

Integriertes Klimaschutzkonzept der Stadt Bayreuth

POTENZIALSTUDIE
STRAßENBELEUCHTUNG



Potenzialstudie Straßenbeleuchtung

Im Auftrag der Stadt Bayreuth
Luitpoldplatz 13
95444 Bayreuth



Ansprechpartner

Klimaschutzmanagement
Amt für Umwelt- und Klimaschutz
Stadt Bayreuth
Kanalstr. 3
95444 Bayreuth



Sachbearbeiterinnen: Jana Edlinger und Gesa Thomas

Tel. 0921 / 25-1142 und 0921 / 25-1141

Endenergie- und Treibhausgasbilanz und Potenzialstudien erstellt von

EVF - Energievision Franken GmbH
Schwarzenbacher Str. 2
95237 Weißdorf
Tel. 09251 / 85 99 99 0
Email: mail@energievision-franken.de
Web: www.energievision-franken.de



Autoren:

Dominik Böhlein (M. Sc. Stadt- und Landschaftsökologie)
Lisa Löbner (B. Eng. Erneuerbare Energien)
Dipl.-Geogr. Univ. Ralf Deuerling (Projektleitung)

Im Auftrag der Stadt Bayreuth
Luitpoldplatz 13
95444 Bayreuth



Urheberrechtshinweis

Die vorliegende Studie unterliegt dem geltenden Urheberrecht. Sollte einer Nutzung durch Dritte zugestimmt und der Inhalt an anderer Stelle wiedergegeben werden, sind die Autoren gemäß anerkannten wissenschaftlichen Arbeitsweisen zu nennen.

Haftungsausschluss

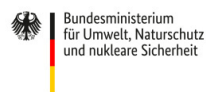
Die vorliegenden Ausführungen wurden nach dem aktuellen Stand der Technik, nach den anerkannten Regeln der Wissenschaft sowie nach bestem Wissen und Gewissen der Autoren erstellt. Irrtümer vorbehalten.

Fremde Quellen wurden entsprechend gekennzeichnet. Die Ergebnisse basieren weiterhin im dargelegten Maß auf Aussagen und Daten von fachkundigen Dritten, die im Rahmen von Befragungen ermittelt wurden. Alle Angaben und Quellen wurden sorgfältig auf Plausibilität geprüft. Die Autoren können dahingehend jedoch keine Garantie für die Belastbarkeit der ausgewiesenen Ergebnisse geben.

Weiterhin basieren die Ergebnisse der vorliegenden Ausführungen auf Rahmenbedingungen, die sich aus den dargelegten Gesetzen, Verordnungen und rechtlichen Normen ergeben. Diese, bzw. deren gerichtliche Auslegung, können sich ändern. Die Ausführungen können dahingehend nicht den Anspruch erheben, eine Rechtsberatung zu ersetzen und darf auch ausdrücklich nicht als eine solche verstanden werden.

Gefördert durch Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) und der Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld „Kommunalrichtlinie“ vom 22. Juli 2020.

Im Auftrag des:



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
1. Straßenbeleuchtung.....	5
1.1. Hintergrund	5
1.2. Methodik.....	5
1.2.1. Bedeutung von Beleuchtung und Beleuchtungspflicht.....	5
1.2.2. Systematik Straßenbeleuchtung.....	5
1.2.3. Vorgehen	6
1.3. Bestandsaufnahme	8
1.3.1. Unzureichende Bestandsdatenlage.....	8
1.3.2. Nacherhebung von Bestandsdaten in abgeschlossenem Gebiet.....	8
1.4. Einsparpotenzial	15
1.5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	18
1.5.1. Investitionskosten	18
1.5.2. Betriebskostenprognose ohne Inanspruchnahme von Fördermitteln.....	20
1.5.3. Vergleich der Gesamt(betriebs)kosten ohne Einsatz von Fördermitteln	23
1.5.4. Zusammenfassung.....	24
1.6. Fördermöglichkeiten.....	25
1.6.1. Förderszenario.....	25
1.6.2. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	26
1.6.3. Zusammenfassung.....	29
1.7. Handlungsempfehlungen.....	31
Verwendete Abkürzungen.....	34
Abkürzungen allgemein.....	34
Abkürzungen für Namen	34
Gesetze und Verordnungen.....	34
Physikalische und mathematische Einheiten.....	35
Literatur- und Quellenverzeichnis	36
Abbildungsverzeichnis.....	37
Tabellenverzeichnis.....	37

1. Straßenbeleuchtung

1.1. Hintergrund

Im Rahmen des Klimaschutzkonzeptes soll die technische und wirtschaftliche Machbarkeit, die bestehende Straßenbeleuchtung auf hocheffiziente und ressourcenschonende LED-Technik umzurüsten, untersucht werden. Die Betrachtung beruht sowohl auf vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten, teils lückenhaften und teils veralteten Bestandsdaten, als auch auf einer Grundaufnahme der für die Betrachtung fehlenden Daten des oberirdischen Teils der Straßenbeleuchtungsanlage. Eine Betrachtung der Schalt- und Zählstellen, sowie eine weitergehende Untersuchung des Zustandes des unterirdischen Netzes wurde nicht durchgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass die nicht betrachteten Straßenbeleuchtungskomponenten in einem technisch einwandfreien Zustand sind.

1.2. Methodik

1.2.1. Bedeutung von Beleuchtung und Beleuchtungspflicht

Jede Kommune obliegt gemäß Bayerischem Straßen- und Wegegesetz einer Verkehrssicherungspflicht, aus der in den allermeisten Fällen innerhalb der geschlossenen Ortslage eine Beleuchtungspflicht resultiert (Art. 51 BayStrWG). Die Straßenbeleuchtung erfüllt dabei mehrere Funktionen. Sie dient zum einen der Sicherheit im Straßenverkehr, sowie der Sicherheit von Personen und Eigentum. Zum anderen erfüllt sie eine Orientierungsfunktion. Darüber hinaus kann sie der Gestaltung des Stadtbilds dienen.

1.2.2. Systematik Straßenbeleuchtung

Die Straßenbeleuchtung umfasst wie aus Abbildung 1 schematisch hervorgeht mehrere Komponenten. Sie gliedert sich in das unterirdische Beleuchtungsnetz samt Schalt- und ggf. Zählstelle sowie das oberirdische Tragsystem/Mast mit Leuchtenkopf. Beim Leuchtenkopf ist zwischen der Leuchte (Gehäuse) und dem darin verbauten Leuchtmittel zu unterscheiden.

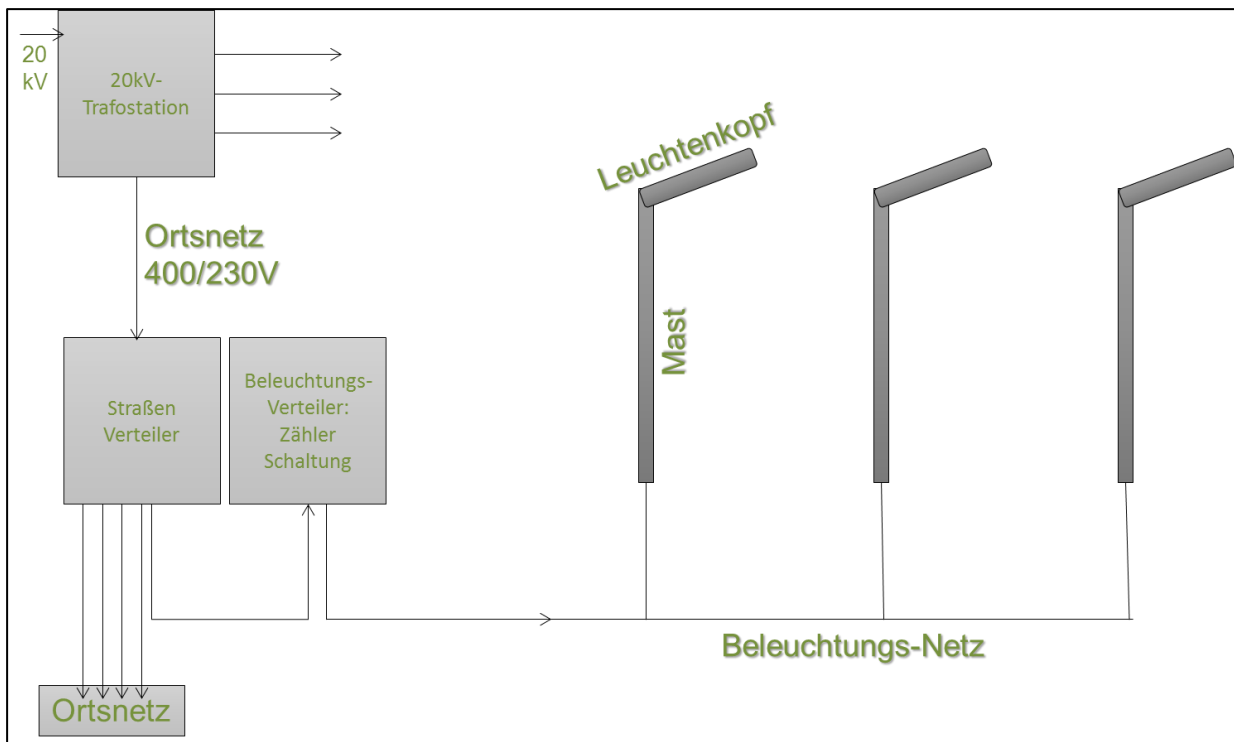


Abbildung 1 Schematischer Aufbau Beleuchtungsnetz/Straßenbeleuchtung

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

Die vorliegende Untersuchung bezieht sich grundsätzlich auf den oberirdischen Teil der Beleuchtungsanlage und dabei hauptsächlich auf den Leuchtenkopf. Auf das Tragsystem wird nur insofern eingegangen, dass etwaige Sanierungskosten pauschal mit in die Betrachtungen einbezogen werden. Das unterirdische Beleuchtungsnetz wird lediglich als Teil der Wartungskosten berücksichtigt.

1.2.3. Vorgehen

Als wesentliche Grundlage der Betrachtungen dienen die Angaben aus den Bestandsunterlagen (STADT BAYREUTH 2021A), die der EVF zur Verfügung gestellt wurden. Da diese jedoch in großen Teilen lückenhaft und teils deutlich veraltetet waren (genauere Beschreibung s. Abschnitt Bestandsaufnahme), wurde ferner eine Video-Befahrung eines Teils des Stadtgebiets bzw. einiger Ortsteile und eine Öffnung bestimmter Leuchtenköpfe durchgeführt, in deren Rahmen die Straßenbeleuchtung bildlich, tabellarisch und kartographisch erfasst wurde. Die Gründung und etwaige Schäden an Fundamenten und Befestigungspunkten wurden nicht untersucht, insofern Schäden daran nicht auf Grund des Zustandes des oberirdischen Teils offensichtlich erkennbar waren. Die Daten aus den Bestandsunterlagen wurden mit den Ergebnissen der Befahrung abgeglichen, um den tatsächlichen Bestand der Straßenbeleuchtung zu erfassen und zu dokumentieren.

Festgestellte Abweichungen zwischen Bestandsdokumentation und real existierender Beleuchtungsanlage wurden dokumentiert und in einen Punkt-GIS-Datenlayer eingepflegt.

Gezählt, erfasst und dokumentiert wurde dabei die Anzahl der Lichtpunkte und deren Eigenschaften. Ein Lichtpunkt besteht aus einem austauschbaren Leuchtenkopf, in dem ein oder mehrere Leuchtmittel installiert sind. Sofern an einem Tragsystem mehrere Leuchtenköpfe angebracht sind (sog. Mehrfachausleger), wird jeder angebrachte Leuchtenkopf als Lichtpunkt gezählt.

Im nächsten Analyseschritt erfolgte die Einteilung der bestehenden Leuchten in technisch vergleichbare Leuchtensysteme. Für die einzelnen Leuchtensysteme wurden die derzeitigen Verbrauchs-, Emissions-, und Kostenwerte rechnerisch bestimmt und im Rahmen einer Prognose auf 15 Betriebsjahre fortgeschrieben. Bei den Berechnungen wurden die zur Verfügung stehenden Angaben zu Strom- und Wartungskosten, sowie der derzeit bestehende Umfang der Nachtabschaltung bzw. -absenkung berücksichtigt.

Für die Ermittlung des bestehenden Einsparpotentials, das durch eine Umrüstung auf LED-Technik erreicht werden kann, wurde der Austausch der bestehenden Leuchtensysteme gegen gleichwertige Leuchtensysteme mit LED-Technik softwaregestützt simuliert. Dabei wurden offensichtliche bauliche oder technische Besonderheiten berücksichtigt, um ein insgesamt realistisches und umsetzungsorientiertes Umrüstungskonzept zu entwickeln. Im Hinblick auf die energetischen bzw. emissionsmäßigen und finanziellen Einsparpotenziale erfolgt eine Zusammenfassung des Umrüstungskonzepts.

