

Potentiale moderner Beleuchtungssysteme

Anhang A: Detaillierte Tätigkeitsbeschreibung

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie, Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autorinnen und Autoren: Johannes Weninger, Maximilian Dick, Martina Ascher

Wien, 2024. Stand: 17. Dezember 2024

Inhalt

Vorbemerkung.....	4
Inhaltliche Tätigkeiten und Arbeitsschritte	5
Erhebung des aktuellen technologischen und wissenschaftlichen Standes	5
Erfassung der relevanten Technologien	5
Erfassung des wissenschaftlichen Standes	7
Ableitung potenzieller Kerntechnologien	8
Kerntechnologie 1: Adaptive spektrale Kompositionen	10
Kerntechnologie 2: Adaptive Lichtverteilungskurven	10
Kerntechnologie 3: Nanotechnologie-basierte Optikkomponenten	11
Kerntechnologie 4: Sensorik und bedarfsgerechte Beleuchtung	11
Kerntechnologie 5: Erweiterte Systemvernetzung	12
Kerntechnologie 6: Maschinelles Lernen	12
Identifikation einschränkender Einflussfaktoren	13
Nebenzielgruppe 1: Endnutzer:innen	14
Nebenzielgruppe 2: Wissenschaft und Forschung.....	15
Hauptzielgruppe: Interessensgruppen für Außenraumbeleuchtung.....	16
Potenzialanalyse	19
Tabellenverzeichnis.....	20
Abbildungsverzeichnis.....	21

Vorbemerkung

Aus Gründen des Umfangs des Hauptberichts werden im vorliegenden Anhang A die dezierten Einzelschritte beschrieben, welche zur Erarbeitung der Ergebnisse des Hauptberichts durchgeführt wurden. Die beinhalteten Beschreibungen sollten dahingehend als Erweiterung zu dem im Hauptdokument übergeordnet beschriebenen Projektablauf betrachtet werden. Alle angeführten Beschreibungen folgen dabei dem im Projekt angewandten Projektablauf und sind dementsprechend auf Basis der veranschlagten Arbeitspakete und Unteraufgaben strukturiert.

Im Bezug zur für das Projekt zentralen Interessensgruppenbefragung sind die in diesem Anhang angeführten Informationen auf die Ziele und durchgeführten Tätigkeiten beschränkt, um einer verbesserten Übersichtlichkeit des Dokuments zu dienen. Eine genaue Auflistung aller Fragestellungen, sowie die darauf bezogenen Einzelergebnisse in Bezug zu den befragten Interessensgruppen können dem beiliegenden **Anhang B: Einzelergebnisse der Interessensgruppenbefragung** entnommen werden. Die aus den durchgeführten Tätigkeiten resultierenden Ergebnisse sind im Hauptbericht ersichtlich.

Inhaltliche Tätigkeiten und Arbeitsschritte

Erhebung des aktuellen technologischen und wissenschaftlichen Standes

Die Erhebung des aktuellen marktbezogenen und wissenschaftlichen Standes zu Beleuchtungstechnologien in Bezug zu öffentlichen Räumen erfolgte mittels eines multimodalen Ansatzes aus Projektevaluierungen, Literaturrecherchen und bilateralen Gesprächen zur produzierenden Industrie. Der Ansatz verfolgte das Ziel, ein umfassendes Bild von sowohl aktuell verfügbaren Beleuchtungstechnologien und ihrer gegenwärtigen Verbreitung als auch von zukünftigen und noch in der Forschung befindlichen Ansätzen zu gewinnen.

Erfassung der relevanten Technologien

Die bestehenden technologischen Ansätze für Beleuchtungen im öffentlichen Raum wurden dabei mittels einer systematischen Analyse von Produktportfolios verschiedener Hersteller von Außenraumbelichtung identifiziert. Um in diesem Prozess eine möglichst umfangreiche Abbildung bestehender Ansätze zu erreichen, wurden sowohl Hersteller aus dem Bereich architektonisch-dekorativer (u.a. iGuzzini, Bega, Erco, Hess, Luce&Light, Reggiani und Artemide) als auch technischer Beleuchtung (u.a. Siteco, Schröder, ACE illuminazione und Ewo) berücksichtigt. Zudem wurden explizit auch kleinere Hersteller von Außenraumbelichtungen in die Analyse miteinbezogen, um potenziell innovativen, jedoch nicht massenfertigungstauglichen Ansätzen ausreichend Beachtung zu schenken. Die analysierten Produkte der Einzelportfolios unterlagen in diesem Prozess keinerlei auf explizite Anwendungsbereiche orientierte Beschränkungen und umfassten dementsprechend neben Straßenbelichtungen auch Lösungen zur Beleuchtung von Gebäuden und Objekten, Wegen, Plätzen, Parkplätzen und Fußgängerzonen. Im Analyseprozess wurden alle angebotenen und auf die Beleuchtung von Außenräumen bezogenen Produkte einem qualitativen und multidimensionalen Klassifikationsprozess zugeführt (**Tabelle 1**). Die Einzelportfolios wurden dabei in Bezug zu den Aspekten Optiktechnologie, Lichtqualität, Interoperabilität, Wartungsfreundlichkeit, Konnektivität, Produktionsmethode und Umweltauswirkung bewertet, indem die angebotenen Funktionalitäten aufgelistet und in Bezug zur Portfolioverfügbarkeit geprüft wurden.

Tabelle 1 Angewandtes Klassifikationsschema zur qualitativen und multidimensionalen Bewertung bestehender Produktportfolios.

