BMU-Umweltinnovationsprogramm

BUNDESWETTBEWERB
Energieeffiziente Stadtbeleuchtung

Abschlussbericht Stadt Göttingen

BMU -UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

BUNDESWETTBEWERB

Energieeffiziente Stadtbeleuchtung

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

Energetische Sanierung der Straßenbeleuchtung in Göttingen

Vorhabens-Nr.: 20183

Aktenzeichen: 30442/16

Fördernehmer/-in:

Stadt Göttingen

Umweltbereich

Energie – und Ressourceneffizienz

Laufzeit des Vorhabens

26.04.2010 bis 31.03.2011

Autor

Stadt Göttingen, Fachdienst Hochbau/Energierferat, Dinah Epperlein

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Datum der Erstellung

Stand 15.08.2011

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen: 30442/16		Vorhaben-Nr.: 20183	
Titel des Vorhabens: Bundeswettbewerb "Energieeffiziente Stadtbeleuchtung" Energetische Sanierung der Straßenbeleuchtung in Göttingen			
Autor(en); Name(n), Vorname(n) Epperlein Dinah Stadt Göttingen, Fachdienst Hochbau/Energierreferat		Vorhabensbeginn: 26.04.2010	
		Vorhabensende (Abschlussdatum): 31.03.2011	
Fördernehmer/ -in (Name, Anschrift) Stadt Göttingen Hiroshimaplatz 1-4 37083 Göttingen		Veröffentlichungsdatum: November 2011	
		Seitenzahl: 17	
Gefördert aus dem Umweltinnovationsprogramm des Bundesumweltministeriums			
<p>Kurzfassung/Summary</p> <p>Für die energetische Sanierung der Straßenbeleuchtung in Göttingen wurden drei unterschiedliche Lösungen für den Ersatz der alten Pilzleuchten, die mit Quecksilberdampflampen bestückt sind, umgesetzt: Im Projekt Königsstieg wurden 25 Leuchten durch 12 breit strahlende Leuchten mit Metallhalogendampflampen ersetzt, im Projekt Merkelstraße kamen 180 hochwertige Pilzleuchten mit jeweils 2 Energiesparlampen in Halbnachtschaltung zum Einsatz und im Projekt Nonnenstieg wurden 15 LED-Leuchten mit einer kommunizierenden Sensortechnik erstmals in Deutschland erprobt. Die Energieeinsparung dieser Projekte liegt mit 73 bis 86% sehr hoch. Insgesamt können dadurch die CO₂-Emissionen um 54 Tonnen pro Jahr verringert werden. Die mittlere Amortisationszeit liegt mit 10,5 Jahren (inkl. Förderung) bzw. 17,5 Jahren (ohne Förderung) im akzeptablen Bereich, da bei dem Projekt auch die Masten erneuert wurden.</p> <p>To improve the energy efficiency of the street lighting in Göttingen, three different solutions were implemented. In all three solutions old inefficient luminaries, which were equipped with high pressure mercury lamps were replaced: In the project Königsstieg, 25 lanterns were replaced by 12 wide angle luminaires with metal halide lamps. For the project Merkelstraße, 180 high-value efficient luminaries, each with two compact fluorescent lamps were installed. To save energy during night time, one of the two lamps is switched off. In the project Nonnenstieg, 15 LED-lamps with interacting sensor technology were tested for the first time in Germany. With 73% to 86%, the amount of energy saved by these projects is very high. Overall, the CO₂ emission can be reduced by 54 tons per year. With 10.5 years (with financial support) and 17.5 years (without financial support) the average time of amortization lies within the acceptable range, as during this project the poles of the lamps were also replaced.</p>			
Schlagwörter Straßenbeleuchtung, LED, Energieeffizienz, bedarfsgerechte Beleuchtung, Sensor gesteuert			
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 7 Elektronischer Datenträger: 1		Sonstige Medien: Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: www.goettingen.de	

Energetische Sanierung der Straßenbeleuchtung in Göttingen

Beschreibung

- **Ausgangssituation und Aufgabenstellung**

Die Stadt Göttingen hat sich im Jahr 2008 an dem Bundeswettbewerb Energieeffiziente Stadtbeleuchtung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit mit fünf Ideenskizzen beteiligt, die zum Ziel hatten, mit unterschiedlichen Technologien und in unterschiedlichen Anwendungsbereichen die Energieeffizienz der Straßenbeleuchtung in Göttingen deutlich zu erhöhen. Von den fünf Projekten wurden von der Jury drei Projekte ausgewählt, für die die Stadt Göttingen mit dem dritten Preis in der Kategorie "Sanierung/100.000 bis 500.000 Einwohner" ausgezeichnet wurde.

Die drei ausgewählten Projekte sind:

Konzept 2 (Metallhalogendampflampen – Königsstieg)

Konzept 3 (Kompaktleuchtstofflampen – Merkelstraße u. a.)