Im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird das Umrüstungskonzept weiter betrachtet. Dazu werden die Investitionskosten der Umrüstung mitsamt der sich ergebenden Planungs- und Nebenkosten im Sinne einer Grobkostenschätzung ermittelt und eine umfassende Betriebsprognose erstellt, die mit der Ist-Situation verglichen wird. Hieraus lassen sich schließlich die ermittelten Amortisationszeiten ablesen.

Im letzten Analyseschritt wird ermittelt, ob und in welchem Umfang das Umrüstungskonzept grundsätzlich für eine Förderung aus Mitteln der Kommunalrichtlinie des Bundes (BMU 2021) oder einer Landesförderung in Frage kommt. Dazu wird das Umrüstungskonzept vor dem Hintergrund der möglichen Förderung dargestellt und ein mögliches Förderszenario für die Umrüstung erstellt. Es folgt eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Betriebsprognose unter Berücksichtigung möglicher Fördermittel.

Abschließend werden die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst und konkrete Handlungsempfehlungen aus fachlicher, technischer und gesamtwirtschaftlicher Perspektive formuliert.

1.3. Bestandsaufnahme

1.3.1. Unzureichende Bestandsdatenlage

Der Betrieb der Straßenbeleuchtungsanlage erfolgt aktuell durch die Stadtwerke Bayreuth, welche als Auftragnehmer eines Lichtdienstleistungsvertrages die Betreuung und Modernisierung der Straßenbeleuchtungsanlage seit 2011 übernommen haben (STADT BAYREUTH 2021A).

Dieser Lichtliefervertrag beinhaltet jedoch keinerlei Dokumentationspflichten für den Gesamtbestand der Straßenbeleuchtungsanlage der Stadt Bayreuth. Lediglich Einzelbaumaßnahmen, welche im Auftrag des Tiefbauamtes durchgeführt werden, müssen dokumentiert und als Datensatz an das Tiefbauamt übergeben werden.

Der im Rahmen des Klimaschutzkonzepts vom Tiefbauamt zur Verfügung gestellte Datensatz ist in weiten Teilen unvollständig (ca. 30% der Datensätze unvollständig, ca. 1.000 Datensätze ohne jegliche Rückschlussmöglichkeit auf verbaute Leuchtensysteme) und zudem nicht aktuell (Stand 2017). In der Zwischenzeit wurden z. B. eine große Anzahl von Beleuchtungsanlagen von Quecksilberdampftechnik auf Natriumdampf- oder LED-Technik umgestellt, welche innerhalb des Datensatzes nicht aktualisiert wurden. Der übermittelte Datensatz ist somit nicht nur unvollständig in einzelnen Datensätzen, sondern auch nicht aktuell in vollständigen Datensätzen. In Anhang 1 wird der Straßenbeleuchtungsbestand mit Markierung der Brennstellen mit unvollständiger oder fehlender Information dargestellt.

Ohne Vorliegen eines vollständigen konsistenten Bestandsdatensatzes ist eine Auswertung der Straßenbeleuchtungsdaten und eine Erörterung der daraus resultierenden Klimaschutzpotenziale für das gesamte Stadtgebiet nicht korrekt, vollständig und inhaltsscharf möglich. Eine Analyse auf Basis der unvollständigen, veralteten und teils unrichtigen Katasterdaten erscheint aus methodischer Sicht nicht angebracht. Eine vollständige Datensatzergänzung und -korrektur ist aus Zeit- und Kostengründen jedoch im Rahmen des Klimaschutzkonzeptes ebenfalls nicht möglich.

1.3.2. Nacherhebung von Bestandsdaten in abgeschlossenem Gebiet

Aus diesem Grund wurde im Rahmen des Klimaschutzkonzeptes für ein vereinbartes zusammenhängendes Gebiet, das etwa **ein Drittel der laut Bestandskataster vorhandenen Brennstellen** umfasst, eine Bestandserfassung der vorhandenen Beleuchtungsanlagen durchgeführt und die Datenbestandstabellen aktualisiert, damit **zunächst für diesen Bereich eine fundierte Analyse** stattfinden kann.

Um abschätzen zu können, inwiefern die Ergebnisse für diesen Teilbereich der Straßenbeleuchtung auf den Gesamtbestand übertragbar sind, wurde auch das verbleibende

Gebiet stichprobenartig geprüft. Es hat sich gezeigt, dass der Bestand der Anlage im noch nicht vollständig überprüften Bereich durchaus mit dem betrachteten Gebiet vergleichbar ist. Es sind also ähnliche Ergebnisse für das noch nicht genauer untersuchte Gebiet zu erwarten. Hierfür sollte in jedem Fall eine weitere Detailuntersuchung erfolgen (s. auch Abschnitt Handlungsempfehlungen).

In der Stadt Bayreuth werden laut Bestandsliste derzeit insgesamt 9.773 Brennstellen betrieben (STADT BAYREUTH 2021A, BEARBEITET EVF). Das untersuchte Teilgebiet umfasst insgesamt 3.295 Lichtpunkte mit insgesamt 3.719 Leuchtmitteln.

Der bauliche Zustand des oberirdischen Teils der Straßenbeleuchtung wurde nur stichprobenartig betrachtet und ist insgesamt als gut zu bewerten. Obgleich die Lichtpunktverteilung und die Abstände meist gut sind, zeichnen sich jedoch an einigen Stellen (vor allem in den Ortsteilen) Dunkelflächen zwischen Lichtpunkten mit sehr hohen Mastabständen ab. Zum Zeitpunkt der Befahrung fiel außerdem eine geringe Anzahl an Lichtpunkten auf, die schräg standen, angefahren waren, deren Mastoberfläche beschädigt waren oder deren Gläser und Abdeckungen verschlissen und vergilbt waren, wodurch der Lichtaustritt sehr stark vermindert war. In Einzelfällen, waren Lichtpunkte so stark von Straßenbegleit- oder Anwohnergrün eingewachsen, dass auch Leuchtenköpfe oder die Mastdeckel eingewachsen waren. Hier wird ein Freischneiden der Leuchten bzw. der Masten empfohlen.

Anhang 2 zeigt diejenigen Brennstellen im untersuchten Teilgebiet, bei denen die vorhandenen Bestandsinformationen laut Brennstellenliste aktualisiert bzw. korrigiert wurden.





Abbildung 2 Auswahl an Bildern der Nacherhebung fehlender Informationen und Impressionen der vorhandenen Straßenbeleuchtung (Beispiele Leuchtentypen, Straßensituationen, Mängel, Leuchten und Leuchtmittel)

(QUELLE: EIGENE AUFNAHMEN EVF/DIENSTLEISTER 2021)

Insgesamt wurden im betrachteten Gebiet 88 Leuchtensysteme (ohne bereits bestehende LED-Systeme) identifiziert, die sich hinsichtlich Leuchtenkopf, Anzahl und Typ der Leuchtmittel, Leistung und Masthöhenkategorien unterscheiden.

Tabelle 1 bietet eine Übersicht über die ermittelten Leuchtensysteme des betrachteten Teilgebietes, sowie die Anzahl der dazu gehörigen Lichtpunkte. Zudem wird der Jahresstromverbrauch sowie der Anteil der jeweiligen Leuchtensysteme am Gesamtverbrauch ersichtlich. Die in der Tabelle verwendeten Abkürzungen bei der Beschreibung der Leuchtmittel werden im Abkürzungsverzeichnis erläutert. Zu beachten ist, dass bei den vorliegenden Daten nicht jede LED-Leistung erfasst ist, da es im Rahmen der Nacherhebung nicht möglich war für jede Brennstelle die exakte Leistung zu bestimmen.

Tabelle 1 Übersicht der vorhandenen Leuchtsysteme im betrachteten Teilgebiet von der Stadt Bayreuth

Leuchtsystem	Anzahl	Bauart	Leuchtmitteltyp	Anzahl Leuchtmittel/Leuchte	Leistung [W] je Leuchtmittel	Verlust [W] Vorschaltgerät je Leuchtmittel	Leistung je Leuchte [W]	Installierte Leistung Gesamtbestand [W]	Jahres-Stromverbrauch [kWh/a]	Stromverbrauch mit NA Bestand [kWh/a]	Anteil am Stromverbrauch
1	2	Koffer	HSx	1	350	25	375	750	3.038	3.038	0,33%
2	734	LED	LED	1	x	-	x	14.096	57.089	57.089	6,18%
3	2	Koffer	HSx	1	250	25	275	275	1.114	1.114	0,12%
4	2	Koffer	HSx	1	150	20	170	170	689	689	0,07%
5	2	Koffer	HSx	1	400	40	440	440	1.782	1.782	0,19%
6	18	Koffer	HSx	2	400	40	880	15.840	64.152	43.916	4,75%
7	440	Koffer	HSx	1	50	12	62	27.280	110.484	110.484	11,95%
8	12	Koffer	HSx	2	50	12	124	1.488	6.026	4.125	0,45%
9	248	Pilz	HSx	1	70	13	83	20.584	83.365	83.365	9,02%
10	79	Koffer	HSx	1	50	12	62	4.898	19.837	19.837	2,15%
11	147	Glocke	HSx	1	50	12	62	9.114	36.912	36.912	3,99%
12	10	Koffer	HSx	1	150	20	170	1.700	6.885	6.885	0,74%
13	33	Langfeld	T	2	58	13	142	4.686	18.978	12.992	1,41%
14	10	Koffer	HSx	1	150	20	170	1.700	6.885	6.885	0,74%
15	52	Koffer	HSx	1	70	13	83	4.316	17.480	17.480	1,89%
16	69	Glocke	HSx	1	50	12	62	4.278	17.326	17.326	1,87%
17	49	Langfeld	T	2	58	13	142	6.958	28.180	19.291	2,09%
18	128	Zylinder	HSx	1	50	12	62	7.936	32.141	32.141	3,48%
19	18	Pilz	HSx	1	70	13	83	1.494	6.051	6.051	0,65%
20	6	Koffer	HSx	1	50	12	62	372	1.507	1.507	0,16%
21	33	Pilz	HME	2	80	9	178	5.874	23.790	16.286	1,76%
22	11	Zylinder	HSx	1	50	12	62	682	2.762	2.762	0,30%
23	31	Pilz	HME	1	80	9	89	2.759	11.174	11.174	1,21%
24	57	Langfeld	T	2	36	10	92	5.244	21.238	14.539	1,57%
25	25	Koffer	HSx	2	70	13	166	4.150	16.808	11.506	1,24%
26	87	Koffer	HSx	1	150	20	170	14.790	59.900	59.900	6,48%
27	123	Langfeld	T	2	36	10	92	11.316	45.830	31.374	3,39%
28	1	Koffer	HSx	1	250	25	275	275	1.114	1.114	0,12%
29	8	Koffer	HSx	1	100	15	115	920	3.726	3.726	0,40%
30	5	Langfeld	HME	2	80	9	178	890	3.605	2.468	0,27%
31	11	Koffer	HSx	1	100	15	115	1.265	5.123	5.123	0,55%
32	1	Koffer	HSx	1	50	12	62	62	251	251	0,03%
33	46	Koffer	HSx	1	100	15	115	5.290	21.425	21.425	2,32%
34	2	Koffer	HSx	1	350	25	375	750	3.038	3.038	0,33%
35	46	Glocke	HSx	1	50	12	62	2.852	11.551	11.551	1,25%
36	2	Glocke	HSx	1	50	12	62	62	251	251	0,03%
37	48	Koffer	HME	1	80	9	89	4.272	17.302	17.302	1,87%
38	107	Pilz	HME	1	80	9	89	9.523	38.568	38.568	4,17%
39	12	Zylinder	HSx	1	50	12	62	744	3.013	3.013	0,33%
40	9	Koffer	HME	2	80	9	178	1.602	6.488	4.442	0,48%
41	13	Pilz	HME	2	120	12	264	3.432	13.900	9.515	1,03%
42	1	Koffer	HSx	1	100	15	115	115	466	466	0,05%
43	15	Koffer	HSx	1	250	25	275	1.375	5.569	5.569	0,60%
44	149	Koffer	HSx	1	70	13	83	12.367	50.086	50.086	5,42%
45	19	Langfeld	T	1	36	10	46	874	3.540	3.540	0,38%
46	37	Pilz	HME	2	80	9	178	6.586	26.673	18.260	1,98%
47	5	Koffer	HSx	1	250	25	275	1.375	5.569	5.569	0,60%
48	26	Pilz	HME	1	80	9	89	2.314	9.372	9.372	1,01%
49	3	Koffer	HME	2	125	12	274	822	3.329	2.279	0,25%
50	3	Koffer	HSx	1	50	12	62	62	251	251	0,03%
51	11	Koffer	HME	1	80	9	89	979	3.965	3.965	0,43%
52	6	Pilz	HSx	2	50	12	124	744	3.013	2.063	0,22%
53	7	Koffer	HSx	2	70	13	166	1.162	4.706	3.222	0,35%
54	27	Koffer	HSx	1	150	20	170	1.530	6.197	6.197	0,67%
55	34	Diamant	T-C	1	42	4	46	1.564	6.334	6.334	0,69%
56	20	Poller	T-C	1	18	5	23	460	1.863	1.863	0,20%
57	2	Koffer	HSx	2	70	13	166	166	672	460	0,05%
58	1	Pilz	HSx	2	70	13	166	166	672	460	0,05%
59	3	Glocke	HSx	1	70	13	83	249	1.008	1.008	0,11%
60	1	Glocke	HSx	1	70	13	83	83	336	336	0,04%
61	9	Pilz	HME	2	80	9	178	1.602	6.488	4.442	0,48%
62	22	Glocke	HSx	1	50	12	62	682	2.762	2.762	0,30%
63	66	Glocke	HSx	1	50	12	62	2.046	8.286	8.286	0,90%
64	3	Langfeld	T	1	36	10	46	138	559	559	0,06%
65	4	Pilz	HSx	1	50	12	62	248	1.004	1.004	0,11%