Kategorie	Unterkategorie	Bewertungskriterium
Leuchtentyp	Funktion der Leuchte	technisch / dekorativ
	Spezialitäten	kundenspezifische Designs, Retrofit o.ä., Einzigartigkeit der Leuchte
Optiktechnologie	optische Technologie	Anteil von Linsen und Reflektoren
	optische Effizienz	Ausreichen der Anwendungseffizienz
	Modularität des Systems	Anzahl der unterstützten Anwendungen, Verfügbarkeit verschiedener Optiken
	Ausblendung	Beachtung von Blendung und Streulicht
	LED-Typ	Nutzung von High-Power /Mid-Power
	Systemkonzept	Passgenauigkeit LED / Optik / Anwendung
	Verfügbare Accessoires	Anpassbarkeit der Leuchte
	Power by Cluster/Array	Anteil von Einzeloptiken und Linsenarrays
Lichtqualität	Dynamische LVK	Verfügbarkeit verschiedener LVKS
	Array Effekte	Auftreten Farbschatten / Multischatten
	Farbeffekte	Color-over-Source / Color-over-Angle
	Farbwiedergabe	angebotene CRI-Varianten
	Optimiertes Spektrum	Verfügbarkeit spezieller Spektren
Interoperabilität	Standardisierung	unterstützte Standards (z.B. Zhaga)
	Kompatibilität	Kompatibilität mit anderen Herstellern
Wartungsfreundlichkeit	Werkzeuglose Wartung	Aufwand der Wartung
	Sanierungseinsätze	Anpassbarkeit der Leuchte für Sanierungen
Konnektivität	Sensorik	Nutzbarkeit von Sensoren
	Multifunktionalität	Verfügbarkeit erweiterter Funktionalitäten
	Verkabelungsaufwand	Anbindung der Leuchte über Funk/Kabel
	Fernwartung	Verfügbarkeit von Fernwartung
Produktionsmethode	Ressourcen	Beachtung des Materialeinsatzes
	Materialien	Nutzung biobasierter Materialien
	Nachhaltigkeit	Verfügbarkeit von Zertifikaten
	Zirkulare Wirtschaft	Verfügbarkeit von Ersatzteilen, Wiederverwertung
Umweltauswirkung	Lichtverschmutzung	Reduktion von Emissionen
	Energetische Einsparmethoden	Nutzung von Energy Harvesting oder intelligenten Steuerungsverfahren

Alle in diesem Prozess angewandten Bewertungskriterien wurden vor dem Klassifikationsprozess festgelegt und umfassten neben allgemeinen Beleuchtungskriterien wie angebotenen Farbtemperaturbereichen oder Ansätzen zur Ausblendung auch relevante zukunftsorientierte Funktionalitäten wie dynamischen Lichtverteilungen, welche auf Basis vorhandenen Wissens angenommen wurden. Zudem beinhaltete die Erfassung unter anderem auch den Einsatz von biogenen Materialien zur Herstellung von Beleuchtungskomponenten, Konzepte zur Reduktion des Energieverbrauchs (bspw. die Anwendung von Energy Harvesting, Sensorik oder intelligenten Steuerungsverfahren) und angebotenen Funktionalitäten zukunftsweisender Steuerungskonzepte unter Beachtung von 5G und 6G (z.B. IoT).

Die so erfassten Informationen wurden anschließend auf Basis der Verfügbarkeit in den Produktportfolios in ihrer Verbreitung bewertet. Zudem wurden die aktuellen Ansätze auf Basis internen Planungswissens sowohl technologisch als auch in Bezug zu ihrer Anwendbarkeit bewertet. Hierzu wurden beispielhaft verschiedene öffentlich abrufbare lichtbezogene Masterpläne (z.B. der Städte Wien und Berlin) herangezogen, um die projektbezogene Relevanz der technischen Aspekte abzuschätzen.

Abschließend wurden die Ergebnisse der qualitativen Analysen im Rahmen von bilateralen Gesprächen mit Vertretern der produzierenden Industrie abgeglichen, um einerseits die abgeleiteten Einschätzungen mittels Branchenvertretern abzusichern und andererseits zukunftsorientierte und eventuell in den Produktportfolios nicht direkt beinhaltete technologische Entwicklungen in den grundlagenorientierten Erfassungsprozess mitaufzunehmen.

Erfassung des wissenschaftlichen Standes

Der aktuelle wissenschaftliche Stand wurde mittels klassischer Literaturrecherchen abgeleitet und erfolgte in Bezug zu folgenden für Außenraumbelichtungen maßgeblich relevanten Themenkomplexen:

- Verkehrssicherheit, Sicherheitsempfinden und urbane Attraktivität
- Licht und Gesundheit
- Interoperabilität und Technologiesouveränität
- Energieeffizienz und Ressourcenschonung, sowie
- Umweltverträglichkeit und Biodiversität

Für jeden der thematischen Bereiche wurde dabei im Abgleich zu aktuellen Normen, Richtlinien und Empfehlungen der wissenschaftliche Erkenntnisstand mittels aktueller

Publikationen erfasst. Publikationen von Institutionen wie der Deutschen und Österreichischen Lichttechnischen Gesellschaft, der International Dark Sky Association oder der Österreichischen Umweltschutzgesellschaft wurde in diesem Prozess gesonderte Aufmerksamkeit beimessen. Die wissenschaftliche Recherche von aktuellen Publikationen, welche im Analyseprozess eingeschlossen wurden, erfolgte vorrangig unter Nutzung der freien Suchmaschine Google Scholar. Angewandte Suchkriterien wurden dabei vorrangig unter Nutzung applikationsbezogenen Wissens formuliert. Aus ressourcenbezogenen Gründen in Bezug zum übergeordneten Umfang der inhaltlichen Fragestellungen wurde dabei kein systematischer Erhebungsprozess in der Literatursuche angewandt.

