

Zeitgemässe Beleuchtung von Industriebauten

Bundesamt für Konjunkturfragen



Projektleiter:

Christian Vogt (deutsche Schweiz)

Prof. J.-L. Scartezzini, (welsche Schweiz)

Beratende Projektgruppe:

Prof. J.-L. Scartezzini, Universität Genf

Dr. Blaser
Eidg. Amt für Messwesen, Bern

M. Güntensberger
Eidg. Arbeitsinspektorat, Zürich

Dr. Bertschinger
Bernische Kraftwerke AG, Bern

M. Etz
Bernische Kraftwerke AG, Bern

Autorenteam:

Carl-Heinz Herbst, Dipl. Ing. Lichttechnik, Feldmeilen

Mario Rechsteiner, Amstein + Walthert AG, Zürich

Christian Vogt, Amstein + Walthert AG, Zürich

Trägerschaft:

Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft, Bern

Gestaltung

Education Design Sepp Steibli, Bern

Copyright ©
Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, April 1994

Auszugsweiser Nachdruck mit Quellenangabe erlaubt.
Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale EDMZ
(Best.-Nr. 724.329.3 d)

Form. 724.329.3 d 4.94 2000 U15331



Vorwort

Das Aktionsprogramm «Bau und Energie» ist auf sechs Jahre befristet (1990–1995) und setzt sich aus den drei Impulsprogrammen (IP) zusammen:

- IP BAU – Erhaltung und Erneuerung
- RAVEL – Rationelle Verwendung von Elektrizität
- PACER – Erneuerbare Energien

Mit den Impulsprogrammen, die in enger Kooperation von Wirtschaft, Schulen und Bund durchgeführt werden, soll der qualitative Wertschöpfungsprozess unterstützt werden. Dieser ist gekennzeichnet durch geringen Aufwand an nicht erneuerbaren Rohstoffen und Energie sowie abnehmende Umweltbelastung, dafür gesteigerten Einsatz von Fähigkeitenkapital.

Im Zentrum der Aktivität von RAVEL steht die Verbesserung der fachlichen Kompetenz, Strom rationell zu verwenden. Neben den bisher im Vordergrund stehenden Produktions- und Sicherheitsaspekten soll verstärkt die wirkungsgradorientierte Sicht treten. Aufgrund einer Verbrauchsmatrix hat RAVEL die zu behandelnden Themen breit abgesteckt. Neben den Stromanwendungen in Gebäuden kommen auch Prozesse in der Industrie, im Gewerbe und im Dienstleistungsbereich zum Zuge. Entsprechend vielfältig sind die angesprochenen Zielgruppen: Sie umfassen Fachleute auf allen Ausbildungsstufen wie auch die Entscheidungsträger, die über stromrelevante Abläufe und Investitionen zu befinden haben.

■ Kurse, Veranstaltungen, Publikationen, Videos, etc.

Umgesetzt werden sollen die Ziele von RAVEL durch Untersuchungsprojekte zur Verbreiterung der Wissensbasis und – darauf aufbauend – Aus- und Weiterbildung sowie Informationen. Die Wissensvermittlung ist auf die Verwendung in der täglichen Praxis ausgerichtet. Sie baut hauptsächlich auf Publikationen, Kursen und Veranstaltungen auf. Es ist vorgesehen, jährlich eine RAVEL-Tagung durchzuführen, an der jeweils – zu einem Leitthema – umfassend über neue Ergebnisse, Entwicklungen und Tendenzen in der jungen, faszinierenden Disziplin der rationellen Verwendung von Elektrizität informiert und diskutiert wird. Interessenten können sich über das breitgefächerte, zielgruppenorientierte Weiterbildungsangebot in der Zeitschrift IMPULS informieren. Sie erscheint zwei- bis dreimal jährlich und ist (im Abonnement) beim Bundesamt für Konjunkturfüragen, 3003 Bern, gratis erhältlich. Jedem Kurs- oder Veranstaltungsteilnehmer wird jeweils eine Dokumentation abgegeben. Diese besteht zur Hauptsache auf der für den entsprechenden Anlass erarbeiteten Fachpublikation. Die Publikationen können auch unabhängig von Kursbesuchen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), 3000 Bern, bezogen werden.

■ Zuständigkeiten

Um das ambitionierte Bildungsprogramm bewältigen zu können, wurde ein Organisations- und Bearbeitungskonzept gewählt, das neben der kompetenten Bearbeitung durch Spezialisten auch die Beachtung der Schnittstellen im Bereich der Stromanwendung sowie die erforderliche Abstützung bei Verbänden und Schulen der beteiligten Branchen sicherstellt. Eine aus Vertretern der interessierten Verbände, Schulen und Organisationen bestehende Kommission legt die Inhalte des Programmes fest und stellt die Koordination mit den übrigen Aktivitäten, die den rationellen



Einsatz der Elektrizität anstreben, sicher. Branchenorganisationen übernehmen die Durchführung der Weiterbildungs- und Informationsangebote. Für deren Vorbereitung ist das Programmleitungsteam (Dr. Roland Walthert, Werner Böhi, Dr. Eric Bush, Jean-Marc Chuard, Hans-Ruedi Gabathuler, Jürg Nipkow, Ruedi Spalinger, Dr. Daniel Spreng, Felix Walter, Dr. Charles Weinmann sowie Eric Mosimann, BfK) verantwortlich. Die Sachbearbeitung wird im Rahmen von Ressorts durch Projektgruppen erbracht, die inhaltlich, zeitlich und kostenmässig definierte Einzelaufgaben (Untersuchungs- und Umsetzungsprojekte) zu lösen haben.

■ Dokumentation

Der Beleuchtung im Industriebereich wird nach wie vor zu wenig Beachtung geschenkt. Wenn man bedenkt, dass die meisten Rationalisierungsmassnahmen auf der Erkenntnis aufbauen, dass etwa 80–90% der Informationsvermittlung über das Auge vorgenommen wird, so ist die Vernachlässigung, welche der Beleuchtungssituation oft zufällt, unverständlich. Dabei führt dies nicht nur zu verminderter Produktivität, sondern oft auch zu unnötigem Energieverbrauch, erhöhtem Unfallrisiko und steigender Unzufriedenheit bei der Belegschaft.

Die vorliegende Dokumentation zeigt deshalb anhand von Beispielen Möglichkeiten auf, die Beleuchtung von Industriegebäuden bei geringst möglichem Energieaufwand zu optimieren. Dabei wird ebenso der Stand der Technik, wie auch die visuelle Ergonomie behandelt. Da die Möglichkeiten sehr vielfältig sind, werden verschiedene Planungsansätze aufgeführt, welche verdeutlichen sollen, wie die einzelnen Faktoren in der Gesamtplanung integriert werden können.

Die vorliegende Publikation soll so den entsprechenden Entscheidungsträgern bei ihrer täglichen Arbeit helfen. So ist am Schluss auch eine Checkliste aufgeführt, welche als Werkzeug für eine rasche Beurteilung der Beleuchtungsanlage dienen soll.

Diese Dokumentation ist Teil einer Viererreihe, welche die Grundlagen, sowie die spezifischen Merkmale von Industrie-, Büro- und Verkaufsraumbeleuchtung bzw. -belichtung behandeln.

Alle vier Hefte wurden nach einer detaillierten Vernehmlassung und dem Anwendungstest in Pilotveranstaltungen nochmals überarbeitet. Die Autoren hatten zudem freie Hand, Ansichten über einzelne Fragen nach eigenem Ermessen zu beurteilen und zu berücksichtigen und tragen somit auch die Verantwortung für den Inhalt. Unzulänglichkeiten, welche sich bei der praktischen Anwendung ergeben, können bei einer allfälligen Überarbeitung behoben werden. Das Bundesamt für Konjunkturfragen oder der Kursleiter Ch. Vogt nehmen diesbezügliche Anregungen gerne entgegen.

Für die wertvolle Mitarbeit aller, welche zum Gelingen der vorliegenden Publikation beigetragen haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

April 1994

Bundesamt für Konjunkturfragen
Dr. B. Hotz-Hart
Vizedirektor für Technologie



Inhaltsübersicht

1	Einleitung	7
2	Beispiele	11
2.1	Sanierung einer Hallenbeleuchtung	11
2.2	Sanierung einer Lagerbeleuchtung	13
2.3	Sonnenenergienutzung	16
2.4	Produktivitätssteigerung mittels Beleuchtung	17
3	Energiemanagement und Wirtschaftlichkeit	21
3.1	Energiewirtschaftliche Aspekte der Beleuchtung	21
3.2	Beeinflussung der Arbeitsleistung	22
3.3	Nutzwertanalyse	24
3.4	Beleuchtungskonzept	30
3.5	Beleuchtungsart	31
3.6	Spezifische Sehaufgaben	32
3.7	Schalten und regulieren	33
3.8	Farbgestaltung	34
3.9	Musteranlage	35
4	Not- und Sicherheitsbeleuchtung	39
5	Tageslicht	43
5.1	Theorie und Praxis	43
5.2	Auswirkungen von Oberlichtern	44
5.3	Wärmeschutz	47
6	Unterhalt	51
6.1	Reinigung	51
6.2	Lichtstromrückgang	52
6.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	52
6.4	Zugänglichkeit und Lampenwechsel	53
7	Lampen	57
7.1	Allgemeines	57
7.2	Einsparungen durch die geeignete Lampenwahl	59
8	Leuchten	65
8.1	Leuchtenarten	65
8.2	Einsparungen durch hohe Leuchtenwirkungsgrade	65
8.3	Leuchtenanordnung	66
8.4	Klimatisierung	66



9	Betriebsgeräte	69
9.1	Allgemeines	69
9.2	Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen	69
10	Checkliste	73
11	Literaturverzeichnis	75
12	Stichwortregister	77
	Publikationen des Impulsprogrammes RAVEL	81



1 Einleitung

■ Vorwort

In den letzten Jahren galt das Hauptinteresse der Planer in erster Linie der Beleuchtung von Büro- bzw. Bildschirmarbeitsplätzen. Für diese Arbeitsplätze wurde beobachtet, untersucht, Einzelbedürfnissen angepasst, optimiert und konkretes Fachwissen aufgearbeitet. Die Beleuchtung in der Industrie wurde daneben sehr stiefmütterlich behandelt.

Dabei ist in einigen Zweigen der verarbeitenden Industrie der Energieeinsatz für die industriellen Prozesse eher gering. Sind die Heizungsaufwendungen zudem noch klein, kann es sein, dass der Beleuchtungsenergieaufwand an erster Stelle des Energieverbrauches steht. Allein aus wirtschaftlichen Überlegungen lohnt es sich deshalb oft, der Beleuchtungsplanung verstärkt Aufmerksamkeit zu schenken und Anlagen, welche älter als zehn Jahre sind, hinsichtlich einer Sanierung zu überprüfen.

Rationalisieren – ein für die Wirtschaft lebensnotwendiger und fortwährender Prozess – bedeutet heute auch, dass immer mehr Bildschirme und andere elektronische Anzeigen eingesetzt werden. Bedenkt man, dass etwa 80–90% der Informationsvermittlung über das Auge vorgenommen wird, so ist es verständlich, dass immer mehr Rationalisierungsmassnahmen auf dieser Erkenntnis basieren (Bedienungsanzeigen, visualisierte Produktionsabläufe usw.). Aber auch am konventionellen Industriearbeitsplatz gewinnt die visuelle Wahrnehmung und damit die Beleuchtung eine immer grösser werdende Bedeutung für die Produktivität einer Firma. Es ist deshalb unverständlich, dass in den meisten industriellen Bauten nach wie vor der Beleuchtung keine grosse Beachtung geschenkt wird.

Die Folgen unzureichender Beleuchtungsverhältnisse sind unnötiger Energieverbrauch, erhöhte Unfallrisiken und steigende Unzufriedenheit der Belegschaft.

Allgemeingültige Lösungen für die jeweiligen Beleuchtungsaufgaben gibt es jedoch nicht. Der Einzelfall muss anhand der Sehaufgabe, gestalterischer Kriterien, vorhandener Situation und umfassenden Wirtschaftlichkeits- und Nutzwertanalysen untersucht und die somit günstigste Lösung jeweils erarbeitet werden.

■ Für wen ist dieses Heft?

Das vorliegende Heft ist für den Praktiker konzipiert. Anhand von Beispielen sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, die Beleuchtung von Industriegebäuden zeitgemäss zu gestalten, so dass eine an das Objekt angepasste optimale Beleuchtung mit geringst möglichem Energieverbrauch erzielt werden kann.

Es soll dem Leser ermöglichen, industrielle Beleuchtungsanlagen hinsichtlich Stand der Technik, Energieverbrauch und ergonomischen Gesichtspunkten objektiv zu beurteilen, damit er so eventuelle Verbesserungsvorschläge ausarbeiten, in die Praxis umsetzen bzw. die entsprechenden Schritte in die Wege leiten kann.



■ Aufbau des Heftes

Das vorliegende Heft ist in drei Hauptteile gegliedert.

Im ersten Teil **«Beispiele»** werden verschiedene – grösstenteils realisierte – Beispiele und deren spezifischen Merkmale aufgeführt.

Im zweiten Teil wird der **«theoretische Hintergrund»** zu verschiedensten Merkmalen industrieller Beleuchtung erläutert. Zudem wird auf zusätzliche Themen wie Sicherheitsbeleuchtung und Unterhalt kurz eingegangen.

Im letzten Teil sind **«Arbeitshilfen»** enthalten, welche eine effiziente Planung und Beurteilung unterstützen sollen. Im Schlussteil angefügt sind das **Literaturverzeichnis** (die entsprechenden Hinweise sind jeweils in zwei Schrägstriche gefasst, z.B. /4/) sowie ein **Stichwortregister** zum schnellen Nachschlagen.

Es wurde versucht, den Aufbau des Heftes bewusst so zu gestalten, dass es dem geneigten Leser das Selbststudium erleichtert. So finden sich am Seitenrand allfällige Querverweise, Bild- und Tabellenunterschriften. Merksätze und wichtige Textteile werden durch einen Rahmen hervorgehoben.

**Wir wünschen Ihnen unterhaltsame und
lehrreiche Stunden bei der vorliegenden
Lektüre.**



2 Beispiele

2.1 Sanierung einer Hallenbeleuchtung	11
 Kommentar	12
2.2 Sanierung einer Lagerbeleuchtung	13
2.3 Sonnenenergienutzung	16
2.4 Produktivitätssteigerung mittels Beleuchtung	17



2 Beispiele

2.1 Sanierung einer Hallenbeleuchtung

Das folgende Beispiel der Beleuchtungssanierung einer Industriehalle soll unter anderem aufzeigen, dass bei der Beurteilung einer Beleuchtungsanlage nicht nur der Elektrizitätsverbrauch eine Rolle spielt.

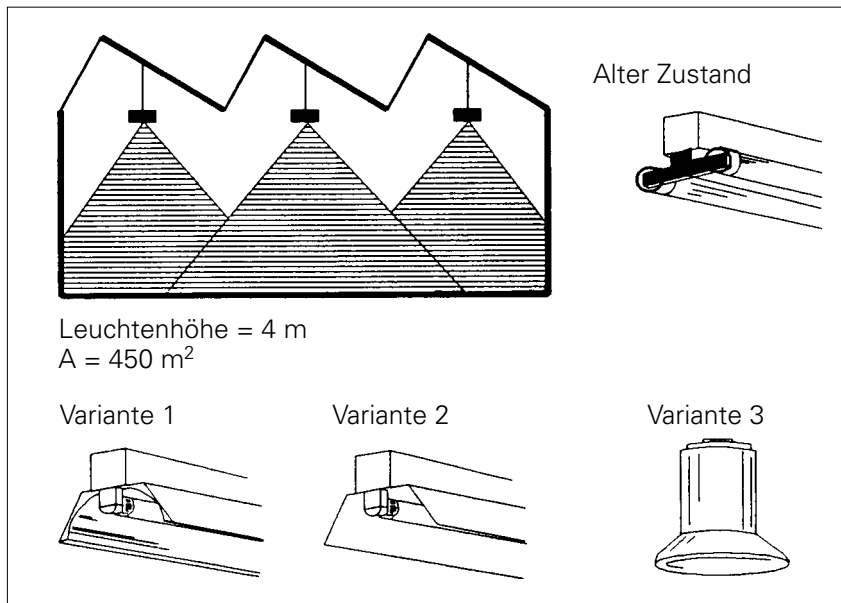


Bild 2.1:
Sanierung einer Hallenbeleuchtung

	Alter Zustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Leuchtentyp	Zweiflammige Balkenleuchte, freistrahlend	Einflammige Balkenleuchte mit Spiegelrefl.	Einflammige Balkenleuchte für mit weissem Reflektor	Reflektorleuchte Hochdruck-Entladungslampe
Leuchtenwirkungsgrad	97%	85%	77%	82%
Lampentyp	Standard, T 65 W	Dreibanden T 58 W	Dreibanden T 58 W	NAV de Luxe HSE 250 W
Farbwiedergabeindex Ra	60–69	80–89	80–89	60
Lampenlichtstrom	4600 lm	5200 lm	5200 lm	22 000 lm
Vorschaltgerät	KVG, P _v = 10 W	VVG, P _v = 6 W	VVG, P _v = 6 W	Betr.gerät P _v = 25 W
E _{horizontal}	300 lx	320 lx	300 lx	380 lx
E _{vertikal}	230 lx	100 lx	130 lx	65 lx
Spezifische Anschlussleistung	4,3 W/m ² /100 lx	1,9 W/m ² /100 lx	2,3 W/m ² /100 lx	1,8 W/m ² /100 lx
Gesamtleistung	5,8 kW	2,9 kW	3,1 kW	3,3 kW

Tabelle 1



Kommentar

Energetisch betrachtet scheint die Variante drei am besten zu sein, da sie die niedrigste spezifische Anschlussleistung besitzt. Die Vertikalbeleuchtungsstärke aber ist niedrig (ca. 65 Lux). In der Regel sollte die Vertikalbeleuchtungsstärke zwischen 30% und 70% der Nennbeleuchtungsstärke betragen. Zudem ist bei dieser Variante der Farbwiedergabeindex schlechter als bei den beiden anderen. Hinzu kommt, dass bei grossen Leuchtenabständen mit punktförmigen Lichtquellen sehr harte Schatten entstehen (bei einer gelblichen Lichtfarbe). Variante 3 ist somit wenig geeignet, wenn die Halle als Arbeitsraum verwendet wird.

