



Ingenieurbüro Stappenbeck GbR

Ihr Partner für Versorgungs- Energie- und Umwelttechnik

Beleuchtungskonzept für Liegenschaften des Wetteraukreises

Auftraggeber:

Wetteraukreis
Europaplatz
61169 Friedberg

Auftragnehmer:

IBS - Ingenieurbüro Stappenbeck GbR
In den Brunnenwiesen 10
69245 Bammental

Datum:

Februar 2020

INHALT

1. AUFGABENSTELLUNG	3
2. GRUNDLAGEN DER LICHTTECHNIK.....	4
2.1 Eigenschaften von Lichtquellen	6
2.2 Vorschaltgeräte	6
2.3 Lampenarten	6
2.4 Leuchtenarten	10
2.5 LED-Leuchtensysteme	11
2.6 Steuerung von Beleuchtungssystemen	11
2.7 Planung von Beleuchtungssystemen	12
3. UNTERSUCHTE EINRICHTUNGEN IM WETTERAUUKREIS.....	14
4. IST-ZUSTAND BELEUCHTUNG IN DEN UNTERSUCHTEN EINRICHTUNGEN.....	15
4.1 Exemplarische Bilddokumentation:.....	17
5. STRATEGIE- UND SANIERUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR OPTIMIERUNG DER BELEUCHTUNG	21
5.1 Stromersparnis mit T5-, T8- und LED-Röhren.....	21
5.2 Checkliste für den Um- bzw. Neubau von Beleuchtungssystemen	23
6. EMPFEHLUNG:	24

1. AUFGABENSTELLUNG

Zurzeit werden unterschiedliche Röhrenarten (LED, T8, T5) in den Liegenschaften verbaut. Es ist ein Konzept mit einem Standard für den Neueinbau und Austausch von Leuchtkörpern, auf Grundlage von Wirtschaftlichkeit und Energieeinsparung, zu entwickeln. Auch arbeitspsychologische Gesichtspunkte sollen betrachtet werden.

Es werden folgende Bereiche bearbeitet:

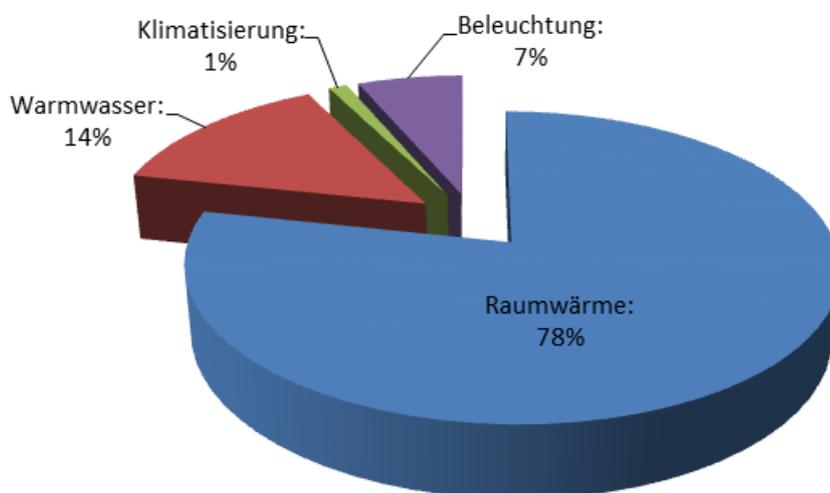
- Recherche und Darstellung der Beleuchtungsanforderungen für verschiedene Nutzungsarten
- Marktrecherche
- Entwicklung von Beleuchtungstypologien für den Gebäudepool

2. GRUNDLAGEN DER LICHTTECHNIK

Der gebäuderelevante Endenergieverbrauch schlüsselt sich nach Anwendungsbereichen auf:

Raumwärme:	2.517 Petajoule*
Warmwasser:	456 Petajoule*
Klimatisierung:	36 Petajoule*
Beleuchtung:	204 Petajoule*

*(1 Petajoule = 1.000 Terrajoule)



(Quelle: Umweltbundesamt)

Im Folgenden wird hieraus die Beleuchtung betrachtet, die in Deutschland rd. 7 % des gesamten Endenergieverbrauches einnimmt.

Bei der Beleuchtung von Arbeitsstätten in der Produktion, im Handel und in der Verwaltung werden heutzutage unterschiedlichste Licht- und Beleuchtungssysteme eingesetzt. Das hier relevante Grundlagenwissen soll im Folgenden kurz und übersichtlich zusammengefasst werden.

Neben dem flexiblen und möglichst automatisierten Einsatz von Tageslicht ist künstliches Licht eine unverzichtbare Größe für die Beleuchtung von Arbeitsstätten geworden. Voraussetzung für eine möglichst hohe Effizienz ist der sachgemäße Einsatz von Lampen und Technik in den passenden Leuchten, denn nur die genaue Abstimmung aufeinander führt zu den gewünschten Effekten. Während elektrische Lampen Leuchtmittel sind, die der Umwandlung von elektrischer Energie in sichtbare Strahlung dienen, bezeichnet man als Leuchte den ganzen Beleuchtungskörper mit dem optischen System und der Technik, d. h. alle für die Befestigung, den Schutz und den Leuchtenbetrieb erforderlichen Bauteile.

In der Beleuchtungstechnik wird zur Bewertung und Planung das Licht vor allem mit den vier lichttechnischen Grundgrößen Lichtstrom, Lichtstärke, Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte beschrieben.