Konzept 5 (LED – Nonnenstieg)

Sie werden im Folgenden mit K2, K3 und K5 bzw. Königsstieg, Merkelstraße und Nonnestieg bezeichnet.

- **Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

Aufgrund der Auszeichnung beim Bundeswettbewerb Energieeffiziente Stadtbeleuchtung wurde es der Stadt Göttingen im Jahr 2009 ermöglicht beim BMU-Umweltinnovationsprogramm bei der KfW einen Zuschussantrag mit einer Förderquote von 40% zu stellen.

Es wurden drei unterschiedliche Lösungen für den Ersatz der alten Pilzleuchten mit geringer Leuchteneffizienz und hohem Streulichtanteil nach oben und zur Seite und den Ersatz der Quecksilberdampflampen mit ebenfalls geringer Effizienz in der Praxis erprobt.

Ziel dieser Projekte war es, Standardlösungen für die Wohn- und Anliegerstraßen im gesamten Stadtgebiet zu finden, die bezüglich ihrer Energie- und CO₂-Emissionsbilanz und der Wirtschaftlichkeit optimiert sind.

Bei allen drei Konzepten werden eine Einsparung beim Stromverbrauch von mehr als 75% und eine Verlängerung der Wartungsintervalle von bislang 3 Jahren auf 3 bis 6 Jahre erwartet.

- **Planung und Ablauf des Vorhabens**

Folgende Maßnahmen wurden durchgeführt:

K2/Königsstieg

Es handelt sich um eine Wohnstraße mit teilweise Anlieger-Durchgangsverkehr. Der hintere Teil der Straße ist eine Sackgasse.

Die vorhandenen Pilzleuchten (mit opaker Abdeckung und Quecksilberdampflampen, 125 W) wurden durch technische Leuchten (Philips Mini Iridium VX2 mit breitstrahlender Optik) mit Metallhalogendampflampen Philips Cosmopolis CPO 60W ersetzt. Dadurch kann jeder 2. Leuchtenstandort eingespart werden (Entfernung zwischen den Leuchten statt bisher 35 m jetzt 70 m).

Es wurden 25 Leuchten demontiert, 12 Leuchten neu installiert (inkl. Erdarbeiten und Mast). In der Planungsphase war man davon ausgegangen, dass je zwei Leuchten durch eine ersetzt werden, so dass ursprünglich von dem Ersatz von 24 Leuchten ausgegangen wurde. Die Detailplanung ergab aber aufgrund der räumlichen Konstellation, dass sogar auf eine weitere Leuchte verzichtet werden konnte.

K3/Merkelstraße

Hier handelt es sich um Wohnstraßen mit teilweise Durchgangs- und teilweise Anliegerverkehr.

Im Bestand sind hier ebenfalls Pilzleuchten mit opaker Abdeckung und Quecksilberdampflampen (80 W und 125 W) mit einem Lebensalter von 45 bis 50 Jahren vorzufinden. Es wurden Pilzleuchten mit Spiegeloptik, glasklarer Abdeckung und hausseitiger Abschirmung (Siteco) installiert, die mit 2 Energiesparlampen (2 * 18 W) bestückt wurden. Über ein Rundsteuersignal (TRA) wird jeweils eine Lampe in den verkehrsärmeren Zeiten (22.00 Uhr bis 5.30 Uhr) weggeschaltet.

Es wurden etwa 180 Leuchten in verschiedenen Straßen erneuert (inkl. Erarbeiten und Mast) und 14 Einspeisestellen auf die Rundsteuertechnik umgerüstet. Alle Messungen und Aufnahmen wurden in der Leinestraße durchgeführt.

K5/Nonnenstieg

Es handelt sich um eine Wohnstraße mit Anlieger-Durchgangsverkehr.

Hier sollte eine moderne LED-Leuchte erprobt werden, die mit einer Sensortechnik ausgerüstet ist. Es kam das System Philips City Spirit LED mit kommunizierenden Sensoren zum Einsatz, das auch untern dem Namen "Bewegtes Licht" beworben wird.

Es wird jederzeit eine bedarfsgerechte Beleuchtung sichergestellt, indem die Lampen (Philips LED TB-IO System warmweiß 30 W) auf 20% herunter gedimmt werden (an Straßeneinmündungen auf 40%). Sobald sich ein Verkehrsteilnehmer nähert, geht die betroffene und die beiden nächsten Leuchten wieder auf 100%, so dass sich die Helligkeit dem Verkehrsteilnehmer vorausbewegt.

Es wurden 15 Leuchten erneuert (inkl. Erarbeiten und Mast).

- **Ergebnisse aus dem Vorhaben allgemein und hinsichtlich Umweltentlastung**

Die ersten Erfahrungen belegen, dass alle drei Projekte geeignet sind, eine gute Alternativlösung für die in Wohn- und Anliegerstraßen bisher eingesetzten Pilzleuchten mit Quecksilberdampflampen darzustellen.