Leuchten-system	Anzahl	Bauart	Leucht-mittel-typ	Anzahl Leuchtmit-tel/Leuchte	Leistung [W] je Leuchtmit-tel	Verlust [W] Vorschal-tgerät je Leuchtmit-tel	Leistung je Leuchte [W]	Installierte Leistung Gesamtbest-stand [W]	Jahres-Stromverbra-uch [kWh/a]	Stromverbra-uch mit NA Bestand [kWh/a]	Anteil am Stromverbra-uch
66	1	Koffer	HSx	1	250	25	275	275	1.114	1.114	0,12%
67	10	Koffer	HME	1	50	9	59	590	2.390	2.390	0,26%
68	5	Pilz	HSx	2	70	13	166	830	3.362	2.301	0,25%
69	7	Koffer	HME	1	50	9	59	413	1.673	1.673	0,18%
70	1	Koffer	HSx	1	210	25	235	235	952	952	0,10%
71	2	Koffer	HSx	1	100	15	115	115	466	466	0,05%
72	1	Koffer	Hlx	1	150	17	167	167	676	676	0,07%
73	9	Glocke	HSx	1	50	12	62	186	753	753	0,08%
74	1	Pilz	HSx	2	70	13	166	166	672	460	0,05%
75	5	Pilz	HME	1	108	9	117	585	2.369	2.369	0,26%
76	3	Koffer	HME	1	400	25	425	425	1.721	1.721	0,19%
77	2	Koffer	HSx	1	70	13	83	83	336	336	0,04%
78	2	Koffer	HSx	2	70	13	166	332	1.345	920	0,10%
79	3	Koffer	HME	1	400	25	425	1.275	5.164	5.164	0,56%
80	2	Koffer	HSx	1	70	13	83	166	672	672	0,07%
81	2	Koffer	HSx	1	50	12	62	62	251	251	0,03%
82	2	Koffer	HSx	1	90	15	105	210	851	851	0,09%
83	1	Koffer	HSx	2	50	12	124	124	502	344	0,04%
84	10	Kugel	HME	1	50	9	59	295	1.195	1.195	0,13%
85	4	Koffer	HSx	4	150	20	680	2.720	11.016	9.279	1,00%
86	4	Tunnelleuchte	HSx	1	100	15	115	460	1.863	1.863	0,20%
87	1	Pilz	HSx	2	50	12	124	124	502	344	0,04%
88	3	Koffer	HSx	1	70	13	83	249	1.008	1.008	0,11%
89	1	Wanne	T-C	1	42	4	46	46	186	186	0,02%

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

Die Bauformen der Leuchten teilen sich dabei wie folgt auf (geographische Verteilung s. Karte in Anhang 3):

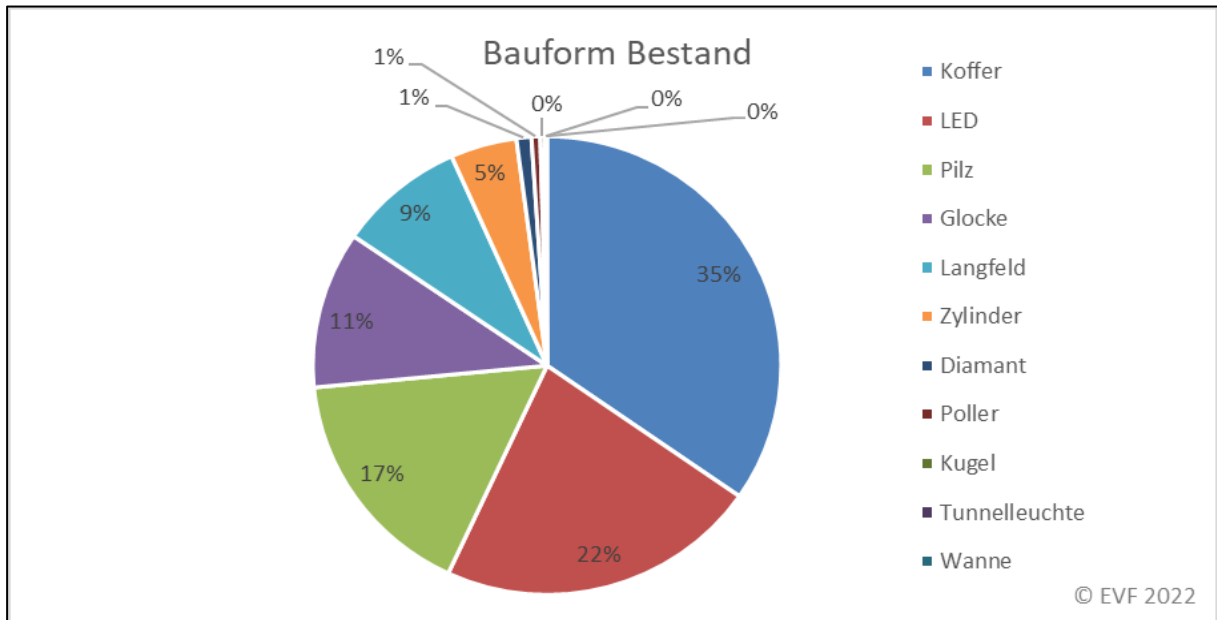


Abbildung 3 Bauformen der Bestandsleuchten

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

Die derzeit installierte Gesamtleistung der betrachteten Leuchten (Bestands-LED ausgenommen) beträgt ca. 239 kW. Der jährliche Gesamtstromverbrauch beträgt unter Einbezug der Nachtabsenkungen rechnerisch rund 870.783 kWh (kann in der Realität bis zu $\pm 10\%$ abweichen, da Absenkezeiten teils variieren und Leitungsverluste unberücksichtigt bleiben). Unter Berücksichtigung der Werteangaben für den deutschen Strom-Mix (401g CO₂/kWh im Jahr 2020) (IINAS 2021) resultieren daraus jährlich CO₂-Emissionen in einem Umfang von ca. 349 Tonnen. Je nach Strombezugsquelle, können reale Werte abweichen.

Der Betrieb der Straßenbeleuchtung verursacht aktuell Kosten in Form der Raten des Lichtlieferungsvertrages (Mischkosten für Strombezug, Wartung, Ersatzbeschaffung). Zur besseren Vergleichbarkeit und Darstellung der Änderung der Verbrauchskosten vor und nach einer Umrüstung auf LED-Technik werden die Betriebskosten hier jedoch in Form von Strom-, Wartungs- und Messstellenkosten dargestellt. Auf Grundlage der von der Stadt Bayreuth übermittelten Daten zum Strompreis wurden Kosten von derzeit 0,25 €/kWh (Brutto inkl. Grundgebühren/Umlagen/Steuern) zur weiteren Berechnung herangezogen. Daraus ergeben sich aktuelle, jährliche Verbrauchskosten von ca. 231.100 €/a. Hinzu kommen jährliche Messstellen- und Wartungskosten. Zu letzteren Kosten lag zum Zeitpunkt der Erstellung der Analyse keine genaue Angabe vor. Es wurde deshalb zur Berechnung ein marktüblicher Wert von 28,00 € Wartungskosten pro Leuchte und Jahr angenommen, der unter anderem Personalkosten, Kosten für Leuchtmittel und deren Tausch, Entstörung etc. beinhaltet. Des Weiteren wurden insgesamt ca. 570,00 € für die Messstellenkosten angenommen. Nachtabsenkungen im Bestand wurden nur für Brennstellen mit mehr als einem Leuchtmittel je Leuchte berücksichtigt. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Amortisationszeit unter anderem stark abhängig von den Strom- und Wartungskosten ist. Die hier getroffenen Annahmen sind konservativ gewählt, um das Potential nicht zu überschätzen.

Bei einem Erhalt des Status quo, sprich einem Weiterbetrieb der Straßenbeleuchtung in der jetzigen Form, lässt sich die zu erwartende Entwicklung der jährlichen Betriebskosten mit Hilfe einer Prognose vorausberechnen. Dabei werden jährliche Preissteigerungen für den Strombezug (2,5%) sowie für die Wartungskosten (3,3%) und Messstellenkosten (2,5%) angenommen und bei den Berechnungen berücksichtigt. Abbildung 4 zeigt die prognostizierte Entwicklung der Gesamtkosten über einen Zeitraum von 15 Betriebsjahren.

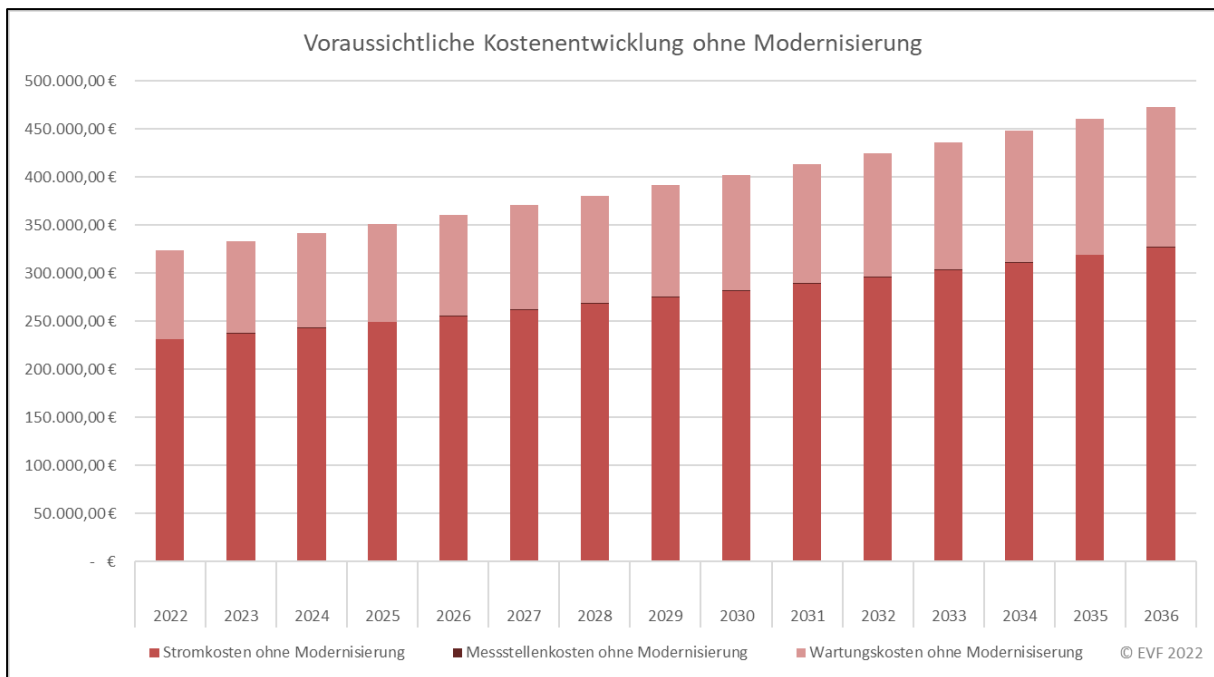


Abbildung 4 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne Modernisierung

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

Abbildung 4 verdeutlicht einen kontinuierlichen Anstieg der jährlichen Gesamtkosten, der durch die Preissteigerungsraten bedingt wird. Im Betrachtungszeitraum zwischen 2022 und 2036 (Modell) erhöhen sich die Stromkosten von ca. 231.100 € auf rund 326.500 €, die Wartungskosten von 92.300 € auf 145.400 € und damit die Gesamtkosten von 323.900 € im ersten Betriebsjahr auf ca. 472.700 € im 15. Betriebsjahr, was einer Erhöhung um ca. 46% entspricht. Insgesamt ergeben sich über 15 Jahre kumulierte Betriebskosten von ca. 5.908.400 €.