Der **Lichtstrom** in Lumen ist eine Leistungsgröße und beschreibt die Abgabe von sichtbarer Strahlung einer Lichtquelle. Man kann über die Lichtausbeute in Lumen pro Watt beispielweise Lichtquellen mit Bezug auf ihre Strahlungsabgabe im sichtbaren Bereich miteinander vergleichen.

Die **Lichtstärke** in Candela beschreibt das entlang einer gedachten Linie fließende Licht. Mit Lichtstärkeverteilungskurven kann man die Ausstrahlungscharakteristik von Leuchten beschreiben.

Die **Beleuchtungsstärke** in Lux beschreibt, wie viel Licht auf eine Fläche oder einen Punkt auftrifft. Sie ist unter Näherung einfach berechenbar und wird oft zur Beschreibung bestimmter Helligkeitswerte herangezogen.

Die **Leuchtdichte** in Candela pro Quadratmeter stellt die Helligkeiten von leuchtenden oder beleuchteten Oberflächen dar, die in Richtung eines Beobachters wirken.

Die Auswahl der Lampen sollte unter folgenden Kriterien erfolgen:

Funktion

- Lampegeometrie und -abmessungen
- Lichtstromeinheit, Leistungsaufnahme
- Lichtfarbe
- Farbwiedergabeeigenschaften

Wirtschaftlichkeit

- Lichtausbeute
- Lebensdauer
- Anschaffungskosten

Betriebstechnik

- Umgebungsbedingungen (z. B. Temperatur)
- Zündverhalten (z. B. bei bestimmten Umgebungstemperaturen)
- Anlaufverhalten der elektrischen und lichttechnischen Größen
- Einfluss der Schalthäufigkeit
- Wiederzündverhalten nach Spannungsunterbrechung
- Dimmmöglichkeit
- Lampenflimmern, Vermeidung des Stroboskopeffekts
- Umgebungsbeeinflussung (Strahlung)

2.1 Eigenschaften von Lichtquellen

Künstliche Lichtquellen, also Leuchtmittel oder Lampen, haben unterschiedliche Eigenschaften. Die wichtigsten sind:

- Lichtstrom [lm]
- Lichtausbeute [lm/W]
- Farbeigenschaften des Lichts (Farbtemperatur [Tc], Farbwiedergabeindex [Ra bzw. CRI], Farbtoleranz)
- Lampenlebensdauer und Lichtstromrückgang
- Lampenabmessungen und Leuchtfäche
- Sockel
- Lichtverteilung und optisches System der Lampe

2.2 Vorschaltgeräte

Zum Betreiben vieler moderner Lichtquellen sind Vorschaltgeräte erforderlich. Im Betrieb von Lampe und Vorschaltgerät wird je nach Bauart auch vom Vorschaltgerät mehr oder weniger Energie benötigt.

Allgemein wird zwischen (magnetisch) konventionellen, verlustarmen und elektronischen Typen unterschieden. Die Lebensdauer der Lampen wird mit elektronischen Vorschaltgeräten in der Regel um einige tausend Stunden verlängert. Vor allem bei Leuchtstofflampen beeinflusst die Wahl des Vorschaltgerätes die gesamte Systemleistung und damit den Energieverbrauch sowie die Lebensdauer der Lampe.

LEDs und LED-Module müssen ebenfalls an Elektronische Vorschaltgerät (EVGs) betrieben werden (Ausnahme Hochvolt-LED-Module). Die zu versorgenden LEDs sind an die Netzteile und Treiber angepasst. Diese werden i.d.R. vorprogrammiert eingebaut. Neben der erforderlichen konstanten Stromversorgung können diese EVGs beispielsweise zur Sicherstellung eines konstanten Lichtstroms über die Lebensdauer oder zur Dimmung dienen.

Die Systemleistung einer Leuchte setzt sich aus der Lampenleistung und der Verlustleistung des Vorschaltgerätes zusammen. Für Vergleiche der Leistungsaufnahme und der Lichtausbeute einer Leuchte ist immer die Leistung des Gesamtsystems und der Wirkungsgrad der Leuchte zu berücksichtigen.

2.3 Lampenarten

Gebräuchliche Lampen sind je nach Beleuchtungsaufgabe mit verschiedenen technischen Eigenschaften ausgestattet. Die Kenntnis der verschiedenen Arten der Lichterzeugung bei modernen Lampen trägt dazu bei, Beleuchtungsaufgaben optimaler und nachhaltiger zu lösen und die passende Lichtquelle auszuwählen.

Drei Arten von Lichterzeugung sind nach wie vor zu unterscheiden:

- Temperaturstrahler (z.B. Glühlampen oder Halogenglühlampen)
- Entladungslampen (z.B. Leuchtstofflampen, Energiesparlampen, Halogenmetaldampflampen, Natriumdampf-Hochdrucklampen)
- Lumineszenzstrahler (z.B. LED, organische Leuchtdioden sog. OLEDs)

Temperaturstrahler - z.B. Glühlampen, Halogenglühlampen

Die Lichterzeugung erfolgt durch Erhitzen eines Drahtes (Wolframwendel) in einem abgeschlossenen Gasvolumen. Durch Materialerwärmung (Glühdraht in Glühlampen) wird u. a. auch Licht als kontinuierliches Spektrum mit erhöhtem Rotanteil abgegeben. Das Maximum des Gesamtspektrums liegt im Infrarot-Bereich. Die Farbwiedergabe liegt bei 100 %, da alle Farben enthalten sind. Die Halogenglühlampe ermöglicht heißere Drähte und damit ein weißeres brillanteres Lichtspektrum mit etwas mehr Blauanteil. Optimierte Halogenglühlampen erreichen höhere Energieeffizienzklassen.

