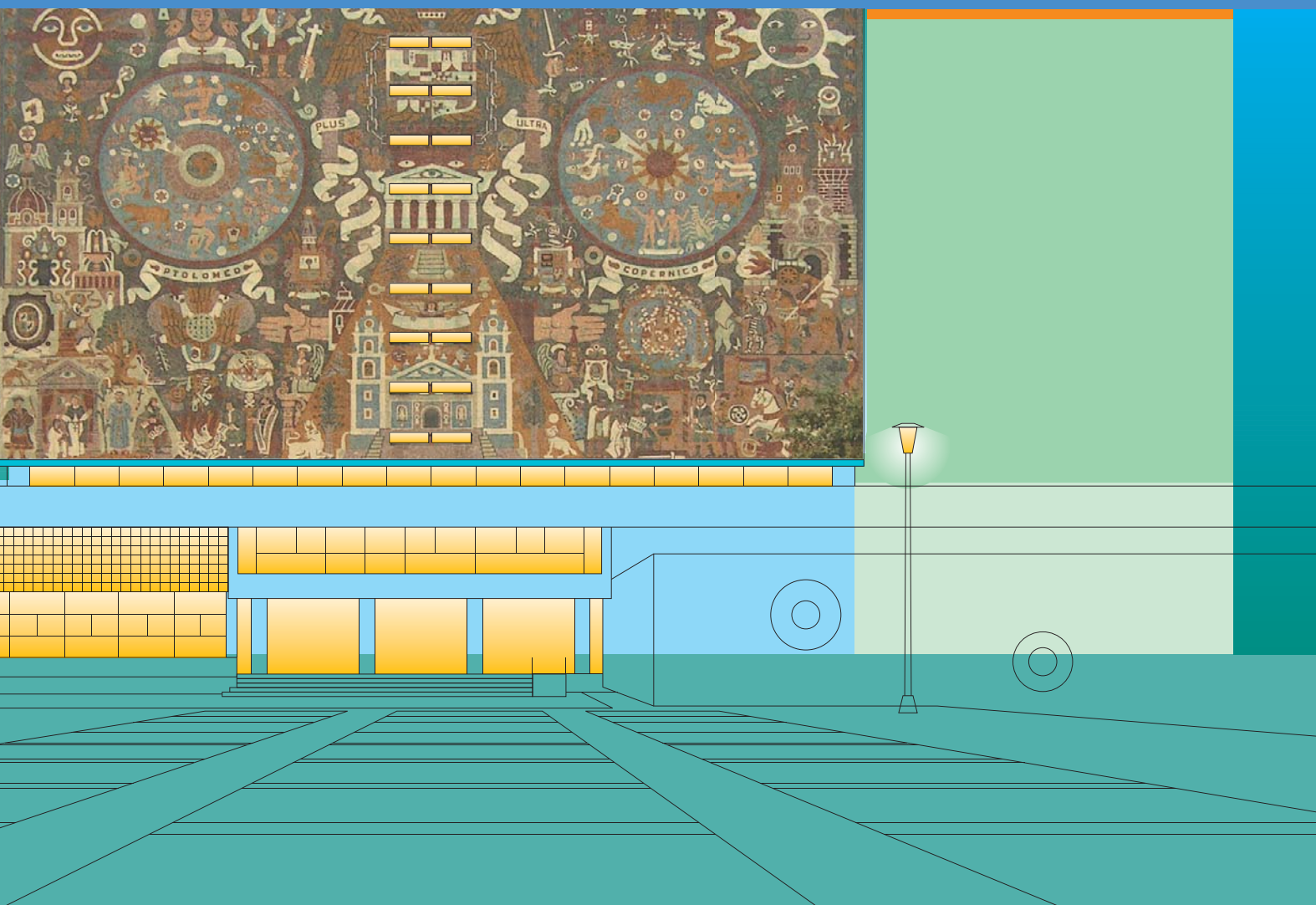


Kosten sparen mit besserem Licht

Ein Pilotprojekt für effiziente Beleuchtung
an der Autonomen Nationalen Universität
von Mexiko (UNAM)



Funded by:



	Vorwort	3
1	Das Projekt	2
2	Konkrete Beispiele der Beleuchtungssanierung	6
	2.1 Unterrichtsraum, Labor	7
	2.2 Bibliothek	8
	2.3 Eingangsflur	9
	2.4 Werkstatttraum	10
	2.5 Ökonomische Aspekte	11
3	Masterplan für die Sanierung der Beleuchtung an der UNAM	14
	3.1 Einführung	15
	3.2 Vorgehensweise	16
	3.3 Kosten-Nutzen-Aspekte	17
4	Vorschläge für die Umsetzung der Potenziale	20
5	Zusammenfassung und Empfehlungen	24
6	Weitere Beispiele	26
7	Projektpartner	28



BIBLIOTECA
ENRIQUE GARCIA BORRERO



DR. JOSÉ LUIS FERNÁNDEZ ZAYAS
Direktor des Instituts
de Ingeniería der UNAM

This report includes a brief account of the current work at the National Autonomous University of Mexico (UNAM) in order to improve the lighting efficiency in its University City campus (Ciudad Universitaria), located in the south of Mexico City. The primary investigator of this project has been Büro Ö-quadrat, a German consultancy firm for economical and ecological studies and the UNEP/Wuppertal Institute Collaboration Centre on Sustainable Consumption and Production. The Mexican counterpart is Genertek S.A., a distinguished consultancy firm headed by Prof. Alex Ramírez, a lecturer in engineering of UNAM. The results herein reported were greatly facilitated by Dr. Carlos Gay-García, director of the Centre for Atmospheric Science (Centro de Ciencias de la Atmósfera) and Dr. Sergio M. Alcocer and Dr. Adalberto Noyola, who headed the Institute of Engineering during the course of the study. Both institutions belong to UNAM. As work was announced to start, the very valuable contributions of the School of Sciences and the School of Engineering of UNAM were added to the effort. In fact, as the reader of this report will realize, the combined effort to improve lighting efficiency and quality at UNAM is gaining momentum and will probably never stop.

The report may sometimes seem to be straightforward however it is extremely accurate in describing the present status of lighting practices at UNAM and of Mexico in general. In order to meet the electricity demand of perspective laboratories and new facilities, saving is proven to be the very best option. It is important to recognize that research and development in energy-saving lighting is in an early stage at UNAM and in Mexico. Therefore, it is very encouraging to see that a large part of the design and implementation of the new installations were performed by Mexican students and technicians, under the guidance of Prof. Ramírez of Genertek. Together with other university efforts of recent years, our university can become a model-campus of lighting and an energy-saving consultant itself. Thus taking a leading role in mitigating climate change while reducing CO₂ and toxic gas emissions.

As the finiteness of fossil fuels becomes an ever more important topic worldwide, it is very pleasant to realize that new research and development areas arise, not only to provide new economic and technological importance to university concerns, but also to improve the very basic enterprise of teaching. In fact, improved lighting should translate into better teaching results. And better lighting comfort does not only arise from better engineering or improved design; as the report describes, the physical nature of light, very much affected by the room decorations and fixtures, colours and materials, has a definite effect in learning. New areas of research in general comfort, teaching effectively and engineering practice also arise. Overall, this report is rich and welcome in providing new roadmaps for university development in very broad aspects.

1 Das Projekt



Die Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) ist eine der ältesten und besten Universitäten des amerikanischen Kontinents.

An der UNAM studieren etwa 300.000 Studenten. Rund 130 Bibliotheken stehen für die Studenten und Dozenten zur Verfügung. Seit dem Jahr 2007 ist das Ensemble der Gebäude, Sportanlagen und Freiflächen der Ciudad Universitaria als Weltkulturerbe bei der UNESCO registriert.

Effiziente Beleuchtung – Chance für Staatskasse und Klima

Beleuchtung macht einen vergleichsweise hohen Anteil unseres Stromverbrauchs aus. Rund 19 % des weltweiten Stromverbrauchs werden für Beleuchtungszwecke eingesetzt.¹ Im Bereich Gewerbe und Dienstleistungen ist der Anteil am Gesamtstromverbrauch sogar noch höher, nämlich rund 34%². In Schulen und Universitäten verschlingt die Beleuchtung häufig sogar mehr als die Hälfte der gesamten Stromkosten. Mit moderner, effizienter Beleuchtungstechnik lässt sich hier besonders viel Energie und Kosten sparen. Dies war der Ausgangspunkt für ein einzigartiges Pilotprojekt an der UNAM, (Universidad Nacional Autónoma de México).

Im Auftrag der Initiative „VISIONS of Sustainability“ erarbeitete das Büro Ö-quadrat und das UNEP-Center für nachhaltigen Konsum und Produktion (CSCP) ein Projekt, das die Vorteile einer effizienteren Beleuchtung an der Nationalen Universität in Mexiko-City (UNAM) aufzeigt.

Das besondere an diesem Projekt: Es basiert nicht nur auf theoretischen Berechnungen, sondern auf den Ergebnissen von vier konkreten Sanierungsmaßnahmen, die in Kooperation mit dem „Instituto de Ingeniería“ und dem „Centro de Ciencias de la Atmósfera“ konzipiert und umgesetzt wurden.

Dank der guten Vorplanung und Durchführung der Arbeiten durch das mexikanische Ingenieurbüro „Genertek S.A.“ konnten hier erhebliche Einsparpotenziale mit hoher Rentabilität erzielt werden.

Masterplan zeigt hohes Einsparpotenzial

Ausgehend von den Erfahrungen mit den Modellsanierungen wurden die Ergebnisse in einem Masterplan für die gesamte Universität hochgerechnet. Das Ergebnis ist beeindruckend: Mit einer Anfangsinvestition von lediglich **ca. 3 Mio. US\$** und einer Reinvestition der Stromkostensparnis in den folgenden sieben Jahren ließen sich an der UNAM **ca. 68 Mio. US\$** an Strom- und Betriebskosten über die Nutzungsdauer der Investition einsparen.³ Ein enormes Einsparpotenzial bei dessen Umsetzung alle profitieren:

- Der Staat Mexiko gewinnt, weil sich mit den Einsparmaßnahmen die Strom- und Wartungskosten der UNAM deutlich verringern.
- Der Energieversorger Luz y Fuerza gewinnt, weil Stromsparen das Verteilungsnetz der Universität entlastet und hierdurch ein teurer Ausbau der Infrastruktur vermieden wird.
- Die mexikanische Gesellschaft gewinnt, weil weniger Strom erzeugt werden muss und damit mehr Erdöl für den Export oder für andere Zwecke zur Verfügung steht.
- Umwelt und Klima profitieren durch die geringeren Emissionen von Schadstoffen und Klimagasen.
- Nicht zuletzt profitieren Studenten, Dozenten und Angestellte der Universität durch bessere Beleuchtung und flackerfreies Licht. Mit der Stromeinsparung steigt gleichzeitig der Nutzerkomfort an der UNAM.