Im Rahmen des Analyseprozesses wurden alle erfassten Publikationen qualitativ in ihrer Aussage bewertet. Die Ergebnisse zu den Einzelpublikationen wurden anschließend systematisch und themenbezogen gelistet, gegenseitig abgeglichen und intern konsolidiert. Die Konsolidierung erfolgte dabei unter Nutzung internen Wissens. Die auf diesem Arbeitsschritt bezogenen Ergebnisse werden innerhalb des Hauptberichts auch zur erweiterten Darstellung der in den Abschnitten **Thematische Herausforderungen** und **Technologische Potenziale** einleitenden Beschreibungen der Themenbereiche angeführt.

Ableitung potenzieller Kerntechnologien

Im Abgleich der Einzelergebnisse mit Bezug auf den jeweiligen aktuellen marktbezogenen und wissenschaftlichen Stand wurden anschließend systematisch maßgebende Kerntechnologien abgeleitet, welche ein möglicherweise erhöhtes Potenzial zur Adressierung von Problemstellungen eines oder mehrerer Themenkomplexe aufwiesen. Hierfür wurden die für Außenraumbelichtungen relevanten Themenfelder auf gegenläufige Anforderungen untersucht, darauf basierende Spannungsfelder im Abgleich zum wissenschaftlichen Erkenntnisstand abgeleitet und mögliche Zukunftspotenziale und Limitationen formuliert (**Tabelle 2**).

Auf Basis der erzielten Beschreibungen konnten anschließend in Bezug zur vorhergehenden Marktrecherche sechs Kerntechnologien identifiziert werden, welche die Themenkomplexe sowohl hinsichtlich von Potenzialen als auch Limitationen adressieren. Die identifizierten Kerntechnologien beschränken sich dabei nicht auf einzelne Themenkomplexe, sondern stehen als technologische Maßnahme im Abgleich zu mehreren potenziellen Problembereichen, in welchen sie zukunftsorientiert eine Wirksamkeit aufzeigen können.

Tabelle 2 Themenbezogene Spannungsfelder, Zukunftspotenziale und Limitationen, welche zur Ableitung der Kerntechnologien herangezogen wurden.

Themenkomplex	Ziel	Spannungsfeld	Potential / Limitation
Endnutzer:in (Licht und Gesundheit)	Reduktion von schädlichen Wirkungen auf den Menschen	Nicht-visuelle vs. Visuelle Anforderungen	Auflösung durch verbesserte od. variable LVKs, dynamische Dimmung / erhöhte Produktkomplexität
Endnutzer:in (subjektive und objektive Sicherheitsfaktoren)	Gleichmäßigere bzw. erhöhte normative Anforderungen	Sicherheitsempfinden vs. Energieverbrauch	Bindende Forderungen von Normen führen zu erhöhten Stückzahlen / erhöhte Betriebskosten
Nachhaltigkeit (Energieeffizienz)	Dimmung bzw. Abschaltung bei fehlender Nutzung	Energieeinsparung vs. Sicherheitsempfinden	Auflösung durch moderne Technologien (Sensorik, Vernetzung) / Interoperabilitätsprobleme
Nachhaltigkeit (Ressourcenschonung)	Steigerung der Wiederverwertbarkeit und Entsorgbarkeit	Biogene Materialien vs. Langlebigkeit und Kosteneffizienz	Reduktion von Umweltbelastungen / Widerspruch zu Produktanforderungen
Technologie (Interoperabilität und Souveränität)	Erhöhung der Interoperabilität und Wartbarkeit	Modularisierung von Teilkomponenten vs. Proprietät	Auflösung durch Spezifikation von Schnittstellen / Reduktion von USP von Unternehmen
Technologie (Urbane Attraktivität und Lichtqualität)	Verbesserung der Beleuchtungsqualität (z.B. Multischatten)	Subjektives Attraktivitätsempfinden vs. Produktkomplexität	Auflösung durch verbesserte/variable LVK, Einsatz von Mikro-/Nano-Strukturen im Kontrast zu Kosten/Nutzen
Umweltverträglichkeit (Biodiversität)	Reduktion von schädlichen Wirkungen auf die Tierwelt	Artenschutz vs. Visueller Qualität und Aufenthaltsqualität	Auflösung durch moderne Technologien (Sensorik, Vernetzung) / führt zu erhöhter Produktkomplexität
Umweltverträglichkeit (Lichtemission)	Reduktion von nicht notwendigen Lichtemissionen	Applikationsspezifische Lösungen vs. Planungsmöglichkeiten	Auflösung durch individualisierte LVKs bzw. Planungsprozesse, dynamische Dimmung / erhöhte Kostenfaktoren

Kerntechnologie 1: Adaptive spektrale Kompositionen

Speziell der Bereich der LED-Technologie hat in den letzten Jahren maßgebliche Entwicklungsschritte erzielt. So haben sich sowohl in Bezug zur Energieeffizienz, der visuellen Qualität als auch im Bereich der Komponentenminiaturisierung Beleuchtungen maßgeblich verbessert und die Entwicklung neuer Konzepte und -produkte ermöglicht, welche unter Einsatz herkömmlicher Leuchtmittel umsetzbar gewesen wären. Trotz der erweiterten Möglichkeiten, werden heute in Außenbereichen jedoch fast ausschließlich weiße LEDs in einer Farbtemperatur verbaut. Sowohl die Potenziale spezieller Spektren als auch von Tunable White Lösungen werden dementsprechend noch nicht ausreichend adressiert.

- Die Nutzung der Vorteile verschiedener Farbtemperaturbereiche stellt jedoch gleichzeitig auch erhöhte Anforderungen an Steuerungen und optische Komponenten hinsichtlich Farbmischung.
- Während der Einsatz spezieller Spektren spezifisch an die Bedürfnisse einer dezidierten Gruppe von Raumnutzern angeglichen werden kann (z.B. in Bezug zur spektralen Empfindlichkeit einer spezifischen Spezies), ergeben sich gleichzeitig jedoch auch potenziell negative Aspekte für andere Nutzer:innen (z.B. ein verändertes Stadtbild oder eine reduzierte visuelle Lichtqualität).