Eigenschaften von Temperaturstrahlern

- + gute Lichtfarbe
- + gute Farbwiedergabe, kontinuierliches Spektrum
- + geringe Abmessungen
- + gute Temperaturstabilität
- + gute Farbwiedergabe (Vollspektrum)
- + leicht dimmbar (ohmsche Last), mit Spektralverschiebung zu rot
- geringe Effizienz
- relativ geringe Lebensdauer (meist unter 2.000 h)

Entladungslampen - z.B. Leuchtstofflampen, Energiesparlampen, Halogenmetaldampf- oder Natriumdampf-Hochdrucklampen usw.

Die Lichterzeugung erfolgt in Entladungslampen durch eine Gasentladung, die in einem Brennergefäß zwischen zwei Elektroden nach der Zündung entsteht. Das Gas wird durch Ladungsträger angeregt, Strahlung abzugeben. Je nach Prinzip und aktivem Gas liegt diese Strahlung im sichtbaren Bereich oder auch im UV-Bereich. UV-Strahlung kann mit Leuchtstoffen über Fluoreszenz/Lumineszenz in sichtbares Licht umgewandelt werden. Aufgrund des Fülldrucks wird zwischen Hochdruck- und Niederdruckentladungslampen unterschieden. Entladungslampen benötigen zum Betrieb Vorschaltgeräte.

Eigenschaften von Entladungslampen

- + hohe Effizienz
- + lange Lebensdauer (meist >10.000 h)
- + gute Lichtfarbe (kann entsprechend Gaszusammensetzung oder Leuchtstoff gewählt werden)
- +/- ausreichende Farbwiedergabe, diskontinuierliche Spektren
- +/- zum Teil große Abmessungen
- temperaturabhängig (Einfluss auf Leistung und Lebensdauer)
- je nach Type spezielle Vorschalt- und Zündgeräte erforderlich
- eingeschränkt bzw. auch nicht dimmbar

Lumineszenzstrahler - LED, OLED

Bei Halbleiterdioden findet die Lichterzeugung nach Anlegen einer Vorwärtsspannung durch Elektronenübergänge zwischen unterschiedlichen Energieniveaus statt. In Abhängigkeit vom halbleitenden Material wird Licht in verschiedenen spektralen Farben erzeugt. Es werden je Übergang nur schmale Spektrallinien emittiert, die auch im sichtbaren Bereich liegen können.

Weißes Licht wird heute meist mit blauen LEDs und einem gelben möglichst breitbandigen Leuchtstoff erzielt. Farbige LED-Anwendungen sind wesentlich effizienter als andere Lichtquellen mit Farbfiltern. Die Weiterentwicklung von OLED lässt ganz neue Lichtgestaltungen mit flächigem Licht erwarten.

OLED (Organic Light Emitting Diode): Diese Lichtquelle besteht im Gegensatz zur anorganischen LED aus einer organischen halbleitenden Dünnschicht. Das Einsatzgebiet der OLEDs wird jedoch mittelfristig nicht in der Allgemeinbeleuchtung liegen.

Eigenschaften von Lumineszenzstrahlern

- + sehr hohe Effizienz, als farbiges Licht sehr hohe Effizienz
- + sehr hohe Lebensdauer (meist über 30.000 h je nach Type)
- + gute Farbwiedergabe (Vollspektrum)
- + sehr kleine Abmessung (LED)
- + Flächenlicht mit OLED, Punktlicht mit LED
- + uneingeschränkt dimmbar (mit geeigneten Dimmern)
- temperaturabhängig, Kühlung und Feuchteschutz müssen optimiert sein
- Blendgefahr bei zu hohen Leuchtdichten am Lichtpunkt

Zusammenstellung der Lampenarten

Lichtquelle	Lichtausbeute [lm/W]	übliche Lebensdauer [h]	Spektrum und Farbwiedergabe	Vorschaltgerät/ Regelbarkeit	Einsatzbereiche
Kerze, Öllampe	0,2	wenige	kontinuierlich, ww, 100	-	nur für Ambiente
Halogenglühlampe	20-25	2.000	kontinuierlich, ww, 100	dimmbar	für Akzentuierung
Leuchtstofflampe mit VVG	80	8.000	diskontinuierlich, ww, nw, tw, von 60-90	VVG, Nicht dimmbar	in extremen Temperaturbereichen
Leuchtstofflampe mit EVG	bis 100	12.000 und mehr	diskontinuierlich, ww, nw, tw, von 60-90	EVG dimmbar von 3-100 %	allgemeine wirtschaftliche Beleuchtung in allen Bereichen
Kompaktleuchtstofflampe (Energiesparlampe) mit integrierten EVG	bis 70	8.000	diskontinuierlich, ww, nw, tw, von 60-90	integriertes und externes EVG, manchmal begrenzt dimmbar	Akzentuierung, kleine Räume
Quecksilberdampf-Hochdrucklampe	30-60	10.000	diskontinuierlich, ww, nw, tw, von 45-60	Vorschaltgerät, nicht dimmbar	zu ineffizient und zu schlechte Farbwiedergabe, nicht mehr einsetzbar
Halogenmetaldampf-lampe	80-120	10.000	diskontinuierlich, ww, nw, tw, von 60-95	Vorschaltgerät, Zündgerät teilweise dimmbar	für Anstrahlungen und große Räume/Hallen
Na-Hochdrucklampe	70-140	12.000	diskontinuierlich, ww, nw, von 20-80	Vorschaltgerät, Zündgerät dimmbar	für Anstrahlungen und große Räume/Hallen, wegen gelber Lichtfarbe nicht überall geeignet
LED-Retrofitlampe	ab 100	bis zu 35.000	diskontinuierlich, ww, nw, tw, von 80-95	eingeschränkt, nur mit passenden Dimmern etc.	für nahezu alle Bereiche als Übergangslösung, bei konventionellen Lampenfassungen
LED* (Hochleistungssystem)	ab 100	bis 50.000	diskontinuierlich, ww, nw, tw, von 80-95	Vorschaltgerät, gut schalt- und dimmbar	für nahezu alle Bereiche
OLED* (weiß)	ab 40	6.000	diskontinuierlich ww, nw, tw von 60-80	Vorschaltgerät, gut schalt- und dimmbar	wie LED, in der Herstellung noch kostenintensiv