Anwendbarkeit der Technik

- **Stand der Technik**

Für die Wohn- und Anliegerstraßen in Göttingen sollen gemäß Vorgaben des Fachbereichs Stadtplanung der Stadt Göttingen in der Regel dekorative Leuchten zum Einsatz kommen. Daher werden hier normalerweise so genannte Pilzersatzleuchten, also rotationssymmetrische Leuchten ausgewählt. Eine Spiegeloptik soll den Wirkungsgrad erhöhen, vor Blendung schützen und eine gewisse Lenkung des Lichts nach unten auf die Straße ermöglichen. Alternativ werden in Göttingen insbesondere im Bereich der Innenstadt Indirekt-Leuchten eingesetzt.

Die Siteco Pilzleuchte mit klarer Glasabdeckung und Spiegeloptik wurde vor zwei Jahren als eine preisgünstige Lösung für Wohnstraßen außerhalb der Innenstadt als Standard ausgewählt. Die Leuchten werden in der Regel mit Kompaktleuchtstofflampen mit einer Leistung von 42 Watt bestückt.

In den drei Projekten wurden zudem 3 unterschiedliche Ersatzlösungen für die Quecksilberdampflampen ausgewählt: Kompaktleuchtstofflampen, Metallhalogendampflampen und LED-Lampen.

Sie werden auch bezüglich ihrer Lebensdauer beobachtet, da sie sich entscheidend auf die Länge der Wartungsintervalle auswirkt.

- **Umweltrelevanz**

Wesentlicher Nutzen der neuen Straßenbeleuchtung ist in allen drei Projekten die Stromeinsparung und die damit verbundene Verringerung der CO₂-Emissionen (siehe unten).

Weitere Aspekte für die Auswahl waren die deutliche Verringerung der Abstrahlung nach oben, die geringe seitliche Abstrahlung in Vorgärten oder Fenster sowie die geringere Blendung.

Für alle drei Lampenarten wird eine fachgerechte und auf Umweltschutz und Recycling ausgerichtete Entsorgung angeboten.

- **Übertragbarkeit auf verwandte Bereiche**

Die in den drei Projekten eingesetzten Technologien werden bei der Sanierung der Straßen- und Wegebeleuchtung in Göttingen entsprechend der gewonnenen Erfahrungen eingesetzt.

Die Ergebnisse können auf die Straßen- oder Wegebeleuchtung in anderen Ort übertragen werden.

- **Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Die Projekte wurden von der Berliner Energieagentur betreut.

Die Stadt Göttingen wurde bei der Planung und Umsetzung der drei Maßnahmen von der E.ON Mitte AG und den Leuchtenherstellern unterstützt.

Die Beleuchtungsmessung wurde von dem Büro ILB Dr. Rönitzsch GmbH durchgeführt.

Wesentliche Vorteile für die Umwelt

- **Skizzierung der innovativen Lösung mit seinen primären (umweltbezogenen) Aspekten**

K2 - Königsstieg: Das besondere bei dieser technischen Leuchte ist die besonders breit strahlende Spiegeloptik, die wesentlich höher Abstände zwischen den Lichtpunkte erlaubt als sonst. Die gewählte Metallhalogen-dampflampe weist eine hohe Lichtausbeute und Lebensdauer auf. Sie ist auf dem Markt etabliert.

K3 - Merkelstraße: Die gewählte Pilzleuchte von Siteco ist eine sehr preisgünstige Standardleuchte, die zu den dekorativen Leuchten zählt. Mit der klaren Glasabdeckung und der Spiegeloptik sowie der Ausstattung für zwei Kompaktleuchtstofflampen handelt es sich dennoch um eine hochwertige Leuchte. Eine Halbnachtschaltung in den Nachtstunden ist vorgesehen.

K5 - Nonnenstieg: Die Leuchte von Philips ist ebenfalls eine dekorative Leuchte, die als Indirektstrahler ihre Vorzüge besonders beim Einsatz von LED-Lampen zeigen kann. Das kommunizierende Sensorsystem wurde in Göttingen zum ersten Mal in Deutschland eingesetzt. Es wird hier genau beobachtet.

- **Vergleich vor und nach Sanierung: Energieeinsparung oder zusätzlicher Energieverbrauch**

Für alle drei Konzepte wurden vor und nach der Sanierung der Stromverbrauch und die Beleuchtungsstärke ermittelt

Stromverbrauch

Zur Feststellung des Stromverbrauchs vor der Sanierung wurde je Projekt mit einem elektronischen Leistungsmessgerät (Messung mit Stromzange) an drei Leuchten die elektrische Leistung nach Erreichen der vollen Helligkeit (15 bis 20 Minuten nach dem Einschalten) der Lampe ermittelt.