1.4. Einsparpotenzial

Für die Ermittlung des energetischen Einsparpotenzials und des Umfangs der vermeidbaren Emissionen wird der Austausch der vorhandenen Leuchtensysteme durch lichttechnisch gleichwertige LED-Leuchtensysteme softwaregestützt simuliert. Ziel der Umrüstung ist es, dass nach dem Leuchtaustausch eine gleichwertige Qualität der vorherigen Beleuchtungssituation erhalten bleibt. Das Ziel der DIN-EN-Norm-Erreichung (DIN EN 13201) wird nicht angestrebt, zumal diese nur eine Empfehlung darstellt und aktuelle Gerichtsurteile zwar die Beleuchtungspflicht, jedoch nicht die Erreichung der DIN-Norm im Zentrum der Pflichtaufgabe der Kommunen sehen, an dieser Stelle wird auch auf die BfN Schriften 543 verwiesen (BfN 2020).

Je nach Art und Leistung des bestehenden Leuchtensystems kommen unterschiedliche LED-Leuchtensysteme als Ersatz in Frage. Hinsichtlich der Bauart wird bei der Umrüstung berücksichtigt, ob es sich bei der Bestandsleuchte um eine Leuchte mit dekorativer oder rein technischer Funktion handelt. Dekorative Leuchten sind im Anschaffungspreis teurer als die entsprechenden technischen Leuchten. Es wird empfohlen, vor der Umrüstung zu prüfen, ob der Bestand dekorativer Leuchten (z. B. Pilz- und Zylinderleuchten) im Einzelfall auch durch eine technische Leuchte ersetzt werden kann.

Technische Leuchten sind teils deutlich günstiger in der Anschaffung und Wartung und sind aus ökonomischen Gründen oft die bessere Wahl. Für ein erfolgreiches Projekt müssen jedoch die individuellen Bedürfnisse und Gewohnheiten der Anwohner (Die Frage dahinter: Wie sehen die Form und Gestalt und das Lichtbild der Bestandsleuchte aus?) berücksichtigt werden. Außerdem hängt die Auswahl auch von der jeweiligen Straßen- und Mastsituation ab. Unter dem Gesichtspunkt der Lichtverschmutzung sind technische Leuchten dekorativen Leuchten üblicherweise vorzuziehen, da sie meist einen geringeren Teil des Lichts oberhalb der Horizontallinie abstrahlen. Lässt sich jedoch in der konkreten Straßensituation aufgrund hoher Mastabstände und niedriger Masthöhen kein Überdeckungsbereich der Lichtkegel erreichen, kann es sinnvoll sein, dekorative Leuchten einzusetzen, um so die Sichtbarkeit der nächsten Lichtpunkte in der Straße zu ermöglichen und ein Orientierungslicht zu schaffen.

Für die Berechnung der zu erwartenden Stromverbräuche wurden außerdem folgende Grundannahmen getroffen:

- Bisheriges Nachtabsenkungsniveau bei Leuchten mit mehreren Leuchtmitteln: 50% Leistung bei 2.555 h Absenkdauer pro Jahr.
- Jahresbrenndauer von 4.050 Stunden.
- Zukünftiges Nachtabsenkungsniveau und -dauer (für nahezu alle umgerüsteten Leuchten): 50% innerhalb eines Zeitraumes von 2.555 h.

Durch das hier gezeigte Umrüstungskonzept kann der derzeitige jährliche Stromverbrauch der betrachteten Straßenbeleuchtung (ausgenommen Bestands-LED) von rund 870.800 kWh auf ca. 185.000 kWh reduziert werden. Innerhalb der umgerüsteten Leuchtensysteme kann somit eine Gesamtenergieeinsparung von 79% erzielt werden. Die Einsparung bleibt unabhängig von der Installation vollständiger Leuchtenköpfe, oder dem Einsatz von Umrüstsätzen gleich. Durch die Einführung einer mehrstufigen Nachtabsenkung, die auch für einzelne Straßenzüge oder Ortsteile eingerichtet werden kann, ist es möglich, dass sich das genannte Einsparpotenzial noch weiter erhöht. Die Gesamtsumme der installierten Leistung verringert sich von 238.900

W auf ca. 66.700 W. Der verbrauchsbedingte CO₂-Ausstoß verringert sich von vormals 350 Tonnen auf nunmehr 74 Tonnen pro Jahr.

Nach einer Umrüstung teilen sich die Bauformen der Leuchten wie folgt auf:

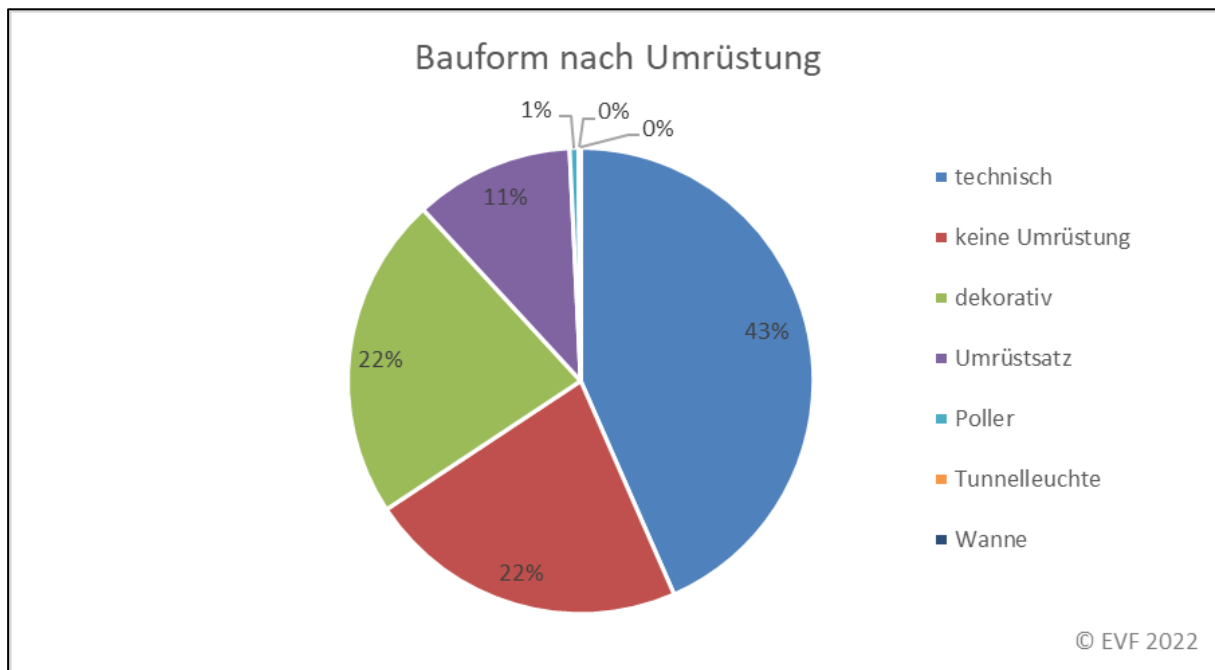


Abbildung 5 Leuchtenbauformen nach Umrüstung

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

1.5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wird lediglich der geringere Stromverbrauch betrachtet, ergibt sich durch eine Umrüstung auf LED-Technik bei den Verbrauchskosten ein Einsparpotential von ca. 186.800 € im ersten Jahr. Im folgenden Schritt wird das entwickelte Umrüstungskonzept im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsprognose ganzheitlich analysiert, in dem zusätzlich die Kosten der Umrüstung, sowie die anfallenden Wartungs- und Betriebskosten in die Betrachtung einbezogen werden.

1.5.1. Investitionskosten

Im Rahmen einer Grobkostenschätzung wurde die Höhe der zu erwartenden Investitionskosten ermittelt, die mit einer Umrüstung der bestehenden Straßenbeleuchtung auf LED-Technik im Sinne des für die Stadt Bayreuth entwickelten Umrüstungskonzepts für das betrachtete Teilgebiet einmalig entstehen. Folgende Einzelpositionen wurden dabei betrachtet:

- Kosten für den Tausch des bestehenden Leuchtenkopfes gegen einen LED-Leuchtenkopf.
 - ➔ Darin enthalten sind die Kosten für den Abbau und die Entsorgung der bestehenden Leuchten, sowie die Kosten für die mechanische und elektrotechnische Montage der LED-Leuchten.
- Kosten für den Einbau von LED-Umrüstsätzen in bestehende dekorative Leuchten.
 - ➔ Darin enthalten sind der Ausbau und die Entsorgung der bestehenden elektrotechnischen Komponenten der Bestandsleuchten sowie die Kosten für die vergleichsweise aufwändigere mechanische und elektrotechnische Montage der Umrüstsätze
- Investitionskosten für die Anschaffung der benötigten LED-Leuchten (ohne Smartfähigkeit)
- Investitionskosten für die Anschaffung der benötigten LED-Umrüstsätze (ohne Smartfähigkeit)
- Kosten für evtl./voraussichtlich zusätzlich anfallende bauliche oder elektrotechnische Arbeiten
 - ➔ Die Kosten werden pauschal (auf Basis der Befahrungsergebnisse) angenommen und decken evtl. notwendige Mastreparaturen oder Elektroinstallationsarbeiten ab.
- Planungskosten
 - Die Berechnung der Planungskosten erfolgt gemäß der HOAI 2021 § 55 Technische Ausrüstung (nutzungsspezifische Anlagen inkl. Maschinen- u. elektrotechnische Anlagen)
 - es gilt Honorarzone 1
 - es gilt Basissatz
 - betrachtet werden die Leistungsphasen 3 sowie 5 bis 8
- Nebenkosten
 - Die Kosten werden in einer Höhe von 5% der ermittelten Planungskosten angesetzt.

Für das Umrüstungskonzept für das betrachtete Teilgebiet der Straßenbeleuchtung der Stadt Bayreuth wurden gemäß untenstehendem Ansatz folgende Kosten ermittelt:

Tabelle 3 Grobkostenschätzung LED-Umrüstung betrachtete Teilgebiet der Straßenbeleuchtung der Stadt Bayreuth

Grobkostenschätzung LED-Umrüstung Stadt Bayreuth					
(alle Preise Brutto)					Gesamt
Typ	Leistung	Bauart	EP (brutto)	Anzahl	GP (brutto)
Umrüstungskosten Leuchtenköpfe			55,00 €	2196	120.780,00 €
Umrüstungskosten Umrüstsätze		Umrüstsatz	70,00 €	365	25.550,00 €
Umrüstsätze	gemischt	Umrüstsatz	300,00 €	365	109.500,00 €
Leuchtenkategorie 1	10,8 W	technisch	350,00 €	17	5.950,00 €
Leuchtenkategorie 4	21,6 W	technisch	350,00 €	833	291.550,00 €
Leuchtenkategorie 5	28,8 W	technisch	350,00 €	180	63.000,00 €
Leuchtenkategorie 6	32,4 W	technisch	400,00 €	103	41.200,00 €
Leuchtenkategorie 7	36,0 W	technisch	400,00 €	14	5.600,00 €
Leuchtenkategorie 8	43,2 W	technisch	400,00 €	176	70.400,00 €
Leuchtenkategorie 10	57,6 W	technisch	500,00 €	50	25.000,00 €
Leuchtenkategorie 11	72,0 W	technisch	500,00 €	24	12.000,00 €
Leuchtenkategorie 12	86,4 W	technisch	500,00 €	12	6.000,00 €
Leuchtenkategorie 13	160,0 W	technisch	750,00 €	22	16.500,00 €
Leuchtenkategorie 14	10,8 W	dekorativ	650,00 €	10	6.500,00 €
Leuchtenkategorie 17	21,6 W	dekorativ	650,00 €	626	406.900,00 €
Leuchtenkategorie 19	32,4 W	dekorativ	700,00 €	6	4.200,00 €
Leuchtenkategorie 20	36,0 W	dekorativ	800,00 €	84	67.200,00 €
Leuchtenkategorie 21	43,2 W	dekorativ	800,00 €	1	800,00 €
Leuchtenkategorie 23	57,6 W	dekorativ	800,00 €	13	10.400,00 €
Leuchtenkategorie 27	21,6 W	Wanne	350,00 €	1	350,00 €
Leuchtenkategorie 32	gemischt	Poller	900,00 €	20	18.000,00 €
Leuchtenkategorie 33	gemischt	Tunnelleuchte	1.000,00 €	4	4.000,00 €
Zusätzliche Arbeiten (aus Anteil an Invest nach Zustand)				10%	131.138,00 €
Planungshonorar (nach HOAI 2021)			165.797,52 €	1	165.797,52 €
Nebenkosten (v.H. des Planungshonorars)				5%	8.289,88 €
Gesamtkosten					1.616.605,40 €
Förderung BMUB/PTJ der förderfähigen Umrüstung				25%	294.082,50 €
Gesamtkosten für Kommune					1.322.522,90 €

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

Vorgehen: Umrüstung der technischen Leuchten mit neuen technischen LED-Leuchtenköpfen, sowie Umrüstung der erhaltenswerten dekorativen Leuchten mit Umrüstsätzen. Umrüstung nicht erhaltenswerter dekorativer Leuchten mit dekorativen Leuchten. Ausgenommen: Bestands-LED.