¹ IEA, 2006: Light's Labour's Lost. Policies for Energy-efficient Lighting, S.177

² Ebenda, S. 178

³ Ermittelt über die Lebensdauer (20 Jahre) der neuen Beleuchtungsanlagen bei einem konstanten Strompreis von 0,16 US\$/kWh

Schlummerndes Potenzial in Millionenhöhe

Der gesamte Strombezug der Universität liegt bei etwa 70.000 MWh pro Jahr.⁴ Da die meisten Gebäude weder beheizt noch klimatisiert sind, ist Beleuchtung der mit Abstand wichtigste Verbraucher.

Durch eine konsequente Sanierung der bestehenden Beleuchtungsanlagen kann der Stromverbrauch für die Beleuchtung um rund 60% und der Gesamtstromverbrauch an der UNAM um etwa ein Viertel reduziert werden. Ein enormes Einsparpotenzial schlummert in der Beleuchtungstechnik der UNAM.

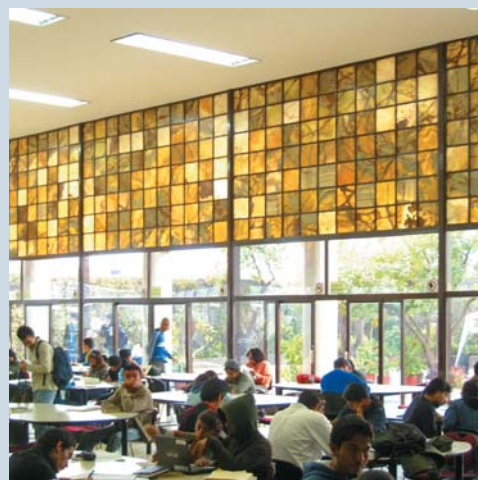
Hohe Rentabilität mit moderner Technologie

Die Beleuchtungsanlagen der UNAM sind in vielen Gebäuden mehr als drei Jahrzehnte alt. In den Leuchten kommen veraltete T12-Leuchtstofflampen zum Einsatz (38 mm Durchmesser), die im Vergleich zu der Nachfolgetechnologie T8 (26 mm Durchmesser) eine um etwa 15 bis 20% geringere Lichtausbeute aufweisen.

Werden die T-12 Leuchtstofflampen nicht durch T8 Lampen ersetzt, sondern gleich durch die noch effizientere T5-Technologie (16 mm Durchmesser), so wird eine Technologiestufe übersprungen, wodurch noch bessere Sanierungsergebnisse erzielt werden können.

In Verbindung mit hocheffizienten Leuchten, elektronischen Vorschaltgeräten und einer Beleuchtungssteuerung können in diesem Fall Stromeinsparungen von bis zu 90 Prozent erzielt werden – und dies bei hoher Rentabilität.

⁴ Eine genaue Angabe zum Stromverbrauch kann nicht gemacht werden, da in einigen Gebäuden dezentral Strom erzeugt wird, dessen Menge nicht ermittelt werden konnte.



Komfortgewinn mit besserem Licht

Viele Leuchten befinden sich in einem schlechten Zustand und emittieren nur noch 50-70% des Lichtes, das sie ursprünglich von sich gegeben haben. Entsprechend schlecht ist an vielen Stellen die Beleuchtungsqualität. Mit einer Sanierung der kompletten Beleuchtungstechnik ergibt sich damit gleichzeitig ein deutlicher Komfortgewinn.

Intelligente Regelung minimiert Kunstlicht

An vielen Stellen an der UNAM ist Licht eingeschaltet, obwohl von außen ausreichend Tageslicht eindringt. Auch in ungenutzten Räumen ist häufig Licht angeschaltet.

Mit einer intelligenten Steuerung lässt sich das Kunstlicht abhängig von der Tageslichteinstrahlung regeln und somit der Strombedarf deutlich reduzieren. Mit Präsenzmeldern lassen sich weitere Einsparungen erzielen: Sind keine Personen im Raum, wird das Licht nach einer kurzen Zeitspanne automatisch gelöscht. Wie wir später zeigen werden, handelt es sich dabei um hoch wirtschaftliche Investitionen, die den Komfort für die Nutzer nicht schmälern.

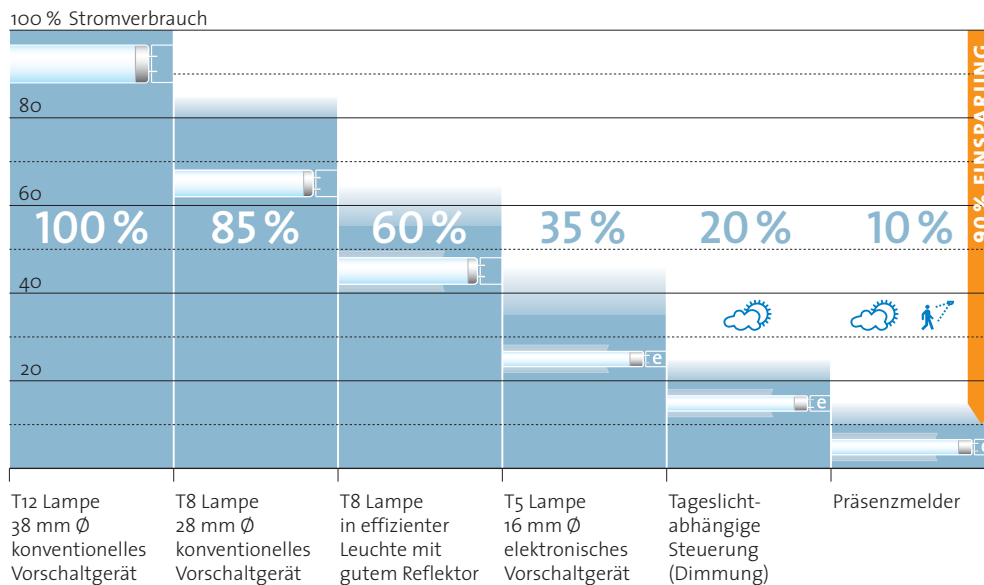


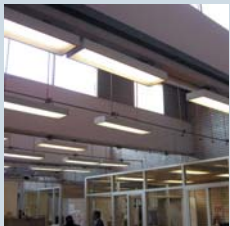
Abb. 1.1: Optimierte Sanierung von Beleuchtungsanlagen: Mit effizienten Technologien lässt sich bis zu 90% Strom einsparen.



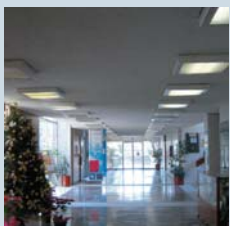
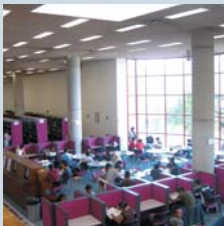
2 Konkrete Beispiele der Beleuchtungssanierung



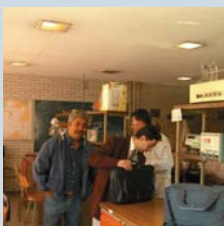
2.1 Unterrichtsraum



2.2 Bibliothek



2.3 Flur



2.4 Werkstattraum

Anhand von vier realisierten Beispielen wird gezeigt, wie sich mit einer gut geplanten Sanierung Kosten einsparen lassen und sich dabei gleichzeitig die Beleuchtungsqualität verbessert. Es werden vier typische Sanierungssituationen betrachtet:

- Unterrichtsraum
- Bibliothek
- Flur
- Werkstattraum

Aus den Ergebnissen der Mustersanierung sowie weiterer Analysen wird anschließend ein Masterplan für eine umfassende Sanierung der Beleuchtung in den Gebäuden auf dem UNAM-Campus abgeleitet und dargestellt (Kapitel 3).

2.1 Unterrichtsraum, Labor

Ausgangssituation

Die Labors der ingenieurtechnischen Fakultät wurden vor einigen Jahrzehnten so gebaut, dass blendfreies Tageslicht über Sheddächer genutzt werden kann.

Heute ist die Beleuchtungssituation überholungsbedürftig und entspricht nicht mehr dem neuesten Stand der Effizienztechnik. Bei der Begehung des Labors wurde darüber hinaus festgestellt, dass

- keine Anpassung des Kunstlichtes an den Tageslichteinfall und
- keine Präsenzüberwachung erfolgt. Die Beleuchtung bleibt eingeschaltet, auch wenn die Räume nicht genutzt werden. Dies hängt im Übrigen damit zusammen, dass der Lichtschalter in einem weit entfernten Laborraum angebracht ist.

Das Maßnahmenpaket

Nach einer vorausgegangenen Detailplanung wurden hocheffiziente Leuchten mit dimmbaren, elektronischen Vorschaltgeräten eingebaut.

Diese stellen jetzt die erforderliche Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit vom natürlichen Tageslichteinfall bereit. Je mehr Licht in den Raum fällt, desto weniger Kunstlicht wird erzeugt. Ist die vorgegebene, gewünschte Beleuchtungsstärke erreicht, so wird der Raum ausschließlich durch Tageslicht erhellt.

Darüber hinaus sind die Leuchten jetzt mit Präsenzmeldern gekoppelt. Die Beleuchtung ist nur dann in Betrieb, wenn die Labore auch genutzt werden.