Kerntechnologie 2: Adaptive Lichtverteilungskurven

Öffentliche Bereiche unterliegen meist unterschiedlichsten Anforderungsprofilen, welche sich nicht nur zwischen den Applikationsbereichen, sondern auch innerhalb einer Applikation zu unterschiedlichen Zeitpunkten (z.B. bei nasser und trockener Fahrbahn) verschieden ausprägen können. Sowohl im Hinblick auf wahrnehmungsrelevante Zielkriterien als auch in Bezug zur Umweltverträglichkeit kann sich eine Anpassung der Lichtverteilungen nach aktuellen Anforderungsverhältnissen als nützlich erweisen.

- Adaptive Lichtverteilungskurven stellen aktuell in allen Anwendungsfeldern der Beleuchtung eine maßgebliche Herausforderung dar. Aktuelle Umsetzungen nutzen dabei meist mehrere Leuchten, die je nach Anforderung ein- oder ausgeschaltet werden, was sich speziell in Bezug zum Ressourceneinsatz negativ auswirken kann.
- Eine weitreichende Adressierung der Potenziale erfordert gleichzeitig die Integration der Funktionalität auf mehreren Ebenen (optische Komponente, Ausschluss mechanischer Systeme, softwareseitige Steuerbarkeit), um die Kosten- und Ressourceneffizienz zu steigern, die Langlebigkeit der Systeme zu gewährleisten und eine Echtzeit-Anpassung an wechselnde Rahmenbedingungen zu ermöglichen.

Kerntechnologie 3: Nanotechnologie-basierte Optikkomponenten

Mit dem Fortschreiten aktueller Herstellungsmöglichkeiten werden zunehmend neue Fertigungsverfahren für Allgemeinbeleuchtungen verfügbar, welche photonische Möglichkeiten in aktuell noch nicht adressierbaren Skalierungsbereichen ermöglichen (z.B. mittels 2-Photonen-Druck oder Lithografien). Eine Reduktion des Skalierungsfaktors könnte speziell im Hinblick auf die energetische Effizienz von Beleuchtungssystemen maßgebliche Potenziale aufweisen, indem nicht nur die Effizienz optischer Systeme gesteigert, sondern auch eine Verbesserung der lichtlenkenden Eigenschaften erreicht werden könnte.

- In Bezug zu applikationsspezifischen Anforderungen erweisen sich gerichtete Beleuchtungssysteme gegenüber diffus abstrahlenden Systemen aufgrund ihrer lichtlenkenden Eigenschaften immer als effizienter. Die aktuell erreichbaren Effizienzgrade der Systeme erweisen sich jedoch in Bezug zur notwendigen Facettengröße durch herkömmliche Fertigungsverfahren als begrenzt.
- Aktuelle nanotechnologische Verfahren sind jedoch noch nicht auf die Fertigung hochkomplexer Oberflächenstrukturen ausgelegt. Dementsprechend erweisen sich nanotechnologische Optikkomponenten noch nicht als in der Beleuchtungstechnik verankert und weder die Potenziale noch die zielführende Verankerung in bestehende Produkte wurden bereits vollumfänglich evaluiert.

Kerntechnologie 4: Sensorik und bedarfsgerechte Beleuchtung

Der vorrangige Umwelteinfluss von Beleuchtungssystemen verortet sich aufgrund des hohen energetischen Verbrauchs hauptsächlich im Betrieb von Systemen. Trotz der breiten Verfügbarkeit von Sensoren und darauf bezogenen standardisierten Schnittstellen, werden heute jedoch meist niederschwellige und zeitbasierte Systemkonzepte zur Reduktion des Energieverbrauchs verfolgt. Echtzeitsteuerungen erlauben die erweiterte Adressierung von bedarfsorientiert bereitgestellten Beleuchtungsstärken und bergen dementsprechend ein maßgebliches Potenzial zur energetischen Optimierung.

- Gegenüber niederschwelliger Steuerungsansätze führt die Integration von Sensorik aufgrund des Skalierungsfaktors öffentlicher Beleuchtungssysteme zu einer signifikanten Erhöhung der übergeordneten Systemkomplexität mit potenziell erhöhten Wartungsfaktoren.
- Trotz bestehender Schnittstellenspezifikationen erweisen sich sensorbasierte Steuerungen meist von geringer Interoperabilität. Dies stellt im Hinblick auf die Technologiesouveränität und Langzeitverfügbarkeit ein maßgebliches Hindernis dar.

Kerntechnologie 5: Erweiterte Systemvernetzung

Viele der aktuell maßgeblichen technologischen Ansätze zur Reduktion des Energieverbrauchs oder Bereitstellung intelligenter Funktionalitäten basieren auf der Vernetzung von Teilkomponenten größerer Systeme. Mit dem zunehmenden Ausbau der darauf bezogenen Infrastrukturen (z.B. WiFi-Verfügbarkeiten und 5G) finden diese Ansätze auch vermehrten Anklang in verschiedensten Bereichen der Gebäude- und Beleuchtungstechnik. Speziell unter dem Deckmantel des Internet of Things (IoT) eröffnen sich dabei für Außenraumbeleuchtungen neue Möglichkeiten, die von der Fernüberwachung der einzelnen Teilkomponenten mittels digitaler Zwillinge bis hin zu Verteilung von Informationen innerhalb des Systems zu proaktiven Steuerungsansätzen reichen.

- Aufgrund der großen Anzahl von Endknoten im öffentlichen Raum und bestehenden technologischen Einschränkungen (z.B. fehlender Infrastruktur oder geringer Protokollreichweiten) sind vernetzte Lösungen aktuell jedoch nicht State of the Art.
- Zudem erschweren hohe Anforderungen an Ausfallsicherheit und fehlende Spezifikationen und Interoperabilitäten die nachhaltige Auslegbarkeit vernetzter Systeme.