ww: warmweiß, nw: neutralweiß, tw: tageslichtweiß; *) Stand: Dezember 2018

2.4 Leuchtenarten

Leuchten konzentrieren, verteilen und filtern das Licht gezielt im Raum und enthalten über das Lampensystem hinaus auch die Vorschaltgeräte, das elektronische und sicherheitstechnische Zubehör sowie die optische Ausstattung. Die Auswahl der angemessenen Leuchte für eine bestimmte Arbeitsstätte ergibt sich aus der Beleuchtungsaufgabe.

Daher müssen Verwendungszweck (z.B. Produktion oder Verwaltung) und lichttechnische Eigenschaften (z.B. Lichtverteilung), aber auch die Art der Montage (z.B. Einbau-, Anbau- oder Hängeleuchte), die Bauart und die Art der Lampe, die mechanischen (z.B. Splitterschutz) und die elektronischen Eigenschaften (z.B. Vorschaltgeräte, Dimmbarkeit) erfasst werden.

Leuchten werden nach Merkmalen und Funktionen eingeteilt. Bei der optischen Lichtverteilung kommen verschiedene Methoden zum Einsatz, z.B. Reflektoren, Refraktoren und Linsen, diffuse Abdeckungen, Filter oder Lamellen. Es wird außerdem zwischen reflektierenden und lichtdurchlässigen Werkstoffen unterschieden. Es sind auch mechanische Schutz- und elektrische Sicherheitsvorkehrungen bei der Installation zu treffen.

Für eine effiziente, nachhaltige Beleuchtung müssen demnach die Beleuchtungsaufgabe, die Raumgestaltung, die Umgebungsbedingungen und die Leuchtauswahl mit Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit von Lampensystemen in Übereinstimmung gebracht werden.

Leuchtauswahlprinzipien

Art und Anzahl der Lampen/Bauart

- offene/geschlossene Leuchten, Leuchtenabdeckung
- Schutzart IP
- Schutzklasse SK

Lichtverteilung/Blendungsbegrenzung

- realisiert durch Art des Reflektors und der Leuchtenabdeckung
- weißer Reflektor, weißes Raster, Spiegelraster
- Spiegelreflektor/Opalwanne, Prismenwanne
- Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB}

Montageart

- Einbauleuchten, Anbauleuchten, angehängte Leuchten, Stehleuchten, Arbeitsplatzleuchten (fest oder ortsveränderlich)

2.5 LED-Leuchtensysteme

Die Entwicklung der LED zu einem ausgereiften und hocheffizienten Leuchtmittel verlief in den letzten 10 Jahren rasant. Inzwischen werden fast nur noch LED-Leuchten neu verbaut.

Die LED-Technik ermöglicht neue, teils sehr komplexe Lösungen. Die Einhaltung geforderter Standards und die Beschaffung einer hohen Qualität der Beleuchtung wird für den Anwender immer anspruchsvoller.

Vorteile der LED wie Energieeffizienz, Langlebigkeit, Lichtqualität, Nachhaltigkeit, Wartungsfreundlichkeit und Ausfallsicherheit werden nur bei richtigem Leuchteneinsatz erreicht. Planungs- und Betriebsfehler können bei LED-Beleuchtungsanlagen schnell zu einem Funktionsverlust und frühzeitigem Totalausfall führen und damit einen wirtschaftlichen Schaden verursachen. Eine häufige Fehlerquelle sind falsch berechnete Ausfallraten bei spezifischen Projekt-Umgebungstemperaturen (zu geringe Montagehöhen, wärmegeämmte Einbauorte, fehlende Kaminwirkung zur Kühlung, Abwärmestau, Feuchtigkeit).

2.6 Steuerung von Beleuchtungssystemen

Bewegungsaktive Lichtsteuerung

Flure, Drucker- und Abstellräume, Sanitärbereiche usw. sind oft Räume mit unzureichender Tageslichtversorgung und werden oft nur für kurze Dauer genutzt. Solche Räume sollten über eine bewegungsaktive Präsenz-Lichtsteuerung verfügen, damit keine Energie für ungenutzte Beleuchtung vergeudet wird. Das Licht wird bei diesen Systemen meist nur eingeschaltet, wenn sich jemand im Bereich des Sensors aufhält. Es bleibt mit einer eingestellten Nachlaufzeit an.