Resultate

- Mit den genannten Maßnahmen wurde der Verbrauch im Labor um 72% reduziert.
- Die jährliche Einsparung beträgt 4.500 kWh
- Die Amortisationszeit liegt bei 5,4 Jahren
- Gleichmäßiges Beleuchtungsniveau und höherer Beleuchtungskomfort



Sheddächer der Labore der Ingenieurtechnischen Fakultät

Vor der Sanierung: Laborraum mit Tageslichteinfall und Kunstlicht



Laborraum mit neuer Beleuchtungsanlage mit Tageslichtregelung



	vor Sanierung	nach Sanierung
Lampensystem	2 x 32 Watt (T8)	1 x 28 Watt (T5)
Vorschaltgeräte	konventionell	dimmbar, elektronisch
Effektive Leistungsaufnahme	60 Watt	33 Watt (max)
Wirkungsgrad Leuchte	40%	75%
Tageslichtabhängige Steuerung	nein	ja
Beleuchtungsstärke (durchschnittlich)	374 Lux	438 Lux
Stromeinsparung	–	72 %



2.2 Bibliothek



Bibliothek Rivero Borrell

Ausgangssituation

An der UNAM gibt es insgesamt etwa 130 Bibliotheken unterschiedlicher Größe. Die für die Modellsanierung gewählte Bibliothek Rivero Borrell steht stellvertretend für viele andere Bibliotheken auf dem Campus. In den Bibliotheken werden die Räume viele Stunden im Jahr genutzt. Dies macht sie für Sanierungsprogramme besonders interessant. Die vorhandenen zweiflamrigen Leuchten waren bestückt mit jeweils zwei T8-Lampen und einem elektronischen Vorschaltgerät und hatten einen Wirkungsgrad von nur 40%.

Das Maßnahmenpaket

Die vorhandenen Leuchten wurden durch hocheffiziente Leuchten (Wirkungsgrad 86%) ersetzt. Als neue Lichtquelle dient jetzt eine T5-Lampe mit hoher Lichtausbeute und einer Aufnahmeleistung von maximal 62 Watt.⁵ Die Beleuchtungsstärke wird jetzt über einen Sensor an den aktuellen Beleuchtungsbedarf angepasst. Bei hohem Tageslichteinfall durch die hohe Fensterfront wird das Kunstlicht reduziert oder ausgeschaltet. Bei Dämmung oder Dunkelheit fordert der Lichtsensor mehr Kunstlicht an.

Resultate

- Ist die neue Beleuchtungsanlage zu 100% in Betrieb, braucht sie zwar genauso viel Strom wie die alte Anlage. Weil jedoch die eingebauten Leuchten wesentlich effizienter sind, ist die Beleuchtungsstärke auf den Lesetischen jetzt wesentlich verbessert.
- Die neue Beleuchtungsanlage spart deutlich Wartungskosten, denn die Lampen und Komponenten weisen eine längere Lebensdauer auf als die alten.
- Weil durch die Tageslichtsteuerung die neuen Lampen wesentlich weniger in Betrieb sind, werden sie weniger beansprucht, die Wartungsintervalle verlängern sich. Aufgrund der Raumhöhe von rund 7 Metern wird für die Wartungsarbeiten ein Gerüst benötigt, wodurch zusätzliche Kosten entstehen.
- Trotz der deutlich höheren Beleuchtungsstärke in den Morgen- und Abendstunden lassen sich mehr als 50% des Stromverbrauchs einsparen.
- Die Amortisationszeit beträgt 12,3 Jahre.
- Bezogen auf die gleiche Beleuchtungsqualität wie vor der Sanierung beträgt die Einsparung über 75%.

Die Bibliothek vor der Sanierung



	vor Sanierung	nach Sanierung
Lampensystem	2 x 32 Watt (T8)	1 x 54 Watt (T5 High Output)
Vorschaltgeräte	elektronisch	dimmbar, elektronisch
Effektive Leistungsaufnahme	60 Watt	62 Watt (max)
Wirkungsgrad Leuchte	40%	86%
Tageslichtabhängige Steuerung	nein	ja
Beleuchtungsstärke (durchschnittlich)	293 Lux	479 Lux
Stromeinsparung	–	59 %



⁵ Die tatsächliche Leistungsaufnahme des Beleuchtungssystems, die u.a. auch vom Alter der Lampen und von dem verwendeten Vorschaltgerät abhängt, wurde von der Firma Genertek S.A. im Labor gemessen.

2.3 Eingangsflur

Ausgangssituation

Flure sind ein weiteres typisches Gebäudeelement an der UNAM, das im Rahmen des Pilotprojektes bearbeitet wurde. Sie sind vor allem deswegen für eine Sanierung von besonderem Interesse, da häufig Tageslichtnutzung möglich ist, die vorhandene Beleuchtungsstärke tendenziell zu hoch ist und lange Betriebszeiten die Regel sind.

Das hier betrachtete „Centro de Ciencias de la Atmósfera“, ist Tag und Nacht sowie auch an Wochenenden geöffnet, da die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen zum Teil Versuche betreuen, die auch über Nacht und am gesamten Wochenende durchgeführt werden.

Vor der Sanierung waren tagsüber 36 Leuchten (mit jeweils 4 Lampen) eingeschaltet, obwohl der Flur von der Seite Tageslicht empfängt. Nachts war eine Beleuchtungsreihe mit 18 alten, ineffizienten Leuchten durchgehend in Betrieb.

Das Maßnahmenpaket

Im Zuge der Sanierung wurden 36 Leuchten durch 18 hoch effiziente Leuchten ersetzt. Gleichzeitig wurden die neuen Leuchten mit dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten und mit einem Lichtmanagementsystem der Firma Leviton ausgestattet. Heute wird tagsüber nur noch soviel Kunstlicht wie nötig zugeführt. Nachts bleibt der größte Teil der Beleuchtung (Ausnahme Pforte) nur dann eingeschaltet, wenn sich jemand in den Fluren aufhält und der Bewegungsmelder die Beleuchtung einschaltet.

Resultate

- Mit dem Maßnahmenpaket ließ sich der Strombedarf für die Eingangshallenbeleuchtung um mehr als 90% reduzieren.
- Die jährliche Stromeinsparung beträgt 21.000 kWh.
- Die Kosten der Maßnahme haben sich in 1,3 Jahren amortisiert.
- Dieses Potenzial ist nicht nur auf die Eingangshalle des Instituts beschränkt. Im Gegenteil: In der UNAM gibt es viele ähnliche Flure mit einem Stromeinsparpotenzial von über 90%.



Das „Centro de Ciencias de la Atmósfera“



Eingangshalle des Instituts „Centro de Ciencias de la Atmósfera) vor und nach der Sanierung



	vor Sanierung	nach Sanierung
Lampensystem	4 x 20 Watt (T12)	2 x 14 Watt (T5)
Vorschaltgeräte	konventionell	dimmbar, elektronisch
Effektive Leistungsaufnahme	96 Watt	33 Watt (max)
Wirkungsgrad Leuchte	35%	84%
Tageslichtabhängige Steuerung	nein	ja
Beleuchtungsstärke (durchschnittlich)	123 Lux	180 Lux
Stromeinsparung	–	über 90%

2.4 Werkstatttraum



Ausgangssituation

An der UNAM gibt es auch zahlreiche Werkstatträume und Labore. In dem Labor des Instituts für Atmosphärenforschung, was für die Modellsanierung herangezogen wurde, war das Beleuchtungsniveau besonders niedrig. Hier war also nicht nur Aufgabe, mit der Sanierung Geld zu sparen, sondern gleichzeitig auch die Beleuchtungsqualität deutlich zu verbessern.

Die schlechte Beleuchtungssituation im Werkstatttraum lag daran, dass die Leuchten früher mit 300 Watt Glühlampen ausgestattet waren. Bei der Beschaffung neuer Lampen wurden diese sukzessive durch 100 Watt oder 150 Watt-Lampen ersetzt. Damit konnte der in der Leuchte eingebaut Reflektor seine Funktion nicht mehr erfüllen: Da die 100 Watt Lampen wesentlich kürzer gebaut sind, hat sich der Brennpunkt gegenüber dem Reflektor völlig verschoben (siehe Bild links unten). Dies führte zu einer völlig unzureichenden Beleuchtungsstärke.

Das Maßnahmenpaket

Die Sanierung erfolgte ohne Einsatz eines Lichtmanagementsystems, da davon ausgegangen wird, dass die wenigen Nutzer des Labors die Beleuchtung nach Bedarf ein- und ausschalten können.

Resultate

- Mit der Sanierung wurde das Beleuchtungsniveau deutlich verbessert, nämlich von durchschnittlich 50 Lux auf 206 Lux.
- Gleichzeitig wurde eine Stromeinsparung von rund 70% erzielt.
- Die Amortisationszeit beträgt 5,9 Jahre.

Alte Leuchte im Labor des „Centro de Ciencias de la Atmósfera“ mit 100 Watt Glühlampe und Reflektor



Neue Beleuchtung im Labor des „Centro de Ciencias de la Atmósfera“



	vor Sanierung	nach Sanierung
Lampensystem	Glühlampen	2 x 14 Watt (T5)
Vorschaltgeräte	–	dimmbare, elektronisch
Effektive Leistungsaufnahme	100 / 150 Watt	33 Watt
Lampe	100 / 150 Watt	2 x 14 Watt
Beleuchtungsstärke (durchschnittlich)	50 Lux	206 Lux
Stromeinsparung	–	65-75%

2.5 Ökonomische Aspekte

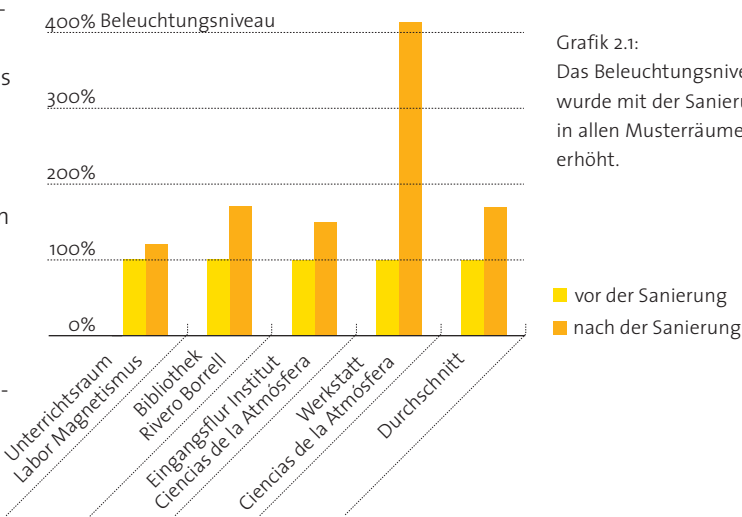
Bei der Planung von Beleuchtungsanlagen muss zunächst festgelegt werden, welches Beleuchtungsniveau erzielt werden soll. Bei den vier Musterräumen war das Beleuchtungsniveau in der Bibliothek und im Arbeitslabor des Instituts für Atmosphärenphysik bei weitem nicht ausreichend. In beiden Fällen wurde deshalb eine Beleuchtungsanlage eingeplant, die ein deutlich höheres Beleuchtungsniveau liefert. Besonders gravierend war die Situation im Laboratorium des Centros de Ciencias de la Atmósfera. Hier wurde die vierfache Beleuchtungsstärke gegenüber dem Ausgangszustand installiert.