1.5.2. Betriebskostenprognose ohne Inanspruchnahme von Fördermitteln

Die Betriebskostenprognose nach einer Umstellung der Straßenbeleuchtung auf LED-Technik erfolgt methodisch analog zur Ermittlung der Betriebskosten für den Weiterbetrieb der Bestandsanlagen. Die einmaligen Umrüstungskosten sowie die laufenden Betriebskosten für Energie, Wartung und Messstellenbetrieb werden über einen Betriebszeitraum von 15 Jahren unter der Berücksichtigung von Preissteigerungen fortgeschrieben. Aus der Summe der einzelnen Kostengruppen ergeben sich die jährlichen Gesamtkosten.

Zunächst wird davon ausgegangen, dass die Maßnahme aus **Eigenkapital der Kommune** finanziert wird und die Ergebnisse dargestellt. Zum Vergleich wird anschließend angenommen,

dass die Maßnahme mittels eines **zinsverbilligten Förderkredits** finanziert wird und die Ergebnisse beider Modelle gegenübergestellt.

1.5.2.1. **Energiekosten**

Aus dem prognostizierten Stromverbrauch nach der Umrüstung werden unter Berücksichtigung der derzeitigen Strompreise und einer jährlichen Preissteigerung von 2,5% für die Energiekosten für die ersten 15 Betriebsjahre berechnet.

1.5.2.2. **Wartungskosten und Messstellenkosten**

Für die Fortschreibung der Wartungskosten wird davon ausgegangen, dass aufgrund der üblichen Gewährung von Garantieleistungen auf neu angeschaffte LED-Leuchten geringerer Wartungsaufwand entsteht. Es verbleiben jedoch Wartungskosten für die Reinigung der Maste und Leuchten, den Netzzugang sowie den Netzbetrieb. Es wird daher von einem reduzierten Kostenansatz ausgegangen, der den jährlichen Preissteigerungen unterliegt. Die Messstellenkosten werden analog zu den derzeitigen Kosten unter der Berücksichtigung von jährlichen Preissteigerungen über den Betrachtungszeitraum fortgeschrieben.

1.5.2.3. **Kapitalbindungskosten**

Zur Berechnung der Kapitalbindungskosten wird von einem über den gesamten Betrachtungszeitraum festen Kapitalbindungszinssatz von 0,5% auf die Investitionskosten ausgegangen, ein Risikoaufschlag wird aufgrund des Charakters der Maßnahme nicht einbezogen.

1.5.2.4. **Auswertung der Betriebskostenprognose ohne Fördermittel - Eigenkapitalmodell**

Abbildung 6 zeigt die Betriebskostenprognose über einen Zeitraum von 15 Jahren. Die Gesamtkosten im ersten Betriebsjahr belaufen sich demnach (inkl. Kapitalbindungskosten) auf eine Höhe von ca. 145.200 €. Die angenommenen Preissteigerungen bedingen in den Folgejahren einen kontinuierlichen Anstieg der Gesamtkosten auf ca. 245.000 € bis zum Ende des Betrachtungszeitraums. Insgesamt ergeben sich nach einer Umrüstung auf LED-Technik in den ersten 15 Jahren Betriebskosten (ohne Kapitalbindungskosten) in Höhe von ca. 2.685.500 €.

Über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren ergibt sich eine durchschnittliche Eigenkapitalverzinsung von 6,12%, eine durchschnittliche Eigenkapitalrendite von 12,79% und ein interner Zinsfuß von 10,81%. Die Investition kann somit als wirtschaftlich betrachtet werden, da die Rendite größer ist als die angenommenen Kapitalzinsen.

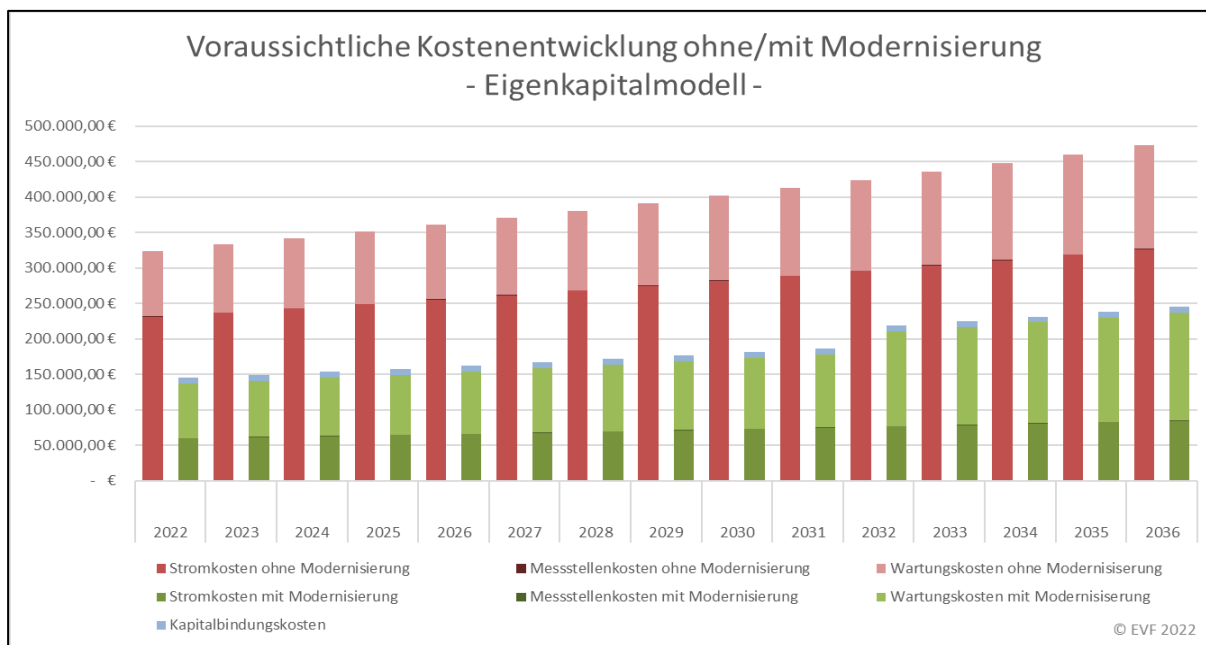


Abbildung 6 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne/mit Modernisierung – Eigenkapitalmodell

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

1.5.2.5. Auswertung der Betriebskostenprognose ohne Fördermittel - Kreditfinanzierungsmodell

Es wird in diesem Szenario davon ausgegangen, dass die einmaligen Umrüstungskosten in Form einer Kreditfinanzierung im Rahmen des KfW-Kreditprogramms 208 (Investitionskredit für Kommunen) über eine Laufzeit von zehn Jahren finanziert werden. Der aktuell angebotene Zinssatz beträgt 0,65% (Stand 22.02.2022) (KfW 2022). Dieser wurde für die durchgeführten Berechnungen berücksichtigt. Die resultierenden jährlichen Kosten für Zins und Tilgung des Kommunalkredits werden als Kreditrefinanzierungskosten (Zins + Tilgung, im Folgenden ‚Finanzierungskosten‘ genannt) in die Betriebsprognose integriert. Die zuvor angenommenen Kapitalbindungskosten fallen in diesem Szenario hingegen nicht an.

Abbildung 7 zeigt die Betriebskostenprognose über einen Zeitraum von 15 Jahren. Die Gesamtkosten im ersten Betriebsjahr belaufen sich demnach (inkl. Finanzierungsanteil) auf eine Höhe von ca. 309.300 €. In den Folgejahren steigen die Kosten aufgrund der angenommenen Preissteigerungen kontinuierlich an. Nach dem Wegfall der Finanzierungskosten zum Ende der Kreditlaufzeit fallen die jährlichen Gesamtkosten im elften Betriebsjahr in Summe auf ca. 210.400 € zurück. Die Preissteigerungen bedingen in den Folgejahren einen kontinuierlichen Anstieg der Gesamtkosten auf ca. 236.900 € bis zum Ende des Betrachtungszeitraums. Insgesamt ergeben sich nach einer Umrüstung auf LED in den ersten 15 Jahren Betriebskosten (ohne Finanzierung) in Höhe von ca. 2.685.500 €.

In diesem Fall ergibt sich über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren ein durchschnittlicher prozentualer Kostenvorteil von 6,39% und ein interner Zinsfuß von 9,32%. Die Investition kann somit auch in diesem Szenario als wirtschaftlich betrachtet werden und bietet eine leicht höhere „Verzinsung“ als bei einer Durchführung des Projekts mit eigenen Mitteln.

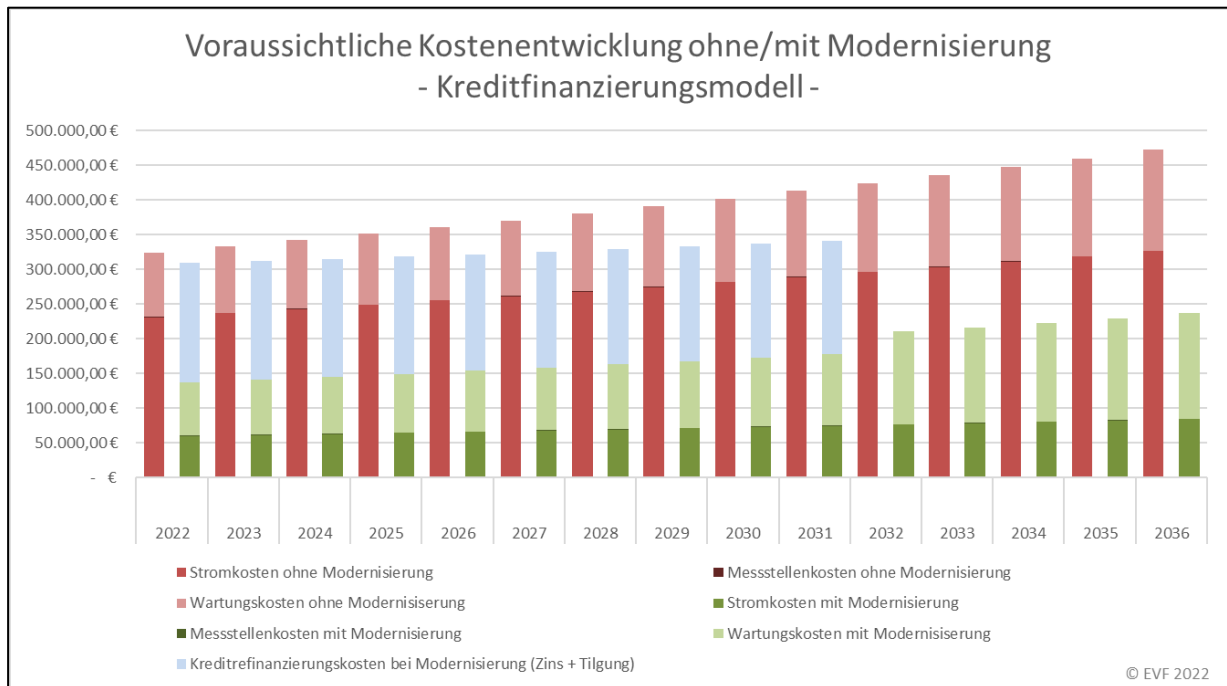


Abbildung 7 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne/mit Modernisierung – Kreditfinanzierungsmodell

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

1.5.3. Vergleich der Gesamt(betriebs)kosten ohne Einsatz von Fördermitteln

Ein Vergleich der jeweiligen Betriebsprognosen für Weiterbetrieb der Bestandsanlagen oder für den Betrieb nach Umrüstung auf LED-Technik zeigt auf, dass sich ein ROI in beiden Modellen im Verlauf des 9. Betriebsjahres einstellt.

Hinsichtlich der Gesamtkosten der Straßenbeleuchtung ergäbe sich im Falle der Finanzierung des Projektes (KfW 208) bereits im ersten Betriebsjahr eine leichte Entlastung des Kommunalhaushalts von ca. 14.600 € (Modelldarstellung anstelle des Lichtlieferungsvertrags wie oben beschrieben). Diese nimmt von Jahr zu Jahr auf Grund der höheren Strom- und Betriebskosten kontinuierlich zu. Im Falle der Eigenmittelnutzung ergibt sich ebenfalls bereits ab dem ersten Betriebsjahr eine Entlastung des Kommunalhaushalts in Höhe von ca. 178.700 € (unter Berücksichtigung der Kapitalbindungskosten).