Kerntechnologie 6: Maschinelles Lernen

Die neuen algorithmischen Ansätze aus dem Bereich maschinellen Lernens und künstliche Intelligenz stellen ihre Potenziale aktuell in verschiedensten Bereichen eindrucksvoll unter Beweis. Speziell im Bereich der Außenraumbeleuchtung, welcher sich über vielfältige und teilweise stark gegenläufige Anforderungskriterien definiert, kann diese Technologie potenziell maßgeblich zur Verbesserung aktueller Ansätze beitragen, indem eine vollumfängliche Adressierung der bestehenden Komplexität ermöglicht wird.

- Die Nutzung der Modelle erfordert jedoch weitreichende Datenerhebungen im Betrieb und resultiert auch in Bezug zu ethischen und gesetzlichen Aspekten in vollkommen neuen Fragestellungen. Zudem ist es aufgrund der Notwendigkeit einer autonomen Entscheidungsfindung ohne manuelle Interventionsmöglichkeit ungewiss, inwiefern ein wahrscheinlichkeitsbasierter oder statistischer Entscheidungsprozess in sicherheitsrelevanten Applikationsfeldern angewandt werden kann.
- Viele der Ansätze erfordern den Einsatz bildgebender Sensorik in öffentlichen Außenbereichen und stellen damit speziell unter Beachtung der durch die DSGVO beschriebenen, erweiterten Grundrechte von Endnutzern einen schwerwiegenden Eingriff in die Privatsphäre dar.

Identifikation einschränkender Einflussfaktoren

Im Abgleich zu den Anforderungen der relevanten Themenkomplexe wurde anschließend mit Bezug auf die abgeleiteten Kerntechnologien ein Fragenkatalog abgeleitet, welcher im Zuge einer Online-Befragung zur Quantifizierung von sowohl technologischen Potenzialen als auch umsetzungsrelevanten limitierenden Faktoren entlang der Wertschöpfungskette herangezogen wurde. Zur möglichst vollständigen Evaluierung der Kerntechnologien erfolgte die Online-Befragung unter Einschluss aller an der Umsetzung beteiligten Interessensgruppen. Insgesamt wurden drei Fragekataloge erstellt, welche sich an unterschiedliche Rezipienten richteten (Tabelle 3). Die formulierten Projekthinhalte wurden dabei mittels der Befragung umsetzungsrelevanter Interessensgruppen abgeleitet. Die Fragebögen zur Adressierung von Privatpersonen und Wissenschaftlichen Einrichtungen wurden im Projektverlauf aus ressourcenbezogenen Gründen in der Akquise nicht fokussiert und boten dementsprechend keine ausreichende Repräsentativität zur Analyse. Die Informationen, beider Gruppierungen wurden deswegen in den vorliegenden Bericht nicht eingeschlossen.

Tabelle 3 In der Online-Befragung adressierte Zielgruppen und darauf bezogene vorrangige Befragungsaspekte.

Zielgruppe	Vorrangiger Befragungsaspekte
Endnutzer:innen (Privatpersonen)	Aktueller Wissensstand in der Bevölkerung, Akzeptanz gegenüber beleuchtungsbezogenen Maßnahmen zum Umweltschutz
Gebietskörperschaften	Aktueller Ist-Stand und Strategie, Abgleich von Nachhaltigkeitsaspekten und der Erwartungshaltungen in der Bevölkerung
Lichtplanung	Knowhow zur Verfügbarkeit von Technologien und deren Einsatz, Planungs- und Produktkomplexität von Maßnahmen zum Umweltschutz
Produzierende Industrie	Umsetzbarkeit technologischer Möglichkeiten in breite Produktverfügbarkeiten, Einstellung zu aktuellen technologischen Trends
Netzbetreiber	Relevante Faktoren für den Betrieb und die Endentsorgung von Systemen, Wartungsaspekte bei erhöhter Produktkomplexität
Gremien & Normierung	Bewertung des aktuellen Stands der Normung, Übersetzbarkeit bestehenden Wissens in Normen und Richtlinien
Gutachter:innen	Bewusstsein von Themenkomplexen in bewerteten Planungsumsetzungen, Notwendigkeit zur Erhöhung des allgemeinen Wissensstandes
Wissenschaft & Forschung	Einschätzung der normativen Verwertbarkeit wissenschaftlicher Ergebnisse, maßgeblichen Wissenslücken zur Überführung

Im Folgenden werden die einzelnen Fragebögen zielgruppenbezogen hinsichtlich ihres strukturellen Aufbaus und der übergeordneten Fragestellungen beschrieben. Zudem werden die unternommenen Tätigkeiten zur Akquise der Befragungsteilnehmer angeführt. Eine vollständige Liste aller formulierten Fragestellungen wird aus Platzgründen und zur Förderung der Übersichtlichkeit der Ergebnisse nicht in den vorliegenden Anhang aufgenommen. Der vollständige Fragenkatalog kann dem beigefügten **Anhang B: Einzelergebnisse der Interessensgruppenbefragung** entnommen werden.

Nebenzielgruppe 1: Endnutzer:innen

Die Befragung der Endnutzer:innen adressierte die Allgemeinbevölkerung auf ausschließlich österreichischer Ebene. Potenzielle Teilnehmer aus anderen Staaten wurden mittels einer Screening-Frage auf der ersten Umfrageseite von der weiteren Befragung ausgeschlossen. Übergeordnet fokussierte die Befragung dabei auf die Quantifizierung des allgemeinen Wissensstandes der Bevölkerung zur Relevanz von Außenbeleuchtungen in Bezug zu den formulierten Themenkomplexen, der Akzeptanz gegenüber beleuchtungsspezifischen Maßnahmen zur Förderung des allgemeinen Umweltschutzes, sowie der Bereitschaft individuelle oder persönliche Aspekte zugunsten von Umweltschutzaspekten zurückzustellen.