Dennoch konnte eine hohe Stromeinsparung erzielt werden, weil das Laboratorium bislang mit Glühlampen ausgeleuchtet war. Wäre die neue Beleuchtung auf die alte Beleuchtungsstärke ausgelegt worden, so wäre durch die effizientere Beleuchtung rund 95 Prozent des ursprünglichen Strombedarfs eingespart worden.

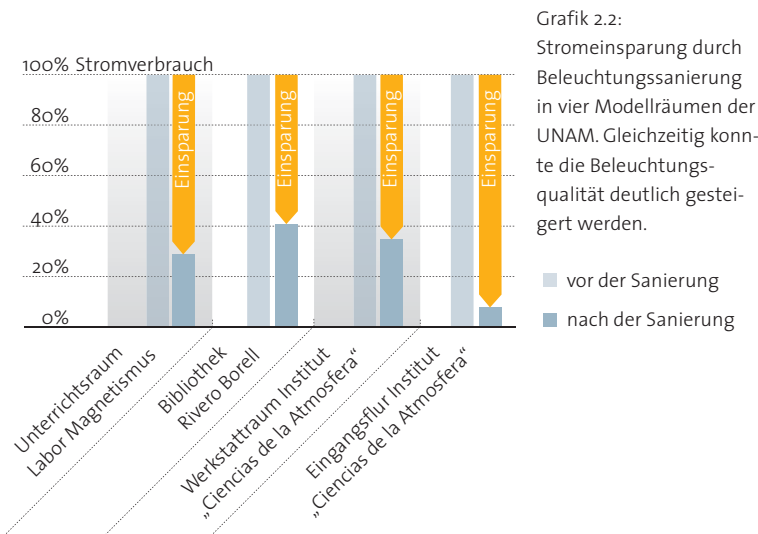
Im Rahmen des Projektes wurden alle Kosten erfasst und den Einsparungen gegenüber gestellt. Die Wirtschaftlichkeit wird hier als einfache Kapitalamortisationszeit angegeben. Dabei werden keine Zinsen auf das eingesetzte Kapital, aber auch keine Preissteigerung beim Strombezug berücksichtigt.

Die Amortisationszeit des eingesetzten Kapitals lag zwischen 1,3 Jahren (Eingangsbereich/ Flur im Gebäude Ciencias de la Atmósfera und etwas über 12 Jahren (Bibliothek Rivero Borrell).

Die sehr kurze Amortisationszeit für den Eingangsbereich des Centros Ciencias de la Atmósfera ergibt sich durch die hohe Nutzungsdauer der Beleuchtungsanlage. Da die alte Beleuchtungsanlage auch bei Tageslichteinfall durchgängig eingeschaltet war, ergab sich ein hoher Stromverbrauch, der nun durch wesentlich effizientere Leuchten und eine tageslichtabhängige Steuerung auf ein Minimum reduziert wird.



Grafik 2.1:
Das Beleuchtungsniveau wurde mit der Sanierung in allen Musterräumen erhöht.



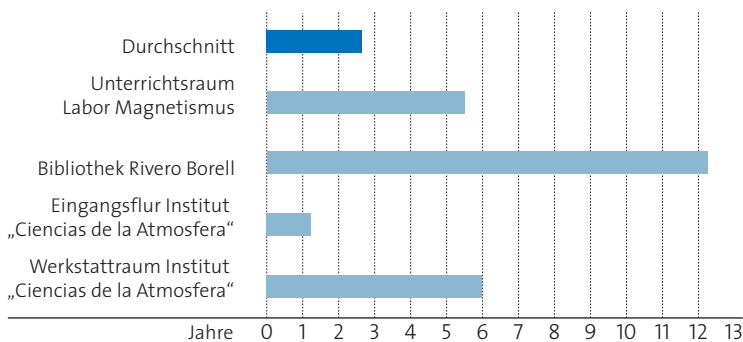
Grafik 2.2:
Stromeinsparung durch Beleuchtungssanierung in vier Modellräumen der UNAM. Gleichzeitig konnte die Beleuchtungsqualität deutlich gesteigert werden.

Die längere Amortisationszeit in der Bibliothek ist durch mehrere Besonderheiten bedingt:

- Die vorhandenen T8-Lampen waren bereits mit elektronischen Vorschaltgeräten bestückt, so dass die Stromeinsparung durch die neue effizientere Technologie gegenüber der bestehenden Anlage entsprechend geringer ausfällt als in den anderen Fällen.
- Die Beleuchtungssteuerung erfolgt nur für die ausgetauschten elf Leuchten, wodurch sich die Investitionskosten für die Beleuchtungssteuerung auf eine relativ „kleine“ Einsparung aufteilen.
- Das Beleuchtungsniveau wurde um etwa 40 Prozent angehoben.

Die mittlere Amortisationszeit der vier realisierten Mustersanierungen (Gesamtinvestition dividiert durch die gesamte jährliche Stromkosteneinsparung der vier Beispiel-sanierungen) liegt bei knapp 3 Jahren. Dies scheint zunächst im Widerspruch zu den Einzelergebnissen zu stehen, erklärt sich aber daraus, dass die Eingangshalle der größte Raum mit der absolut höchsten Einsparung war und dieses Ergebnis deshalb das durchschnittliche Ergebnis aller Maßnahmen etwas dominiert.

Amortisationszeit



Grafik 2.3:
Amortisationszeit für vier realisierte Beispiele der Beleuchtungssanierung an der UNAM

Sanierungsobjekt

Unterrichtsraum Labor Magnetismus
Bibliothek Rivero Borrell
Eingangshalle Institut „Ciencias de la Atmósfera“
Arbeitslabor Institut „Ciencias de la Atmósfera“
Summe /Mittelwert

Investition	Stromkosteneinsparung	Einsparung Wartungskosten	Summe Betriebskosteneinsparung	Amortisationszeit	Stromeinsparung	Stromeinsparung
US\$	US\$/a	US\$/a	US\$/a	Jahre	kWh/a	Prozent
4.400	713	97	811	5,4	4.458	72
2.900	224	11	235	12,3	1.402	59
4.900	3.319	574	3.893	1,3	20.746	92
1.700	260	30	290	5,9	1.625	65
13.900	4.517	712	5.229	2,7	28.231	84

Investition, Strom- und Kosteneinsparung bei den an der UNAM durchgeführten Modellsanierungen

Stromsparen kostengünstiger als Strom erzeugen

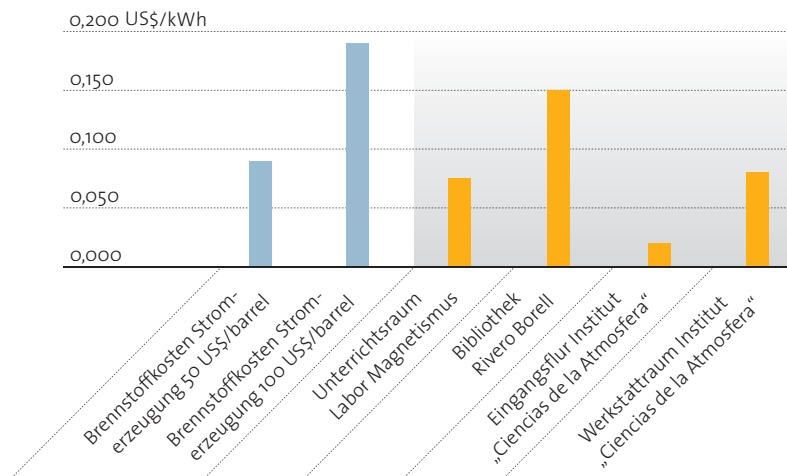
Auch bei einer volkswirtschaftlichen Betrachtung ergeben sich eindeutige Vorteile für die Stromeinsparung.

Selbst wenn man nur die reinen Brennstoffkosten für die Stromerzeugung in Betracht zieht, sind die Kosten für die Stromeinsparung geringer.

Abbildung 5.4 zeigt den Vergleich der reinen Brennstoffkosten (ohne Kapitalkosten) pro erzeugter Kilowattstunde Strom in einem Ölkraftwerk bei einem niedrigen Ölpreis von 50 US\$/barrel und einem längerfristig erwarteten Ölpreis von 100 US\$/barrel. Die Brennstoffkosten werden den spezifischen Kosten der Einsparung gegenübergestellt.

Diese wurden auf der Basis der Investitionskosten errechnet, wobei diese annuitätisch bei einer Kreditlaufzeit von 20 Jahre und einem Kapitalzins von 8% ermittelt wurden.

Die Ergebnisse zeigen, dass selbst wenn man die Kapitalkosten und sonstigen Betriebskosten für die Kraftwerke sowie für die Transport- und Verteilnetze beiseite lässt, die Investition in effiziente Beleuchtung die kostengünstigere Variante darstellt.



