIA
T +43/(0)5572/390-0
info@zumtobel.info

zumtobel.com