Variante 2 ist gegenüber Variante 1 energetisch betrachtet zwar schlechter, doch ist die vertikale Ausleuchtung um 30% höher, was zu einer angenehmeren Raumatmosphäre führt (und auch bei hohen Möbeln, wie z.B. Schaltschränken von Vorteil ist) und somit sicherlich auch das Wohlbefinden der Arbeitnehmer fördert.



Bild 2.2:
Beispiel Variante 2

siehe 3.3: Nutzwertanalyse

Variante 2 ist also in diesem Fall vorzuziehen, was auch der, mit der Nutzwertanalyse, erzielten Aussage entspricht.



2.2 Sanierung einer Lagerbeleuchtung

Im folgenden Beispiel soll anhand der unter anderem untersuchten Lagerräume der EDMZ Bern aufgezeigt werden, welche Massnahmen zu einer zeitgemässen Beleuchtungsanlage dieses Raumtypes führen können und wie gross die damit erzielten Energieeinsparungen sein können /8/.



Bild 2.3:
Alte Anlage
(Quelle: /8/)



Bild 2.4:
Neue Anlage
(Quelle: /8/)

Die vorhandenen Lagerräume sind vorwiegend innenliegend und haben nur einen geringfügigen Tageslichtanteil.



Die Beleuchtungsanlage ist in verschiedenen schaltbare Zonen unterteilt. Da nicht alle Zonen gleichzeitig eingeschaltet sind, wird für die Berechnung ein Korrekturfaktor – im folgenden Betriebsfaktor f_b genannt – benötigt. Dieser wurde im vorliegenden Fall gemessen und interpoliert /8/. Aus Betriebszeit, Betriebsfaktor und Anzahl Tage wurde folgende Jahres-Brenndauer ermittelt:

Betriebszeit:	13 h pro Tag	250 Tage pro Jahr
Betriebsfaktor:	$f_b = 0,95$	
Brenndauer:	$13 \times 250 \times 0,95 =$	3088 h pro Jahr

Mit einer neuen Zonenaufteilung konnte in einem ersten Schritt die Gesamt-Brenndauer reduziert und somit bereits eine Energieeinsparung erzielt werden.

Brenndauer bei neuer Zonenaufteilung: 2470 h pro Jahr

Im folgenden wurden verschiedene Sanierungsmöglichkeiten hinsichtlich ihrer Eignung für den vorliegenden Raumtyp untersucht:

- tageslichtabhängige Regulierung
- personenabhängige Schaltung oder Regulierung
- Einsatz von verlustarmen oder elektronischen Vorschaltgeräten
- neue Leuchtenanordnung
- andere Lampen

Wegen des sehr geringen Tageslichtanteils ist im vorliegenden Fall eine tageslichtabhängige Steuerung nicht sinnvoll. Trotzdem wurde die bisherige Opal-Verglasung der kleinen Lagerfenster durch Klarglas ersetzt, da dadurch der Tageslichtanteil erhöht werden konnte und sich dies laut Untersuchung /8/ positiv auf das Lagerpersonal auswirkte.

Die vorhandenen Beleuchtungskörper waren veraltet und wurden durch einen Leuchtentyp mit erhöhter Blendungsbegrenzung ersetzt. Zudem wurden elektronische Vorschaltgeräte (EVG) vorgeschlagen.

Ein bewegungsabhängiges Steuerungssystem wurde wegen der vorhandenen hohen Personenfrequenz als nicht sinnvoll erachtet. Wie bereits erwähnt, wurde die Beleuchtung in neue Zonen unterteilt. Zonen mit Lagergestellen wurden mit drei Leuchtenreihen, Zonen ohne Gestelle mit zwei Leuchtenreihen ausgerüstet.

Die alten Leuchtstofflampen ($\varnothing$ 38 mm, 40 W, 2'500 lm) wurden durch Dreibandlampen ($\varnothing$ 26 mm, 58 W, 5'400 lm) ersetzt. Allein dadurch konnte die Anschlussleistung um etwa ein Drittel reduziert werden, da dieser Lampentyp eine um etwa 30% höhere Lichtausbeute aufweist.

KVG = Konventionelles Vorschaltgerät

Die Leuchtenzahl konnte deshalb von 2300 Leuchten à 54 W (40-W-Lampe + 14 W Verlustleistung KVG) auf 1600 Leuchten à 58 W (52-W-Lampe + 6 W Verlustleistung EVG) verringert werden.



Für die Lagerräumlichkeiten (EG bis 4. OG) der EDMZ ergaben sich somit folgende Energie- und Kostenkennzahlen:

	Alte Anlage	Neue Anlage
Energieverbrauch		
Anschlusswert [kW]	124,2	93
Jahresstromverbrauch [kWh]	383'405	229'710
Erstellungskosten		
Leuchtenkosten [Fr.]	0	235'200
Installationskosten [Fr.]	0	94'400
Total	0	329'600
Jährl. Betriebskosten		
Wartungskosten [Fr.]	6'900	6'080
Lampenwechselkosten [Fr.]	17'183	4'874
mittlere Energiekosten [Fr.]	51'729	31'735
Total	75'812	42'689
Jahresbeleuchtungskosten		
Betriebskosten [Fr.]	75'812	42'689
Kapitalkosten [Fr.]	0	32'685
Total	75'812	75'374
Barwert der Beleuchtungskosten		
Erstellungskosten [Fr.]	0	329'600
Betriebskosten [Fr.]	1'137'180	640'335
Total	1'137'180	969'935
Pay-Back (Jahren)		10

Tabelle 2 /8/

Der Barwert entspricht dem Eigenkapital, das man haben müsste, um die Anlage ohne Fremdkapital kaufen und 15 Jahre nutzen zu können.

Die Berechnungen basieren auf folgenden Daten:

Stromgrundpreis	Fr./kW/Jahr	36.00
Arbeitspreis – Hochtarif	Fr./kWh	0.11
Arbeitspreis – Niedertarif	Fr./kWh	0.06
Anlagennutzungsdauer	Jahre	15
Eigenkapital	%	100
Kapitaldienst	%	6.5
Strompreiserhöhung	%	1.5
Mittelwertfaktor		1.109

Es zeigte sich somit, dass durch den Einsatz neuer Lampen, elektronischer Vorschaltgeräte, neuer Leuchten sowie neuer Zonenaufteilung in diesem Fall über 166'000 kWh eingespart werden konnten, bei einer Rückzahlzeit von etwa 10 Jahren. Und dies bei gleichzeitiger Verbesserung des lichttechnischen Komforts wie Flimmerfreiheit, Farbwiedergabe und Blendungsbegrenzung.



2.3 Sonnenenergienutzung

Licht kann auch Tageslicht sein und somit auch Sonneneinstrahlung bzw. Wärme. Das folgende Beispiel zeigt, wie mittels passiver Sonnenenergienutzung Wärmeenergie gespart werden kann /13/.

Situation:

Das Stahllager einer Winterthurer Firma besteht aus einem industrieüblichen, unbeheizten Hallenbau (130 x 25 x 10m). Das Dach ist ein Well-etonit-Satteldach. Die Hälfte der Grundfläche hat einen Betonboden, unter welchem sich das Lager der weniger häufig gebrauchten Teile befindet. Durch die natürliche thermische Luftschichtung ist es in diesem Keller kälter als in der darüber liegenden Halle. Dies wiederum führte zu zwei Problemen:

- An der Oberfläche der kalten Stahlteile bildete sich Kondenswasser und in der Folge Rost.
- Da es in der Halle wärmer war als im Keller, waren die Arbeiter in der Regel zu leicht bekleidet für die sporadischen Einsätze im unteren Lager. Dadurch erkälteten sie sich oft.

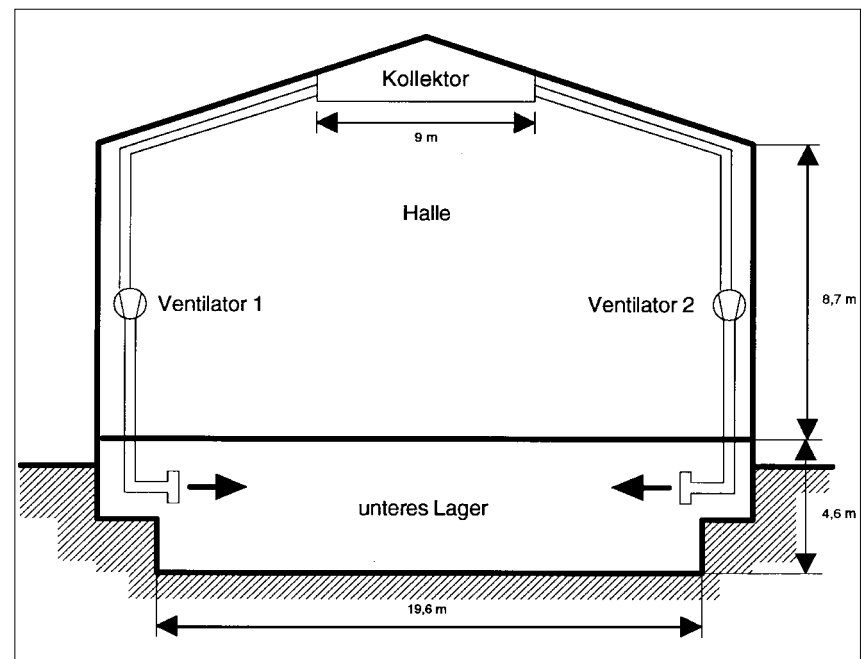


Bild 2.5:
Sonnenenergienutzung in einer Halle

Lösung:

Die durch Sonneneinstrahlung erwärmte Luft unter dem Dach wird durch den Einbau einer Luftumwälzung in eine Art Kollektor gesaugt und im unteren Lager eingeblasen. Dadurch wird das Temperaturniveau im Keller soweit gehoben, dass in der warmen Jahreszeit keine Kondensation bzw. Korrosion mehr stattfinden kann.

Für weitere Informationen siehe /13/

Ergebnis:

Die realisierte Anlage ist im Vergleich zu einer einzubauenden Ölheizung sowohl wirtschaftlicher als auch von ökologischem Vorteil. Der kWh-Preis ist 2 Rappen billiger als bei einer entsprechenden Ölheizung. Zudem werden pro Jahr 6000 Liter Heizöl weniger verbrannt.



2.4 Produktivitätssteigerung mittels Beleuchtung

Ein mehrmonatiger Betriebsversuch mit veränderter Beleuchtungsanlage ergab in der Abwinderei einer Nähfadenfabrik eine wesentliche Produktivitätssteigerung.

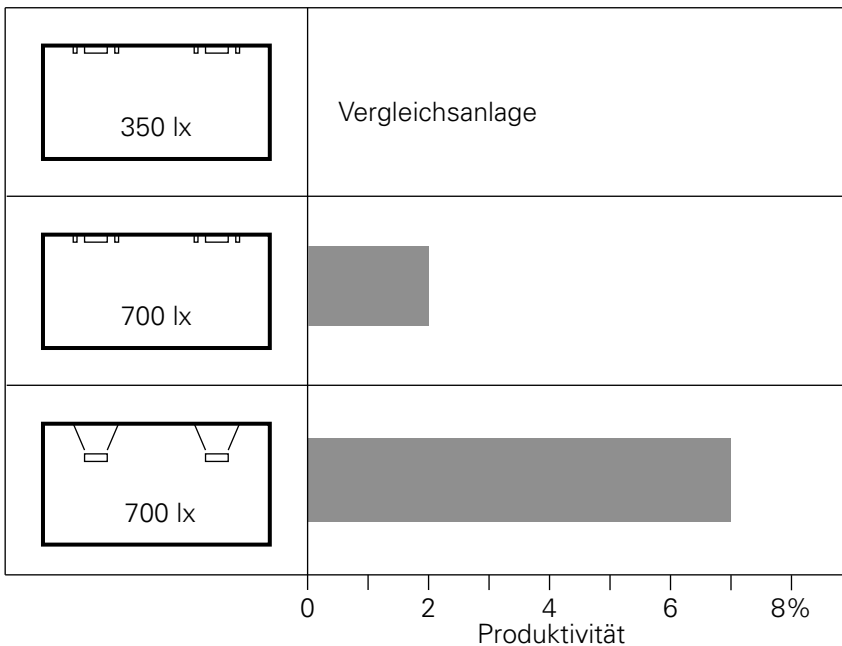


Bild 2.6:
Produktivitätserhöhung durch verbesserte Beleuchtungsgüte

Die ursprüngliche Beleuchtung bestand aus freistrahrenden Leuchtstofflampen, welche eine mittlere Beleuchtungsstärke von etwa 350 Lux erzeugten. In einer ersten Variante wurde die Beleuchtungsstärke bei gleichbleibender Leuchtenart verdoppelt. In einer zweiten Variante wurde die erhöhte Beleuchtungsstärke mit einer Indirektbeleuchtung realisiert, was eine erhöhte Beleuchtungsgüte (verminderte Blendung, niedrigere Leuchtdichtekontraste, harmonische Leuchtdichte Verteilung) zur Folge hatte.

Gemessen wurde die Produktivität als Funktion der pro Schicht verarbeiteten Garnmenge. Bild 2.6 veranschaulicht das Ergebnis.

Wurde gegenüber der Vergleichsanlage nur die Beleuchtungsstärke erhöht, so stieg die Produktivität um 2 %, aber nicht signifikant. Das heisst, die Wahrscheinlichkeit, dass es sich um einen zufälligen Anstieg handelte, war grösser als 10%. Bei Variante zwei hingegen stieg die Produktivität signifikant, und zwar um 7%.



Bild 2.7:
Beleuchtungsanlage
Variante 2

Meist genügt eine Leistungssteigerung von weniger als 1%, um die jährlichen Mehrkosten, welche durch eine verbesserte Beleuchtungsanlage entstehen, zu kompensieren. Somit sind Verbesserungen der Beleuchtungsqualität praktisch immer wirtschaftlich, auch wenn dies mit Mehraufwand verbunden ist.



3 Energiemanagement und Wirtschaftlichkeit

3.1	Energiewirtschaftliche Aspekte der Beleuchtung	21
3.2	Beeinflussung der Arbeitsleistung	22
3.3	Nutzwertanalyse	24
3.4	Beleuchtungskonzept	30
■	Raumwirkungsgrad	30
3.5	Beleuchtungsart	31
■	Reine Allgemeinbeleuchtung	31
■	Arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung	31
■	Arbeitsplatzbeleuchtung	31
3.6	Spezifische Sehaufgaben	32
3.7	Schalten und regulieren	33
■	Präsenzmelder	33
■	Tageslichtsteuerung	33
3.8	Farbgestaltung	34
3.9	Musteranlage	35
■	Ein Kaltwalzwerk	35
■	Daten	36
■	Beurteilung	37



3 Energiemanagement und Wirtschaftlichkeit

3.1 Energiewirtschaftliche Aspekte der Beleuchtung

Wenn man den Energiebedarf für die Beleuchtung reduzieren will, muss man die folgenden zwei Gegebenheiten berücksichtigen:

- Optimierung heisst nicht, mit einem Minimum an Energieverbrauch ein Maximum an Beleuchtungsstärke zu erreichen. Das Ziel muss vielmehr ein Maximum an Produktivität, Sicherheit und Wohlbefinden sein, bei geringst möglichem Energieaufwand.
- Die Beurteilung vorhandener Beleuchtungsanlagen darf sich nicht auf eine reine Beleuchtungsstärke-Beurteilung beschränken, denn Energiesparmassnahmen können sich bei gleichbleibender Beleuchtungsstärke sehr nachteilig auf die Beleuchtungsgüte auswirken. Dies wiederum beeinträchtigt Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit und kann zu Unbehagen, körperlichen Beschwerden und Produktivitätseinbussen führen.