Insgesamt wurden zur Befragung 45 Einzelfragen formuliert, welche in 5 dezidierte Frageblöcke kategorisiert wurden. Die vollständige Beantwortung aller Fragen nahm durchschnittlich ca. 20 Minuten in Anspruch. Die einzelnen Blöcke wurden jeweils auf einer Seite der Online-Umfrage präsentiert und adressierten folgende Themenbereiche:

- **Soziodemographische Daten** (10 Fragen): Alter, Geschlecht, Bildungsgrad, persönliche Interessen und potenziell relevante Einschränkungen
- **Lichtbedürfnis, Nutzung nächtlicher Beleuchtung und urbanes Umfeld** (7 Fragen): Charakterisierung des Wohnumfelds, der nächtlichen Nutzung von Außenbereichen und Transportmitteln, sowie von lichtbezogenen Individualfaktoren
- **Aktuelle Lichtqualität und Attraktivität von urbanen Räumen** (8 Fragen): Einschätzung der aktuellen Qualität österreichischer Außenraumbeleuchtungen in Bezug zum charakterisierten Nutzungsumfeld
- **Haltung gegenüber Nachhaltigkeit und Umweltschutz** (6 Fragen): Allgemeine Einstellung gegenüber klima- und umweltschutzspezifischen Aspekten
- **Wissensgrad in der Bevölkerung und Akzeptanz von Maßnahmen** (14 Fragen): Persönlicher Wissensstand zu beleuchtungsrelevanten Faktoren und der Akzeptanz gegenüber potenziellen Maßnahmen zur Steigerung der Umweltverträglichkeit

Die Rekrutierung der Umfrageteilnehmer erfolgte sowohl über interne Verbreitungsmethoden als auch durch die Nutzung von vorhandenen Kontakten zu potenziellen Studienteilnehmer:innen. Zudem wurden unter Nutzung von LinkedIn, Facebook und Instagram gezielte Social Media Kampagnen während des gesamten Projektverlaufs durchgeführt, um potenzielle Teilnehmer:innen zu adressieren. Schlussendlich konnten fachbezogene und städtebezogene Kanäle der Plattform Reddit genutzt werden, um eine potenziell breite Zielgruppe direkt anzusprechen. Alle diesbezüglich getätigten Posts wurden vorher mit den Moderator:innen abgestimmt und freigegeben.

Nebenzielgruppe 2: Wissenschaft und Forschung

Der Fragebogen adressierte sowohl universitäre, außeruniversitäre als auch unternehmensbezogene wissenschaftliche Einrichtungen und Abteilungen auf internationaler Ebene. Trotz des Ziels eine breit gefächerte Einschätzung der wissenschaftlichen Relevanz der beforschten Themenfelder im Kontext der Außenraumbeleuchtung abzuleiten, wurde die Umfrageteilnahme auf Forschungsfelder begrenzt, welche einen direkten Bezug zu den inhaltlichen Zielen des Projekts aufwiesen. Einschlusskriterien waren diesbezüglich eine Beschäftigung mit der Wirkung äußerer Einflüsse auf Menschen, Tiere und/oder Pflanzen, der Adressierung von Nachhaltigkeitsaspekten, der Konzipierung und/oder Gestaltung gebauter Umgebungen, sowie der Erforschung neuer Technologien in den Bereichen Digitalisierung, Materialien und Herstellungsprozesse. Potenzielle Teilnehmer aus anderen Bereichen wurden mittels einer Screening-Frage auf der ersten Umfrageseite von der weiteren Befragung ausgeschlossen.

Abbildung 1 Beispielhafte Darstellung des Präsentationsdesigns der Online-Umfrage.

Bartenbach
THE LIGHTING INNOVATORS

Später fortfahren Sprache: Deutsch - Deutsch

0%

Zunächst würden wir gerne etwas mehr über Sie, Ihre Tätigkeiten und Ihre Aufgabenfelder erfahren.

Wie alt sind Sie?

Jahre

Welchem Geschlecht fühlen Sie sich zugehörig?

männlich weiblich divers anderes

Übergeordnet fokussierte die Befragung auf die Quantifizierung des Wissensstandes der Forscher:innen zur Relevanz des beforschten Themenfeldes in Bezug zur Außenraumbeleuchtung und dem Transfergehalt der Forschung mit speziellem Hinblick auf normative und applikationsbezogene Faktoren. Insgesamt wurden zur Befragung 30 Einzelfragen formuliert, welche in 4 dezidierte Frageblöcke kategorisiert wurden. Die vollständige Beantwortung aller Fragen nahm durchschnittlich ca. 15 Minuten in Anspruch. Die einzelnen Blöcke wurden jeweils auf einer Seite der Online-Umfrage präsentiert und adressierten folgende Themenbereiche:

- **Soziodemographische Daten** (11 Fragen): Alter, Geschlecht, Bildungsgrad, Forschungsbereich und inhaltliche Tätigkeiten
- **Forschungsrahmen, Finanzierung und Relevanz** (7 Fragen): Rolle der Beleuchtung im Forschungsfeld und Anreizwirkung von dezidierten Fördermitteln
- **Marktrelevanz und thematische Zielfragen** (6 Fragen): Einschätzungen zur Relevanz des Forschungsfelds in Bezug zu Außenraumbeleuchtungen und der Überführung von Forschungsergebnissen in Realanwendungen
- **Persönliche Haltung zu wissenschaftlichen Aufgaben und gesellschaftlichen Problemen** (6 Fragen): Allgemeine Einstellung gegenüber klima- und umweltschutzspezifischen Aspekten in der Wissenschaft

Die Rekrutierung der Umfrageteilnehmer erfolgte vorrangig durch die Nutzung von vorhandenen Kontakten des zur Verfügung stehenden Forschungsnetzwerks, sowie unter Nutzung dezidierter Mailinglisten, welche mittels Online-Recherchen und basierend auf den eingangs durchgeführten Literaturrecherchen abgeleitet wurden. Zudem wurden unter Nutzung von LinkedIn, Facebook und Instagram Social Media Kampagnen während des gesamten Projektverlaufs durchgeführt, um potenzielle Teilnehmer:innen zu adressieren.