Um den Stromverbrauch nach der Sanierung zu bestimmen, wurde bei jedem Projekt ein Stromzähler in einen Stromkreis eingebaut, der mehrere der neuen Leuchten versorgt. Da Drehstromzähler eingebaut wurden, die nur an 2 Phasen angeschlossen werden konnten, wurden die abgelesenen Werte hilfsweise mit dem Faktor 1,5 korrigiert. Die Drehstromzähler wurden im Juli 2011 durch Wechselstromzähler (je einer pro Phase) ersetzt, nachdem diese Ungereimtheit entdeckt wurde. Die Stromverbrauchsmessungen werden damit wiederholt, um die Korrektur zu überprüfen. Die Messungen werden über ein Jahr (und länger) verfolgt.

Die Auswertungen der Messungen finden sich in der folgenden Tabelle. Die Werte beziehen sich wieder für jedes Projekt auf die jeweilige Gesamtzahl der Leuchten.

Gemessene Werte Stromverbrauch	Einheit	Königs- stieg	Merkel- straße	Nonnen- stieg
Stromverbrauch Vorher (gem.) ¹⁾	kWh/a	12.915	92.742	8.097
Stromverbrauch Nachher (gem.) ²⁾	kWh/a	3.347	18.003	1.142
Einsparung Strom	kWh/a	9.568	74.739	6.955
Rel. Einsparung Strom	%	74,1	80,6	85,9

¹⁾ Bestimmt aus dem Mittelwert der bei drei Leuchten gemessenen elektrischen Leistung und der durchschnittlichen Brenndauer pro Jahr, die in Göttingen 4.100 Stunden beträgt.

²⁾ Messung durch je einen Stromzähler pro Projekt; Korrektur der Messwerte mit dem Faktor 1,5; Hochrechnung anhand der Betriebsstunden der Beleuchtung in dem Messintervall und den Jahresbetriebsstunden der Straßenbeleuchtung (Königsstieg: 4.100 h/a; Merkelstraße: 4100 h/a (davon etwa 2700 Stunden in Halbnachtschaltung); Nonnenstieg: 4.100 h)

Die Stromeinsparung liegt bei 74 bis fast 86%. Die so bestimmten Werte stimmen relativ gut mit den theoretisch berechneten Werten überein. Diese lagen bei 75% in den Projekten Königsstieg und Merkelstraße und 83% im Projekt Nonnenstieg) Dies zeigt, dass sich die vorhergesagten Stromeinsparungen in der Praxis erzielen und zum Teil sogar übertreffen lassen.

Projekt Königsstieg:

Die Leistungsaufnahme der Leuchten lag bei der Messung vorher mit durchschnittlich 126 Watt ungewöhnlich niedrig (Eingesetzte Lampen: HQL 125 W; KVG). Daher ist die gemessene Einsparung etwas geringer ausgefallen als die theoretisch berechnete.

Projekt Merkelstraße:

Bei der Berechnung der Stromeinsparung war berücksichtigt worden, dass in einigen Straßen die Leuchten mit HQL 85 Watt bestückt waren. Bei der Leinestraße, in der die Messungen vorgenommen wurden, waren die Leuchten durchgängig mit HQL 125 Watt bestückt. Daher liegen die gemessenen Einsparungen höher als die berechneten.

Projekt Nonnenstieg:

Die Berechnung der Einsparung hängt sehr stark davon ab, welchen Zeitanteil man für den gedimmten Betriebszustand annimmt. Die Messungen haben gezeigt, dass selbst in einer relativ befahrenen Straße mit Anlieger-Durchgangsverkehr zu knapp der Hälfte der Zeit die Leuchtenleistung heruntergedimmt wird. Daher wurde der berechnete Wert in Praxis etwas unterschritten.

Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke wurde ebenfalls vor und nach der Sanierung bestimmt (ILB Dr. Rönitzsch GmbH).

Gemessene Werte Beleuchtungsstärke	Einheit	Königsstieg	Merkelstraße	Nonnenstieg
Maximum: Vorher/Nachher	lx	3,8/20,2	5,2/3,2	6,6/6,3
Minimum: Vorher/Nachher	lx	0,1/0,1	0,1/0,0	0,1/0,3
Mittelwert: Vorher/Nachher	lx	0,8/3,6	0,9/0,6	1,1/2,0
Gleichmäßigkeit		0,13/0,03	0,11/0,0	0,09/0,15

Ziel der Sanierungsmaßnahmen war es, die gleiche Beleuchtungsqualität zu erreichen wie vorher oder sie ggf. noch etwas zu verbessern. Dieses Ziel konnte teilweise nicht ganz erreicht werden.

Projekt Königsstieg:

Die durchschnittliche Beleuchtungsstärke liegt höher als vorher. Am Messort, im hinteren Bereich des Königsstiegs, stehen am Straßenrand relativ große Bäume, die Schattenstellen mit geringerer Beleuchtungsstärke verursachen. Dieser Effekt hat sich verstärkt, da die neuen Leuchten höher sind und weiter auseinander stehen.