Einsparungsmassnahmen bei der Beleuchtung wollen also gut überlegt sein und müssen die Wechselwirkungen mit den visuellen Gütekriterien berücksichtigen.



3.2 Beeinflussung der Arbeitsleistung

Bereits in den 50er und 60er Jahren wurden umfangreiche Studien /15–18/ über den Zusammenhang zwischen Licht und Produktivität gemacht und festgestellt, dass Licht über das Auge nicht nur das Sehen beeinflusst, sondern auch Aktivation, Motivation sowie Konzentration und somit ganz allgemein die Leistungsfähigkeit.

Der Sehvorgang selbst wird über mehrere Augenmuskeln gesteuert. Diese ermüden bei übermässiger Anspannung ebenso wie jeder andere Körpermuskel. Eine Mehranspannung der Augenmuskeln bleibt aber nicht auf diese beschränkt, sondern geht auch auf die Nachbarmuskeln über. Augenmüdigkeit fühlt man deshalb meist nicht nur in den Augen selbst, sondern als Gesamtermüdung des Körpers. Wird der Augenermüdung zu wenig Beachtung geschenkt, d.h. nicht für die nötige Entspannung gesorgt, so machen sich Kopfschmerzen, Nervosität und andere Störungen bemerkbar. Augenermüdung und deren Nebenerscheinungen lassen somit einen Arbeiter immer langsamer werden. Seine Leistungsfähigkeit sinkt in Menge und Güte und die Abwesenheit vom Arbeitsplatz sowie Unfälle nehmen zu.

Hauptursache für visuelle Beschwerden sind störender Glanz auf dem Arbeitsgut oder der näheren Umgebung, zu geringe Beleuchtungsstärke, übermässige Helligkeitskontraste und unnatürliche Helligkeitsverteilung im Gesichtsfeld.

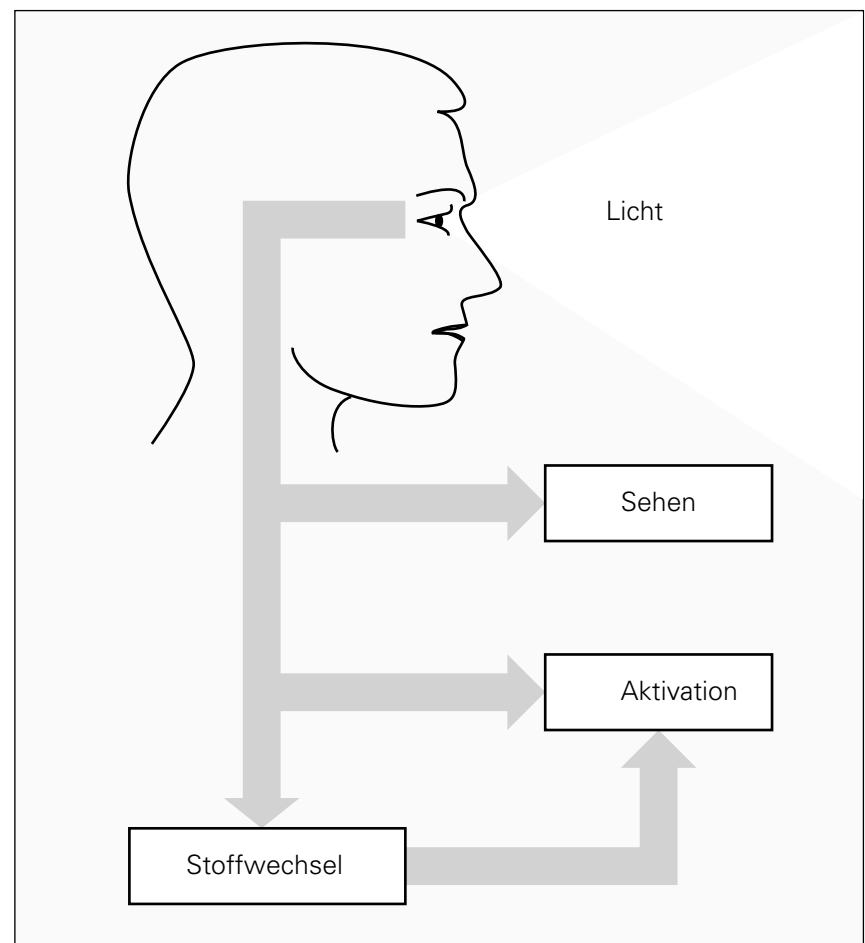


Bild 3.1:
Licht ermöglicht nicht nur Sehen, sondern steigert auch die Leistungsbereitschaft

Aber auch bei wenig oder gar nicht sehabhängiger Arbeit steigert gutes Licht die Leistungsfähigkeit.

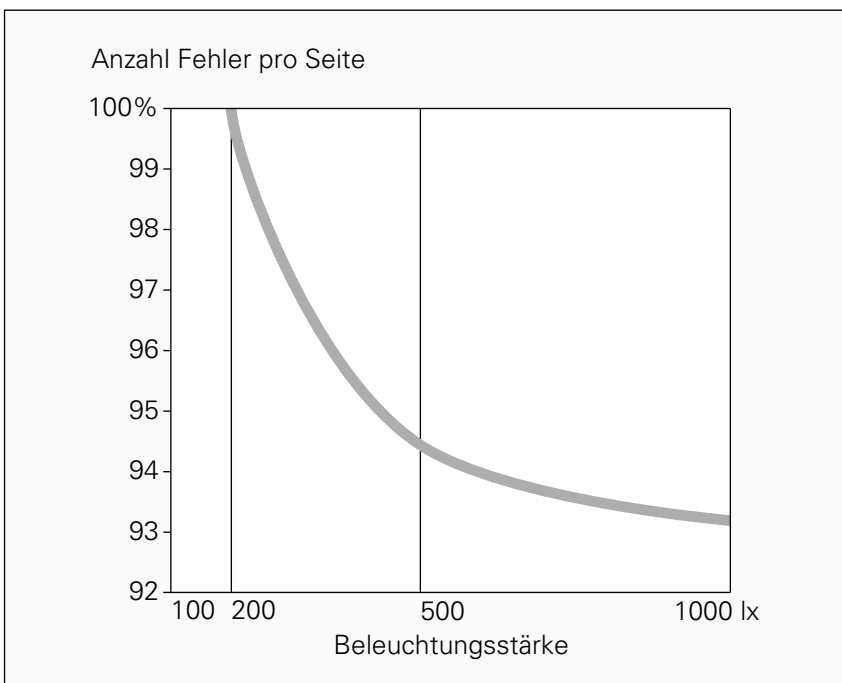


So wurde zum Beispiel nachgewiesen /18/, dass bei Schreibmaschinenarbeit mit steigendem Beleuchtungsniveau die Tippfehler selbst dann abnehmen (siehe Bild 3.2), wenn der Text nicht von einer Vorlage, sondern von einem Diktiergerät übernommen wird und der Text somit mehr oder weniger «blind» geschrieben wurde. So wurden auf je 100 Seiten (mit 2500 Anschl. pro Seite) bei 650 Lux durchschnittlich 72 Fehler weniger registriert als bei einer Beleuchtungsstärke von 200 Lux. Zusätzlich wurde bei höheren Beleuchtungsstärken die Anschlagsleistung gleichmässiger.

Diese Aussage aber steht in direktem Gegensatz zur Meinung, Energieeinsparungen mit niedrigen Beleuchtungsstärken zumindest dort erzielen zu können, wo keine anspruchsvolleren Sehaufgaben, wie zum Beispiel Lesen, nötig sind.

Dass höhere Beleuchtungsstärken bessere Arbeitsleistungen mit sich bringen können, ist nicht erstaunlich, wenn man bedenkt, dass sich der menschliche Organismus seit Jahrtausenden auf ein Beleuchtungsniveau, wie es im Freien vorherrscht (10'000 bis 100'000 Lux), eingestellt hat.

*Siehe auch:
2.4. Produktivitätssteigerung mittels
Beleuchtung*



*Bild 3.2:
Bei steigender Beleuchtungsstärke
nimmt die Anzahl Tippfehler ab.*

Eine Erhöhung der Beleuchtungsstärke kann aber durch Störeinflüsse wie Blendung auch zu negativen Ergebnissen führen.

Bei einer allfälligen Änderung oder Neuplanung muss deshalb die Leuchtdichtevertellung (Helligkeitsverteilung) im gesamten Sehbereich berücksichtigt werden.

Aus einer älteren Untersuchung /24/ hat sich ergeben, dass im allgemeinen bereits eine Leistungssteigerung von weniger als 1 % genügt, um die jährlichen Mehrkosten, die durch eine Beleuchtungsverbesserung entstehen, zu kompensieren. Interessant wäre in diesem Zusammenhang die Frage, ob heute dieselben Werte zugrunde gelegt werden könnten, wie in jener Untersuchung. Denn es ist anzunehmen, dass bei Berücksichtigung der heute vorhandenen energieeffizienteren Technologien und dem Einbezug der Auswirkungen auf die Unfallhäufigkeit die Verhältnisse noch günstiger liegen.



3.3 Nutzwertanalyse

Wollen die vorhergehend erklärten Erkenntnisse berücksichtigt werden, so müssen für die Planung und den Betrieb der Beleuchtungsanlage zweifellos höhere Investitionen getätigt werden. Dies wird aber sicherlich nur dann getan, wenn es sich als rentabel erweist.

Wie bereits mehrfach erklärt, sind der Einfluss des Lichtes auf den Menschen und die Zusammenhänge zwischen Licht, Wahrnehmung, Befindlichkeit und Verhalten komplex. Es ist deshalb völlig unzureichend, verschiedene Beleuchtungsvarianten nur aufgrund der erzielbaren Beleuchtungsstärke, der Anschlussleistung und der Kosten zu vergleichen und zu bewerten, wie das leider heute noch vielfach so gehandhabt wird.

Ein grosser Teil der Anforderungen, die an eine gesamthaft befriedigende Beleuchtung zu stellen sind, lässt sich nur qualitativ beschreiben und kann somit bei der Planung rechnerisch nicht erfasst werden. Um trotzdem die verschiedenen Varianten möglichst objektiv bewerten und miteinander vergleichen zu können, bedient man sich zweckmässigerweise der Nutzwertanalyse.

Die Nutzwertanalyse ermöglicht zu entscheiden, welche von verschiedenen Beleuchtungsvarianten schliesslich den grössten Nutzen erbringt.

Hierzu werden zuerst die Kriterien ermittelt, welche für die Bewertung der zu beurteilenden Beleuchtungsanlage massgebend sind. Zweckmässigerweise ordnet man diese Kriterien hierarchisch, d.h. man bildet Oberbegriffe und detailliert diese dann bis zu Teilkriterien hin, bei welchen man möglichst objektiv bewerten kann, inwieweit sie von den verschiedenen Beleuchtungsvarianten erfüllt werden.

Dabei sind drei Voraussetzungen zu beachten:

- Es müssen möglichst alle wesentlichen Kriterien berücksichtigt werden.
- Es dürfen keine kostenrelevanten Kriterien verwendet werden.
- Die verschiedenen Kriterien müssen unabhängig voneinander sein.

Siehe 2.1
Sanierung einer Hallenbeleuchtung

Der prinzipielle Ablauf einer solchen Analyse soll im folgenden anhand der Bewertung der drei Varianten gemäss Beispiel 2.1 gezeigt werden.



Die erstellte Nutzwertanalyse für die dort beschriebenen Varianten könnte folgendermassen aussehen:

Bewertungskriterium			Beleuchtungssystem					
			Variante 1		Variante 2		Variante 3	
			EG	NW	EG	NW	EG	NW
Sehen								
Direktblendung	4	11	4	44	3	33	5	55
Reflexionen, Spiegelung	5	14	2	28	3	42	1,5	21
Schattigkeit	3	9	3	27	4	36	4	36
Lichtfarbe, Farbwiederg.	2	6	3	18	3	18	2	12
Komfort								
Helligk.-Verteil. im Raum	2	6	3	18	4	24	1	6
Störg. b. Ausfall 1 Lampe	3	9	4	32	4	36	2	18
Anlauf und Wiederezündg.	2	6	4	24	4	24	2,5	15
Ästhetik								
Auffälligkeit der Leuchten	1	3	3	9	2	6	4	12
Betrieb								
Lichtausbeute	4	11	4	44	4	44	3,5	38,5
Lebensdauer	3	8	4	32	4	32	4	32
Wartungsfreundlichkeit	3	9	2	18	2	18	2,5	22,5
Lampenzahl	3	8	4	32	4	32	5	40
Total	35	100	326		345		308	

GEW: Wichtigkeit (Gewicht)
 EG: Erfüllungsgrad
 NW: Nutzwert

$$NW = GEW [\%] \times EG$$

Tabelle 3

In der vorhergehenden, sehr vereinfachten Tabelle ist die Unterteilung nach objektspezifischen Kriterien in der ersten Spalte dargestellt. Sie beinhaltet die Oberbegriffe (Fett), mit denen man die Forderung: «Gutes Licht am Arbeitsplatz» umschreiben kann. Im weiteren sind diese Oberbegriffe feiner unterteilt, um sie besser bewerten zu können. (Für die praktische Anwendung wäre diese Unterteilung allerdings noch zu grob und unvollständig. Sie wurde hier der besseren Übersicht wegen bewusst beschränkt.)

Da die verschiedenen Kriterien nicht alle die gleiche Bedeutung für die Qualität der Beleuchtungsanlage haben, müssen vor der Bewertung die einzelnen Merkmale gewichtet werden.



Dies kann im einfachsten Fall so geschehen, dass man eine Wichtigkeitsskala verwendet, z.B.:

Bedeutung des Kriteriums	Gewichtung
unwichtig	1
weniger wichtig	2
wichtig	3
sehr wichtig	4
äusserst wichtig	5

Tabelle 4:
Wichtigkeitsskala

Die Summe aller Gewichtungen wird gleich 100% gesetzt und danach die Einzelgewichte entsprechend normiert (aus Gew. Total und 100% ergibt sich die Spalte %, z.B. $100 : 35 \times 4 = 11$).

Anschliessend wird untersucht, in wie weit die einzelnen Beleuchtungsvarianten die verschiedenen Kriterien erfüllen. Dazu wird zunächst eine Skala des Erfüllungsgrades definiert. Bewährt hat sich hierfür die folgende 6stufige Skala:

Bedingung	Erfüllungsgrad
überhaupt nicht erfüllt	0
mangelhaft erfüllt	1
ungenügend erfüllt	2
genügend erfüllt	3
gut erfüllt	4
optimal erfüllt	5

Tabelle 5:
Erfüllungsgrad

Mit Hilfe dieser Skala wird schliesslich für jedes Kriterium eine Wertetabelle aufgestellt, die es gestattet, bei den einzelnen Varianten möglichst objektiv den Erfüllungsgrad bezüglich der verschiedenen Kriterien zu bestimmen.

Die nachfolgende Darstellung zeigt vereinfacht und exemplarisch eine solche Wertetabelle für das behandelte Beispiel.