Bis zum Ende des Betrachtungszeitraums können unter Einbezug der Finanzierungskosten bei einer Umrüstung auf LED-Technik im Vergleich mit dem Weiterbetrieb der Bestandsanlagen bis

zu ca. 1.548.400 € eingespart werden bzw. ca. 1.485.000 € beim Einsatz von Eigenkapital. Die wirtschaftliche Amortisation der Investitionskosten erfolgt somit ohne Einbezug jeglicher Fördermittel im Verlauf des 9. Betriebsjahres (vgl. Abbildung 8).

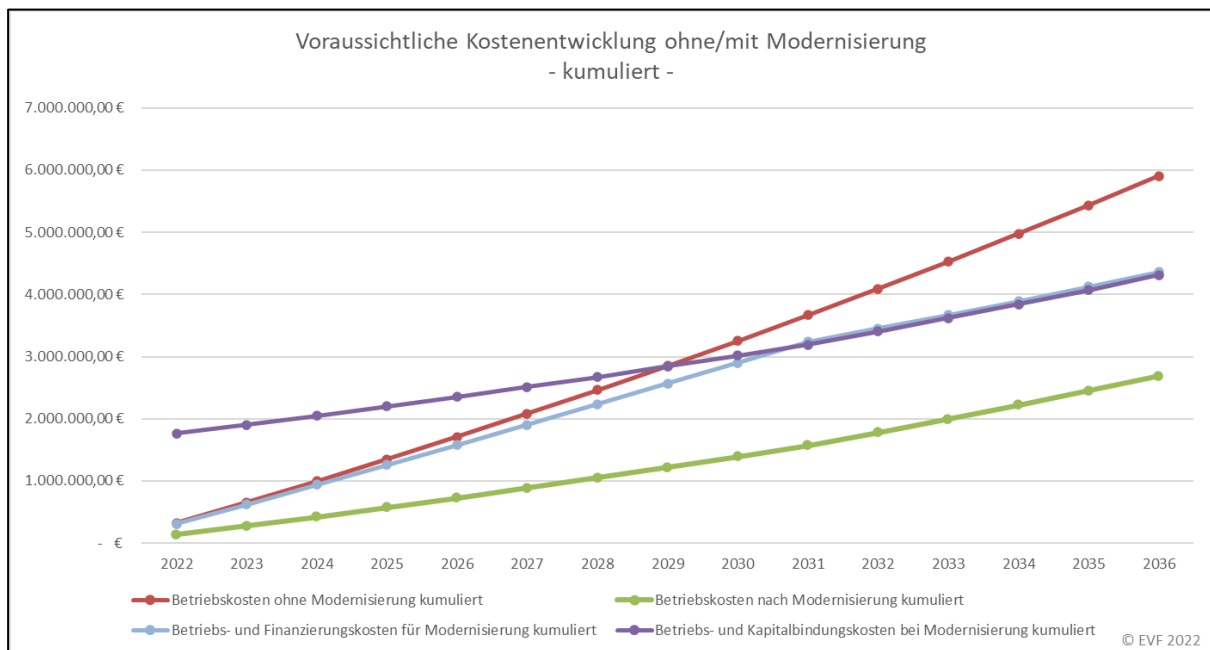


Abbildung 8 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne/mit Modernisierung – kumuliert

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

1.5.4. Zusammenfassung

Aus wirtschaftlicher Perspektive kann die Umrüstung der Straßenbeleuchtung nach dem hier entwickelten Umrüstungskonzept empfohlen werden. Durch die hohe Energieeinsparung von ca. 79% innerhalb der umgerüsteten Anlagenteile können im Verlauf des Betrachtungszeitraums von 15 Jahren Kostenvorteile von ca. 1.548.400 € (Kreditfinanzierungsmodell) bzw. ca. 1.485.000 € (Eigenkapitalmodell) erzielt werden, obgleich die Beleuchtungssysteme faktisch (teil-)erneuert wurden.

Auch aus energetischer Sicht ergeben sich erhebliche Einsparungspotenziale. Im Laufe des Betrachtungszeitraums können insgesamt ca. 10,3 Mio. kWh Energie in Form von elektrischem Strom eingespart werden. Die jährliche Energieeinsparung entspricht etwa dem durchschnittlichen Jahresstrombedarf von 196 3-Personen-Haushalten im Einfamilienhaus (DESTATIS 2022). Bezogen auf die CO₂-Emissionen ergibt sich durch die Umrüstung nach 15 Jahren eine Gesamtreduktion von über 4.125 Tonnen (ausgehend von der heutigen Strommix-Emission) des klimaschädlichen Treibhausgases.

1.6. Fördermöglichkeiten

Die Bundesrepublik Deutschland fördert die Umrüstung von kommunaler Straßenbeleuchtung auf hocheffiziente LED-Technik im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Kommunalrichtlinie – Investive Maßnahmen). Konkret handelt sich dabei um das Förderprogramm für investive Klimaschutzmaßnahmen zur Sanierung der Außen- und Straßenbeleuchtung. Grundsätzlich wird eine Förderung im Sinne eines Investitionskostenzuschusses gewährt, wenn durch die Umrüstungsmaßnahmen eine CO₂-Emissionsminderung von mindestens 50% in allen von der Umrüstung betroffenen Leuchtensystemen erreicht wird. In diesem Falle gewährt der Fördergeber einen Zuschuss in Höhe von 25% der zuwendungsfähigen Kosten. Kommunen, die dem Fördergeber gegenüber ihre Finanzschwäche nachweisen können, erhalten einen erhöhten Fördersatz von 40%.

Die Förderung wird durch Einreichung von Förderanträgen beim zuständigen Projektträger Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (ZUG) gGmbH beantragt.

Weitere Informationen zur obigen Fördermaßnahme können der Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld unter <https://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/kommunalrichtlinie> entnommen werden.

Bei dem hier entwickelten Umrüstungskonzept für das betrachtete Teilgebiet der Straßenbeleuchtung der Stadt Bayreuth weisen alle betrachteten Leuchtensysteme ein ausreichendes CO₂-Einsparpotential auf, um dafür Fördermittel zu beantragen.

Ggf. kommt für die Umrüstung zusätzlich auch ein weiteres Förderprogramm des Landes Bayern in Frage (Förderrichtlinien Kommunaler Klimaschutz – KommKlimaFÖR), worüber insgesamt eine Förderquote von bis zu 70% bzw. in Räumen mit besonderem Handlungsbedarf bis zu 90% erreichbar wäre (Aufstockung des jeweiligen oben genannten Fördersatzes). Dies sollte im Rahmen einer potenziellen Fördermittelbeantragung geprüft werden. Im Folgenden wird jedoch zunächst von einer Bundesförderung über die Kommunalrichtlinie ausgegangen. Zum Vergleich werden die Berechnungsergebnisse bei einem Fördersatz von 90% in Abschnitt 1.6.3 in einer zusammenfassenden Tabelle aufgeführt. Die Berechnungen erfolgten dabei analog zum folgenden Förderszenario mit Bundesfördermitteln.

1.6.1. Förderszenario

Im Folgenden wird ein Förderszenario erstellt. Hierzu wird der zu erwartende Fördersatz unter den Gesamtkostenansätzen zum Abzug gebracht.

Tabelle 4 Grobkostenschätzung inkl. Förderung

Grobkostenschätzung LED-Umrüstung Stadt Bayreuth					
(alle Preise Brutto)				Gesamt	
Typ	Leistung	Bauart	EP (brutto)	Anzahl	GP (brutto)
Umrüstungskosten Leuchtenköpfe			55,00 €	2196	120.780,00 €
Umrüstungskosten Umrüstsätze		Umrüstsatz	70,00 €	365	25.550,00 €
Umrüstsätze	gemischt	Umrüstsatz	300,00 €	365	109.500,00 €
Leuchtenkategorie 1	10,8 W	technisch	350,00 €	17	5.950,00 €
Leuchtenkategorie 4	21,6 W	technisch	350,00 €	833	291.550,00 €
Leuchtenkategorie 5	28,8 W	technisch	350,00 €	180	63.000,00 €
Leuchtenkategorie 6	32,4 W	technisch	400,00 €	103	41.200,00 €
Leuchtenkategorie 7	36,0 W	technisch	400,00 €	14	5.600,00 €
Leuchtenkategorie 8	43,2 W	technisch	400,00 €	176	70.400,00 €
Leuchtenkategorie 10	57,6 W	technisch	500,00 €	50	25.000,00 €
Leuchtenkategorie 11	72,0 W	technisch	500,00 €	24	12.000,00 €
Leuchtenkategorie 12	86,4 W	technisch	500,00 €	12	6.000,00 €
Leuchtenkategorie 13	160,0 W	technisch	750,00 €	22	16.500,00 €
Leuchtenkategorie 14	10,8 W	dekorativ	650,00 €	10	6.500,00 €
Leuchtenkategorie 17	21,6 W	dekorativ	650,00 €	626	406.900,00 €
Leuchtenkategorie 19	32,4 W	dekorativ	700,00 €	6	4.200,00 €
Leuchtenkategorie 20	36,0 W	dekorativ	800,00 €	84	67.200,00 €
Leuchtenkategorie 21	43,2 W	dekorativ	800,00 €	1	800,00 €
Leuchtenkategorie 23	57,6 W	dekorativ	800,00 €	13	10.400,00 €
Leuchtenkategorie 27	21,6 W	Wanne	350,00 €	1	350,00 €
Leuchtenkategorie 32	gemischt	Poller	900,00 €	20	18.000,00 €
Leuchtenkategorie 33	gemischt	Tunnelleuchte	1.000,00 €	4	4.000,00 €
Zusätzliche Arbeiten (aus Anteil an Invest nach Zustand)				10%	131.138,00 €
Planungshonorar (nach HOAI 2021)			165.797,52 €	1	165.797,52 €
Nebenkosten (v.H. des Planungshonorars)				5%	8.289,88 €
Gesamtkosten					1.616.605,40 €
Förderung BMUB/PTJ der förderfähigen Umrüstung				25%	294.082,50 €
Gesamtkosten für Kommune					1.322.522,90 €

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

Die Höhe der Förderung ergibt sich aus der Summe der förderfähigen Kosten. Zu den förderfähigen Kosten gehören grundsätzlich alle investiven Kosten für den Erwerb und den Einbau von LED-Leuchten. Nicht förderfähig hingegen sind die Anschaffung und der Einbau von LED-Umrüstsätzen. Des Weiteren sind die angenommenen Kosten für zusätzliche Arbeiten (z. B. für die Sanierung von Masten) nicht sowie die Planungskosten gemäß HOAI inkl. Nebenkosten nicht über dieses Förderprogramm förderfähig. Der Förderbetrag berechnet sich aus dem gewährten Fördersatz auf die förderfähigen Kosten (Investitionsförderung).

Die eingangs ermittelten Summen der Investitionskosten reduzieren sich durch die Förderung um ca. 294.100 €. Als kommunaler Eigenanteil verbleibt nunmehr ein Betrag von ca. 1.322.500 €, der im Falle einer Umrüstung im Rahmen eines KfW-Kommunalkredites finanziert werden könnte. Kann dem Fördergeber der Nachweis über eine vorliegende Finanzschwäche der Kommune erbracht werden, würde sich die Förderung durch die höheren gewährten Fördersätze entsprechend erhöhen.

1.6.2. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Folgenden wird der Einfluss der Förderung auf die jährlichen Gesamtkosten betrachtet. Die jährlichen Betriebskosten für Energie und Wartung bleiben durch die Förderung unberührt.

Durch die verminderten Kapitalbindungs- bzw. Finanzierungskosten (je nach Modell) reduziert sich die Summe der jährlichen Gesamtkosten.

Dadurch entsteht im **Kreditfinanzierungsmodell** im ersten Finanzierungsjahr im Vergleich zum Weiterbetrieb der Altanlage bereits eine höhere Entlastung des Haushalts (als ohne Einbezug der Fördermittel) in Höhe von ca. 46.000 €. Im 11. Betriebsjahr endet die Tilgung, wodurch deutliche Kostenvorteile erzielt werden können. Die gesamtwirtschaftliche Amortisation findet – bei einer angenommenen jährlichen Strompreissteigerung von 2,5% – im Verlauf des 7. Betriebsjahrs statt.

Beim **Eigenkapitalmodell** ergibt sich auch unter Berücksichtigung der Fördermittel eine Entlastung des Kommunalhaushalts ab dem ersten Betriebsjahr, welche jedoch durch die geringeren Kapitalbindungskosten höher ausfällt: ca. 180.200 €.

Im **Vergleich zu einer Umrüstung ohne Fördermittel** verringert sich die Amortisationszeit durch die Fördermittel bei beiden Modellen um ca. zwei Jahre.