In den Schattenbereichen konnte kein aussagekräftiger Wert für die Beleuchtungsstärke ermittelt werden. Daher wurde diese Stellen bei der Ermittlung des Minimums und des Mittelwerts nicht berücksichtigt.

Dennoch ist auffällig, dass die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung abgenommen hat, insbesondere weil sehr dunkle Bereiche zwischen den Leuchten und im Schatten oder Halbschatten entstanden sind.

Um die Situation zu beurteilen, wurde zusätzlich zu der Beleuchtungsstärke auch die Leuchtdichte gemessen. Sie ist im Bereich der Bäume zwar sehr gering, es gibt jedoch keine vollständig dunklen Stellen. Dies entspricht auch dem subjektiven Empfinden vor Ort.

Da es sich in diesem Bereich um eine Sackgassensituation handelt, sollen vorerst keine Maßnahmen ergriffen werden. Im Winterhalbjahr, wenn die Bäume ihr Laub verloren haben, soll die Situation erneut beurteilt werden.

Projekt Merkelstraße:

Die Beleuchtungsstärke in der Merkelstraße hat sich deutlich verringert und es gibt sogar Stellen, an denen sie unterhalb der Empfindlichkeit der Messgeräts lag. Dadurch liegt auch der Wert für die Gleichmäßigkeit bei Null.

Daher wurden auch hier Leuchtdichtemessungen durchgeführt. Sie wurden sowohl bei voller Lichtleistung als auch in der Halbschaltung vorgenommen und ergeben ein ähnliches Bild, wie im Königsstieg. Die Leuchtdichte ist niedrig, jedoch gibt es keine vollständig dunklen Stellen. Das subjektive Empfinden in der Straße entspricht dem Ergebnis der Messungen.

Projekt Nonnenstieg:

Die Beleuchtungssituation hat sich hier verbessert. Die mittlere Beleuchtungsstärke hat sich fast verdoppelt und die Gleichmäßigkeit hat sich deutlich verbessert.

Im gediminten Zustand (20%) ist es natürlich deutlich dunkler, jedoch

kann man sich selbst dann noch gut orientieren. Sobald man ins Erkennungsfeld der Sensoren kommt, wird wieder auf 100% geschaltet.

- **CO₂ –Minderung in Tonnen pro Jahr**

Die sich aus der Minderung des Stromverbrauch ergebende Minderung der CO₂-Emissionen ist in der folgenden Tabelle dargestellt. Für die Berechnung wurde der CO₂-Emissionsfaktor für den Bundesdurchschnitt (0,596 kg/kWh) verwendet. Die Werte beziehen sich wieder für jedes Projekt auf die jeweilige Gesamtzahl der Leuchten.

Minderung der CO₂-Emissionen	Einheit	Königsstieg	Merkelstraße	Nonnenstieg	Gesamt
CO ₂ -Emissionen Vorher	t/a	7,7	55,3	4,8	67,5
CO ₂ -Emissionen Nachher	t/a	2,0	10,7	0,7	13,4
Minderung der CO ₂ -Emissionen	t/a	5,7	44,6	4,1	54,4
Minderung der CO ₂ -Emissionen	%	74,0	80,7	85,8	80,6

Es werden durch die Umsetzung der drei Projekte insgesamt jährlich etwa 54 Tonnen CO₂-Emissionen eingespart.

- **Einsparung von Material**

Ein weiterer Effekt der Sanierungsmaßnahme ist, dass die neu eingesetzten Lampen eine höhere Lebenserwartung haben als die bisher eingesetzten Quecksilberdampflampen (8.000 bis 10.000 Stunden). Dadurch vergrößern sich die Wartungsintervalle von bisher 2 bis 3 Jahre um 1 bis 3 Jahre.

Königsstieg: Metallhalogendampflampen Philips Cosmopolis CPO 60 W
Lebensdauer: 12.000 Stunden, Wartungsintervall 3 Jahre.

Merkelstraße: Energiesparlampen Aura Unique D/E 18 W TCL 830
Lebensdauer: 30.000 Stunden; Wartungsintervall vorerst 6 Jahre zur Überprüfung von Verschmutzungen.

Nonnstieg: Philips LED TB-IO System warmweiß 31 W
Lebensdauer: 30.000 Stunden; Wartungsintervall vorerst 6 Jahre zur Überprüfung von Verschmutzungen.

Kostendaten und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Daten zur Beurteilung der finanziellen Auswirkungen sind in der folgenden Tabelle getrennt für die einzelnen Projekte und für alle drei Projekte gemeinsam dargestellt.