Hauptzielgruppe: Interessensgruppen für Außenraumbeleuchtung

Die restlichen Zielgruppen (siehe auch [Tabelle 3](#)) wurden im Rahmen eines kombinierten Fragenkatalogs adressiert. In Abhängigkeit zur jeweiligen Interessensgruppe erfolgte die Akquisition der Umfrageteilnehmer:innen dabei sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene. In Bezug zur Zielgruppe der Gebietskörperschaften wurde die Umfrageteilnahme auf Länder mit vergleichbaren normativen Grundlagen beschränkt. Potenzielle Teilnehmer aus anderen Staaten wurden mittels einer Screening-Frage auf der ersten Umfrageseite von der weiteren Befragung ausgeschlossen. Bei allen anderen Zielgruppen wurden keine Ausschlusskriterien angewandt.

Übergeordnet fokussierte die Befragung dabei auf die Quantifizierung des aktuellen Ist-Stands bei der Adressierung der für Außenbeleuchtungen relevanten Themenfelder, der Potenzialbewertung der erarbeiteten Kerntechnologien, sowie der Einschätzung maßgeblicher gruppeninterner Hinderungsfaktoren und des transdisziplinären Verständnisses. Trotz dieser auf übergeordneter Ebene für alle befragten Gruppen gleichen Zieldefinition erfolgt die Befragung unter spezieller Beachtung der Anforderungen und Aufgabenbereiche der einzelnen Zielgruppen. Einzelne Fragenblöcke wurden diesbezüglich trotz der gleichen inhaltlichen Absichten gruppenbezogen formuliert. Auf eine Vergleichbarkeit der Antworten trotz unterschiedlicher Fragestellungen wurde geachtet. Insgesamt wurden zur Befragung pro Gruppe ca. 70 Einzelfragen formuliert, welche in 6 dezidierte Frageblöcke kategorisiert wurden. Die vollständige Beantwortung aller Fragen nahm durchschnittlich ca. 25 Minuten in Anspruch. Die einzelnen Blöcke wurden jeweils auf einer Seite der Online-Umfrage präsentiert und adressierten folgende Themenbereiche:

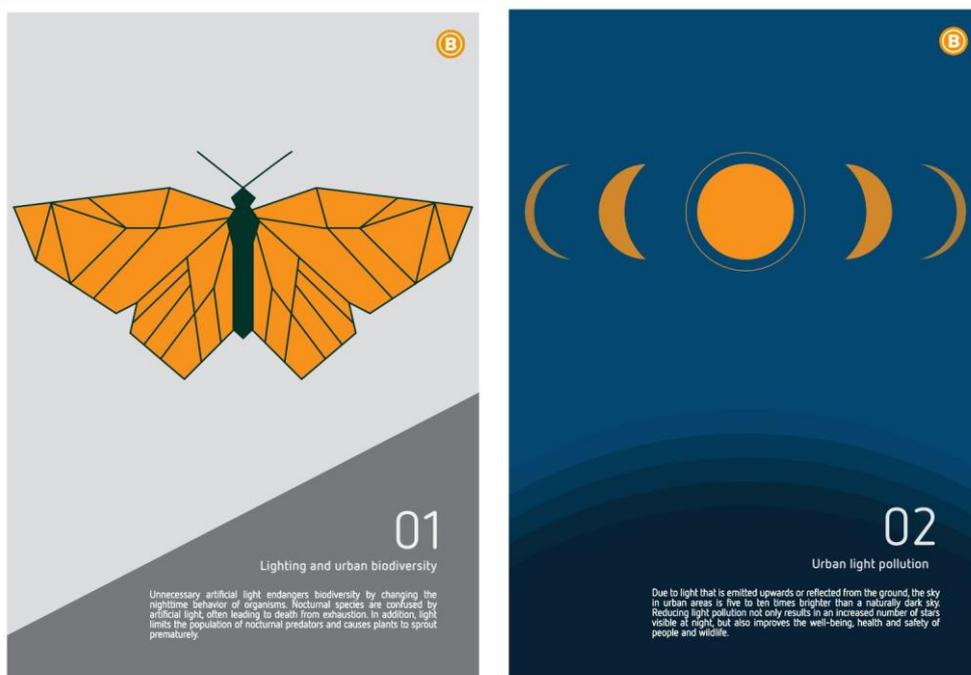
- **Sozio-demographie und gruppenspezifische Charakterisierung** (11-15 Fragen / gruppenabhängig): Alter, Geschlecht, Bildungsgrad, Tätigkeitsbereich und gruppenspezifische Angaben
- **Thematische Relevanz und Umweltbewusstsein** (5 Fragen / gruppenunabhängig): Relevanz und Verantwortung gegenüber Klima- und Umweltschutzaspekten
- **Aktueller Ist-Stand und Zukunftsstrategien** (6-11 Fragen / gruppenabhängig): Einsatz von Beleuchtungssystemen, Verfügbarkeiten von Produkten, Planungsansätze und gruppenspezifische Zukunftsstrategien
- **Marktrelevanz, thematische Zielfragen und gruppeninterne Hinderungsfaktoren** (6-10 Fragen / gruppenabhängig): Bewusstsein und Adressierung von Problemstellungen, Bewertung von Limitationen bei deren Adressierung
- **Technologische Einschätzung** (11 Fragen / gruppenunabhängig): Potenzial- und Limitationsbewertung der erarbeiteten Kerntechnologien
- **Gruppenübergreifende Hinderungsfaktoren** (8-9 Fragen / gruppenabhängig): Einschätzung der Limitationen anderer Interessensgruppen