Die Höhe der Einsparung hängt dabei also von der Aufenthaltswahrscheinlichkeit in diesen Räumen ab. Der Einbau von Bewegungs- oder Präsenzmeldern mit integrierten Schaltaktoren bzw. Dimmern bringt hier nicht nur Kosteneinsparungen, sondern steigert auch den Komfort und die Sicherheit. Oft sind solche Steuergeräte kostengünstig und leicht montierbar. Der Einsatz einfacher Präsenzsensoren zum Schalten ist aber nur begrenzt sinnvoll, manchmal sind kostenintensivere Sensorsysteme mit Bedienschnittstellen (z.B. für Fernbedienungen oder Taster) komfortabler sowie auch für Arbeitsbereiche gut geeignet. Sie bringen mehr Nutzerakzeptanz.

Tageslichtabhängige Lichtregelung

Größtmögliche Effizienz in Beleuchtungssystemen bieten Lichtmanagement-Systeme. Diese nutzen das einfallende Tageslicht und regeln die künstliche Beleuchtung durch Abschalten oder Dimmen. Da das Tageslicht in vielen Produktionshallen, Verwaltungsgebäuden und teilweise auch im Handel fast vollständig einstrahlen kann, bietet sich eine tageslichtabhängige Lichtsteuerung an. Zwei Schaltungsweisen sind zu unterscheiden:

- die Konstantlichtsteuerung und
- die Automatiklichtsteuerung (oder Stufenschaltung).

Eine Konstantlichtregelung ist mit Sensoren zur Messung der Raumhelligkeit ausgestattet. Mit dimmbaren Leuchten kann die Lichtstärke automatisch auf das verfügbare Tageslicht abgestimmt werden, sodass immer nur so viel Kunstlicht erzeugt werden muss, wie für eine optimale Ausleuchtung auf einem bestimmten Beleuchtungslevel erforderlich ist. Eine Konstantlichtregelung kann bis zu 50 % Energie im Vergleich zu ständig eingeschalteten Systemen einsparen. Dafür ist der Einbau von dimmbaren Leuchten und entsprechenden Regelsystemen mit Sensoren notwendig. Zusätzliche Bedienmöglichkeiten machen solche Systeme nutzerfreundlich und erhöhen die Akzeptanz.

Wird eine anwesenheitsabhängige Steuerung, die je nach Präsenz von Personen im Bereich das Licht regelt, mit der tageslichtabhängigen Regelung kombiniert, können zusätzliche Einsparungen erreicht werden. Moderne Sensoren haben häufig beide Funktionen integriert.

2.7 Planung von Beleuchtungssystemen

Wer plant, ein Beleuchtungssystem neu zu installieren oder umzugestalten bzw. zu sanieren, der sollte sich

- genau mit den gültigen Richtlinien und Normen vertraut machen,
- den Umfang der Maßnahmen konkret auf die individuellen Anforderungen abstimmen,
- die Kosten kalkulieren und
- sich über die Möglichkeiten effizienter Beleuchtungssysteme kompetent beraten lassen.

Je früher in eine Gesamtkonzeption eines Neu- oder Umbaus auch die Beleuchtungsaufgabe mit einbezogen wird, desto effizienter, wirtschaftlicher und nachhaltiger können Beleuchtungsaufgaben gelöst werden, sodass Nachbesserungen unnötig werden. Es ist immer von einer Ist-Analyse (dem Gegebenen) und Soll-Definition (dem gewünschten Ergebnis) auszugehen. Lösungsansätze sollten verschiedene Parameter mit ins Kalkül ziehen, sodass im Vergleich verschiedener möglicher Varianten die optimale Lösung erreicht werden kann. Um den theoretischen Planungsansatz zu untermauern, kann die geplante Lösung in einem repräsentativen Arbeitsbereich im Voraus praktisch erprobt werden.

Darüber hinaus gilt es, bestimmte Effektivitäts-Berechnungen anzustellen. Diese müssen Wirtschaftsparemeter und Effizienzkriterien mit einbeziehen, denn nur so kann eine kritische Prüfung der Güte der Lichtlösung erfolgen. Es sollte dabei also auch an ein Optimum an ergonomischer, ökonomischer, sicherheitstechnischer und ökologischer Effizienz gedacht werden. Letztlich wird die gewünschte Lösung nur über ein sehr genaues Abwägen der verschiedenen Parameter als eine Art Kompromisslösung erreichbar sein.

Generell gliedert sich die Planung von Beleuchtungssystemen in drei Arbeitsschritte:

1. die Bedarfsermittlung für das Beleuchtungssystem entsprechend der angestrebten Beleuchtungsaufgabe und der Sehaufgabe,
2. das Erstellen eines geeigneten Beleuchtungskonzeptes durch einen Vergleich verschiedener Möglichkeiten und Kostenbedarfsermittlungen,
3. die frühzeitige und begleitende Umsetzung des Beleuchtungskonzeptes während der Bau- oder Erneuerungsphase.

Es ist dabei dringend zu beachten, dass keiner dieser Abschnitte nur für sich genommen zu einem optimalen Ergebnis führen kann. Eine energieeffiziente Beleuchtung kann also nur in einheitlicher Betrachtung von der qualifizierten Bedarfsermittlung über Variantenvergleiche bis hin zur betreuten Bauphase realisiert werden.

3. UNTERSUCHTE EINRICHTUNGEN IM WETTERAUKREIS

Im Zuge des Klimaschutzkonzeptes für den Wetteraukreis wurden nachfolgende Objekte untersucht.