Grafik. 2.4: Vergleich der Stromerzeugungskosten eines Ölkraftwerks (nur Brennstoffkosten) im Vergleich zu den Kosten der Stromeinsparung durch Beleuchtungs-sanierung

3 Masterplan für die Sanierung der Beleuchtung an der UNAM



3.1 Einführung

Der im Folgenden dargelegte Masterplan für die Beleuchtungssanierung beschreibt das Vorgehen sowie die grundlegenden Annahmen und ermittelt auf dieser Basis die notwendigen Investitionskosten sowie die daraus resultierenden Kosteneinsparungen.

Die effiziente Beleuchtung eines Raumes oder eines Gebäudes ist eine wesentlich komplexere Aufgabe als eine alte Leuchte durch eine neue auszutauschen. Die effiziente Beleuchtung umfasst mehrere Komponenten:

Die einzelnen Schritte sollten in einer integrierten Planung erfolgen, da sie voneinander abhängen. Beispielsweise macht die tagesabhängige Steuerung den Einsatz dimmbarer, elektronischer Vorschaltgeräte notwendig. Bei Ausnutzung aller technischen Möglichkeiten lässt sich der Strombedarf bei gleicher Beleuchtungsstärke in vielen Fällen um rund 90 Prozent senken.

Bei der Entwicklung des Masterplans wurde diese systematische Vorgehensweise bei der Beleuchtungssanierung unterstellt.



1. Festlegung des Lichtniveaus

Zunächst ist das gewünschte oder notwendige Lichtniveau zu definieren, gemessen in Lumen pro Quadratmeter. Wie viel Licht wird an bestimmten Stellen des Raumes für die Sehaufgaben benötigt?

2. Lichtreflexion ermöglichen

Im zweiten Schritt sollten über die Gestaltung des Raumes günstige Voraussetzungen für die Lichtreflexion und die Lichtnutzung geschaffen werden. Je heller Wände, Decke und Boden sind, desto besser kann das Licht reflektiert werden.

3. Effiziente Technologie wählen

Im dritten Schritt sollten effiziente Leuchten, Reflektoren, Leuchtmittel (Lampen) sowie Vorschaltgeräte ausgewählt werden, damit das gewünschte Lichtniveau mit minimalem Energieeinsatz erreicht werden kann.

4. Tageslicht nutzen

Im vierten Schritt sollten alle technischen Möglichkeiten genutzt werden, um vorhandenes Tageslicht zu nutzen, beispielsweise durch lichtlenkenden Sonnenschutz. Der zusätzlich notwendige Kunstlichtbedarf sollte über Tageslichtsensoren minimiert werden.

5. Präsenzwächter installieren

Mit so genannten Präsenzwächtern kann schließlich dafür gesorgt werden, dass die Beleuchtung nur dann aktiv ist, wenn der Raum auch genutzt wird.

Bis zu 90% Strom einsparung!

3.2 Vorgehensweise

Für den Masterplan wurden mehr als 10 Gebäude der UNAM analysiert und die Nutzung der Beleuchtung typisiert. Dabei wurden vier typische Beleuchtungssituationen unterschieden:

- Die Beleuchtung von innen- und außenliegenden Fluren (mit Tageslichteinfall)
- Bibliotheken
- Seminarräume und Labore in denen Vorlesungen und Übungen stattfinden
- Büros der Universitätsinstitute und der Verwaltung.

Für jede Beleuchtungssituation wurde zunächst eine möglichst effiziente Beleuchtungsanlage konzipiert und die Investitionskosten sowie die eingesparten Stromkosten errechnet.

Eine deutliche Abweichung zu den Ergebnissen der Mustersanierungen ergibt sich bei den Bibliotheken. Diese erklärt sich dadurch, dass bei der Mustersanierung in der Bibliothek Rivero Borrell der Ausgangszustand der Beleuchtung besser war (T8, Elektronisches Vorschaltgerät), als im Durchschnitt aller Bibliotheken. Hierdurch reduzierte sich die Stromeinsparung und damit die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme.

Wie Grafik 3.2 zeigt, ist die Wirtschaftlichkeit der Beleuchtungssanierung je nach Bereich und Nutzung unterschiedlich. Für die Ermittlung der einfachen Amortisationszeit blieb sowohl der Kapitalzins unberücksichtigt als auch die zu erwartende Strompreissteigerung.

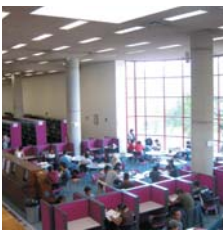
Sanierungsablauf

Es wurde unterstellt, dass mit der Sanierung dort begonnen wird, wo die Einsparung bezogen auf das eingesetzte Kapital am höchsten ist. Dies sind zweifellos fast alle Flure in den Gebäuden der UNAM. Die Amortisationszeit von Sanierungsmaßnahmen beträgt dort knapp zwei Jahre.

- Im 1. Jahr werden demnach alle Flure saniert.
- Im 2. Jahr wird mit einem Viertel der Bibliotheken begonnen. Insgesamt werden 100 der 130 Bibliotheken der UNAM in einem Vierjahreszeitraum saniert.
- Im 4. Jahr beginnt die Sanierung der Seminarräume, die sich über vier Jahre erstreckt.
- Im 6. und 7. Jahr werden zusätzlich die Büroräume saniert.



Flur



Bibliotheken

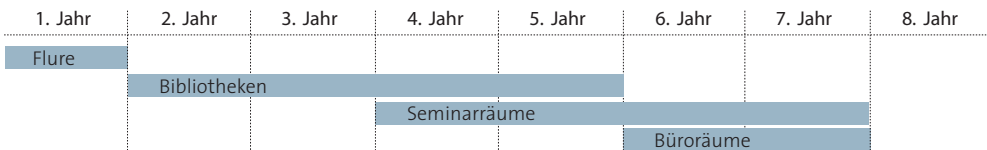


Seminarräume



Büroräume

Grafik 3.1: Zeitrahmen für den Masterplan der Beleuchtungssanierung an der UNAM.



3.3 Kosten und Nutzen

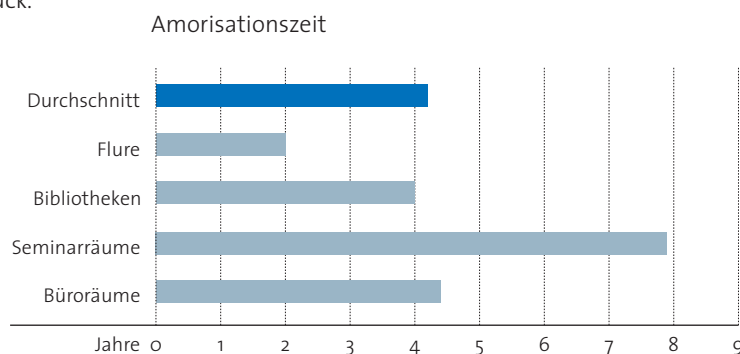
In einem nächsten Schritt wurden die jeweiligen Investitionskosten sowie die jährlich zurückfließenden eingesparten Betriebskosten errechnet (siehe Graphik 3.3).

Vom ersten bis zum 7. Jahr werden so insgesamt 13,9 Mio. US\$ investiert. Gleichzeitig fließen bis Ende des 7. Jahres 13,7 Mio. US\$ an eingesparten Energie- und Wartungskosten zurück.

- Für die Sanierung der Flure müssen im **1. Jahr** rund 760.000 US\$ aufgewandt werden.⁶ Diesen Investitionen stehen 444.000 US\$ an Stromkosteneinsparungen gegenüber.
- Im **2. Jahr** werden rund 1,7 Mio. US\$ für die Sanierung der Bibliotheken investiert. Die Stromkosteneinsparung aus der Sanierung der Flure und einem Teil der Bibliotheken beträgt in diesem Jahr bereits 0,92 Mio. US\$.
- Im **3. Jahr** werden weitere 1,7 Mio. Euro für weitere 25 Bibliotheken investiert. Die Stromkosteneinsparung beträgt im 3. Jahr bereits 1,4 Mio. US\$.
- Im **4. Jahr** werden 2,9 Mio. US\$ in weitere Bibliotheken und in Seminarräume investiert. Die Investitionen werden dann bereits überwiegend über die Energiekosteneinsparungen (inkl. vermiedene Wartungskosten) abgedeckt.
- Vom **1. bis zum 7. Jahr** werden so insgesamt 13,9 Mio. US\$ investiert. Gleichzeitig fließen bis zum Ende des 7. Jahres 13,7 Mio. US\$ an eingesparten Energie- und Wartungskosten zurück.

Insgesamt können mit dem zu Beginn notwendigen Anfangskapital von etwa 3 Mio. US\$ bis zum Ende der Nutzungsdauer der eingebauten Beleuchtungsanlagen (Lebensdauer jeweils 20 Jahre) rund 68 Mio. US\$ an eingesparten Energiekosten erzielt werden.

Abzüglich der insgesamt investierten 13,9 Mio. US\$ verbleibt ein Nettoertrag von rund 54 Mio. US\$ – und dies bei einem ursprünglichen Kapitaleinsatz von rund 3 Mio. US\$.



Grafik 3.2.: Kapitalrücklaufzeit bei der Beleuchtungs-sanierung in typisierten Bereichen der UNAM

⁶ Dabei wird vernachlässigt, dass ein Teil der Stromkosteneinsparung noch nicht erzielt werden kann, weil die Investitionen erst im Laufe des Jahres erfolgen und somit die Einsparung nicht für ein volles Jahr anfällt.

Enormer Beitrag zum Klimaschutz

Die gesamte jährliche Stromeinsparung kann auf 19 Mio. kWh abgeschätzt werden. Die sich hieraus ergebende CO₂-Minderung über die Lebensdauer der neuen Beleuchtungsanlage beträgt rund 266.000 Tonnen.