Wertetabelle zur Bestimmung des Erfüllungsgrades

Kriterium	Erfüllungsgrad					
	0	1	2	3	4	5
Sehen Direktblendung	Unzumutbar	Leuchtenleuchtdichte oberhalb 60° >5 cd/cm ²	Störend. Leuchtenleuchtdichte oberhalb 60° >2 cd/cm ²	Blendungsbegrenzung gemäss Güteklasse 3	Blendungsbegrenzung gemäss Güteklasse 2	Blendungsbegrenzung gemäss Güteklasse 1
Reflexion, Spiegelung	Reflexe und Spiegelungen sind unerträglich. Erkennen der Sehaufgabe aus keiner Richtung möglich.	Reflexe und Spiegelungen sind intensiv. Sie lassen sich durch Ändern der Blickrichtung nur teilweise mildern.	Reflexe und Spiegelungen sind intensiv, aber örtlich begrenzt. Vermeidung durch Ändern der Blickrichtung möglich.	Streifige Reflexe und Spiegelungen, die beim Arbeiten stören können.	Grossflächige Reflexe und Spiegelungen geringer Eigenhelligkeit, die jedoch das Erkennen kaum stören.	Keinerlei Beeinträchtigung durch Reflexe und Spiegelungen.
Schattigkeit	Unnatürliche, harte Schatten. Im Schatten keine Details erkennbar.	Harte Schatten. Im Schatten kaum Details erkennbar. Formen stark überzeichnet.	Ziemlich harte Schatten, im Schatten keine feinen Details erkennbar.			Ausgewogenes Verhältnis zwisch. gerichtetem und diffussem Licht. Strukturen und Formen erscheinen natürlich.
Lichtfarbe, Farbwiedergabe	Lichtfarbe und Farbwiedergabeeigenschaften ungeeignet.	Lichtfarbe ungünstig, Farbwiedergabe-Index < 40	Lichtfarbe beschränkt geeignet, Farbwiedergabe-Index < 70	Lichtfarbe i.a. geeignet, Farbwiedergabe-Index < 90		Lichtfarbe geeignet, variabel, Farbwiedergabe-Index ≥ 90
Komfort Helligkeitsverteilung im Raum	Unzumutbare Helligkeitsunterschiede im Gesichtsfeld. Ez/Eh < 0,15	Sehr grosse Helligkeitsunterschiede im Gesichtsfeld. Ez/Eh < 0,2	Grosse Helligkeitsunterschiede im Gesichtsfeld. Ez/Eh < 0,25	Deutliche Helligkeitsunterschiede, speziell bei horizontalem Blick. Ez/Eh < 0,35		Ausgewogene Helligkeitsunterschiede. Natürliche Raumwirkung. Ez/Eh > 0,45
Störung bei Ausfall einer Lampe	Unzumutbar	Sehr stark	Stark	Gering	Sehr gering	Keine
Anlauf- und Wiederzündung		Sehr langsamer Anlauf. Sehr lange Abkühlzeit nötig.		Merklicher Anlauf. Mässige Abkühlzeit nötig.		Kein Anlauf. Sofortige Wiederzündung.
Ästhetik (Störende) Auffälligkeit der Leuchten	Die Leuchten dominieren den Raum.		Die Leuchten akzentuieren den Raum.	Die Leuchten beeinflussen die Raumwirkung.		Kein störender Einfluss auf die Raumwirkung.
Betrieb Lichtausbeute	< 10 lm/W	< 20 lm/W	< 40 lm/W	< 70 lm/W	< 90 lm/W	3 90 lm/W
Lampenlebensdauer	< 1'000 h	≥ 1000 h	≥ 2'000 h	≥ 4'000 h	≥ 8'000 h	≥ 16'000 h
Wartungsfreundlichkeit		Zugänglichkeit schlecht. Gerüst oder sonstige Spezialkonstruktion nötig. Lampen schwer zu handhaben.	Zugänglichkeit problematisch. Hohe Leiter erforderlich.	Kleine Bockleiter. Lampenwechsel nur mit Werkzeug möglich.	Tritt. Kein Werkzeug erforderlich.	Lampenwechsel ohne Leiter und Werkzeug möglich.
Lampenzahl pro 10 m ² beleuchteter Fläche	> 16	≤ 16	≤ 8	≤ 4	≤ 2	< 1

Tabelle 6



Vor Beginn der Bewertung werden zunächst diejenigen Kriterien bestimmt, die unbedingt erfüllt sein müssen, bei denen der Erfüllungsgrad also mindestens 3 betragen muss. Man kann dann vorab schon solche Beleuchtungsvarianten ausscheiden, die eines dieser Kriterien nicht erfüllen, und spart sich dadurch unnötige Arbeit. Anschliessend wird anhand der Wertetabelle für jede Variante der Erfüllungsgrad EG bestimmt.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Überlegungen aufgelistet, welche zur Bewertung der einzelnen Beispiel-Varianten in bezug auf die verschiedenen Zielkriterien führte.

Tabelle 7

Bewertungs-kriterium	Beleuchtungssystem		
	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Sehen Direktblendung	Durch den tiefstrahlenden Spiegelreflektor ist die Leuchte quer zur Lampenachse gut abgeschirmt. EG=5 In Lampenlängsrichtung entspricht die Blendbegrenzung. Güteklasse 3. Mittlere Bewertung: EG = 4	Die Leuchte mit weissem Reflektor entspricht in beiden Richtungen etwa der Güteklasse 3. EG = 3	Da die Leuchte ziemlich tiefstrahlend ist, entspricht die Blendbegrenzung etwa der Güteklasse 1. EG = 5
Reflexionen, Spiegelung	Durch den Spiegelreflektor ist die Leuchtdichte im Ausstrahlungsbereich ziemlich hoch. EG = 2	Bei weissem Reflektor ist die Leuchtdichte und damit die Intensität von Reflexen auf dem Arbeitsgut kleiner als beim Spiegelreflektor. EG = 3	Hochdrucklampen haben eine sehr hohe Leuchtdichte und damit auch der Spiegelreflektor. Daher sehr intensive Reflexe, allerdings örtlich begrenzt. EG = 1,5
Schattigkeit	Quer zur Lampenachse wird das Licht stark gebündelt, in Längsrichtung dagegen kaum. Gesamthaft ergibt dies eine mässige Schattigkeit. EG = 3	Die Lichtverteilung ist in allen Achsen tiefbreitstrahlend, daher relativ weiche Schatten. EG = 4	Der Reflektor ist allseitig stark tiefstrahlend. Daher ausgeprägte Schattigkeit. EG = 2
Lichtfarbe, Farbwiedergabe	Geeignete Lichtfarbe möglich, Farbwiedergabe-Index um 85. EG = 3	wie Var.1	Lichtfarbe stark gelbstichig. Farbwiedergabe-Index um 60. EG = 2
Komfort Helligkeits-Verteilung im Raum	Zylindrische Beleuchtungsstärke (= mittlere Vertikalbeleuchtungsstärke) $E_z = 0,31 \text{ Eh}$. EG = 3	Zylindrische Beleuchtungsstärke (= mittlere Vertikalbeleuchtungsstärke) $E_z = 0,43 \text{ Eh}$. EG = 4	Zylindrische Beleuchtungsstärke (= mittlere Vertikalbeleuchtungsstärke) $E_z = 0,17 \text{ Eh}$. EG = 1
Störung bei Ausfall einer Lampe	Wegen der grossen Anzahl Lampen ist der Ausfall einer davon fast nicht merkbar. EG = 4	wie Var.1	Wegen der hohen Lichtstromkonzentration pro Lampe ist der Leuchtenabstand ziemlich gross. Deshalb ist der Ausfall einer Lampe deutlich sichtbar. EG = 2
Anlauf und Wiederzündung	Leuchtstofflampen zünden innert weniger Sekunden. der Anfangslichtstrom liegt nahe beim Endwert. EG = 4	wie Var.1	Die Lampe zündet innerhalb weniger Sekunden, der Anfangslichtstrom beträgt weniger als 1%, die Anlaufzeit ca. 5 Min. Die heisse Lampe zündet nach dem Abschalten ca. innerh. einer Min. EG = 2,5
Ästhetik Auffälligk. d. Leuchten	Wegen der stark tiefstrahlenden Lichtverteilung in Längsrichtung beeinflussen die Leuchten den Raumeindruck auch in brennendem Zustand nicht allzusehr. EG = 3	Die Leuchten sind aus allen Richtungen gut sichtbar und akzentuieren die Raumwirkung. EG = 2. (Je nach Architektur kann dies aber auch erwünscht sein. Dann wäre der EG höher.)	Die Leuchten sind relativ kompakt und nach allen Seiten gut abgeschirmt. Sie beeinflussen die Raumwirkung deshalb nur wenig. EG = 4
Betrieb Lichtausbeute (incl. VG)	ca. 84 Lumen/Watt EG = 4	wie Var.1	ca. 80 Lumen/Watt EG = 3,5
Lebensdauer	Bei 3 h Brennzeit pro Schaltung ca. 12'000 h. EG = 4	wie Var.1	wie Var.1
Wartungsfreundlichkeit	Bei fehlender Kranbahn ist die Zugänglichkeit problematisch. EG = 2	wie Var. 1	wie Var.1, Lampenwechsel wegen kompakter Leuchte und wegen Schraubsockel jedoch einfacher. EG = 2,5
Lampenzahl pro 10 m ² beleuchteter Fläche	1,45 EG = 2	wie Var.1	0,05 EG = 1



Der Nutzwert ergibt sich als Produkt aus Gewichtung und Erfüllungsgrad für jedes einzelne Kriterium. Für das Beispiel sind die errechneten Einzelnutzwerte in den Spalten NW eingetragen. Es sind dimensionslose Zahlen. Der Gesamt-Nutzwert einer Variante ist die Summe aller Teilwerte. Er ist jedoch nicht für sich allein, sondern nur im Vergleich zu den Nutzwerten anderer Varianten des gleichen Objektes sinnvoll.

Im behandelten Beispiel zeigt sich, dass die Variante 2 den grössten Nutzen bringt, obwohl sie bezüglich der spezifischen Anschlussleistung nur an 3. Stelle liegt.

Häufig lassen sich keine eindeutigen und objektiven Wertefunktionen aufstellen, sondern nur Wertetabellen (wie auch in diesem Beispiel), so dass die Bewertung eine Ermessensfrage wird. Dies aber erfordert spezifisches Fachwissen und Kenntniss der Zusammenhänge. In solchen Fällen wird eine Nutzwertanalyse deshalb am besten in Teamarbeit mit allen davon betroffenen Gremien erarbeitet, denn nur dann kann eine genügende Objektivität erreicht werden. Dabei ist es auch zweckmässig, die Gewichtung der Kriterien und das Aufstellen der Wertetabellen ohne Kenntnis eventueller Submissionseingaben vorzunehmen, um eine möglichst neutrale Klassifizierung zu erreichen.

Wenn sich bei Gewichtung und Bewertung Meinungsverschiedenheiten ergeben, die sich nicht durch Diskussion bereinigen lassen, ist eine Sensitivitäts-Analyse angebracht. Hierbei werden die strittigen Gewichtungen bzw. Bewertungen variiert, und daraufhin geprüft, welchen Einfluss sie auf den Gesamtnutzwert haben.

Die Nutzwertanalyse lässt sich auch auf andere Gebiete übertragen /25/.



3.4 Beleuchtungskonzept

Die Wahl der Beleuchtungsart beherbergt – besonders in Industriebauten – ein erhebliches Sparpotential. Gleichzeitig ist aber auch die Gefahr gross, dass die Beleuchtungsqualität beeinträchtigt wird.

Der Beleuchtungswirkungsgrad ist das Produkt von Leuchtenwirkungsgrad und Raumwirkungsgrad.

Einsparungen sind auf zweierlei Arten möglich:

- Durch Verbesserung des Beleuchtungswirkungsgrades.
- Durch Anpassen der Beleuchtung an die Sehaufgabe und die Bedürfnisse des Menschen.

Raumwirkungsgrad

Der Raumwirkungsgrad gibt an, welcher Anteil des aus den Leuchten austretenden Lichtstromes auf die Nutzebene (in der Regel die horizontale Arbeitsebene in 85 cm Höhe über dem Boden) auftrifft. Bezugsgrösse ist dabei die mittlere Beleuchtungsstärke auf dieser Ebene.

Der Raumwirkungsgrad ist umgekehrt proportional zum erforderlichen Lichtstrom und damit zum Energieverbrauch.

Der Raumwirkungsgrad ist umso höher und damit der Energieverbrauch umso kleiner, je:

- grossflächiger der Raum
- niedriger der Raum
- höher die Reflexionsgrade der Raumflächen
- direktstrahlender die Lichtverteilung der Leuchten.

Da die Grösse des Raumes meist gegeben ist, beschränken sich Sparmassnahmen auf die Auswahl der Leuchten und die Oberflächenbeschaffenheit der Raumflächen. Konsequente Anwendung des ersteren ergibt sehr tiefstrahlende Leuchten. Dadurch wird zwar die Anschlussleistung für die gewünschte Beleuchtungsstärke niedrig, aber Decke und Wände bleiben dunkel, da die Vertikalbeleuchtung viel zu niedrig ist, was eine deutliche Einbusse an Beleuchtungsqualität bedeutet. Diese Methode ist deshalb meist nicht geeignet.

siehe auch 2.1
Sanierung einer Hallenbeleuchtung

Als effizientester Weg, den Raumwirkungsgrad zu erhöhen und somit den Energieverbrauch zu senken, erweist sich deshalb eine möglichst helle und gut lichtstreuende Farbgebung der Raumflächen.

Eine weitere Möglichkeit stellt die optimale Anpassung der Beleuchtung an Sehaufgabe und Bedürfnis dar. Je nach Beleuchtungsart ist so eine bessere Beleuchtungsqualität trotz sparsamem Energieverbrauch möglich. Hinsichtlich einer Sanierung lässt sich zudem folgendes festhalten:

Normgerechte und sinnvolle Beleuchtungsanlagen lassen sich heute in der Regel mit zwei Drittel der Anschlussleistung, welche vor 10 bis 15 Jahren erforderlich war, realisieren.

Neben den Faktoren Leistungssteigerung und Unfallsicherheit also für sich alleine schon ein Grund, vorhandene Anlagen zu überprüfen.



3.5 Beleuchtungsart

Grundsätzlich unterscheidet man bei den Beleuchtungssystemen zwischen folgenden drei Arten:

- reine Allgemeinbeleuchtung
- Arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung
- Arbeitsplatzbeleuchtung.

■ Reine Allgemeinbeleuchtung

In der Regel ist für alle Arbeitsräume eine Allgemeinbeleuchtung, dass heisst eine gleichmässige Beleuchtung des Raumes, unabhängig von seiner Möblierung und der Lage der Arbeitsplätze, vorzusehen.

Die Allgemeinbeleuchtung als solche ermöglicht eine ähnliche Beleuchtungsgüte an jeder Stelle des Arbeitsraumes, freie Raumbenutzung für gegebene Arbeitsprozesse und kann günstige Verhältnisse für Installation und Wartung schaffen. Sie ist auf ein gleichmässiges Beleuchtungsniveau im ganzen Raum ausgelegt. Die minimale Beleuchtungsstärke muss daher der höchsten Anforderung in diesem Raum entsprechen.

Die Wirtschaftlichkeit ist in der Regel nicht optimal, da meist nicht im gesamten Raum die selben Beleuchtungsanforderungen nötig sind.

■ Arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung

Auch bei der arbeitsplatzorientierten Beleuchtung wird der ganze Raum beleuchtet. Die Anordnung der Leuchten richtet sich jedoch nach der Lage der Arbeitsplätze, so dass das Schwergewicht der Beleuchtung in der Arbeitszone liegt.

Bei einer arbeitsplatzorientierten Beleuchtung kann die Anschlussleistung vermindert und somit Energie gespart werden, da normalerweise in den Verkehrszonen ein niedrigeres Beleuchtungsniveau genügt. Der Nachteil der arbeitsplatzorientierten Beleuchtung ist die geringere Flexibilität bei einer Änderung des Layouts. Verringert werden kann dieser Nachteil durch den Einsatz eines mobilen Leuchtentypes, wie zum Beispiel Lichtleistsystemen oder umhängbare Leuchten mit flexibler Stromzuleitung.

*Siehe auch 8.1:
Leuchtenarten*

■ Arbeitsplatzbeleuchtung

Die spezifische Beleuchtung einzelner Arbeitsplätze, zusätzlich zur Allgemeinbeleuchtung, ist dann angezeigt, wenn die Sehaufgabe eine spezielle Lichtführung erfordert oder dort, wo Personen höheren Alters oder mit verminderter Sehleistung höhere Beleuchtungsstärken benötigen.



3.6 Spezifische Sehaufgaben

Wie oben erwähnt, genügt für viele Tätigkeiten in der Industrie die Allgemeinbeleuchtung oder auch die unter Umständen energieeffizientere arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung den Sehanforderungen nicht. In diesen Fällen sind spezielle Arbeitsplatzleuchten mit zum Teil spezifischen Eigenschaften bezüglich Lichtfarbe, Farbwiedergabeeigenschaften und Lichtrichtung zu installieren.

Die Literatur [2],[5],[19],[20],[23] weist hierzu für die verschiedensten Arbeitsplätze eine Vielzahl von Lösungsvorschlägen auf.

Am folgenden Beispiel soll gezeigt werden, wie eine solche spezifische Sehaufgabe aussehen bzw. wie sie durch eine geeignete Beleuchtungsanlage unterstützt werden kann.