Die Rekrutierung der Umfrageteilnehmer:innen erfolgte aufgrund der starken Gruppenabhängigkeit mittels mehrerer unterschiedlicher Kanäle. Zum einen wurden Inserate in fachbezogenen Newslettern lichttechnischer Vereinigungen (z.B. LTG Österreich, LiTG Deutschland, Photonics Austria, CIE) und Zeitschriften (z.B. LICHT) genutzt, welche grundsätzlich eine erhöhte Reichweite in der lichttechnischen Branche aufweisen. Darüber hinaus wurden dezidierte gruppenabhängige Mailing Lists auf Basis von durch Fachverbände (z.B. licht.de, Umweltschutzverbände) und Online-Verzeichnisse (z.B. Gutachterverzeichnis,

Gemeindekontaktdaten) bereitgestellten Informationen und Online-Recherchen abgeleitet und zur E-Mail-basierten Direktrekrutierung eingesetzt. Zudem wurden unter Nutzung von LinkedIn, Facebook und Instagram dezidierte Social Media Kampagnen während des gesamten Projektverlaufs durchgeführt, um potenzielle Teilnehmer:innen zu adressieren.

Zuletzt wurden fachbezogene Events genutzt, um über direkte Ansprache potenzieller Interessenten Teilnahmen zu akquirieren. Unter anderem wurde hierfür die Light and Building genutzt, welche mit ihren mehr als 90.000 Besuchern und mehr als 15.000 Ausstellern, einen internationalen Branchentreffpunkt für Hersteller aus den Bereichen Licht, Elektronik, Haus – und Gebäudeautomation, sowie vernetzte Sicherheitstechnik darstellt. Um diesbezüglich eine möglichst große Breitenwirkung zu erzielen, wurde auch projektbezogenes Infomaterial im Postkartenformat erstellt. Insgesamt wurden 7 verschiedene Designs umgesetzt, von welchem jedes ein spezifisches Kernthema des Projekts widerspiegelte. Alle Postkarten besaßen eine kurze inhaltliche Beschreibung der unterschiedlichen Problemstellungen und konnten dementsprechend auch zur Steigerung der Awareness für den jeweiligen Themenbereich eingesetzt werden. Durch einen QR-Code auf der Rückseite wurde man zum Fragebogen weitergeleitet. Die Postkarten waren auf Deutsch und Englisch verfügbar und wurden auf der Light and Building verteilt.

Abbildung 2 Darstellung von zwei der insgesamt 7 unterschiedlichen Postkartendesigns welche im Projekt zur Akquise genutzt wurden.



Potenzialanalyse

Im Zuge der Potenzialanalyse wurden alle erfassten Kerntechnologien abschließend auf Basis der durch die Online-Befragung erhobenen Einschätzungen sowohl im Hinblick auf ihr Umsetzungspotenzial als auch den erwarteten Einfluss auf soziale, wirtschaftliche und umweltbezogene Nachhaltigkeitsaspekte bewertet und hinsichtlich einer Technology-Roadmap gereiht und zeitbezogen formuliert. Die Bewertung erfolgte dabei sowohl auf Basis des aus den Ergebnissen resultierenden applikationsspezifischen Potenzials als auch mittels der im Projekt identifizierten Einschränkungsfaktoren, um ein umfassendes Abbild aller Bewertungsfaktoren zu gewährleisten. Ziel war es, die zu erwartenden technologischen und umweltbezogenen Potenziale sowohl qualitativ als auch quantitativ zu beachten. Für die Formulierung der daraus abgeleiteten Technology-Roadmap wurden vorrangig folgende zwei maßgebliche Faktoren zur Bewertung herangezogen:

- **Technologisches Disruptionspotenzial:** Die Kerntechnologien wurden hinsichtlich der zu erwartenden positiven Beiträge zur Förderung von Nachhaltigkeitsaspekten in verschiedenen Applikationsbereichen bewertet. Neben einer Betrachtung des öffentlichen Raumes fokussierte die Bewertung dabei insbesondere auch auf übertragbare Effekte auf potenzielle weitere Anwendungsfelder.
- **Adressierbarkeit von Nachhaltigkeitsaspekten:** Die Kerntechnologien wurden unter Beachtung der abgeleiteten marktbezogenen Beschränkungsfaktoren hinsichtlich ihres potenziellen Einflusses auf die Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeitsaspekten bewertet. Die Bewertung erfolgte dabei sowohl Bezug auf den erwarteten produktbezogenen ökologischen Footprint (z.B. Reduktion des Energie- oder Ressourcenverbrauchs), als auch mit Hinblick auf die Reduktion von negativen Umwelteinflüssen (z.B. Lichtverschmutzung, Einfluss auf die Biodiversität, Zirkadiane Störfaktoren).

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Angewandtes Klassifikationsschema zur qualitativen und multidimensionalen Bewertung bestehender Produktportfolios.	6
Tabelle 2 Themenbezogene Spannungsfelder, Zukunftspotenziale und Limitationen, welche zur Ableitung der Kerntechnologien herangezogen wurden.	9
Tabelle 3 In der Online-Befragung adressierte Zielgruppen und darauf bezogene vorrangige Befragungsaspekte.....	13

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Beispielhafte Darstellung des Präsentationsdesigns der Online-Umfrage.....	15
Abbildung 2 Darstellung von zwei der insgesamt 7 unterschiedlichen Postkartendesigns welche im Projekt zur Akquise genutzt wurden.	18

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 (0) 800 21 53 59

servicebuero@bmk.gv.at

bmk.gv.at