Geringe Risiken

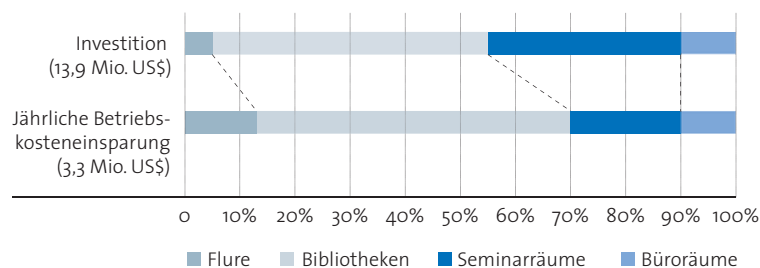
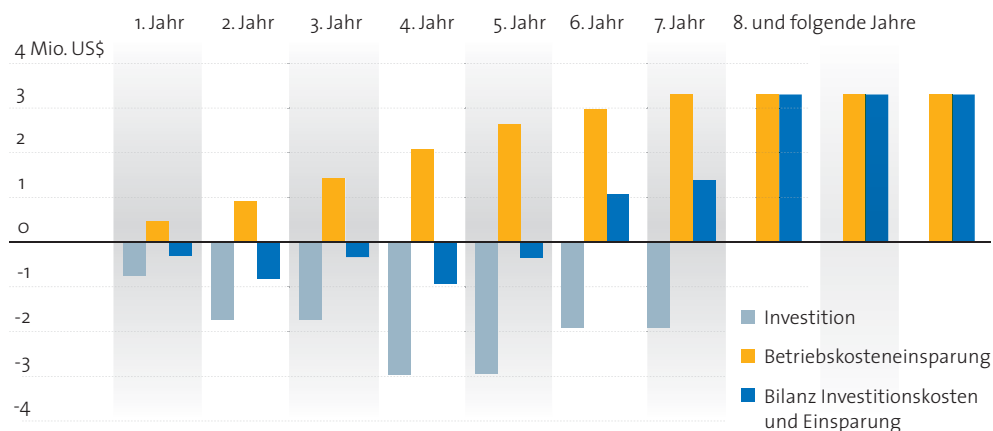
Auch wenn die Berechnungsergebnisse dieses Masterplans um 10% oder um 20% nach oben oder unten abweichen mögen: die Sinnhaftigkeit und der wirtschaftliche Erfolg der Strategie stehen außer Zweifel. Das Risiko einer Fehlinvestition geht gegen Null.

Eine systematische Herangehensweise verbunden mit einem ständigen Controlling von Ausgaben und Einsparung gibt nach den ersten Investitionen eine hohe Planungs- und Investitionskosten-sicherheit.

Werden die vorhandenen Einsparpotentiale im Rahmen eines groß angelegten Investitionsprogramms erschlossen, lassen sich aufgrund der hohen Stückzahlen günstige Einkaufspreise bei den Einspartechniken aushandeln und damit die Kosten der Umsetzung noch weiter reduzieren.

Gerade in Zeiten der weltweiten finanziellen Krise sind Investitionsprogramme, die spätere Kosteneinsparungen nach sich ziehen von besonderem Interesse. Der Masterplan zeigt, dass mit einer systematischen Vorgehensweise und geringen Anfangsinvestitionen in der Zukunft hohe Strom- und Betriebskosteneinsparungen erzielt werden können.

Grafik 3.3:
Investitionskosten
Beleuchtung sowie Rück-
fluss aus Betriebskosten-
einsparungen (Strom-
und Wartungskosten)



Grafik 3.4: Anteile der
Beleuchtungssanierung
in Bezug auf Investitions-
kosten und Betriebs-
kosteneinsparung



“Die neue Beleuchtungsanlage zeigt zweifellos, dass jedes Land unterschiedliche Möglichkeiten besitzt nachhaltige Managementmethoden einzuführen und die Systemkosten zu senken“. Das neue UNAM Beleuchtungskonzept könnte ein Leuchtturmprojekt für andere Universitäten in Mexiko und in anderen Ländern der Welt werden.“

MICHAEL KUHNDDT

Head of the UNEP/Wuppertal Institute Collaborating Centre
on Sustainable Consumption and Production gGmbH

Exkurs: Vorteile effizienter Beleuchtungskomponenten

Effiziente Leuchten

- Mit optimierten Reflektoren lässt sich das Licht an die Orte lenken, an dem es gebraucht wird
- Hocheffiziente Reflektoren aus Aluminium erreichen Wirkungsgrade von bis zu 95%
- Die gewünschte Beleuchtungsstärke lässt sich mit weniger Leuchten erzielen. Dadurch können die Kosten der Beleuchtungssanierung gesenkt werden
- Niedrigere Stromkosten durch hocheffiziente Leuchten und
- Geringere Wartungskosten, da weniger Leuchten und weniger Lampen pro Leuchte



Elektronische Vorschaltgeräte

- Höhere Lichtausbeute bei geringerem Stromverbrauch
- Bessere Beleuchtungsqualität (kein Flickern)
- Längere Lebensdauer des Vorschaltgerätes
- Längere Lebensdauer der Lampe, die in Kombination mit dem elektronischen Vorschaltgerät betrieben wird
- Reduzierte Wartungskosten
- Beleuchtungsstärke regelbar
- Automatisches Abschalten defekter Lampen, dadurch reduzierte Brandgefahr
- Geringere Wärmeentwicklung und deshalb reduzierter Kühlbedarf



Beleuchtungssteuerung

- Reduzierte Betriebsstundenzahl für Lampen und Vorschaltgeräte
- Verlängerte Lebensdauer für Lampen und Vorschaltgeräte und somit reduzierte Wartungskosten
- Reduzierung des Stromverbrauchs (in den meisten Fällen um mehr als 50%)
- Geringere Wärmeentwicklung und deshalb reduzierter Kühlbedarf

„Die Ergebnisse der Sanierung haben mich nicht überrascht. Sie entsprechen den Einsparungen, die wir bei guter Planung und Umsetzung auch in Banken, Verwaltungsgebäuden und in Industriebetrieben erzielen. Sie lassen sich rasch umsetzen und sparen hohe Kosten ein.“

PROF. ALEX RAMIREZ
Geschäftsführer
bei Genertek S.A.

4 Vorschläge für die Umsetzung der Potenziale



In diesem Kapitel machen wir Vorschläge wie das Beleuchtungskonzept an der UNAM umgesetzt werden kann.

Für den Fall dass der UNAM Finanzierungsmittel fehlen oder die UNAM-Verwaltung das mit der Investition verbundene wirtschaftliche Risiko nicht tragen möchte, kann Energieeinspar-Contracting als Umsetzungsinstrument eingesetzt werden.

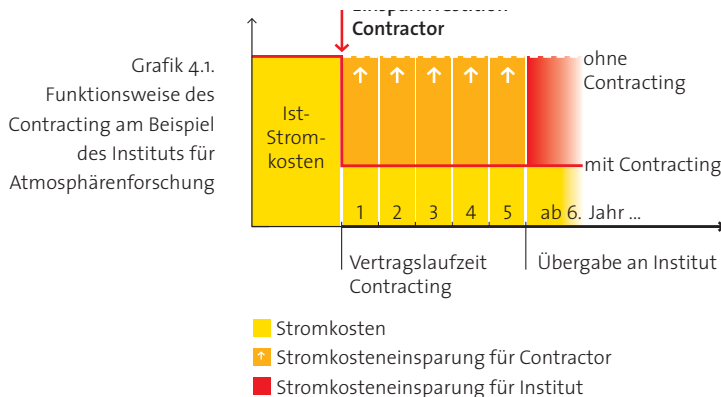
Contracting

Was ist Contracting?

Contracting ist ein Dienstleistungskonzept, das auf die Effizienzsteigerung von Energieerzeugungs- und Energienutzungsanlagen abzielt. Häufig wird für dasselbe Konzept auch der Begriff Performance-Contracting verwendet.

Will zum Beispiel die UNAM die anstehende Erneuerung der Beleuchtungsanlage nicht in eigener Regie durchführen, beispielsweise weil nicht genügend Know-how in Bezug auf die technisch-ökonomischen Anforderungen vorhanden ist und die freien Mittel fehlen, kann ein Dienstleister, der Contractor, beauftragt werden. Auch die ermittelten Einsparpotenziale an der UNAM ließen sich auf diese Weise mobilisieren.

Der Contractor würde die Beleuchtungsanlage planen, liefern und komplett einbauen. Die Leistungen des Contractors für Planung, Ausführung, Finanzierung und Betreuung der Anlage während des Betriebs würden sich aus den eingesparten Stromkosten finanzieren.



Die UNAM hätte keine zusätzlichen Kosten und kein Risiko zu tragen, würde jedoch vom Einsparerfolg der Investition profitieren.

Energiespar-Contracting wird in Deutschland mit Erfolg durchgeführt. Alleine die Stadt Berlin hat rund 1.000 Gebäude über das Modell des Energiespar-Contracting sanieren lassen.

Beispiel: Contracting

für das Instituto Atmosfera

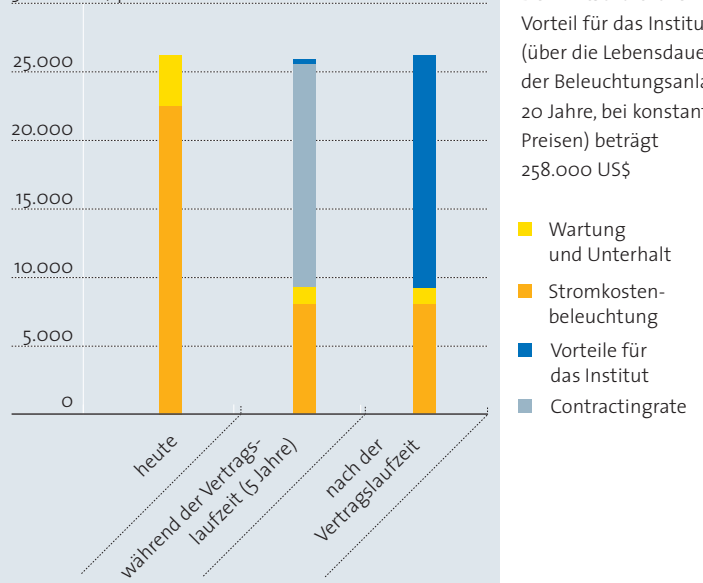
Die jährlichen Kosten für die Beleuchtung des Instituts (Wartung und Stromkosten für die rund 580 Leuchten) betragen derzeit rund 26.000 Euro pro Jahr. Bei einem Contracting würde der Anbieter dem Institut garantieren, dass über die Laufzeit des Contractingvertrages und natürlich erst recht danach, dem Institut geringere Kosten anfallen als in der Vergangenheit.