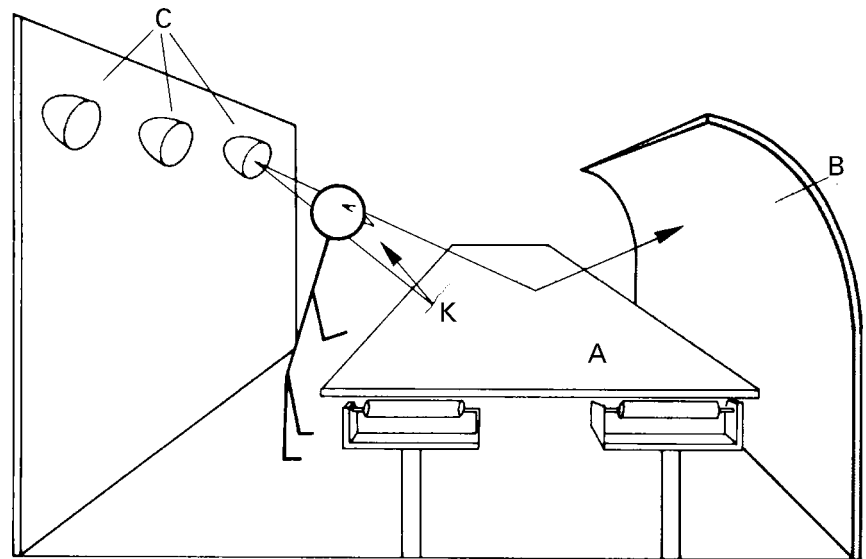


Bild 3.3:
Spezifische Beleuchtung für die Qualitätskontrolle von polierten Blechen
(Quelle: [5])

Um bei der Qualitätskontrolle allfällige Fehler zu erkennen, benötigt es genügend hohe Kontraste. So auch bei der Kontrolle von polierten Blechplatten. Bei einer Anordnung wie in Bild 3.3 erscheint das Blech (A) für den Betrachter dunkel, da die dunkle Gegenwand (B) sich über das Blech ins Auge spiegelt. Ein Kratzer (K) spiegelt dagegen das Licht der Leuchten (C) ins Auge und fällt somit auch bei rascher Betrachtung auf.

Ebenso vielfältig wie die verschiedenen Tätigkeiten sind die Anforderungen, die an eine optimierte Gestaltung der Sehbedingungen am Arbeitsplatz zu stellen sind. Damit dabei der Energieverbrauch möglichst niedrig bleibt, empfiehlt es sich, sich über neue Lampen- und Leuchtentechnologien auf dem laufenden zu halten. Lässt man zudem den gesunden Menschenverstand walten, zum Beispiel wenn es darum geht die Betriebsstunden zu minimieren, so ist in der Regel eine sinnvolle Anlage das Ergebnis.



3.7 Schalten und regulieren

Die nach wie vor wirtschaftlichste Massnahme, um den Energieverbrauch von Beleuchtungsanlagen zu reduzieren, ist das Ausschalten des Lichtes bei Nichtbedarf. Dies ist meist ohne zusätzlichen Aufwand möglich, wenn die Mitarbeiter entsprechend motiviert und darauf aufmerksam gemacht werden. Die Erfahrung zeigt, dass zum Beispiel mit **internen Plakatkampagnen, Rundschreiben oder wöchentlicher Anzeige des Energieverbrauches** bereits Erhebliches erreicht wird.

Hilfreich ist hierbei, wenn die Beleuchtungsanlage in mehreren Zonen (z.B. Fensterzone – Durchgangszonen) schaltbar ist.

*Siehe auch:
2.2 Sanierung einer Lagerbeleuchtung*

■ Präsenzmelder

Eine weitere, hinsichtlich der Energieeinsparung, wirkungsvolle Massnahme ist die automatische Steuerung der Beleuchtung in Abhängigkeit der Personenzahl (Anwesenheit). Diese Steuerungsart eignet sich aber nur dort, wo grosse Flächen mit geringer Personenfrequenz vorhanden sind, wie zum Beispiel Lagerhallen. So konnte in einer sehr grossen Lagerhalle durch die Montage von Präsenzmelder der Stromverbrauch der Beleuchtung um etwa 70% gesenkt werden. Ein ähnliches Resultat wurde in einem grossen Möbelgeschäft erzielt.

Der zusätzliche Installationsbedarf kann allerdings unter Umständen beträchtlich sein, so dass sich diese Energiesparmassnahme oft nur bei Anlagen mit grossem Energieverbrauch bezahlt macht.

■ Tageslichtsteuerung

Noch wirkungsvoller hinsichtlich der Energieeinsparung ist die zusätzliche Steuerung der Beleuchtung in Abhängigkeit des Tageslichtes. Der Installationsmehrbedarf kann aber auch hier beträchtlich sein, so dass es sich kostenmässig meist erst bei grösseren Anlagen lohnt.

Auf dieses Thema wird im Grundlagenheft noch näher eingegangen.

Die Anpassung an das Tageslicht kann grundsätzlich auf drei Arten erfolgen:

- durch Ein/Aus
- durch stufenweises Schalten (z.B. 100% – 60% – 30% Licht)
- durch kontinuierliches Regulieren.

Für stufenweises Schalten des Kunstlichtanteils wird in der Praxis des öfteren mangelnde Akzeptanz von seiten der Benutzer festgestellt.

Die kontinuierliche Anpassung ist sicherlich die komfortabelste Lösung und wird von den Benutzern oft nicht wahrgenommen. Zudem ist die Energieeinsparung bei dieser Art der Lichtregulierung grundsätzlich am grössten.



3.8 Farbgestaltung

Werden in der Planung von Industriebauten Lüftung, Beleuchtung und sanitäre Einrichtungen als selbstverständlich miteinbezogen, so ist dies bei der Farbe nicht der Fall. Dabei ist die durchdachte Farbanwendung eine der Voraussetzung für optimierte und konstante Arbeitsleistung.

Folgende wesentliche Einflussfaktoren kennzeichnen den Einsatz der Farbe im Betrieb:

- Farbige Kennzeichnung von Gefahrenstellen hilft Unfälle zu vermeiden.
- Farbige Bezeichnungen, Zuordnung und Aufgliederung von Arbeitsplätzen, Arbeitsräumen und Werkzeug ermöglichen eine schnellere Orientierung und vermindern somit Fehlleistungen.
- Eine helle Farbgebung der Raumflächen kann den Energieaufwand für die künstliche Beleuchtung senken und sorgt für einen angenehmen Raumeindruck. Ebenso wird das einfallende Tageslicht dadurch unterstützt und dessen Wirkung verstärkt, was wiederum einen Einfluss auf den Energiehaushalt des Gebäudes hat.

Wirtschaftliche Bedenken gegen die Widerstandsfähigkeit farbiger Anstriche, deren schnelle Verschmutzung und den daraus resultierenden Reinigungskosten, sind heutzutage durch die technische Entwicklung der Farbindustrie weitgehend entkräftet.

Die farbige Gestaltung von Industriehallen und -arbeitsplätzen stellt in der heutigen Zeit kein unsicheres Experiment mehr dar. So gibt es nicht nur Theorien über die richtige Farbe am rechten Ort, sondern auch genügend Erfahrung/10/, /11/, /14/ über deren Anwendung und insbesondere deren Einfluss auf den Arbeitsablauf.

In einer bei 350 Betrieben vorgenommenen Umfrage wurde zum Beispiel von 99% der befragten Unternehmen von einem Rückgang der Ermüdung durch den gezielten Einsatz von Farbe gesprochen. Bei der Tulsa-Boiler and Machinery Company wurde eine Abnahme der Unfälle um 20% und beim New York Transit System um 40% beobachtet. Eine andere Studie wiederum stellt in sechs englischen Betrieben ein Sinken der Unfälle um 10 bis 30% fest. Obschon verschiedene Gesichtspunkte bei diesen Studien kritisch zu betrachten sind, lässt sich doch die Tendenz der Leistungssteigerung und der Senkung der Unfallrate bei optimierter Farbgestaltung als einigermaßen sicher und belegt betrachten.



3.9 Musteranlage

Die nachfolgend aufgeführte Industrieanlage ist deshalb besonders interessant, weil die Auswirkungen auf das Wohlbefinden der in dieser Halle arbeitenden Menschen untersucht wurde /28/.



Bild 3.4:
Halle mit neuer Beleuchtungsanlage
(Quelle: /28/)

Ein Kaltwalzwerk

Die Produktionshalle des Kaltwalzwerkes wurde auf Leuchten mit Natriumdampfhochdrucklampen umgerüstet. Diese brachten gegenüber den bisherigen Lichtquellen gravierende Energieeinsparungen mit sich. Dabei wurde aber in Frage gestellt, ob die niedrige Farbwiedergabe, welche zu Farbverschiebungen führen kann, nicht negative Auswirkungen auf das Wohlbefinden der arbeitenden Menschen haben könnte. Zur Klärung dieser Frage wurden die betroffenen Arbeiter detailliert befragt und gleichzeitig wurden beleuchtungsrelevante Merkmale am Arbeitsplatz durch physikalische Messungen und durch Beurteilungen von Ergonomen und Psychologen erfasst.

Daten

Die Kaltwalzwerkhalle war ursprünglich mit folgenden Leuchten bzw. Lampen ausgerüstet:

71 Quecksilberhochdrucklampen (HPL) 1000 W

28 Natriumniederdrucklampen (SO-I) 200 W

Die Halle ist 250 m lang, 32,5 m breit und weist einen Säulenabstand von 15 m auf und eine Lichtpunkthöhe von 16 m. Die mittlere Beleuchtungsstärke



ke für die Allgemeinbeleuchtung dieser Halle betrug 110 Lux. Sechs ständig besetzte Arbeitsplätze, wie Sortierstände, Kontrollplätze usw. weisen ausserdem eine Einzelplatzbeleuchtung auf.

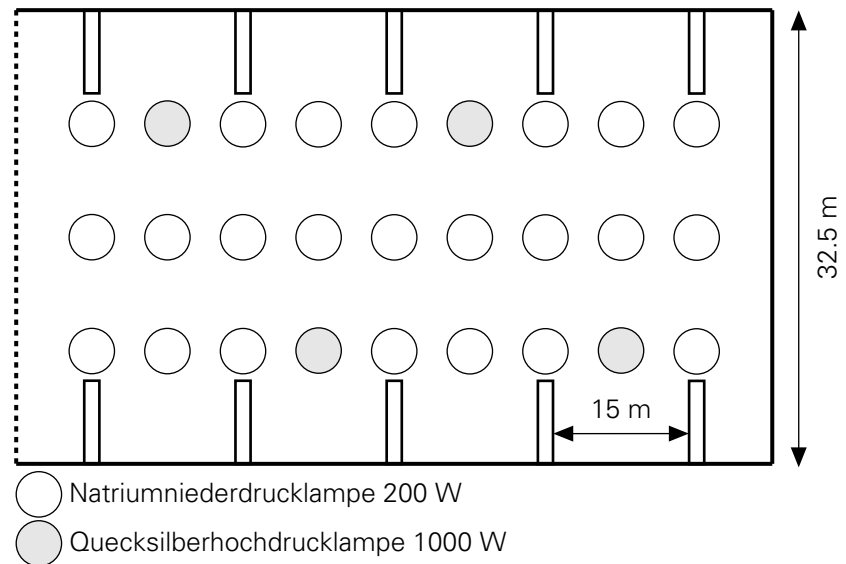


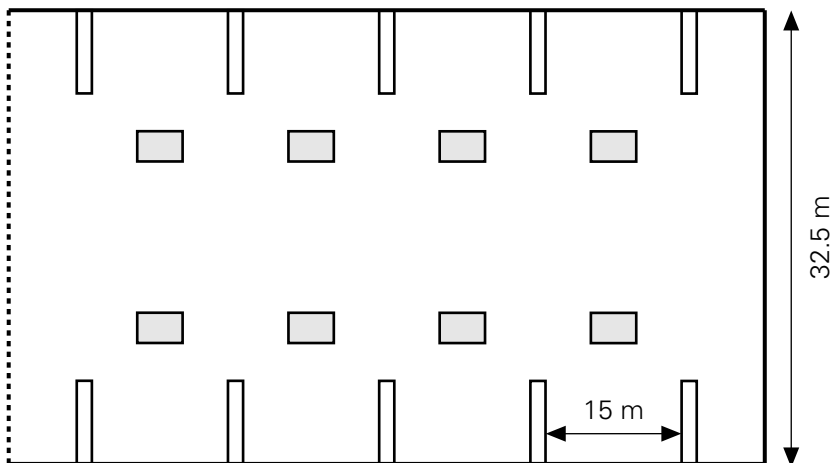
Bild 3.5a:
Halle mit alter Beleuchtungsanlage

Die in der neuen Anlage eingesetzte Natriumdampfhochdrucklampe weist eine wesentlich höhere Lichtausbeute als Lampen vergleichbarer Leistung auf.

Lampentyp	Lichtausbeute [lm/W]
Quecksilberhochdrucklampe 1000 W	60
Halogenmetall dampflampe 1000 W	90
Natriumhochdrucklampe 1000 W	130

Es ergaben sich folgende Gesamtdaten:

	Alte Anlage	Neue Anlage
Lampe inkl. VG	71 x 1040 W 32 x 1080 W	28 x 240 W
Gesamtleistung	81 kW	35 kW
Energieverbrauch (Schichtbetrieb 24 h/Tag)	691'656 kWh	296'424 kWh
beleuchtete Fläche	8'250 m ²	8'250 m ²
Nennbeleuchtungsstärke	110 Lux	220 Lux
Prozentualer Energieverbrauch	100%	43%



Hallenausschnitt mit Natriumhochdrucklampen 1000 W

Bild 3.5b:
Halle mit neuer Beleuchtungsanlage

■ Beurteilung

Die neue Anlage wurde gegenüber der alten als günstiger bezeichnet. Dabei wurde die Farbwiedergabe als akzeptabel bis optimal bezeichnet. An Arbeitsplätzen ohne zusätzliche Beleuchtung wurde das Licht immer noch als unzureichend beurteilt.

Aufgrund der Ergebnisse kann festgehalten werden, dass eine Allgemeinbeleuchtung mit Natriumdampfhochdrucklampen einen guten Kompromiss darstellt zwischen ergonomischen, psychologischen und wirtschaftlichen Bedingungen, sofern der einzelne Arbeitsplatz als solches nicht vergessen wird.



4 Not- und Sicherheitsbeleuchtung

Die Notbeleuchtung und deren Teilgebiet, die Sicherheitsbeleuchtung, sind sicherlich keine Beleuchtungsarten, welche ein grosses Sparpotential beinhalten und bei deren Planung in erster Linie auf Sinn und Zweck geachtet werden muss.

An dieser Stelle soll deshalb lediglich darauf hingewiesen werden, dass in einigen Fällen elektronische Vorschaltgeräte (EVG) einen energetischen wie auch installationstechnischen Vorteil mit sich bringen können, da sie meist auch für Gleichspannungsbetrieb geeignet sind.

Wer sich näher für dieses Thema interessiert, den möchten wir auf die Literatur verweisen /21/.

■ Halleneinfahrten

Da die Sicherheitsbeleuchtung auch die Minimierung von Unfallgefahren beinhalten kann, sei hier kurz ein Beispiel erläutert, welches leider sehr häufig zu Unfällen und sogar Todesfällen führt: die Halleneinfahrt.

Eine Studie der deutschen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung /22/ belegt, dass durch eine angepasste Einfahrtsbeleuchtung dieses Risiko wesentlich reduziert werden kann. Die hauptsächliche Gefahr liegt in den sehr unterschiedlichen Beleuchtungsniveaus zwischen innen und aussen, da dadurch die Fahrer in der Regel in ein «dunkles Loch» hineinfahren, ohne die Verhältnisse in der Einfahrtszone vollständig erkennen zu können (ähnlich der Tunneleinfahrt). In der Planung wird dies leider nur selten berücksichtigt.

Dies ein Beispiel dafür, dass auch ein leicht erhöhter Elektrizitätsaufwand unter Umständen einen hohen volkswirtschaftlichen Spareffekt mit sich bringen kann.



5 Tageslicht

5.1 Theorie und Praxis	43
■ Fensterlose Hallen	43
5.2 Auswirkungen von Oberlichtern	44
■ Shedoberlichter	44
5.3 Wärmeschutz	47



5 Tageslicht

5.1 Theorie und Praxis

Theorie und Praxis weichen leider all zu oft voneinander ab. So auch hinsichtlich der Tageslichtnutzung in Industriebauten.

Bereits 1963 wurde in einer englischen Studie festgehalten, dass die in den Normen angegebenen Tageslichtquotienten zwar theoretisch fundiert seien, tatsächliche Messungen aber Werte ergaben, die etwa nur die Hälfte oder einen Drittel ausmachten.

Vorwiegend entstand dies dadurch, dass bei den Berechnungen von der leeren Halle ausgegangen wurde, während aber Inneneinrichtungen, Maschinen und gelagertes Material später erhebliche Änderungen hervorriefen.

Im Planungsstadium sollte bei Tageslichtberechnungen deshalb berücksichtigt werden, dass sich die Werte durch allfällige Innenausstattungen erheblich ändern können.

Fensterlose Hallen

Die Frage, ob sich die Tageslichtnutzung in Industriebauten überhaupt lohnt, oder ob es nicht besser sei, fensterlose Hallen zu bauen, wurde bereits in einigen Studien /9/ untersucht. Ist es hinsichtlich Wärmehaushalt noch einfacher, Aussagen zu machen, so wird es bezüglich des psychologischen Einflusses des Tageslichtes und dem Aussenbezug durch Fenster sehr viel schwieriger. Dementsprechend ergeben sich in den verschiedenen Studien auch sehr widersprüchliche Aussagen. Es gibt fast kein Argument – sei es für oder gegen fensterlose Bauten – welches nicht bereits widerlegt wurde.