Finanzielle Auswirkungen	Einheit	Königsstieg	Merkelstraße	Nonnenstieg	Gesamt
Zuwendungsfähige Ausgaben	€	20.100	213,772	28.295	262.167
Investitionszuschuss (40%)	€	8.040	85.509	11.318	104.720
Eigenanteil Ausgaben	€	12.060	128.263	16.977	157.447
Einsparung Energieverbrauch	kWh/a	9.051	74.739	6.955	90.745
Einsparungen Energiekosten (bei 0,15 €/kWh)	€/a	1.358	11.211	1.043	13.612
Einsparungen Wartungskosten	€/a	78	1.260	10	1.348
Gesamteinsparungen	€/a	1.436	12.471	1.053	14.960
Statische Rückflussdauer (Eigenanteil/Einsparung)	a	8,4	10,3	16,1	10,5
Statische Rückflussdauer bei 0,22 €/kWh (s. Wirtschaftlichkeitsanalyse)	a	5,8	7,2	11,0	7,4

- **Daten zu Investitions- und Betriebskosten**

Der Eigenanteil der Stadt bei den Investitionskosten bestimmt sich jeweils aus der Differenz von den tatsächlichen getätigten, förderfähigen Ausgaben und dem Investitionszuschuss in Höhe von 40%.

Die Werte für das Gesamtprojekt weichen geringfügig von den Werten der Einzelprojekte ab, da insgesamt die projektierten Kosten nach der Konkretisierung der Planung um 367 Euro überschritten wurden. Da der Zuschussbetrag nach oben begrenzt war, hat sich auch der Eigenanteil für den Gesamtumfang um diesen Betrag erhöht. Bei den Einzelprojekten wurde in der Tabelle jeweils ein Zuschuss in Höhe von 40% angesetzt, was bei der Gesamtsumme zu einem 147 Euro höheren Zuschussbetrag führen würde. Da die Erhöhung relativ gering ist, wurde auf eine Korrektur der Zuschussquote bei den Einzelprojekten verzichtet.

In der Tabelle ist die Betriebskosteneinsparung ausgewiesen, die hauptsächlich von der Stromkosteneinsparung beeinflusst ist. Jedoch tragen auch die verringerten Wartungskosten einen Anteil bei. Sie ergeben sich im Wesentlichen aus der längeren Haltbarkeit der Leuchtmittel, wodurch die Wartungsintervalle von bisher 3 Jahren auf teilweise 6 Jahre verlängert werden können. Auch bei der LED-Leuchte wurde ein 6-jährliches

Wartungsintervall angesetzt, um die Leuchten zu inspizieren und zu reinigen.

- **Wirtschaftlichkeitsanalyse**

Aus dem Quotienten von Eigenmitteln zu Gesamteinsparung wurde die statische Amortisationszeit ermittelt, die ein Indikator für die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen für die Stadt Göttingen darstellt.

Die so ermittelten Amortisationszeiten der drei Projekte betragen zwischen 8,4 Jahren (Königsstieg) und 16,1 Jahren (Nonnenstieg), im Durchschnitt bei 10,5 Jahren. Bei allen drei Projekten liegen sie somit deutlich unterhalb der Lebensdauer der Anlagen (20 bis 30 Jahre für die Leuchtaufsätze und 40 bis 50 Jahre für die Maste).

Die Stromkosteneinsparung wurde dabei mit einem Strompreis von 15 Cent/kWh berechnet. In Göttingen liegt dagegen der Strompreis für die Straßenbeleuchtung im Jahr 2011 bei 22 Cent/kWh. Daher wurden in der letzten Zeile der Tabelle auch die Amortisationszeiten angegeben, die bei diesem Strompreis errechnet wurden. Sie liegen mit durchschnittlich 7,4 Jahren sehr gut.

- **Kosten-Nutzen-Vergleich (Eckwerte)**

Für die Sanierung der 220 Leuchten wurde insgesamt eine Investitionssumme von etwa 262.000 Euro aufgewendet. Dabei ist die Erneuerung der Maste eingeschlossen. Bei einem Strompreis von 22 Cent/kWh beträgt die jährliche Kosteneinsparung etwa 21.300 Euro/a (Statische Amortisationszeit der Gesamtinvestition bei momentanen Energiepreisen: 12,3 Jahre).

Eine langfristige wirtschaftliche Betrachtung führt überschlägig zu einem Annuitätsfaktor von 8% und somit zu Jahreskosten für die Finanzierung der Gesamtinvestition von etwa 21.000 Euro. Diese Betrachtung zeigt, dass sich die Sanierung der Straßenbeleuchtung einschließlich der Masterneuerung allein aus der Energieeinsparung finanzieren lassen kann. Vorausgesetzt ist natürlich, dass die alte Beleuchtung sehr ineffizient ist und dass eine derart langfristige Betrachtungsweise über 20 bis 30 Jahre möglich ist.