Lfd. Nr.	Name der Liegenschaft	Art der Liegenschaft
1	Limesschule	Gesamtschule
2	Georg-August-Zinn-Schule Düdelsheim	Grundschule
3	Kurt-Moosdorf-Schule	Grundschule
4	Joh.-Philipp-Reis Schule	Berufliche Schule
5	Keltenbergschule Stockheim	Grundschule
6	Selzerbachschule Karben	Grundschule
7	Herzbergschule Kefenrod	Grundschule
8	Johanniterschule Gambach	Grundschule
9	Berufliche Schule Nidda	Berufliche Schule
10	Geschw.-Scholl-Schule Assenheim	Haupt-/Realschule
11	Eichendorffschule Ilbenstadt	Grundschule
12	Wintersteinschule Ober Mörlen	Grundschule
13	Ernst-Reuter-Schule	Grundschule
14	Homburger Str. 17, Friedberg	Verwaltung
15	GU Bad Nauheim, Theresienstr. 3	Gemeinschaftsunterkunft
16	GU Reichelsheim, Langweidstr. 5 – 7	Gemeinschaftsunterkunft

4. IST-ZUSTAND BELEUCHTUNG IN DEN UNTERSUCHTEN EINRICHTUNGEN

Nr.	Objekt / Bauteil	LED	T8	T5	KPL	GL	HQI	EVG	PRM
1	Georg-August-Zinn-Schule Büdingen-Düdelnheim								
	Hauptgebäude	x		x				x	x
	Verwaltung		x	x	x			teilw.	teilw.
	Altbau		x					teilw.	
	Pavillon		x						
	8 – Klassen – Bau mit Mensa		x		x			x	
2	Kurt-Moosdorf-Schule Echzell								
	Sporthalle		x					x	teilw.
3	Selzerbachschule Karben								
	Hauptgebäude		x	x				teilw.	teilw.
4	Johanniterschule Münzenberg-Gambach								
	Hauptgebäude		x	x	x				
	Verwaltung			x				x	teilw.
	Altbau		x	x				x	teilw.
	Sporthalle		x				x	teilw.	
5	Berufliche Schule Nidda								
	Hauptgebäude	x	x	x				teilw.	teilw.
6	Gesch.-Scholl-Schule Niddatal-Assenheim								
	Hauptgebäude		x	x	x			x	
	Alte Sporthalle		x		x			teilw.	teilw.
7	Ernst-Reuter-Schule Bad Vilbel								
	Hauptgebäude Bl.E		x		x			teilw.	
8	Gemeinschaftsunterkunft, Theresienstr. 3, Bad Nauheim	x					x	teilw.	
9	Gemeinschaftsunterkunft, Langweidstr. 5 - 7, Reichelsheim	x					x		teilw.
10	Wintersteinschule Ober-Mörlen								
	Hauptgebäude		x					x	teilw.
11	Eichendorff-Schule Niddatal-Ilbenstadt								
	Turnhalle	x	x	x				x	teilw.
12	Keltenberg-Schule Glauburg-Stockheim								
	Hauptgebäude	x	x	x				teilw.	teilw.

Nr.	Objekt / Bauteil	LED	T8	T5	KPL	GL	HQI	EVG	PRM
13	Herzbergschule Kefenrod								
	Hauptgebäude	x	x	x				teilw.	teilw.
	Verwaltung	x	x	x	x			teilw.	teilw.
14	Limesschule Altstadt								
	Römerbau	x	x	x				x	teilw.
15	Verwaltung Homburger Str., Friedberg								
	Hauptgebäude	x	x		x				
	Anbau		x						
16	Johann-Philipp-Reis-Schule Friedberg								
	B-Bau Unterrichtsgebäude	x	x					teilw.	
	C-Bau	x	x	x	x			x	teilw.
	Sporthalle	x	x	x			x	teilw.	teilw.

*T-8 und T-5 / Leuchtstofflampen

*KPL / Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen)

*GL / Glühlampen

*HQI / Halogen – Metaldampflampe

*EVG / elektronisches Vorschaltgerät

*PRM / Präsenzmelder

Die ausführlichen Detailuntersuchungen der Beleuchtungsanlagen erfolgen im Klimaschutzkonzept.

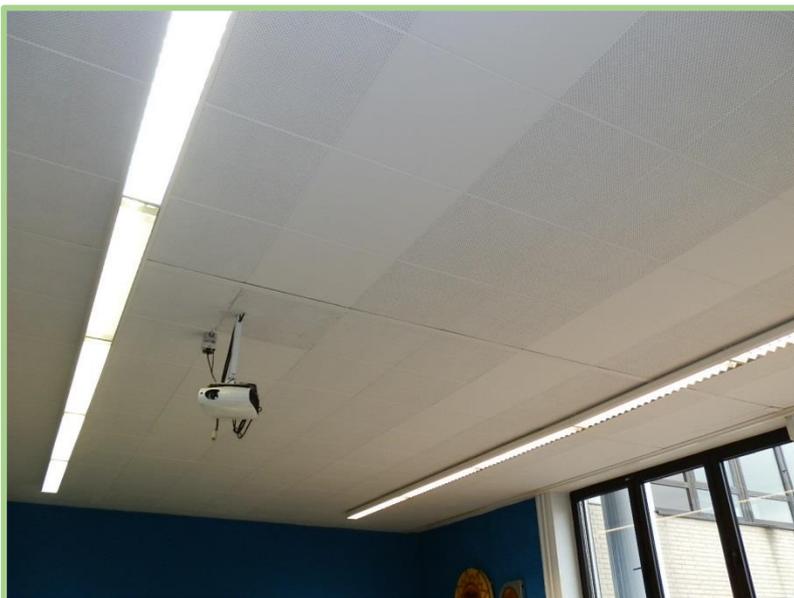
4.1 Exemplarische Bilddokumentation:

- veraltete und sanierungsbedürftige Leuchten mit T8-Lampen und konventionellen Vorschaltgeräten



Johanniterschule Gambach / Hauptgebäude

- Rasterleuchten mit T8-Lampen und elektronischen Vorschaltgeräten



Johann-Philipp-Reis-Schule Friedberg / C-Bau

- Rasterleuchten mit T5-Lampen und elektronischen Vorschaltgeräten



Johann-Philipp-Reis-Schule Friedberg / C-Bau

- Leuchten mit Kompaktleuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräten



Georg-August-Zinn-Schule / Verwaltung

- neue LED-Leuchten mit Präsenzmelder



Herzbergschule Kefenrod / Fachklassentrakt

- veraltete Leuchten mit Glühlampen



Johannerschule Gambach / Hauptgebäude

- Leuchten mit Halogen-Metaldampflampen (HQI-Lampen)



Johann-Philipp-Reis-Schule Friedberg / Sporthalle - Hallenbeleuchtung

5. STRATEGIE- UND SANIERUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR OPTIMIERUNG DER BELEUCHTUNG

5.1 Stromersparnis mit T5-, T8- und LED-Röhren

Wenn es um das Thema Stromsparen bei der Beleuchtung geht, wird häufig behauptet, dass die dünneren Leuchtstoffröhren mit T5-Sockel sehr viel energieeffizienter sind als die klassischen „dickeren“ T8-Röhren. Ein Blick in die technischen Details zeigt jedoch, dass die Stromersparnis mit T5-Röhren keineswegs besonders hoch ausfällt - und sich keinesfalls mit der Effizienz von LED-Lampen vergleichen lässt.

Eine Vergleichsmessung in einer Dunkelkammer bei einer Lampen-Montagehöhe über Mess-Sensor von 2,7 m gibt Aufschluss:

Vergleich T5- und T8-Leuchtstoffröhre:

- Eine 150 cm lange T5-Röhre (ca. 16 mm Durchmesser) hat eine Nennleistung von 49 W, inklusive Vorschaltgerät kommt sie auf 54 W.
- Eine 150 cm lange T8-Röhre (ca. 26 mm Durchmesser) hat eine Nennleistung von 58 W, inklusive Vorschaltgerät erreicht sie ca. 71 W.
- Die Lux-Werte beider Lampen sind praktisch identisch und liegen bei rund 280 lx.
- Die Energieeinsparung der T5-Röhre gegenüber der T8-Röhre liegt also bei lediglich rund 24 %.

Vergleich Leuchtstoffröhre mit LED-Röhre:

Betrachtet man zum Vergleich eine 150 cm lange LED-Röhre, erhält man folgende Werte:

Die LED-Röhre hat eine Leistungsaufnahme von 24 Watt und liefert 293 Lux Lichtstärke.

Unterm Strich bedeutet das, dass die LED-Röhre gegenüber der T8-Leuchtstoffröhre rund 66 % Energie einspart. Gegenüber der vermeintlich stromsparenden T5-Röhre spart die LED-Lampe immer noch ca. 56 % Energie ein.

Der Vergleich zeigt, dass T5-Röhren zwar weniger Strom benötigen als T8-Röhren. Eine wirklich lohnende Stromkostensparnis erreicht man aber nur durch den Einsatz von LED-Lampen.

Die folgende Tabelle zeigt eine kompakte Übersicht der wichtigsten Eigenschaften der Leuchtstoffröhre verglichen mit der LED Röhre.

Eigenschaft	LED	Leuchtstoffröhre
Einschaltverzögerung	sofort 100% Licht	Flackern beim Einschalten
Abstrahlrichtung	gerichtete Abstrahlung	360° Abstrahlung
Effizienz	90 – 150 lm/W	45 – 100 lm/W
Farbwiedergabe	bis Ra 95	bis Ra 90
Lichtqualität	flackerfrei	100 Hz Flackern
Dimmbarkeit	dimmbare Ausführung erhältlich	nur mit dimmbaren EVG
Schadstofffreiheit	kein Quecksilber enthalten	enthält giftiges Quecksilber
Lebensdauer	30.000 – 50.000 Stunden	5.000 – 20.000 Stunden
Robustheit	bruchsicher aus Polycarbonat	zerbrechliches Glas
Kosten	höhere Anschaffungskosten	günstige Röhren, teure VGs

Grundsätzlich empfehlen wir die bestehenden mit T8-Lampen bestückten Leuchten, die ein entsprechendes Alter (i.d.R. nicht älter als ca. 20 Jahre) und einen guten Zustand aufweisen, auf LED-Röhren (Tubes) umzurüsten. Ein Großteil der untersuchten Einrichtungen verfügt über die vorgenannte Beleuchtungstechnik, meist in Verbindung mit elektronischen Vorschaltgeräten.

Es handelt sich dabei um eine beleuchtungstechnische bzw. energetische Optimierungsmaßnahme die größtenteils mit kurzer Amortisationszeit und einer guten Wirtschaftlichkeit verbunden ist. Nachfolgend wird die erzielbare Verbrauchs- und Kostenreduzierung sowie die Wirtschaftlichkeit bei der Umrüstung eines typischen Raumes dargestellt.