Von den gesetzlichen Behörden in der Schweiz wird diese Frage insofern eingeschränkt, als ein Mindestanteil an Fensterflächen in der Regel gefordert wird. Wieviel über diesem Mindestanteil für ein Objekt am sinnvollsten ist bzw. wie hoch die Energieeinsparung bei der künstlichen Beleuchtung, wie hoch der Verlust durch verminderte Isolationsflächen wie Fenster und Oberlichter oder wie gross der Einfluss auf die Arbeitnehmer ist, sollte vom jeweiligen Bauherren mit einem versierten Tageslichtberater zusammen am besten von Fall zu Fall entschieden werden.

Im folgenden werden verschiedene industriespezifische Einflussfaktoren kurz beschrieben.

Dieses Thema wird im Grundlagenheft noch ausführlicher behandelt.



5.2 Auswirkungen von Oberlichtern

Die Lage der Tageslichtöffnung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Raumbeleuchtung. In der folgenden Abbildung erzeugt jede der verschiedenen grossen Lichtöffnungen am Punkt A die gleiche Beleuchtungsstärke.

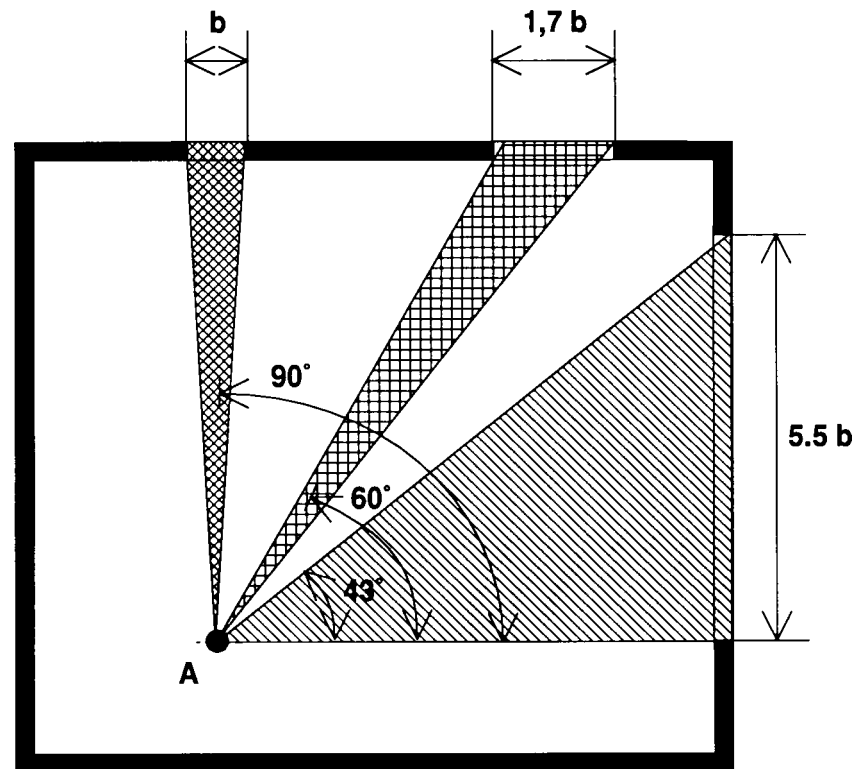


Bild 5.1:
Einfluss der Grösse der Tageslicht-
öffnung

Demzufolge lässt sich folgender Merksatz festhalten:

Tiefe Bauten mit hoher Tageslichtnutzung lassen sich grundsätzlich nur mit Oberlichtern realisieren.

Der psychologischen Forderung nach Aussenbezug werden Oberlichter aber nicht gerecht. Es ist daher darauf zu achten, dass genügend Sichtfenster eingeplant werden, da sich sonst psychologische Probleme /9/ ergeben können (zudem wird von den Behörden meist ein gewisser Sichtfensteranteil gefordert).

■ Shedoberlichter

Für Shedoberlichter sind die Raumhöhe und die Neigung der Glasflächen von erheblichem Einfluss. Die folgenden Graphiken sollen dies verdeutlichen /5/:

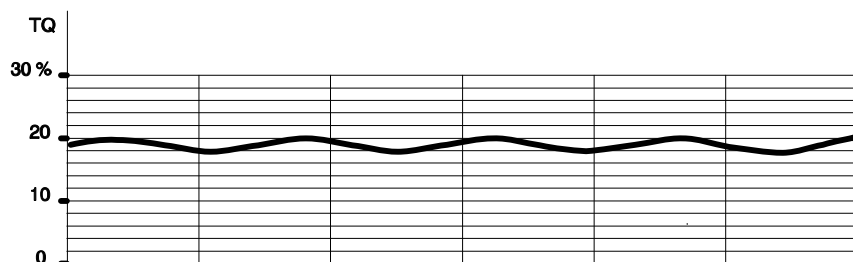
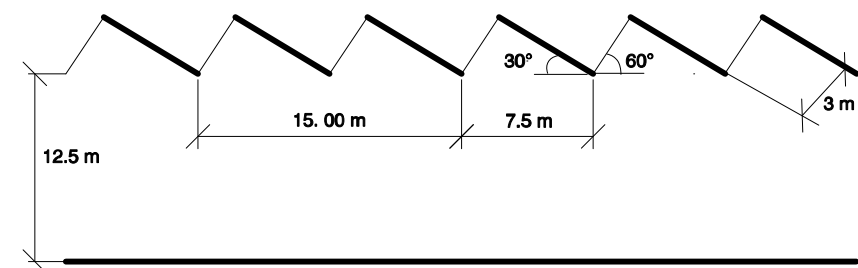


Bild 5.2: Beispiel 1

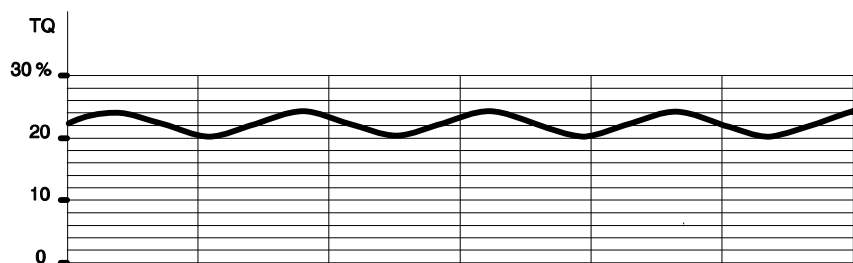
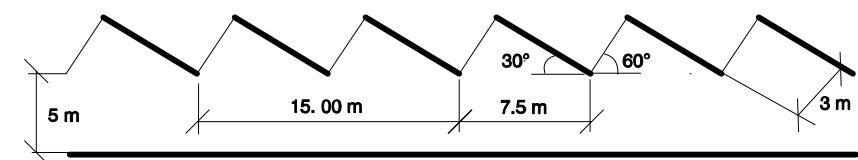


Bild 5.3: Beispiel 2

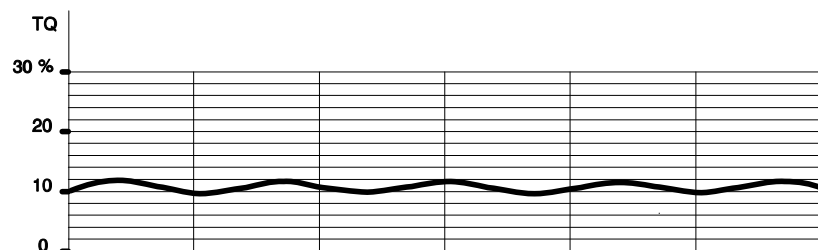
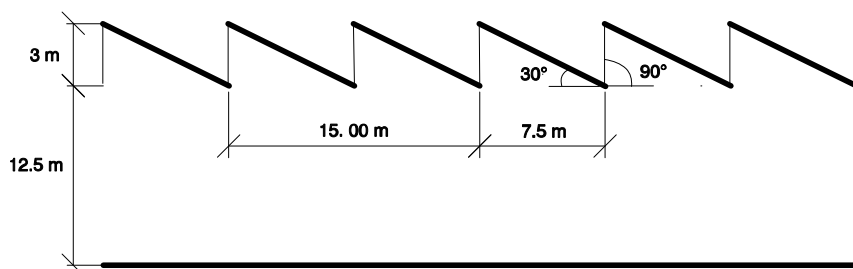


Bild 5.4: Beispiel 3

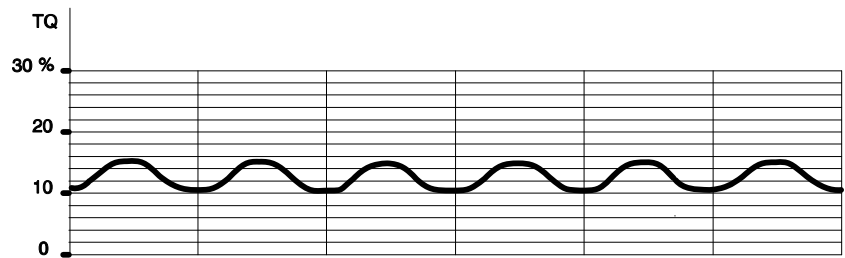
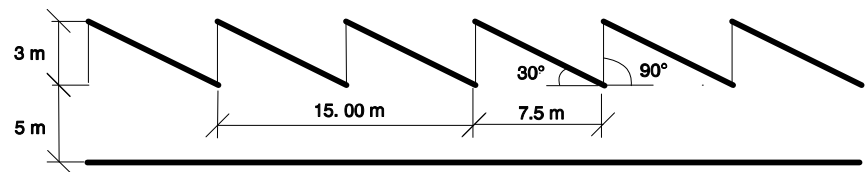


Bild 5.5: Beispiel 4

Der Tageslichtquotientenverlauf (TQ oder neu: D) für sehr lange Hallen mit Shedoberlichter (im Beispiel hier unverglast) ändert sich bei den gegebenen zwei Hallenhöhen (12,5 m und 5 m) und zwei verschiedenen Shedneigungen gegen den Horizont (60° und 90°) wesentlich.

	Beispiel			
	1	2	3	4
Shedneigung	60°	60°	90°	90°
Hallenhöhe	12,5 m	5 m	12,5 m	5 m
Mittelwert D	20%	23%	11%	13%
Dmin / Dmax	19/20%	21/24%	10/12%	10/15%

Tabelle 8

Durch eine gewölbte Ausführung des Shedrückens bzw. reflektierender Gegenfläche könnte der Tageslichtquotient noch gehoben und insbesondere die Gleichmässigkeit verbessert werden (z.B. bei Bild 5.5: Beispiel 4).

Obschon bei waagerechten Flächen der einfallende Lichtstrom relativ gesehen am grössten ist, werden sie als Oberlichter wenig eingesetzt, da die Verschmutzung grösser ist als bei geneigten Flächen. Zudem kann sich die Sonne durch Blendung und Wärmestrahlung unangenehm bemerkbar machen.

Auf dieses Thema wird im Grundlagenheft noch näher eingegangen.

Bei Sheddächern, die vorwiegend nach Norden ausgerichtet sind, ist der Einfluss der Sonneneinstrahlung bzw. der daraus resultierenden Blendungs- und Wärmeeinwirkung minimal. Dies heisst wiederum auch, dass während der täglichen Arbeitszeit der Lichteinfall ausschliesslich diffus ist, was zusätzliche lichttechnische Vorteile wie Vermeidung von Schlag Schatten und hohe Vertikalbeleuchtungsstärke mit sich bringt.



5.3 Wärmeschutz

Tageslicht ist grundsätzlich eine Form von Energie. Somit stellt jeder Tageslichteinfall auch eine Energieeinstrahlung dar, welche erwünscht (Winter: zusätzliche Wärme) oder unerwünscht sein kann (Sommer: Überhitzung durch Sonneneinstrahlung).

*Siehe auch:
2.3 Sonnenenergienutzung*

Bei vielen Industriebauten sind aus diesem Grunde nachträglich Abschattungsvorrichtungen angebracht worden. Dabei handelt es sich zum Teil um nachträgliches Anstreichen von Oberlichtern, deren Abdeckung mit Planen oder auch um einfache Sonnenstoren, um nur einige zu nennen.

Festere Abdeckungen, wie Planen oder ähnliches, werden meist angebracht, um im Sommer die Arbeitstemperatur im Raum einigermaßen erträglich zu machen. In den meisten Fällen wird aber vergessen, sie im Winter wegzunehmen, was wiederum oft einen unnötigen Mehrverbrauch an Heiz- und Beleuchtungsenergie mit sich bringt.

Folgenden Merksatz sollte man bei der Planung oder dem nachträglichen Anbringen von Wärme- oder Sonnenschutzsystemen berücksichtigen:

Ein Sonnenschutz soll so flexibel wie möglich sein und auch entsprechend benützt werden.

Nach Möglichkeit sollte er selektiv sein, das heisst lichtdurchlässig, aber infrarotreflektierend.



6 Unterhalt

6.1	Reinigung	51
6.2	Lichtstromrückgang	52
6.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	52
6.4	Zugänglichkeit und Lampenwechsel	53
	Gruppenauswechslung	53



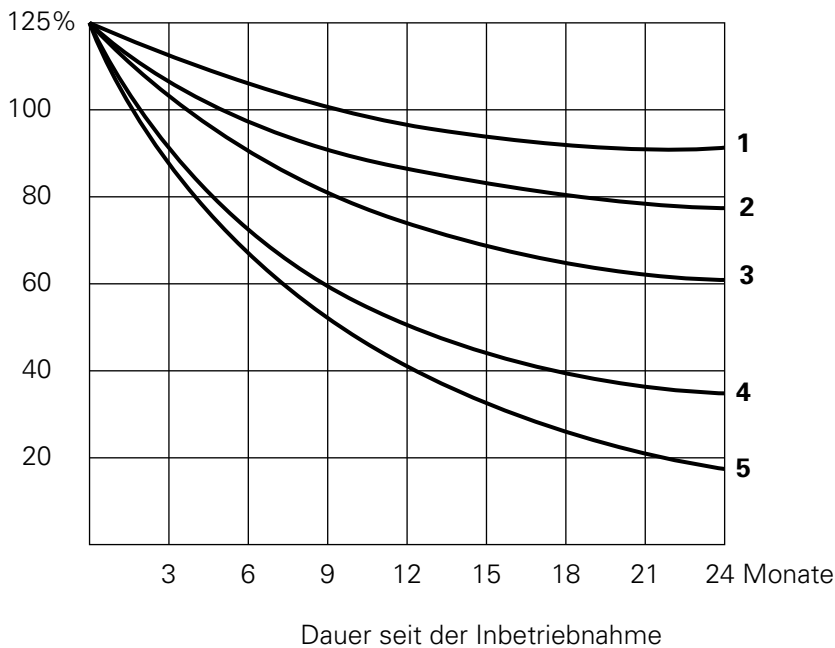
6 Unterhalt

6.1 Reinigung

Infolge Verschmutzung und Alterung von Lampen, Leuchten und Raumbegrenzungsflächen verringert sich die Beleuchtungsstärke ständig. Es sollte daher dafür gesorgt werden, dass periodisch die Lampen und Leuchten gereinigt und die Raumflächen neu gestrichen werden.

Damit die Wirtschaftlichkeit der Anlage erhalten bleibt, ist in den meisten Fällen eine zweimalige, in sehr staubigen Betrieben sogar eine drei- bis viermalige Reinigung pro Jahr empfehlenswert. Bei einer fachgerechten Reinigung und Wartung kann eine Beleuchtungsstärke-Erhöhung von 25–50% erreicht werden /23/.

Beleuchtungsstärke



Beleuchtungsart	Verschmutzung gering	Verschmutzung stark
nur direkt	1	3
direkt/indirekt	2	4
nur indirekt	3	5

Bild 6.1:
Rückgang der Beleuchtungsstärke durch die Verschmutzung (Beispiel)



Aus Bild 6.1 ist ersichtlich, dass gegenüber dem Neuwert der Anlage die Beleuchtungsstärke bei einer mittleren bis starken Verschmutzung, wie sie in der Industrie üblich ist, rasch vermindert wird. Die Anlage sollte spätestens dann gereinigt werden, wenn die mittlere Beleuchtungsstärke am ungünstigsten Arbeitsplatz auf 50% des Nennwertes gesunken ist.

Zudem gilt:

Je länger die Reinigungsperiode ist, um so schwieriger wird es, den Reflektor zu säubern.

Dabei ist in Räumen mit hoher Verschmutzung die Reinigung der Leuchten mit einem trockenen Tuch bereits erstaunlich gut, so dass bei kurzen Reinigungsintervallen die Wirkung einer sorgfältigen Nassreinigung meist kaum mehr ins Gewicht fällt.