Wenn man die in den drei Projekten dargestellten Sanierungslösungen mit der bisher bei der Stadt Göttingen üblichen Standardlösung realisiert hätte, so hätte sich die Investitionssumme auf etwa 200.000 Euro verringert. Entsprechend hätte sich jedoch die Einsparung bei den jährlichen Betriebskosten auf 14.800 Euro/a verringert (Strompreis 22 ct/kWh). Diese Lösung ist also mit einer statischen Amortisationszeit von 13,5 Jahren sogar etwas weniger wirtschaftlich als die hier durchgeführten Projekte. Dies zeigt, dass die Mehrkosten für die Effizienzsteigerung sich sogar positiv auf die Wirtschaftlichkeit ausgewirkt haben.

Probleme bei der Durchführung

Projekt Königsstieg:

Nach Installation der Leuchten wurde bereits vor der Messung mit bloßem Auge sichtbar, dass die Verteilung der Beleuchtungsstärke nicht optimal war. Daher wurden die Spiegel in den Leuchten neu einjustiert, so dass die deutlichen Ungleichmäßigkeiten behoben waren.

Ein Mangel, der dadurch jedoch nicht behoben werden konnte, ist die deutlich verstärkte Verschattungswirkung durch Bäume im hinteren Teil der Straße. In diesem Teil wurde die Messung der Beleuchtungsstärke durchgeführt, die daher nicht zu einem optimalen Ergebnis führt. Wie bereits erwähnt, soll hier vorerst keine Veränderung vorgenommen werden, sondern die Situation im Winter beobachtet werden.

Ein weiterer Nachteil ist, dass auch der Bürgersteig in diesem Bereich, der hinter den Bäumen liegt, verschattet wird. Aus den beiden vorgenannten Beobachtungen wird die Erkenntnis gezogen, dass diese Technologie zukünftig nur in Straßen ohne nennenswerten Baumbestand eingesetzt werden soll.

Projekt Merkelstraße:

Die Beleuchtungsstärke in diesem Projekt ist zumindest in den Straßen geringer als vorher, deren Pilzleuchten mit 125 Watt HQL bestückt waren. Da für die Beleuchtungsstärke bei den neuen Leuchten mit der Bestückung von 2 * 18 Watt ESL keine befriedigenden Messwerte erzielt wurden, soll ein Abschnitt mit 2 * 24 Watt bestückt werden und eine erneute Messung der Beleuchtungsstärke durchgeführt werden. Durch die höhere Lampenleistung würde sich die Stromeinsparung allerdings verringern und nur noch etwa 75% betragen. Die statische Amortisationszeit (15 Ct/kWh) würde sich von 10,3 Jahren auf 11,1 Jahre erhöhen. Dies scheint akzeptabel, wenn die Beleuchtungssituation dadurch entsprechend verbessert wird.

Von Seiten der Anwohner sind bisher noch keine Klagen über eine ev. unzureichende Beleuchtungsstärke geäußert worden. Dies mag daran liegen, dass in Göttingen generell das Beleuchtungsniveau relativ niedrig ist und man es daher gewohnt ist. Ein anderer Effekt ist jedoch auch, dass man aufgrund der verringerten Blendwirkung der neuen Leuchten die Straße heller empfindet als vorher.

Projekt Nonnenstieg:

Es ist zu beobachten, dass die Sensoren eine etwas zu kleine Reichweite für die Breite der Straße besitzen. Dadurch kann es dazu kommen, dass ein Fußgänger, der sich auf der anderen Straßenseite z.B. hinter parkenden Autos befindet, nicht sofort erkannt wird und ein paar Schritte gehen muss, ehe die Beleuchtung hochfährt. Dieses Phänomen soll mit Hilfe des Herstellers verbessert werden.

Auch wurde beobachtet, dass bei Fahrzeugen, die den Berg zu schnell herunterfahren, die Beleuchtung nicht hochgefahren wurde. Nach Aussage des Herstellers sprechen die Sensoren erst bei Geschwindigkeiten unterhalb 30 km/h an. Da es sich um eine verkehrsberuhigte Straße (Tempo 30) handelt, sollte dies also ausreichen.

Von den Anwohnern gibt es außerdem die Rückmeldung, dass die Sensoren auch vereinzelt ohne erkennbaren Grund auslösen und die Beleuch-

tung auf 100% hochgefahren wird. Es wurde anhand der Aufzeichnungen der Sensoren geprüft, ob einzelne Leuchten gehäuft ohne erkennbaren Grund auslösen, was für ein Ansprechen auf die Bewegung von Ästen oder ähnlichem sprechen würde. Dies kann jedoch bisher nicht erkannt werden.

Insgesamt handelt es sich um keine gravierenden Mängel. Mit Hilfe der Sensoren, die ihre Schaltvorgänge aufzeichnen, wird versucht, die Steuerung zu analysieren und ggf. auch zu optimieren.