Die Investitionskosten für die Sanierung der Beleuchtung würden vom Contractor getragen. Während einer Vertragslaufzeit von 5 Jahren würde der Contractor in diesem Fall eine jährliche Rate von 16.000 US\$ (Contracting-fee) erhalten. Nach der Sanierung betragen die Strom- und Wartungskosten nur noch 9.000 US\$, damit verbleibt dem Institut während der fünfjährigen Vertragslaufzeit ein jährlicher Vorteil von etwa 1.000 US\$.

Nach Vertragsende würde die gesamte Einsparung dem Institut (bzw. der UNAM) gehören. Ab dann würde das Institut jährlich rund 17.000 US\$ Strom- und Wartungskosten sparen. Über die Lebensdauer von 20 Jahren hätte das Institut bzw. die UNAM einen Vorteil von rund 258.000 US\$ gegenüber dem „Business as usual“. Steigen die Strompreise in diesem Zeitraum, wäre die Einsparung noch höher.

Vorteil: Das Institut hätte kein Investitionsrisiko zu tragen und wäre von der Planung und Umsetzung der Einsparmaßnahmen befreit.

30.000 US\$ pro Jahr



“Die neue Beleuchtung in unserem Zentrum erzielt beeindruckende Resultate: wir sparen mehr als 90% Strom ein und gleichzeitig wurde das Beleuchtungsniveau verbessert. Der finanzielle Vorteil sowie der Nutzen für Umwelt und Klima sind offensichtlich”

DR. CARLOS GAY GARCÍA
Director, Centro de Ciencias de la Atmosfera
Universidad Nacional Autónoma de México

Grafik 4.2.
Kostensituation für ein Performance-Contracting Projekt für das Institut (Schätzung)

Der wirtschaftliche Vorteil für das Institut (über die Lebensdauer der Beleuchtungsanlage, 20 Jahre, bei konstanten Preisen) beträgt 258.000 US\$

Clean Development Mechanism

Im Rahmen des Kyoto-Protokolls haben sich die Unterzeichnerstaaten verpflichtet, ihre Klimagasemissionen um definierte Mengen zu reduzieren. Als erste Verpflichtungsperiode wurden die Jahre 2008 bis 2012 festgelegt. Industrieländer, die sich zu Emissionsreduktionen verpflichtet haben (sogenannte Annex-I-Länder) können sich durch Investitionen in Projekte in Schwellen- und Entwicklungsländern, die durch die Projekte erzielten Emissionsminderungen in ihrem Stammland anrechnen lassen, sofern die Investitionen zum Klimaschutz beitragen und gleichzeitig auf eine nachhaltige Entwicklung ausgerichtet sind. Hierdurch werden Projekte mit hohem CO₂-Minderungspotential für Investoren interessanter, da sie über den Verkauf von CO₂-Zertifikaten (Certified Emission Reduction Units, CER) einen zusätzlichen Ertrag erwirtschaften, bzw. einen günstigeren Vertrag anbieten können.

Über die systematische Beleuchtungsanierung an der UNAM könnten auch zusätzliche Einnahmen über die Abgabe von CO₂-Zertifikaten an den Mexikanischen Carbon Fond erzielt werden. Hierdurch könnte ein Teil der notwendigen Investitionen refinanziert werden.

Die durch eine umfassende Beleuchtungsanierung erzielbare CO₂-Minderung kann mit jährlich rund 13.300 Tonnen oder über die gesamte Lebensdauer mit 266.000 Tonnen angegeben werden. Bei einem Verkauf der CO₂-Zertifikate zu einem angenommen Durchschnittspreis von 10 US\$ pro Tonne CO₂ ließen sich über die Lebensdauer der Beleuchtungsanlage rund 2,7 Mio. US\$ aus dem Verkauf von CO₂-Zertifikaten zusätzlich erzielen.

Showroom

Energieeffizienz bietet vielfältige kostengünstige Möglichkeiten, den Strombedarf zu reduzieren. Die hier notwendigen Technologien sind jedoch nur wenigen Entscheidern bekannt. Die Investition in neue Beleuchtungssysteme in den Gebäuden der UNAM sollte dazu genutzt werden, den Studenten und Professoren die effiziente Beleuchtungstechnik zu demonstrieren, zu erklären und vor allem auch deren Wirtschaftlichkeit zu belegen.

In einer kleinen Ausstellung oder einem „show-room“ könnten die einzelnen Bausteine einer effizienten Beleuchtung (siehe Abschnitt 4) anhand von Modellen vorgestellt und erläutert werden. Über Schautafeln und interaktive Modelle sollte die Thematik möglichst vielen Besuchern der UNAM bekannt gemacht werden. Schließlich sind die Studenten die Entscheidungsträger von morgen. Deshalb sollten alle Studenten für energieeffiziente Beleuchtung und den Klimaschutz sensibilisiert werden.

In den Unterrichtsräumen der Fakultät der Architekten sollte die praktische Anwendung einer modernen und effizienten Beleuchtung ein „Muss“ sein.

Eine sichtbare, moderne und effiziente Beleuchtung hätte über den Ausbildungseffekt hinaus den Vorteil, dass das Image der UNAM als moderne Universität gefestigt bzw. verstärkt würde.



„Wir müssen die begrenzten Energieressourcen effizienter nutzen als bisher. Mit Investitionen in hocheffiziente Beleuchtungstechnologie können wir gleichzeitig auf ein nachhaltiges Wirtschaften umsteuern. Die vorliegende Untersuchung und die bereits durchgeführten Maßnahmen an der UNAM zeigen, dass es sich für alle lohnt, diesen Weg weiterzugehen. Mit einer effizienten Beleuchtung an unserer Universität können wir auch die Lernbedingungen für die Studenten verbessern. Gleichzeitig kann das Thema bei der Ausbildung der Ingenieure eine große Bedeutung spielen.“

DR. JOSÉ LUIS FERNÁNDEZ ZAYAS
Direktor des Instituto de Ingeniería der UNAM

Ausbildung

Aufgrund der in vielen Bereichen veralteten Beleuchtungstechnik besteht in Mexiko und auch in vielen anderen Ländern ein riesiges Investitionspotential für effiziente Beleuchtung. Dieses Potential bietet zugunsten der mexikanischen Wirtschaft aber auch zugunsten der Umwelt ein großes Investitionspotential mit einem noch größeren Rückfluss an Kapital. Geringe Beleuchtungskosten im gewerblichen Bereich bedeuten letztlich jedoch auch eine höhere Wettbewerbsfähigkeit.

An der UNAM werden nur sehr wenige Elektroingenieure im Rahmen ihres Studiums im Hinblick auf effiziente Beleuchtung ausgebildet. Durchschnittlich 10 bis 15 Ingenieure pro Jahr belegen das Fach „Beleuchtung“. Selbst wenn sich alle diese Studenten im späteren Berufsleben auf die Planung effizienter Beleuchtungsanlagen konzentrieren würden, kann damit der objektive Bedarf an guten Planern nicht gedeckt werden.

Unter der Leitung von Professor Alex Ramirez messen die Studenten die Beleuchtungsstärke im sanierten Eingangsbereich des Centro de Ciencias de la Atmósfera



Strukturen schaffen

An der UNAM verfügen die Fakultäten, Institute und Verwaltungsgebäude nicht über eigene Zähler. In der gesamten UNAM gibt es nur zwei Stromzähler und dies bei einem Verbrauch von jährlich rund 70.000 MWh. Strom ist somit ein freies Gut, was scheinbar nichts kostet und dessen Verbrauch auch nicht nachvollzogen werden kann. Deshalb wird vorgeschlagen, für jedes Gebäude mindestens einen Stromzähler zu installieren, um für die Zukunft die Stromkosten den einzelnen Gebäuden bzw. Verbrauchern zurechnen zu können. Stromzähler können auch dabei behilflich sein, heimliche Stromfresser aufzuspüren und Kosten einzusparen.

Ein weiterer Vorschlag zielt darauf ab, die Stromkosten den jeweiligen Verursachern anzulasten. Derzeit werden die gesamten Stromkosten von der Universitätsverwaltung beziehungsweise vom Staat getragen. Die einzelnen Fakultäten und Institute haben kein Interesse an Stromkosteneinsparungen, weil es ihren Finanzhaushalt nicht berührt. Führen die Institute oder Fakultäten Investitionen im Beleuchtungsbereich durch, so werden sie keine Wirtschaftlichkeitsberechnung unter Einbeziehung der Stromkosten über die Lebensdauer der Beleuchtungsanlage durchführen, wie es eigentlich ökonomisch vernünftig wäre, sondern sie werden sich voraussichtlich für die Lösung mit den niedrigsten Investitionskosten entscheiden, da sie die Stromkosten der Beleuchtungsanlage nicht tragen müssen. So wird die billige Lösung für das Institut zu einer teureren Lösung für die Gesellschaft.

Ein weiterer Aspekt spricht für eine Messung und Kostenzuordnung des Stromverbrauchs: es ist davon auszugehen, dass die einzelnen Institute und Fakultäten mit dem Wirtschaftsgut Strom sorgfältiger umgehen würden, wenn sie die Kosten für dieses Gut bezahlen müssten. So kann durch eine entsprechende Umstrukturierung der Finanzen und der Verantwortlichkeit das Nutzerverhalten verändert und der Strombedarf insgesamt gesenkt und damit auch die Kostenbelastung für die Gesellschaft reduziert werden.



5 Zusammenfassung und Empfehlungen



Die Beispielsanierungen in diesem Projekt aber auch die anschließenden Modellrechnungen im Masterplan zeigen, dass mit der Sanierung der Beleuchtung an der UNAM zahlreiche Vorteile einhergehen, die eine schnelle, gleichzeitig strategisch planvoll durchgeführte Sanierung sinnvoll macht.

Hochrentable Investition

Den Investitionen von insgesamt 14 Mio. US\$ stehen Stromkosteneinsparungen von 68 Mio. US\$ über die zwanzigjährige Lebensdauer der Beleuchtungsanlage gegenüber.