6.2 Lichtstromrückgang

Der Neuwert der Anlage wird in der Regel trotz sorgfältigster Reinigung nicht mehr erreicht, da die Lampen im allgemeinen während ihrer Lebensdauer einen gewissen Lichtstromrückgang aufweisen.

Wie sich zeigt /26/, ist aber der Lichtstromrückgang von Hochdruck-Entladungslampen in geschlossenen Leuchten durch die höhere Temperatur wesentlich höher als in offenen. Die Lichtverluste durch Verschmutzung wiederum sind in offenen Leuchten höher als in geschlossenen. Daraus lässt sich folgende Empfehlung ableiten:

In Räumen mit hoher Verschmutzung (z.B. Giessereien) sollten keine Leuchten mit unten offenen Aluminiumreflektoren eingesetzt werden. Die Leuchten sollten in solchen Fällen mit einem Schutzglas abgeschlossen sein.

6.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wird in der Industrie eine Leuchte lediglich deshalb gekauft, weil sie preislich die günstigste ist, so wird man später oft feststellen müssen, dass man zwar eine billige Leuchte, aber eine teure Beleuchtungsanlage besitzt.

Dies lässt sich auch anhand des folgenden Beispiels deutlich vor Augen führen. In einer Untersuchung verschiedener Giessereien wurden Beleuchtungsanlagen mit verschiedenen Leuchtentypen hinsichtlich der anfallenden Jahreskosten näher betrachtet. Bei der Annahme von gleichen Installationskosten und einer Reinigung jährlich, ergaben sich für verschiedene Leuchtenbauarten grosse Unterschiede in den Kosten. So wurde festgestellt, dass die preislich günstigste Leuchte (etwa 30% des Einkaufspreises der teuersten Leuchte) bei Berücksichtigung der Faktoren wie Lichtstromrückgang durch Verschmutzung der Lampe und Verminderung des Leuchtenwirkungsgrades durch Verschmutzung des Reflektors (abhängig von Material und Leuchtenbauweise) zu den höchsten Jahreskosten führte. Dabei waren diese in der erwähnten Untersuchung mehr als doppelt so hoch wie bei den anderen Leuchtentypen. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass dieser Leuchtentyp in etwa 60% aller schwedischen Giessereien (in Unkenntnis der Studie) verwendet wurde.

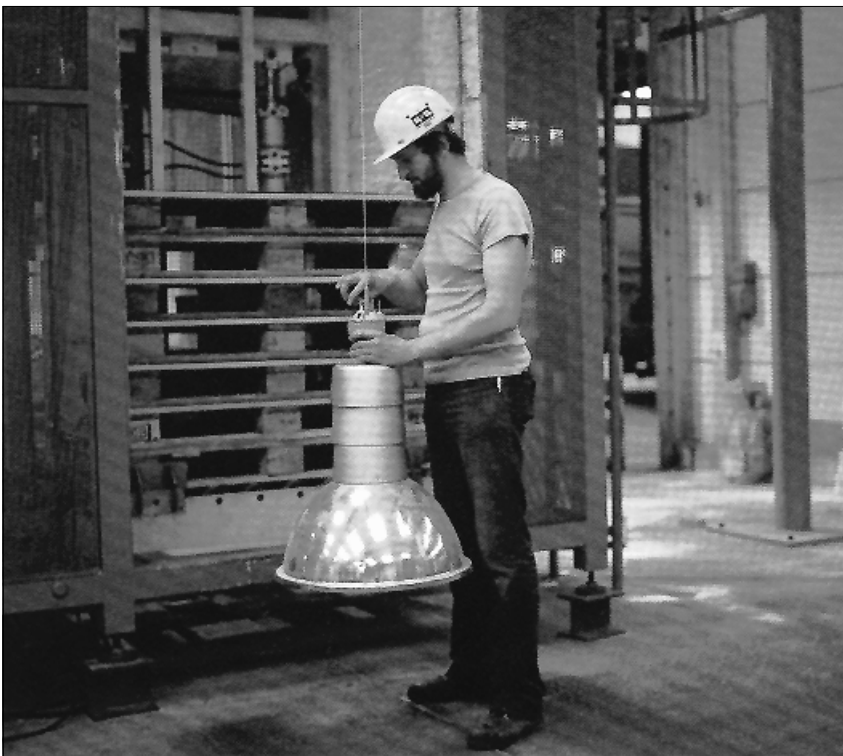


Es zeigt sich somit, dass die Bauart der Leuchte wie auch das für ihren Bau verwendete Material einen grossen Einfluss auf den tatsächlichen Verminderungsfaktor bzw. die Unterhaltsintervalle und damit auf die Betriebskosten haben.

Der Verminderungsfaktor entspricht dem Planungsfaktor, welcher zur Berücksichtigung der Abnahme der Beleuchtungsstärke durch Verschmutzung von Lampen, Leuchten und Raumbooberflächen eingesetzt wird.

6.4 Zugänglichkeit und Lampenwechsel

Grundsätzlich sollte bei der Erstellung einer Beleuchtungsanlage darauf geachtet werden, dass alle Leuchten leicht zugänglich sind. Besonders gilt dies für hohe Hallen, da sonst unter Umständen der Aufwand für die Wartung respektive den Lampenwechsel zu einer sehr teuren Angelegenheit werden kann. Es lohnt sich meist, der Leuchtenmontageart verstärkte Aufmerksamkeit zu schenken. So werden zum Beispiel für hohe Räume auch besondere Aufhängevorrichtungen angeboten, die es gestatten, die Leuchten für das Reinigen mittels Seilzug und spezieller Anschlusskupplung herabzulassen.



*Bild 6.2:
Verminderung der Wartungskosten
durch Seilzugsystem
(Quelle: Hellux)*

■ Gruppenauswechslung

In den meisten Fällen empfiehlt sich eine Gruppenauswechslung, da zum einen durch die heutige Genauigkeit bei der Lampenherstellung die Ausfallzeiten nicht mehr wesentlich voneinander abweichen, zum anderen der Wartungsaufwand dadurch oft erheblich reduziert wird. In der Praxis hat sich folgendes Rezept bewährt:

Frühausfälle einzeln beheben und nach 10% Ausfall eine Gruppenauswechslung vornehmen.



7 Lampen

7.1 Allgemeines	57
■ Lichtausbeute	57
■ Lebensdauer	57
■ Lichtfarbe und Farbwiedergabe-Eigenschaften	58
 7.2 Einsparungen durch die geeignete Lampenwahl	 59
■ Glühlampen und Halogenglühlampen	59
■ Kompakt-Leuchtstofflampen	59
■ Leuchtstofflampen	59
■ Quecksilberdampflampen	60
■ Halogen-Metaldampflampen	60
■ Natriumdampf-Hochdrucklampen	60
■ Induktionslampen	61



7 Lampen

7.1 Allgemeines

Eine Beurteilung von Lampen sollte nach folgenden Bewertungskriterien vorgenommen werden:

- Lichtausbeute
- Lichtstrom
- Lichtstromabnahme durch Alterung
- Lichtfarbe und Farbwiedergabe-Eigenschaften
- erhältliche Leistungsstufen
- Lebensdauer
- Betriebsverhalten (z.B. Zündungseigenschaften)
- Anschaffungs- und Betriebskosten.

■ Lichtausbeute

Die Lichtausbeute von Lampen hängt von der Art der Lichterzeugung und der Lampenleistung ab, kann aber auch von Lichtfarbe und Farbwiedergabe-Eigenschaft beeinflusst werden.

In den Katalogen wird in der Regel die Lampenlichtausbeute angegeben. In der Praxis kommt aber noch die Verlustleistung der Vorschaltgeräte oder Transformatoren hinzu. Bei allfälligen Vergleichen von Lichtausbeuten sollte deshalb beides berücksichtigt werden.

Die Lichtausbeuten verschiedener Lampen sind im Grundlagenheft aufgeführt.

Die Systemleistungen einiger gebräuchlicher Hochdruck-Entladungslampen sind im folgenden Kapitel (Tabelle 12) aufgeführt.

■ Lebensdauer

Bei der Lebensdauer von Lampen unterscheidet man zwischen folgenden Definitionen:

- Wirtschaftliche Lebensdauer (Zeitpunkt, zu welchem infolge Alterung, Verschmutzung oder betrieblichen Gründen ein Lampenwechsel ratsam wird).
- Garantierte Lebensdauer (Zeitpunkt, bis zu welchem Ersatz geleistet wird).
- Mittlere Lebensdauer (Zeitpunkt, zu welchem 50% aller Lampen ausgefallen sind).



Bei Entladungslampen ist die Lebensdauer oft von der Schalzhäufigkeit abhängig. Die Katalog-Angabe wird deshalb meist auf eine Mindestbetriebszeit pro Schaltung bezogen (bei Leuchtstofflampen etwa 3 h, bei Hochdruckentladungslampen etwa 5–10 h).

■ Lichtfarbe und Farbwiedergabe-Eigenschaften

siehe auch Grundlagenheft

Die Farbwiedergabe-Eigenschaft beschreibt die Qualität der Wiedergabe von Objektfarben unter dem Licht der betreffenden Lichtquelle im Vergleich zu einem Temperaturstrahler ähnlichster Lichtfarbe.

Die Farbwiedergabe-Eigenschaften können gemäss DIN 5035 in folgende 6 Stufen eingeteilt werden:

Stufe	Übereinstimmung mit Temperaturstrahler ähnlichster Farbtemperatur	Allgemeiner Farbwiedergabe-Index Ra	Lampentyp
1 A	sehr gut	90 ... 100	Glühlampen, Halogenglühlampen, Leuchtstofflampen (de Luxe)
1 B	sehr gut	80 ... <90	Leuchtstofflampen (Dreibanden), Halogen-Metalldampflampen, Induktionslampen
2 A	gut	70 ... <80	Leuchtstofflampen, Halogen-Metalldampflampen
2 B	gut	60 ... <70	Leuchtstofflampen, Halogen-Metalldampflampen, Natriumdampf-Hochdrucklampen (SDW-T)
3	genügend	40 ... <60	Leuchtstofflampen, Halogen-Metalldampflampen, Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, Natriumdampf-Hochdrucklampen (de Luxe), Mischlichtlampen
4	mässig bis schlecht	20 ... <40	Natriumdampf-Hochdrucklampen, Natriumdampf-Niederdrucklampen

Tabelle 9

Der Farbwiedergabe-Index Ra bezieht sich auf eine bestimmte Farbtemperatur. Deshalb gilt für das Licht einer Glühlampe ebenso der Maximalwert 100 wie für das natürliche Tageslicht, obwohl die Farbtemperaturen beider Lichtquellen weit auseinanderliegen und deshalb Objektfarben unter diesen Lichtquellen sehr unterschiedlich aussehen.

Für die subjektive Bewertung der Farbwiedergabe ist der Farbwiedergabe-Index deshalb weniger geeignet. In der Regel empfindet man die Farbwiedergabe bei warmweisser Lichtfarbe angenehmer als bei neutral- oder tageslichtweissem Licht, selbst wenn der Farbwiedergabe-Index schlechter ist. Ein brauchbares Bewertungssystem hierfür steht aber derzeit noch nicht zur Verfügung.



7.2 Einsparungen durch die geeignete Lampenwahl

Da die einzelnen Lampentypen im Grundlagenheft und in der Literatur /5/,/12/ detailliert beschrieben sind, soll an dieser Stelle lediglich kurz auf die industriespezifischen Merkmale eingegangen werden.

■ Glühlampen und Halogenglühlampen

Glüh- und Halogenglühlampen sind sehr schlechte Energieverwerter und sollten deshalb nur dort eingesetzt werden, wo Anschlussleistung und Betriebszeit sehr gering sind oder die Sehaufgabe es erfordert (z.B. bei speziellen Arbeitsplätzen).

Grundsätzliches zu den Eigenschaften der einzelnen Lampentypen wird im Grundlagenheft aufgeführt.

■ Kompakt-Leuchtstofflampen

Kompaktleuchtstofflampen (sogenannte Energiesparlampen) ermöglichen bei vergleichbaren Abmessungen etwa 75% Einsparungen gegenüber Glühlampen.

■ Leuchtstofflampen

Stabförmige Leuchtstofflampen in den Leistungsstufen 18 W bis 58 W sind energiesparender als Kompaktleuchtstofflampen. Sie ermöglichen gegenüber der Glühlampe eine Einsparung von etwa 80%.

Bei den meisten älteren Anlagen besteht ein Energiesparpotential von etwa 5 %, welches allein dadurch genutzt werden kann, dass die früher üblichen, dicken Leuchtstofflampen (Durchmesser 38 mm) durch neuere (Durchmesser 26 mm) ersetzt werden, da diese eine höhere Lichtausbeute aufweisen. Bei freibrennenden Lampen und ungünstig platzierten Spiegelrasterleuchten kann es dabei jedoch wegen der höheren Lampenleuchtdichte zu verstärkter Direkt- oder Reflexblendung kommen. Der Betrieb der neueren, dünneren Lampentypen ist zudem nicht an allen älteren Vorschaltgeräten möglich. Es empfiehlt sich deshalb, dies vorrangig durch einen Fachmann abklären zu lassen.

Lampenleistung [W] Ø 26 mm	Lampenleistung [W] Ø 38 mm	Länge (mm)
18	20	590
36	40	1200
38	42	1047
58	65	1500

Tabelle 10

Leuchtstofflampen werden hauptsächlich in drei verschiedenen Klassen angeboten – Standard, Dreibanden und de Luxe. Sie unterscheiden sich in Lichtausbeute, Farbwiedergabe und Preis.



Tabelle 11

Klasse	Relativer Lichtstrom	Farbwiedergabe	Preis-verhältnis
Standardlampen	1	mässig	1
3-Banden-Lampen	1,1	subjektiv gut	ca. 2
De-Luxe-Lampen	0,7	objektiv sehr gut	ca. 2,3

Siehe 9: Betriebsgeräte

In vielen Anwendungsfällen sind teurere 3-Banden-Lampen wirtschaftlicher. Zudem lässt sich der Energiebedarf des Systems Leuchtstofflampe – Vorschaltgerät je nach Vorschaltgeräteart beträchtlich senken.

■ Quecksilberdampflampen

Quecksilberdampflampen sind heute bezüglich Lichtausbeute, Farbwiedergabe-Eigenschaften und Betriebsverhalten überholt und sollten, von Ausnahmen abgesehen, in Innenräumen nur noch für Ersatzzwecke eingesetzt werden. Bei kleinen Leistungen (bis 125 W) stellen Kompakt-Leuchtstofflampen eine Alternative dar, in anderen Fällen Halogen-Metall-dampflampen oder Natriumdampf-Hochdrucklampen.

■ Halogen-Metallampflampen

Halogen-Metallampflampen kleiner Leistung (35 bis 150 W) sind kompakt, und ihr Licht lässt sich gut bündeln. Sie stellen deshalb eine energieeffiziente Alternative zu Glühlampen und Halogen-GLühlampen dar, wenn hohe Lichtströme pro Einheit erforderlich sind. Ihre mittlere Lebensdauer beträgt etwa 6000 Betriebsstunden.

■ Natriumdampf-Hochdrucklampen

Dasselbe wie für die Halogen-Metallampflampen gilt auch für Natriumdampf-Hochdrucklampen de Luxe.

Mit Halogen-Metallampflampen oder Natriumdampf-Hochdrucklampen höherer Leistung (250 W, 400 W) anstelle von Quecksilberdampflampen ergibt sich in hohen Industrie- und Lagerhallen durch die höhere Lichtausbeute ein Energiesparpotential von etwa 15 bis 40%.

Herkömmliche Natriumdampflampen sind allerdings stark gelbstichig und ihre Farbwiedergabe-Eigenschaft gering. Trotz dieser eher negativen Eigenschaften ist die Akzeptanz in der Industrie durch die Benutzer meist recht hoch. Zudem werden heute meist farbverbesserte Natriumdampflampen mit erhöhtem Farbwiedergabe-Index (De-Luxe-Lampen) eingesetzt.



Lampentyp	Lampentyp	Verlust VG	Systemleistung	System-Lichtausbeute [lm/W]
Halogen-Metall dampflampe	35 W	13 W	48 W	50
Halogen-Metall dampflampe	70 W	18 W	88 W	57
Halogen-Metall dampflampe	150 W	20 W	170 W	65
Halogen-Metall dampflampe	250 W	25 W	275 W	73
Halogen-Metall dampflampe	400 W	40 W	440 W	80
Natrium-Hochdrucklampe (de Luxe)	35 W	10 W	45 W	41
Natrium-Hochdrucklampe (de Luxe)	70 W	16 W	86 W	54
Natrium-Hochdrucklampe (de Luxe)	150 W	20 W	170 W	74
Natrium-Hochdrucklampe (de Luxe)	250 W	25 W	275 W	84
Natrium-Hochdrucklampe (de Luxe)	400 W	50 W	450 W	85

*Tabelle 12:
Systemlichtausbeute von einigen Hochdrucklampen*

■ Induktionslampen

Durch die äusserst lange Lebensdauer dieser neuen Lampentechnologie können sich für hohe Hallen sehr günstige Betriebssituationen ergeben. Je nach Verschmutzungsgrad des Raumes darf aber die Wartung trotzdem nicht ausser acht gelassen werden, zudem ist die Lichtausbeute nicht sehr hoch.