Tabellarischer Teil

Projekt Königstieg

	<u>Werte vor Realisierung</u>	<u>Werte nach Realisierung</u>
1. Anzahl der Leuchtstellen:	25	12
2. Anzahl der Leuchten je Leuchtstelle:	1	1
3. Anzahl der Lampen je Leuchte:	1	1
4. Leistung der Lampe (inkl. Betriebsmittel):	137 W	66 W
5. Betriebsstunden / Jahr:	4.100 h	4.100 h
6. Mastabstand der Leuchtstellen:	35 m	70 m
7. Höhe der Leuchtstellen:	3,5 m	6 m
8. Ersatzteilkosten /Jahr: (Ergibt sich aus den Wechselzyklen sowie Kosten der Lampe und sonstigen Komponenten, die ausgetauscht werden)	358 Euro/a	280 Euro/a
9. Energieverbrauch / Jahr	12.398 kWh/a	3.347 kWh/a
10. Energiekosten / Jahr (bei 15 Ct/kWh)	1.860 Euro/a	502 Euro/a
11. eingesetzte Technik:	Quecksilberdampf- lampe keine Steuerung	Metallhalogendampflampe keine Steuerung
12. Vorschaltgerät:	Konventionelles Vor- schaltgerät (KVG)	Elektronisches Vorschalt- gerät (EVG)
13. Absenkung des Beleuchtungsni- veaus:	Nein	Nein
14. Beleuchtungsstärke E im Messfeld		
<i>E_{min}</i>	0,1 lx	0,1 lx
<i>E_{max}</i>	3,8 lx	20,2lx
<i>E_{mittel}</i>	0,8 lx	3,6 lx

Projekt Merkelstraße

	<u>Werte vor Realisierung</u>	<u>Werte nach Realisierung</u>
1. Anzahl der Leuchtstellen:	180	180
2. Anzahl der Leuchten je Leuchtstelle:	1	1
3. Anzahl der Lampen je Leuchte:	1	2
4. Leistung der Lampe (inkl. Betriebsmittel):	137 W	19 W
5. Betriebsstunden / Jahr:	4.100 h	4.100 h
6. Mastabstand der Leuchtstellen:	35 m	35 m
7. Höhe der Leuchtstellen:	3,5 m	4 m
8. Ersatzteilkosten /Jahr: (Ergibt sich aus den Wechselzyklen sowie Kosten der Lampe und sonstigen Komponenten, die ausgetauscht werden)	2.580 Euro/a	1.320 Euro/a
9. Energieverbrauch / Jahr	92.742 kWh/a	18.003 kWh/a
10. Energiekosten / Jahr (bei 15 Ct/kWh)	13.911 Euro/a	2.700 Euro/a
11. eingesetzte Technik:	Quecksilberdampf Lampe keine Steuerung	Energiesparlampe Rundsteuerempfänger
12. Vorschaltgerät:	Konventionelles Vorschaltgerät (KVG)	Elektronisches Vorschaltgerät (EVG)
13. Absenkung des Beleuchtungsni- veaus:	Nein	Ja, einstufig auf 50% von 22:00 Uhr bis 5:30 Uhr
14. Beleuchtungsstärke E im Messfeld		
<i>E_{min}</i>	0,1 lx	0,0 lx
<i>E_{max}</i>	5,2 lx	3,2 lx
<i>E_{mittel}</i>	0,9 lx	0,6 lx

Projekt Nonnenstieg

	<u>Werte vor Realisierung</u>	<u>Werte nach Realisierung</u>
1. Anzahl der Leuchtstellen:	15	15
2. Anzahl der Leuchten je Leuchtstelle:	1	1
3. Anzahl der Lampen je Leuchte:	1	1
4. Leistung der Lampe (inkl. Betriebsmittel):	137 W	31 W
5. Betriebsstunden / Jahr:	4.100 h	4.100 h
6. Mastabstand der Leuchtstellen:	35 m	35 m
7. Höhe der Leuchtstellen:	3,5 m	4 m
8. Ersatzteilkosten /Jahr: (Ergibt sich aus den Wechselzyklen sowie Kosten der Lampe und sonstigen Komponenten, die ausgetauscht werden)	215 Euro/a	205 Euro/a
9. Energieverbrauch / Jahr	8.097 kWh/a	1.142 kWh/a
10. Energiekosten / Jahr (bei 15 Ct/kWh)	1.215 Euro/a	171 Euro/a
11. eingesetzte Technik:	Quecksilberdampf Lampe keine Steuerung	LED Kommunizierende Sensoren
12. Vorschaltgerät:	Konventionelles Vorschaltgerät (KVG)	Elektronisches Vorschaltgerät (EVG)
13. Absenkung des Beleuchtungsniveaus	Nein	Ja, Dimmung auf 20% nach 1 Minute ohne Verkehrsteilnehmer bzw. auf 40% an den Kreuzungen
14. Beleuchtungsstärke E im Messfeld		
<i>E_{min}</i>	0,1 lx	0,3 lx
<i>E_{max}</i>	6,6 lx	6,3 lx
<i>E_{mittel}</i>	1,1 lx	2,0 lx