Um eventuelle Schwankungen der äußeren Rahmenbedingungen einzubeziehen, wurde für Abbildung 9 und Abbildung 10 der Faktor der allgemeinen Preissteigerung hinsichtlich der akkumulierten Einsparungen sensitiv betrachtet. Die grün markierte Linie zeigt die kumulierte Einsparung auf. Die Bereiche oberhalb und unterhalb zeigen die Entwicklung bei Preissteigerungen zwischen durchschnittlich lediglich 0,5% und 4,5% auf. Auch im konservativsten Szenario (0,5% Steigerung) ergibt sich immer noch eine kumulierte Ersparnis von ca. 1.390.400 € über 15 Betriebsjahre (Eigenkapitalmodell) bzw. von ca. 1.442.300 € (Kreditfinanzierungsmodell).

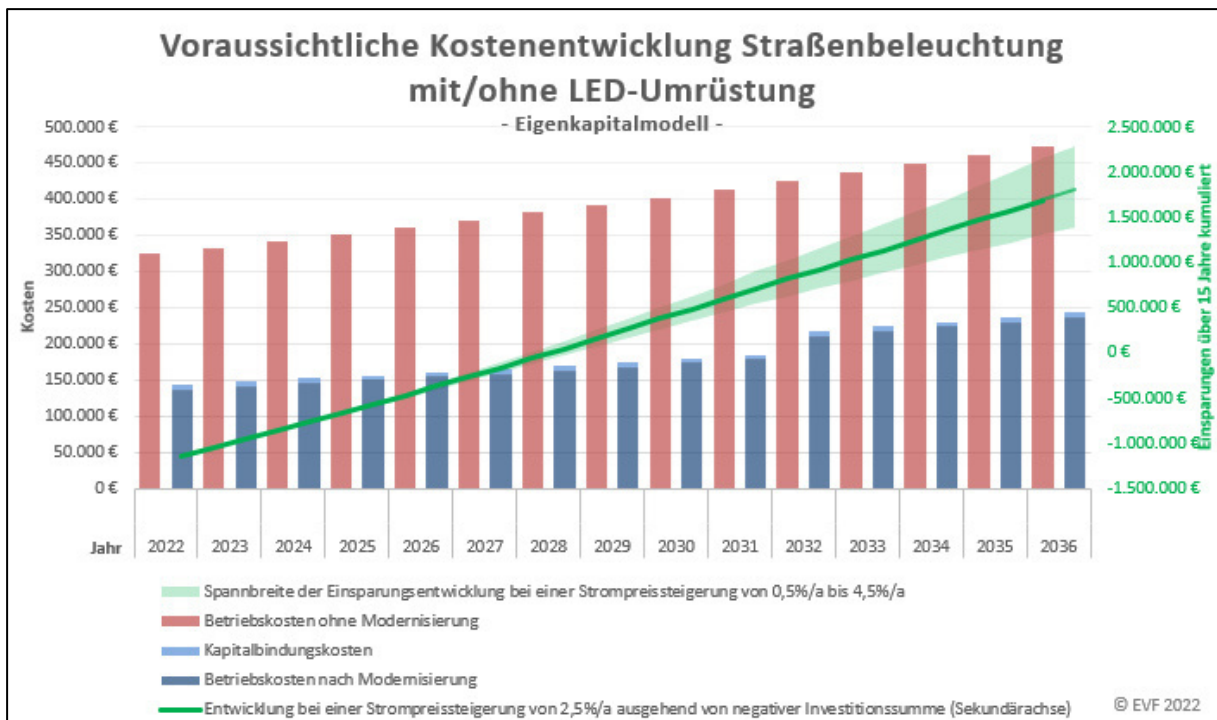


Abbildung 9 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne/mit Modernisierung inkl. Förderung – Eigenkapitalmodell

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

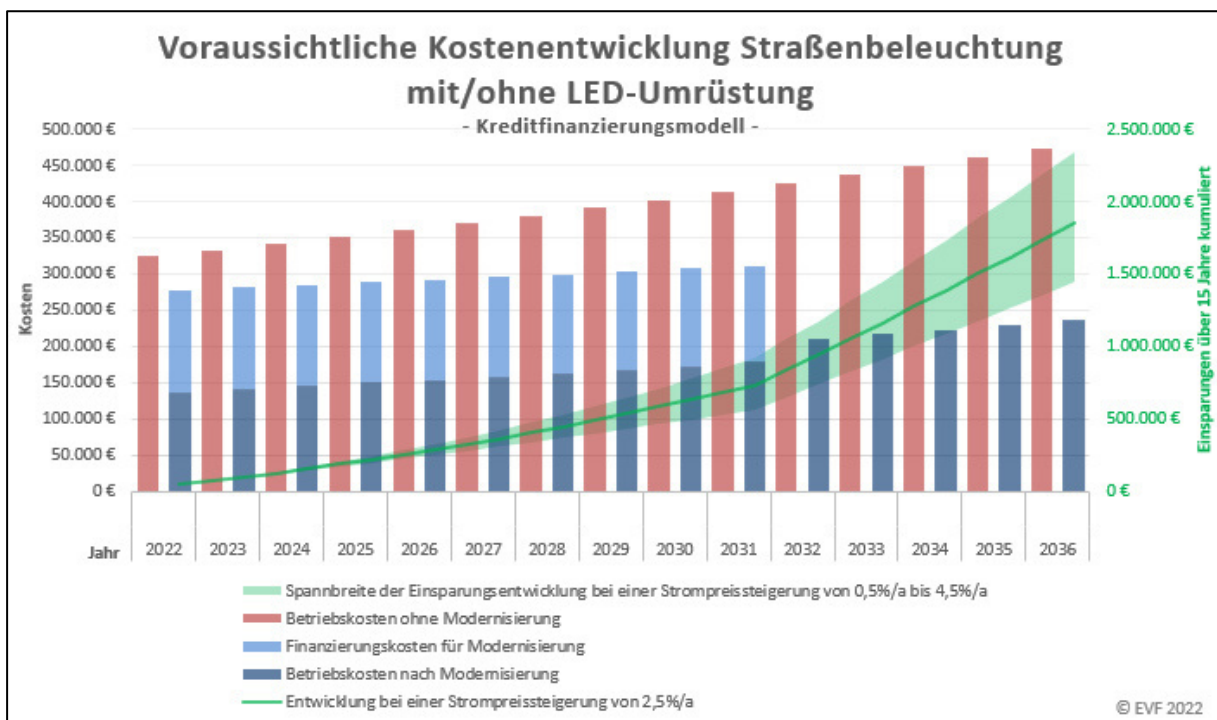


Abbildung 10 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne/mit Modernisierung inkl. Förderung – Kreditfinanzierungsmodell

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

1.6.3. Zusammenfassung

Die Ergebnisse der entwickelten Förderszenarien zeigen auf, dass die Inanspruchnahme der Fördermittel einen positiven Einfluss auf die Gesamtwirtschaftlichkeit der Umrüstungsmaßnahme hat. Es lassen sich Fördermittel in einer Höhe von bis zu ca. 294.100 € aus Bundesmitteln akquirieren. Der positive Effekt der Förderung verringert die Amortisationszeit um ca. zwei Jahre. Eine Umrüstung ist aus wirtschaftlicher und energetischer Sicht, sowie im Hinblick auf die erreichbaren Emissionseinsparungen zu empfehlen. Es wird daher empfohlen, von einem groß angelegten reinen Tausch der Leuchtmittel abzusehen, und stattdessen die Umrüstung der Leuchtenköpfe auf hocheffiziente LED-Leuchten (bzw. Umrüstsätze) durchzuführen.

Zusätzlich kann mit der Umrüstung die Heterogenität der Beleuchtungsanlage verringert werden und damit ein einheitlicheres Stadtbild geschaffen werden. Die Aufnahmen der Befahrung und die stichprobenartige optische Prüfung der Mastzustände lassen darauf schließen, dass im Rahmen der Umrüstung mit einem zusätzlichen Kostenansatz von ca. 10% die meisten bestehenden Mängel an oberirdischen Teilen der Beleuchtungsanlage zu beheben sind. Diese Kosten wurden bei der vorliegenden Betrachtung bereits eingepreist und ggf. mitfinanziert, obgleich sie keine förderfähigen Kosten darstellen.

Die wichtigsten Kenngrößen der Untersuchungsergebnisse zum betrachteten Teilgebiet der Straßenbeleuchtung sind in der folgenden Tabelle (Tabelle 5) zusammengefasst.

Tabelle 5 Übersicht Untersuchungsergebnisse zum betrachteten Teilgebiet der Straßenbeleuchtung

Anzahl			
Leuchten	3.295		
Leuchtmittel	3.719		
Vergleich Energieverbrauch und Kosten		Bestand	Nach Umrüstung
Leistung (ausgenommen Bestands-LED)	239 kW	67 kW	
Verbrauch (ausgenommen Bestands-LED)	870.800 kWh	185.000 kWh	
CO2-Emissionen (ausgenommen Bestands-LED)	349 t	74 t	
Betriebskosten erstes Betriebsjahr	323.900 €	137.100 €	
kumulierte Betriebskosten (15 Jahre)	5,9 Mio. €	2,7 Mio. €	
Einsparung			
Einsparung Energie-Verbrauch umzurüstende Leuchten	79%		
Kumulierte Betriebskostensparnis (15 Jahre)	3,2 Mio. €		
kumulierte Einsparung (15 Jahre)	ohne Förderung	Förderung 25%	Förderung 90%
– Eigenkapital (nach Abzug Kapitalbindungskosten)	1,5 Mio. €	1,8 Mio. €	2,6 Mio. €
– Kreditfinanzierung (nach Abzug Finanzierungskosten)	1,5 Mio. €	1,9 Mio. €	2,6 Mio. €

Investition und Amortisation	ohne Förderung	Förderung 25%	Förderung 90%
Förderbetrag PTJ/BMUB	-	294.100 €	1,06 Mio. €
Investitionskosten	1,62 Mio. €	1,32 Mio. €	557.900 €
Amortisationsjahr - Eigenkapital	ca. 9	ca. 7	ca. 3
Amortisationsjahr - Kreditfinanzierung	ca. 9	ca. 7	ca. 3

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

Die folgenden Abbildungen zeigen vergleichshalber die voraussichtliche Kostenentwicklung ohne/mit Modernisierung inkl. einer Förderung mit Fördersatz 90%.

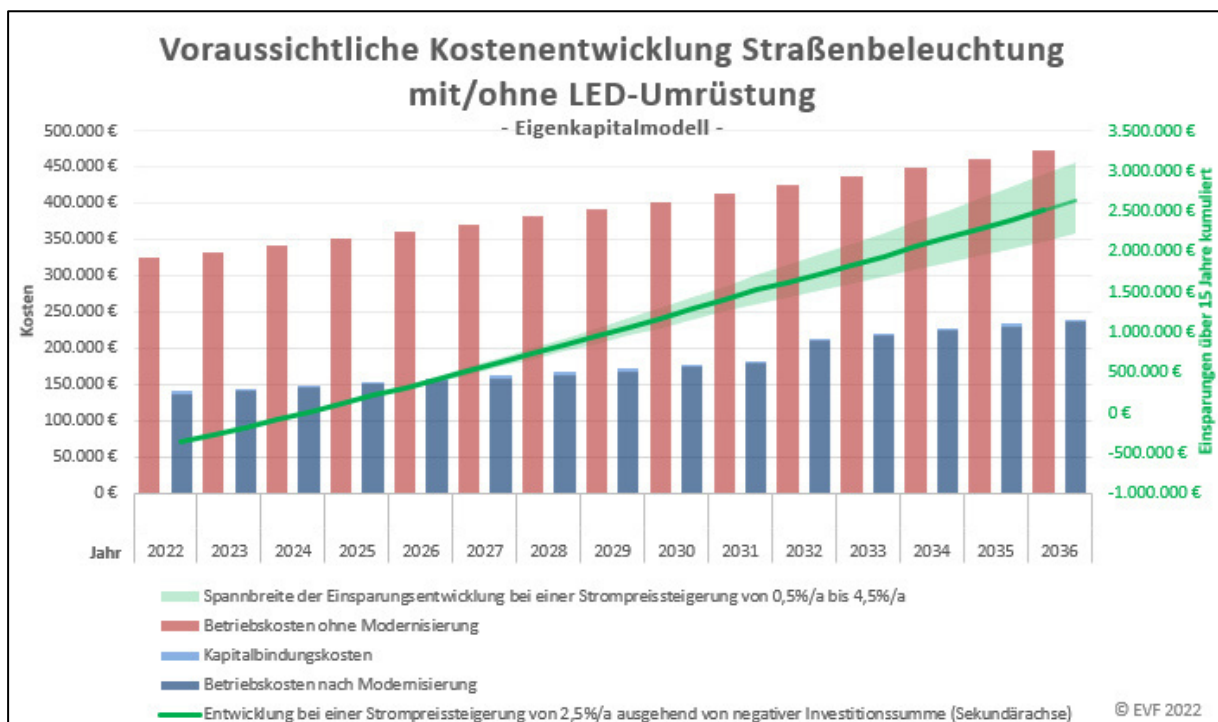


Abbildung 11 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne/mit Modernisierung inkl. Förderung (90%) – Eigenkapitalmodell