Die angenommene jährliche Einschaltdauer der Beleuchtung beträgt 1.000 h/a. Es wird ein Strompreis von 25 ct/kWh angesetzt.

Ist-Zustand:

10 Leuchten á 1 T8-Lampe á 71 Watt
Anschlusswert Gesamt: 0,710 KW

Soll-Zustand:

10 Leuchten á 1 LED-Lampe á 24 Watt
Anschlusswert Gesamt: 0,240 KW

Verbrauchsminderung:

$(0,710 \text{ KW} - 0,240 \text{ KW}) \times 1.000 \text{ h/a} = 470 \text{ kWh/a}$

Kostenminderung:

$470 \text{ kWh} \times 0,25 \text{ €/kWh} = 117,50 \text{ €/a}$

Investition:

$10 \text{ LED-Tubes} \times 30 \text{ €} = 300,00 \text{ €}$

Wirtschaftlichkeit:

Statische Amortisationszeit: ca. 2,6 Jahre

5.2 Checkliste für den Um- bzw. Neubau von Beleuchtungssystemen

Nachfolgende Tabelle kann als Planungshilfe für Neubau bzw. Sanierung, Büro und Verwaltung - je Raum/Bereich, verwendet werden.

Analyse des Projekts			Vorbereitung Neuanlage		
Raumdaten	Abmessungen, Tageslichtöffnungen	<input type="checkbox"/>	Neue Anforderungen	Lichtgüte und Raumklima, Wirtschaftlichkeit und Energie, Design, Not- und Sicherheitsbeleuchtung	<input type="checkbox"/>
Wartungsdaten	Reinigungszyklus, Lampenwechsel	<input type="checkbox"/>	Mögliche Lampentypen	Leuchtstofflampen, LED, Halogenmetaldampf-, Natriumdampf-Hochdrucklampen (Akzente)	<input type="checkbox"/>
Nutzungszeiten ca. pro Jahr	z. B. 3.000 h oder 4.000 h (ein Jahr hat 8.760 h)	<input type="checkbox"/>	Mögliche Leuchtentypen	Direkt, indirekt, kombiniert	<input type="checkbox"/>
Sehaufgabe/ Tätigkeit	Büroarbeit mit Bildschirmunterstützung, Kommunikation, Besprechung, Präsentation	<input type="checkbox"/>	Montageart	Einbau, Anbau, Pendel	<input type="checkbox"/>
Mindestanforderungen an die Lichtgüte	Arbeitszone, Umgebung, Raumbereich, Gleichmäßigkeit, Lichtfarbe, Farbwiedergabe	<input type="checkbox"/>	Einbausituation	Wärmeableitung	<input type="checkbox"/>
Bewertungsflächen andere Bereiche	Vertikale Bereiche (Regal), Video-Konferenz	<input type="checkbox"/>	Wirtschaftlichkeit		<input type="checkbox"/>
Art der Lichtlösung, Inszenierungsidee	Raumlicht, arbeitsplatzbezogen	<input type="checkbox"/>	Anforderung an Steuerung	Energie sparen, zeit-/nutzungsabhängig, tageslichtabhängig, manuelle Bedienbarkeit gewünscht oder automatisch	<input type="checkbox"/>
Bestandserfassung, Altanlage	Anlagenkosten für Wartung und Betrieb (Energie usw.)	<input type="checkbox"/>	Einsparpotenzial gegenüber Altanlage	Energie, Wartung	<input type="checkbox"/>

6. EMPFEHLUNG

Bei jeder Maßnahme ist zu prüfen ob eine grundhafte Beleuchtungssanierung (Austausch Leuchtkörper und Leuchtmittel) in Betracht kommt. Eine solche Sanierung empfiehlt sich immer in Verbindung mit einer grundhaften Sanierung auszuführen. Grundhafte Sanierungen liegen vor, wenn mindestens drei Gewerke mit einem Gesamtkostenrahmen über 50.000,- € in Ansatz kommen. Anderenfalls ist zu überprüfen, ob alte Leuchtmittel gegen LED Tubes (Retro Fit) ausgetauscht werden können. Ein solcher Austausch sollte im Rahmen der personellen Verfügbarkeit vor Ort durchgeführt werden.

Aus Sicht der künftigen beleuchtungstechnischen Planungen des Wetteraukreises für Neubauten oder Sanierungen im Bestand, werden gemäß der vorhergehenden Ausarbeitung folgende Maßnahmen empfohlen:

- Einsatz von neuen Rasterleuchten und Langfeldleuchten (deckenabhängig) im Großteil der Bereiche wie z. B. Klassen- und Fachräume, Büros usw./weiß- oder alueloxiert, mit energieeffizienten LED-Technik
- Einsatz von Einbauleuchten / Downlights in Teilbereichen wie Flure, Toiletten, Foyer usw./mit energieeffizienter LED-Technik
- Installation von Präsenzmeldern im Großteil der Bereiche wie beispielsweise Klassenräume, Flure, Lehrerzimmer usw. zur bedarfsgerechten Steuerung der neuen Beleuchtung
- Neue Hallenbeleuchtungen mit LED-Leuchten und Installation von außenlichtabhängigen Beleuchtungssteuerungen zur Bedarfsanpassung der Beleuchtung unter Berücksichtigung des Außenlichtanteils