Mit einem anfänglichen Investitionskapital von rund 3 Mio. US\$ sowie mit den aus den Sanierungsmaßnahmen zurückfließenden eingesparten Stromkosten könnten über einen Zeitraum von 7 Jahren die benötigten Investitionen in Höhe von 14 Mio. US-\$ für eine weitgehende Sanierung der Beleuchtung an der UNAM finanziert werden.

Die erzielte jährliche Stromeinsparung beträgt ca. 19 Mio. Kilowattstunden. Diese Strommenge, die nicht mehr produziert werden muss, spart in den Kraftwerken jährlich rund 36.000 Barrel Erdöl ein, die die mexikanische Ölgesellschaft für andere Zwecke aufwenden oder auf dem Weltmarkt zusätzlich verkaufen könnte.

Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz

Ein weiterer gesellschaftlicher Vorteil ergibt sich aus den vermiedenen externen Kosten der Stromerzeugung: durch die Emissionsminderung bei Stickoxiden, Schwefeldioxiden und Ruß wird die Umwelt weniger belastet und die externen Kosten der Stromerzeugung (zum Beispiel durch Ernteaufschläge, Krankheitskosten, erhöhte Betriebskosten in Industriebetrieben) werden reduziert. Die jährliche CO₂-Einsparung beträgt 13.300 Tonnen.

Gutes Licht verbessert Lernbedingungen

Durch die bessere Beleuchtung in den Bibliotheken und Seminarräumen werden die Lernbedingungen und der Lernerfolg positiv beeinflusst. Dies lässt sich zwar nicht direkt in Geldwert messen. Wenn man jedoch davon ausgeht, dass weit über eine Million Studenten in den nächsten 20 Jahren von der neuen Beleuchtung profitieren werden, so kann man sich leicht die Bedeutung dieses Komfortgewinns vorstellen.

Leuchtturmprojekt mit großer Ausstrahlung

Die begrenzten Energieressourcen effizient zu nutzen und mit Investitionen in hocheffiziente Technologien auf ein nachhaltiges Wirtschaften umzusteuern ist angesichts der Klimaproblematik und der knapper werdenden Ressourcen das Gebot der Stunde. Aus der Sanierung der Beleuchtung an der UNAM könnte ein echtes Leuchtturmprojekt für effiziente Beleuchtung werden, das weit über die Universität hinaus ausstrahlt.

6 Weitere Beispiele



Metro-Station in
Mexiko-City.



Über die UNAM hinaus

Die für die UNAM gezeigte Situation der Beleuchtungstechnik ist nicht ungewöhnlich sondern steht stellvertretend für andere Universitäten sowie für andere Gebäudenutzungen wie Schulen, Verwaltungsgebäude, private Dienstleistungsgebäude und Banken in Mexiko.

Grundsätzlich gilt, dass überall dort, wo heute noch T12 –Lampen mit konventionellen Vorschaltgeräten in alten Leuchten betrieben werden, sich die Beleuchtung auf wirtschaftlicher Basis komplett erneuern lässt, sofern die Beleuchtung länger als 1.000 Stunden pro Jahr in Betrieb ist. Je länger die Benutzungsdauer der Beleuchtungsanlage im Ausgangszustand ist, desto kürzer ist die Amortisationszeit für die Investition in die neue, effiziente Beleuchtung.

Dies belegt auch eine Machbarkeitsstudie Studie, die das Büro Ö-quadrat für eine Beleuchtungs-sanierung der Metro in Mexiko-City durchgeführt hat. Diese Studie kam zu dem Ergebnis, dass über 50% des Stroms, der in der Metro für die Beleuchtung der Bahnhöfe und Verkehrswege eingesetzt wird, zu äußerst wirtschaftlichen Bedingungen eingespart werden könnte – im Durchschnitt mit einer Amortisationszeit von nur zwei bis drei Jahren.⁷

Hohes Einsparpotential weltweit

Die Chancen für wirtschaftliche Investitionen im Beleuchtungsbereich sind nicht auf Mexiko oder Lateinamerika beschränkt: Es gibt sie in allen Ländern dieser Welt.

Als Beispiel wird hier ein Gebäude der Freiburger Universität in Deutschland gezeigt, das seit vielen Jahren auf eine Sanierung seiner ineffizienten Beleuchtung wartet – obwohl die Investition mit wirtschaftlichem Gewinn und einem guten Kosten-Nutzen-Ergebnis durchgeführt werden könnte.

Wie die vorliegende Analyse gezeigt hat, kann die Modernisierung und Effizienzsteigerung der Beleuchtung genutzt werden, um den Klimawandel mit wirtschaftlichem Vorteil zu bekämpfen. „Die Herausforderung besteht nun darin, den politischen Willen zum Handeln zu erzeugen. Die Zivilisation zu retten ist kein Zuschauersport. Jeder von uns hat eine tragende Rolle zu spielen.“⁸



Schule in Mexiko-City.
Man beachte die
Beleuchtung der
Verkehrswege



Bankgebäude in
Mexiko-City am
Samstagabend



Universität Freiburg

⁷ Feasibility Study for Lighting Refurbishment of the Pedestrian; Büro Ö-quadrat: Underpass at Alexanderplatz in Berlin, Germany and for the Subway System in Mexico City, June 2006. Es wurde davon ausgegangen, dass die Beleuchtungsstärke gegenüber dem unsanierten Zustand unverändert bleibt.

⁸ Lester R. Brown: Plan B 3.0 Mobilizing to save civilization. Earth Policy Institute, 2008

7 Die Projektpartner



Initiative „WISIONS of Sustainability“

Wisions ist eine Initiative des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt und Energie, unterstützt von der in der Schweiz angesiedelten Stiftung „ProEvolution“. Diese Stiftung verfolgt das Ziel innovative Projekte im Bereich der Energieeffizienz und der regenerativen Energiequellen für eine nachhaltige Entwicklung zu fördern und zu verbreiten.

Kontakt: info@wision.net · www.wisions.net



Büro Ö-quadrat

Das Beratungsbüro Ö-quadrat verfügt über Kompetenz in energiewirtschaftlichen und energiepolitischen Fragestellungen. Das Büro arbeitet an Konzepten, die geeignet sind, das Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie abzubauen. Darüber hinaus entwickelt das Büro Klimaschutzprojekte im In- und Ausland.

Das Büro wurde 1999 gegründet und wird von Dieter Seifried geleitet.

Kontakt: seifried@oe2.de · www.oe2.de



UNEP-Centre für nachhaltigen Konsum und Produktion (CSCP)

Das UNEP-Centre bietet wissenschaftliche Unterstützung für Maßnahmen, die von UNEP und anderen Organisationen im Bereich von nachhaltigem Konsum und Produktion umgesetzt werden. Diese Unterstützung umfasst die Entwicklung, Tests, Implementierung und das Monitoring konkreter Projekte, speziell in Ländern der Dritten Welt.

Kontakt: info@scp-centre.org · www.scp-centre.org



Genertek S.A.

Genertek S.A. ist ein in Mexiko bekanntes und anerkanntes Unternehmen, das sich auf effiziente Beleuchtung spezialisiert hat. Es hat inzwischen mehr als 300 Projekte in 12 Ländern durchgeführt und elf nationale und internationale Preise gewonnen. Geschäftsführer ist Alex Ramirez, der u.a. auch an der UNAM das Fach „Beleuchtung“ unterrichtet.

Kontakt: genertek@avantel.net



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Instituto de Ingeniería

Das Instituto de Ingeniería der Nationalen Autonomen Universität von Mexiko (II UNAM) ist ein Forschungszentrum, das in einigen Bereichen der Ingenieurtechnik zu den produktivsten im Lande gehört. Es betreibt angewandte Forschung zur Lösung von Problemen der Ingenieurwissenschaften, es kooperiert mit öffentlichen und privaten Einrichtungen um die Ingenieurleistungen auf nationaler Ebene zu verbessern.

Kontakt: jfernandez@ii.unam.mx · www.iingen.unam.mx



Centro de Ciencias de la Atmósfera

Im Zusammenhang mit den wesentlichen Aufgaben der UNAM – Forschung, Lehre, und Verbreitung der Erkenntnisse – hat das „Centre for Atmospheric Science“ das Ziel, speziell die Atmosphären- und Umweltwissenschaft an der UNAM und in Mexiko weiter zu entwickeln und zu befördern.

Kontakt: info@atmosfera.unam.mx · www.atmosfera.unam.mx



Herausgeber:

Büro Ö-quadrat,
UNEP/Wuppertal Institute Collaborating
Centre on Sustainable Consumption and
Production (CSCP)

Autor:

Dipl.-Ing., Dipl.-Volksw. Dieter Seifried
Büro Ö-quadrat, Germany

Gestaltung:

triolog, Freiburg, Deutschland

Gedruckt auf Recyclingpapier

Fotos

Büro Ö-quadrat, Genertek S.A.

© 2009, Büro Ö-quadrat



Effiziente Beleuchtung schützt das Klima und spart bares Geld. Dies zeigt der vorliegende Bericht über ein vorbildhaftes Einsparprojekt an der Nationalen Universität in Mexiko-City (UNAM), mit rund 300.000 Studenten eine der größten Universitäten der Welt und mit einem Jahresstromverbrauch von 70.000 MWh ein immenser Energiekonsument. In Kooperation mit dem "Instituto de Ingeniería" und dem "Centro de Ciencias de la Atmósfera" an der UNAM wurde die Beleuchtung in ausgewählten Räumen der Universität beispielhaft saniert. Hochgerechnet auf die gesamte Universität ergibt sich ein Strom-einsparpotenzial von 60%.

Der Investitionssumme von etwa 14 Mio. US-\$ stünden Stromkosteneinsparungen von 68 Mio. US-\$ gegenüber, was die Wirtschaftlichkeit der effizienten Beleuchtung belegt. Gleichzeitig würde sich die Beleuchtungsqualität in vielen Räumen der UNAM deutlich verbessern.

Das Beispiel UNAM steht exemplarisch auch für andere Gebäude in Mexiko. Es zeigt: Die konsequente Umsetzung der Einsparpotenziale im Bereich Beleuchtung entlastet die Staatskasse, führt zu Komfortgewinn und ist eine hoch rentable Investition in den Klimaschutz.