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

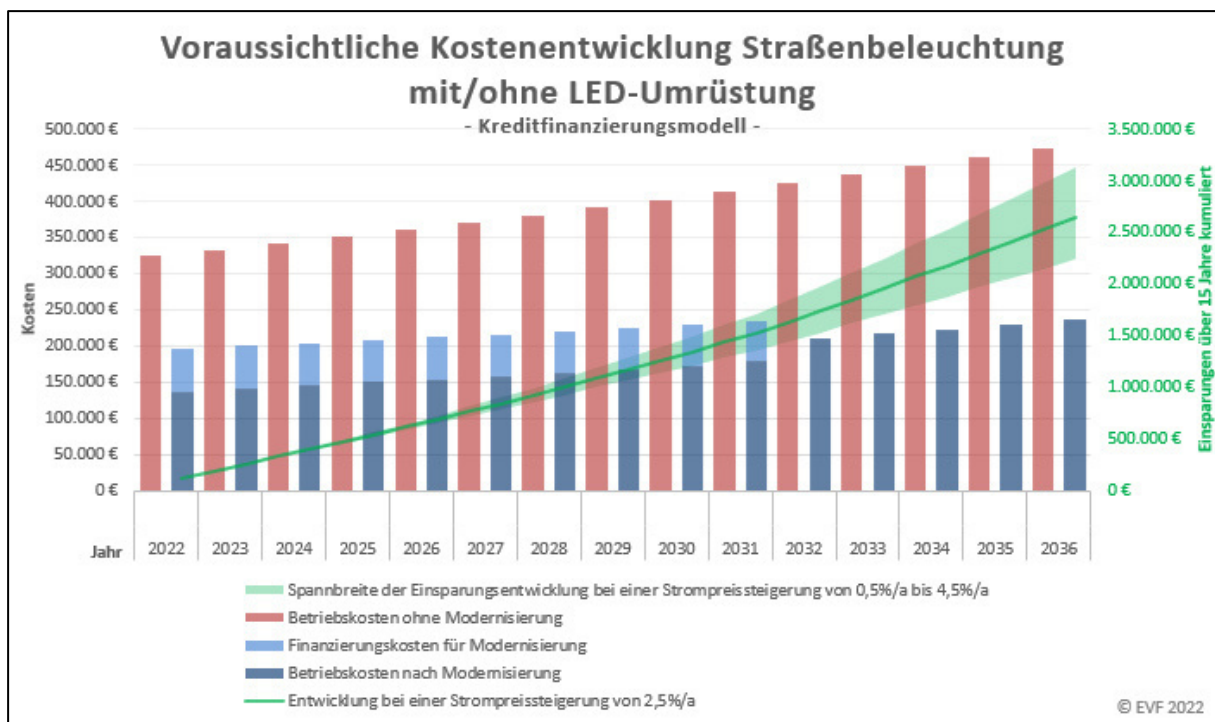


Abbildung 12 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne/mit Modernisierung inkl. Förderung (90%) – Kreditfinanzierungsmodell

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

1.7. Handlungsempfehlungen

Im Rahmen der hier vorgelegten Untersuchungen wurde die technische und ökologische Sinnhaftigkeit einer Umrüstung der bestehenden Straßenbeleuchtung durch hocheffiziente LED-Technik nachgewiesen. Der Stadt Bayreuth kann auf der Basis der Berechnungen und Analysen die Umrüstung empfohlen werden. Durch die Inanspruchnahme verfügbarer Fördermittel wird die Gesamtwirtschaftlichkeit der Umrüstungsmaßnahme positiv beeinflusst. Zusätzlich kann mit der Umrüstung die Heterogenität der Beleuchtungsanlage verringert werden und damit ein einheitlicheres Stadtbild geschaffen werden.

Es ergeben sich folgende Handlungsempfehlungen und Hinweise:

- Es wird empfohlen, zur Maßnahmenumsetzung einen Förderantrag über die Kommunalrichtlinie des Bundes einzureichen.
 - ➔ Im Rahmen der Fördermittelbeantragung können ggf. einige Leuchtensysteme, die in oben gezeigter Aufstellung mit Umrüstsätzen ausgestattet werden sollen, mit in den Förderantrag aufgenommen werden. Durch dieses Vorgehen würden im Fall einer Entscheidung für ganze Leuchtenköpfe ausreichend Fördermittel zur Verfügung stehen.

- Es wird zudem empfohlen die Möglichkeit der Inanspruchnahme der oben genannten Landesfördermittel (KommKlimaFÖR) zu prüfen. Da die Maßnahme auch ohne diese zusätzlichen Fördermittel wirtschaftlich ist, bestünde hierdurch nicht nur die Möglichkeit den Amortisationszeitpunkt noch früher zu erreichen, sondern stattdessen auch weitere Maßnahmen im Zusammenhang mit der Straßenbeleuchtung wie z. B. die Entflechtung des Straßenbeleuchtungsnetzes vom Netz der allgemeinen Versorgung zu realisieren (Zukunftssicherheit für potenzielle Ausschreibung des Straßenbeleuchtungswartungsvertrags). Es könnte beispielsweise auch in Betracht gezogen werden die bereits vorhandenen Retrofits (weiterhin regelmäßiger Leuchtmittelwechsel nötig → Kosten und Elektroschrott) durch langlebigere Umrüstsätze oder neue Leuchtenköpfe zu ersetzen oder bestimmte Leuchten mit einer Smartfähigkeit auszustatten.
- Parallel dazu sollte ein Sanierungsfahrplan zur Instandsetzung der Tragsysteme und sonstigen Anlagen erarbeitet werden.
- Des Weiteren ist zu prüfen ob die Schaltstellen bereits über Überspannungsschutzeinrichtungen verfügen, da diese für den Schutz der neuen LED-Systeme als sinnvoll einzustufen sind.
- Bei Bestands-LED-Leuchten sollte zur weiteren Reduzierung des Energieverbrauchs ferner geprüft werden, ob bereits eine Nachtabsenkung vorhanden ist bzw. ob diese noch nachträglich realisierbar ist.
- Aufgrund der nach einer Umrüstung grundlegend geänderten Rahmenbedingungen wird empfohlen zu prüfen, ob eine neue Form von Betriebsführungsvertrag eingeführt werden sollte.
- Es wird außerdem eine Nacherhebung und Umrüstung des vollständigen Straßenbeleuchtungsbestandes des noch nicht genauer betrachteten Stadtgebietes hinsichtlich aller Parameter, die für eine Straßenbeleuchtungsumrüstung auf LED-Technik relevant sind, empfohlen, da die Straßenbeleuchtung als einer der Hauptenergieverbraucher, einen sehr großen Baustein zu einer deutlichen Stromenergiebedarfsreduzierung der Stadt darstellt. Hinzu kommt, dass die derzeit verbaute Technik größtenteils energetisch ineffizient ist, da überwiegend noch Entladungslampen zum Einsatz kommen, welche durch den notwendigen Turnuswechsel in einem Intervall von vier Jahren zudem große Mengen an (Sonder-)müll verursachen. Auch die ökologischen Auswirkungen der derzeit vorhandenen Lichtverschmutzung (primär Abstrahlung nach oben und an Häuserfassaden, vgl. Abbildung 13 und Abbildung 14), welcher negative Auswirkungen auf Flora und Fauna hat, ist bei den Überlegungen nicht außer Acht zu lassen und können durch eine LED-Umrüstung deutlich reduziert werden.



Abbildung 13 Beispielaufnahme von vorhandener Lichtverschmutzung durch Bestandsleuchten (hier: Hausfassade angeleuchtet)

(QUELLE: EIGENE AUFNAHME EVF 2021)



Abbildung 14 Beispielaufnahme vorhandener Lichtverschmutzung durch Bestandsleuchten (hier: „Lichtglocke“ über dem Stadtgebiet durch starke Abstrahlung der Leuchten oberhalb der Horizontallinie)

(QUELLE: EIGENE AUFNAHME EVF 2021)

Verwendete Abkürzungen

Abkürzungen allgemein

A	Allgebrauchsleuchtmittel
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
GIS	Geoinformationssystem
Hlx	Halogen-Metall dampflampe
HME	Hochdruck-Quecksilberdampflampe
HOAI	Honorarordnung für Architekten- und Ingenieursleistungen
HSx	Hochdruck-Natriumdampflampe
LED	Light Emitting Diode / Leuchtdiode
Mio.	Million / -en
ROI	Return of Invest / Amortisationspunkt
T	Leuchtstofflampe
T-C	Kompaktleuchtstofflampe

Abkürzungen für Namen

DIN	Deutsches Institut für Normung (e.V.)
EVF	EVF - Energievision Franken (GmbH)
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau (AöR)
LfU	Landesamt für Umwelt
ZUG	Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (gGmbH)

Gesetze und Verordnungen

BayStrWG	Bayerisches Straßen- und Wegegesetz
----------	-------------------------------------

Physikalische und mathematische Einheiten

a	Jahr
h	Stunde
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
t	Tonne
W	Watt

Literatur- und Quellenverzeichnis

BFN 2020: BfN Schriften 543 - Leitfaden zur Neugestaltung und Umrüstung von Außenbeleuchtungsanlagen: Anforderungen an eine nachhaltige Außenbeleuchtung). Bundesamt für Naturschutz, Berlin, 2020.

BMU 2021: Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld (Kommunalrichtlinie) im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI). Bundesamt für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Berlin, 2021.

IINAS 2021: Globales Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS). Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien, Berlin, Datenstand: abgerufen am 15.12.2021.

KfW 2022: Merkblatt IKK – Investitionskredit Kommunen - Kommunale und soziale Infrastruktur. Kreditanstalt für Wiederaufbau, Berlin, [[https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/6000000070_M_208_IKK.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000000070_M_208_IKK.pdf)] abgerufen am: 22.02.2022.

STADT BAYREUTH 2021A: Betriebsinformationsdaten der Straßenbeleuchtungsanlage. Lose Sammlung von Listen, Regieberichten, Jahresmeldungen zu Modernisierungen, GIS-Datensatz mit Standortinformationen, Lichtliefervertrag. Von der Stadt und den Stadtwerken Bayreuth für die vorliegenden Auswertungen übergeben. Stadt Bayreuth [Hrsg.], 2021.

DESTATIS 2022: 3-Personen-Haushalt - Stromverbrauch in Deutschland nach Gebäudetyp 2021 in Kilowattstunden. Statista GmbH, Hamburg, 2022

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Schematischer Aufbau Beleuchtungsnetz/Straßenbeleuchtung.....	6
Abbildung 2 Auswahl an Bildern der Nacherhebung fehlender Informationen und Impressionen der vorhandenen Straßenbeleuchtung (Beispiele Leuchtentypen, Straßensituationen, Mängel, Leuchten und Leuchtmittel).....	10
Abbildung 3 Bauformen der Bestandsleuchten.....	13
Abbildung 4 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne Modernisierung.....	15
Abbildung 5 Leuchtenbauformen nach Umrüstung.....	18
Abbildung 6 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne/mit Modernisierung – Eigenkapitalmodell.....	22
Abbildung 7 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne/mit Modernisierung – Kreditfinanzierungsmodell.....	23
Abbildung 8 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne/mit Modernisierung – kumuliert.....	24
Abbildung 9 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne/mit Modernisierung inkl. Förderung – Eigenkapitalmodell.....	28
Abbildung 10 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne/mit Modernisierung inkl. Förderung – Kreditfinanzierungsmodell.....	28
Abbildung 11 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne/mit Modernisierung inkl. Förderung (90%) – Eigenkapitalmodell.....	30
Abbildung 12 Voraussichtliche Kostenentwicklung ohne/mit Modernisierung inkl. Förderung (90%) – Kreditfinanzierungsmodell.....	31
Abbildung 13 Beispielaufnahme von vorhandener Lichtverschmutzung durch Bestandsleuchten (hier: Hausfassade angeleuchtet).....	33
Abbildung 14 Beispielaufnahme vorhandener Lichtverschmutzung durch Bestandsleuchten (hier: „Lichtglocke“ über dem Stadtgebiet durch starke Abstrahlung der Leuchten oberhalb der Horizontallinie).....	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht der vorhandenen Leuchtensysteme im betrachteten Teilgebiet von der Stadt Bayreuth.....	12
Tabelle 2 Übersicht Einsparpotenzial nach Leuchtensystem.....	16

Tabelle 3 Grobkostenschätzung LED-Umrüstung betrachtete Teilgebiet der Straßenbeleuchtung der Stadt Bayreuth.....	20
Tabelle 4 Grobkostenschätzung inkl. Förderung.....	25
Tabelle 5 Übersicht Untersuchungsergebnisse zum betrachteten Teilgebiet der Straßenbeleuchtung.....	29