Auf die Funktion und die Merkmale der Induktionslampe wird im Grundlagenheft näher eingegangen.



8 Leuchten

8.1 Leuchtenarten	65
■ Lichtleistensysteme	65
■ Installation	65
 8.2 Einsparungen durch hohe Leuchtenwirkungsgrade	65
 8.3 Leuchtenanordnung	66
■ Unterzüge	66
 8.4 Klimatisierung	66



8 Leuchten

8.1 Leuchtenarten

Industrielle Räume haben meist verschiedene Funktionen, welche sich zudem im Laufe der Zeit oft ändern. Da es aus wirtschaftlichen Gründen oft ratsam ist, sich für einen einheitlichen Leuchtentyp zu entscheiden, sollte diesbezüglich besonders auf hohe lichttechnische Flexibilität der Leuchte geachtet werden. Bei einigen Leuchtenmodellen lassen sich die Reflektoren verstellen, austauschen und mit verschiedenen Rastern kombinieren. Ein Merkmal, welches viel zur Mobilität beiträgt.

Die verschiedenen Leuchtenarten werden im Grundlagenheft näher erläutert.

■ Lichteistensysteme

Lichtbandsysteme sind sehr zweckmässig und werden zu Recht bereits in hohen Stückzahlen eingesetzt. Sie bestehen aus Tragschienen, an welchen auf einfache Art und Weise Leuchten angeschlossen und ausgetauscht werden können. Durch ein vielseitiges Baukastensystem erlauben sie meist den Ausbau von der einfachen Balken- bis zur Rasterleuchte.

■ Installation

Die Montageart und das Verdrahtungssystem stellen einen wichtigen Punkt in der Auswahl der Leuchte dar, da sie die Installationskosten wesentlich beeinflussen können. Bewährt haben sich Systeme, welche mit wenigen Handgriffen angeschlossen und montiert werden können.

8.2 Einsparungen durch hohe Leuchtenwirkungswirkungsgrade

Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad gibt an, welcher Anteil des Lampenlichtstromes aus der Leuchte austritt und zur Beleuchtung genutzt werden kann. Ein Wirkungsgrad über 80% kann dabei als «sehr hoch», einer unter 50% als «gering» bezeichnet werden.

Folgende Merkmale tragen zu einem hohen Leuchtenbetriebswirkungsgrad bei:

- Hohe Qualität der lichtlenkenden Materialien:
Dies bedeutet hohe Reflexionsgrade bei reflektierenden Flächen wie Blenden, Raster, Reflektoren, und hohe Transmissionsgrade bei lichtdurchlässigen Materialien wie Gläser, Blechabdeckungen usw.
- Genügend grosse Lichtaustrittsflächen:
Bei kleinen Leuchten, welche die Lampe eng umschliessen, geht viel Licht verloren. Bei Parabolspiegel-Rastern ist zudem die Stegbreite auf Lampenseite oft gross, so dass sich auch hier viel Licht in der Leuchte absorbiert.
- Genügend grosser Lampenabstand:
Bei mehrlampigen Leuchten sollte der Abstand von Lampe zu Lampe mindestens doppelt so gross wie der Lampendurchmesser sein. Ansonsten ist die Eigenabsorption zwischen den Lampen zu gross.



8.3 Leuchtenanordnung

In der Regel richtet sich die Einrichtung eines Industriebetriebes nicht nach dem Tageslichteinfall (wie es in Bürogebäuden meist der Fall ist), sondern nach dem Arbeitsablauf. Deshalb muss sich auch die Leuchtenanordnung nach diesem orientieren.

Lichtbänder sollten rechtwinklig zu Werkbankreihen angeordnet werden. So ermöglichen sie gute Sehbedingungen auf der Arbeitsebene, da dadurch störende Schatten vermieden werden.

■ Unterzüge

In Räumen mit tieferen Unterzügen, können diese zur Abschirmung der Lampen genutzt werden, indem sie zwischen den Balken montiert werden. Ausschlaggebend für die Leuchtenanordnung ist aber auch hier in erster Linie die Sehaufgabe am Arbeitsplatz.

8.4 Klimatisierung

Wird der Raum klimatisiert, so lassen sich oft Leuchte und Klimaelement zusammenfassen. Wird die Abluft durch die Leuchte hindurchgesaugt, so führt dies zu einer Herabsetzung der Wärmelast im Raum, welche durch die Beleuchtungsanlage erzeugt wird. Eine weitere Möglichkeit der Wärmelastreduzierung besteht in der Art der Luftein- resp. -abführung. Dabei ist aber zu beachten, dass sich die Verschmutzung durch Staubablagerung in der Regel erhöht.

Siehe Grundlagenheft.



9 Betriebsgeräte

9.1 Allgemeines	69
■ Niedervolt-Halogenglühlampen	69
■ Hochdruck-Entladungslampen	69
9.2 Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen	69
■ Konventionelle und verlustarme Vorschaltgeräte (KVG, VVG)	69
■ Elektronische Vorschaltgeräte (EVG)	70
■ Wechselwirkungen von EVG	71



9 Betriebsgeräte

9.1 Allgemeines

Um eine Grosszahl der existierenden Lampen betreiben zu können, benötigt es ein Betriebs- oder Vorschaltgerät. Dieses wiederum weist immer einen Anteil an Eigenverlusten auf. Bei Vergleichen des Energiebedarfes verschiedener Beleuchtungsvarianten sollte deshalb die Systemleistung (Lampen- und Vorschaltgeräte-Verlustleistung) betrachtet werden und nicht nur die Lampenleistung.

■ Niedervolt-Halogenglühlampen

Niedervolt-Halogenglühlampen benötigen für den Betrieb einen Transformator, welcher ebenfalls Eigenverluste aufweist. Bei der neueren Generation, den elektronischen Transformatoren, sind diese kleiner als bei den herkömmlichen.

■ Hochdruck-Entladungslampen

Auch bei den Betriebsgeräten dieser Lampenart zeichnet sich der Weg ins elektronische Zeitalter ab. Heute auf dem Markt erhältliche elektronische Betriebsgeräte für Hochdruck-Entladungslampen weisen unter anderem folgende Eigenschaften auf:

- mögliche Heisswiederzündung
- flimmerfreier Betrieb der Lampe.

Systemleistungen verschiedener Hochdruck-Entladungslampen sind in der Tabelle 12 enthalten.

9.2 Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen

Es gibt drei grundsätzliche Arten von Vorschaltgeräten (VG) für den Betrieb von Leuchtstofflampen: konventionelle, verlustarme und elektronische.

■ Konventionelle und verlustarme Vorschaltgeräte (KVG, VVG)

Wie die konventionellen Vorschaltgeräte, so bestehen auch verlustarme aus einer Drosselspule bzw. einer Kupferwicklung mit Eisenkern. Sie weisen jedoch geringere Eigenverluste auf.



■ Elektronische Vorschaltgeräte (EVG)

Beim Betrieb von Leuchtstofflampen an einem EVG ergeben sich folgende Merkmale:

- erhöhte Lichtausbeute
- flimmerfreier Lampenbetrieb (und somit Verhinderung des Stroboskopeffektes bei sich drehenden Objekten, z.B. Drehbank)
- niedrige Eigenverluste
- je nach Gerätetyp einfache Lichtstromregulierung bzw. tageslichtabhängige Steuerung möglich
- erhöhte Lampenlebensdauer bei entsprechendem Startvorgang (Warmstart)
- Leistungsfaktor nahezu 1 (keine Kompensation nötig)
- je nach Gerätetyp ist der Betrieb von zwei Lampen pro EVG möglich.

Durch den möglichen zweiflamrigen Betrieb kann der, gegenüber KVG und VVG, doch erheblich höhere Preis des EVG gemindert werden.

Vorschaltgerät	Lampen- typ	Lampen- leistung	Verlust VG	System- leistung
konventionell	T 36 W	36 W	10,5 W	46,5 W
verlustarm	T 36 W	36 W	6 W	42 W
extrem verlustarm	T 36 W	36 W	4 W	40 W
elektronisch	T 36 W	32 W	4 W	36 W
konventionell	T 58 W	58 W	15 W	73 W
verlustarm	T 58 W	58 W	9 W	67 W
extrem verlustarm	T 58 W	58 W	5,5 W	63,5 W
elektronisch	T 58 W	50 W	5 W	55 W

Tabelle 13:
Systemleistungen von Fluoreszenzlam-
pen und VG



■ Wechselwirkungen von EVG

Durch den hochfrequenten Betrieb (25–45 kHz) der Leuchtstofflampen an einem EVG können sich unter Umständen folgende Wechselwirkungen ergeben:

- Beeinflussung von Infrarot-Übertragungsanlagen
- Beeinflussung von induktiven Personensuchanlagen
- höhere Empfindlichkeit bezüglich gelegentlichen Über- oder Unterspannungen gegenüber KVG / VVG
- geringere zulässige Gerätetemperatur als bei KVG / VVG (hohe Einbusse der Gerätelebensdauer bei Überschreitung dieser Temperatur).

Bei sorgfältiger Planung und unter Berücksichtigung einiger Hinweise /27/ kann sich jedoch der Einsatz von EVG als sehr vorteilhaft erweisen.

siehe 2.2:

Sanierung einer Lagerbeleuchtung



10 Checkliste

1. Sind Leuchtstofflampen mit $\varnothing$ 38 mm Durchmesser montiert?
(siehe Seite 59) ☐
2. Wie hoch ist der Wirkungsgrad der Leuchten bzw. sind sie stark verschmutzt? (siehe Seite 51 und 65) ☐
3. Welche Art von Vorschaltgerät ist installiert?
(siehe Seite 69) ☐
4. Lohnt sich der Einsatz von 3-Banden-Lampen?
(siehe Seite 60) ☐
5. Wie hoch ist der Raumwirkungsgrad bzw. lohnt sich das Neustreichen des Raumes? (siehe Seite 30) ☐
6. Ist eine höhere Tageslichtnutzung möglich bzw. sinnvoll?
(siehe Seite 44) ☐
7. Ist die Sonnenschutzmassnahme nur dann im Einsatz, wenn es nötig ist? (siehe Seite 47) ☐
8. Kann die Betriebsdauer der Beleuchtung reduziert werden?
(siehe Seite 33) ☐
9. Sind Quecksilberdampflampen installiert?
(siehe Seite 60) ☐
10. Kann die Arbeitsleistung durch Verbesserung der Beleuchtungsgüte erhöht werden? (siehe Seite 22) ☐
11. Ist eine Reduktion der Beleuchtungsstärke durch neue Leuchtenanordnung (arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung) möglich? (niedrige Horizontalbeleuchtungsstärke bei hoher Vertikalbeleuchtungsstärke, siehe Seite 31) ☐
12. Wie hoch ist der Nutzwert der Anlage bzw. sind Beleuchtungsvarianten zu evaluieren? (siehe Seite 24) ☐
13. Wurde eine Farbgestaltung vorgenommen?
(siehe Seite 34) ☐



11 Literaturverzeichnis

- /1/ Bundesamt für Konjunkturfragen:
«Haustechnik in der Integralen Planung»
Bern, 1986
- /2/ Fördergemeinschaft «Gutes Licht»:
«Informationshefte zur Lichtenwendung»
Frankfurt
- /3/ Amt für Bundesbauten:
«Energiegerechte Neubauten»
Bern, 1981
- /4/ Bänziger R.:
«Elektrizität sparen beim Licht»
Impulsprogramm Haustechnik, 1987
- /5/ SLG:
«Handbuch für Beleuchtung»
ecomed-Fachverlag, Landsberg, 1992
- /6/ SLG:
«Zeitgemässe Beleuchtung in Industrie und Gewerbe»
Tagungsband, Bern, 1990
- /7/ **«Nachtarbeit»**
New England Journal of Medicine, Bd. 322, S. 1253
- /8/ **RAVEL Projektstudie Nr. 22.51c, Licht EDMZ Bern**
A. Piazza, Biel, 1992
- /9/ Sommer J., Loef C.:
«Fensterlose Industriebauten»
Wilhelm Goldmann Verlag GmbH, München, 1972
- /10/ Bundesanstalt für Arbeitsschutz:
«Farbe am Arbeitsplatz»
Dortmund, 1992
- /11/ Vögel F.:
«Beleuchtung und Farbgestaltung im Industriebetrieb»
Verlag Paul Haupt, Bern
- /12/ SLG:
**«Wegleitung für die Wahl von Fluoreszenzlampen und Betriebs-
systemen»**
Dok. Nr. 250/92, Bern, 1992
- /13/ Gütermann A.:
«Thermische Messungen am Stahllager Kägi»
AMENA, Stationsstr. 17a, CH-8952 Schlieren, 1990
- /14/ Frieling H.:
«Licht und Farbe am Arbeitsplatz»
Verlagsgemeinschaft für Wirtschaftspublizistik,
Bad Wörishofen, 1982



- /15/ Irens A. N.:
«Light and Productivity»
Trans. Illum. Eng. Soc., Vol. 25 No. 2, London, 1960
- /16/ Sommer J.:
«Arbeitsleistung und Beleuchtung»
Arbeit und Leistung, 23. Jahrg., Heft 7/8, 1969
- /17/ Herbst C.-H.:
«Der Einfluss des Lichtes auf den arbeitenden Menschen»
Elektrizität, Heft 11, S. 284–300, Frankfurt, 1968
- /18/ Deutsches Lichtinstitut:
«Einfluss der Beleuchtung auf die Arbeit an der Schreibmaschine»
Mitteilung 13, Wiesbaden, 1970
- /19/ Benz C.:
«Gestalten der Sehbedingungen am Arbeitsplatz»
TÜV Rheinland, Köln, 1983
- /20/ Hartmann:
«Optimale Beleuchtung am Arbeitsplatz»
Kiehl Verlag GmbH, Ludwigshafen, 1977
- /21/ Weis B.:
«Not-Beleuchtung»
Pflaum-Verlag, München, 1993
- /22/ Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung:
«Gutachten zur Risikominimierung bei Halleneinfahrten»
Wirtschaftsverlag NW, Bremerhafen, 1991
- /23/ Steck B.:
«Lichttechnik im Betrieb»
Carl Hanser Verlag, München, 1969
- /24/ Stenzel:
«Kosten des Lampenlichtes in industriellen Betrieben»
Elektrizität 16, Heft 10, S. 370, 1966, z.T. unveröffentlicht
- /25/ Rinza P., Schmitz H.:
«Nutzwert-Kosten-Analyse – eine Entscheidungshilfe»
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1992
- /26/ Carlsson L., Wibom R.:
«Lichtverluste in Giessereien»
Internationale Lichtrundschau, Heft 2, S. 38, 1981
- /27/ BEW, ATAL:
«Elektronische Vorschaltgeräte für Fluoreszenzlampen, Eigenschaften und Planungshinweise»
Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft,
Studie Nr. 49, EDMZ Bern, 1991
- /28/ M. Kröber u.a.:
«Industriehallenbeleuchtung mit SON-Lampen»
Internationale Lichtrundschau, Heft 2, S. 56, 1980



12 Stichwortregister

Stichwort	Seitenzahl
A	
Aktivierung	22
Akzeptanz	33
Allgemeinbeleuchtung	31
Analyse	24
Anschlussleistung, spezifische	11, 31
Arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung	32
Augenmuskel	22
Augenermüdung	22
B	
Barwert	15
Beleuchtungsart	31
Beleuchtungsgüte	17
Beleuchtungskonzept	30
Betriebsfaktor	13
Betriebsgeräte	69
Betriebskosten	15, 51
Betriebszeit	13
C	
Checkliste	73
E	
Einfahrtsbeleuchtung	39
Elektronische Vorschaltgeräte (EVG)	39, 69
Energieeinsparung	??
Energiemanagement	21
Energieverbrauch	30
Erfüllungsgrad	26
Ermüdung	34
F	
Farbgebung	30, 34
Farbgestaltung	34
Farbwiedergabe	57
Farbtemperatur	57
Fensterlose Hallen	43



Stichwort	Seitenzahl
G	
Gewichtung	26
Glühlampen	59
Gruppenauswechslung	53
H	
Halleneinfahrten	39
Hallenhöhe	44
Halogen-Metall dampflampen	58, 60
Helligkeitsverteilung	23
I	
Induktionslampen	61
Installation	65
Installationsbedarf	33
J	
Jahresbeleuchtungskosten	15
K	
Klimatisierung	66
Kompakt-Leuchtstofflampen	59
Konventionelles Vorschaltgerät (KVG)	14, 69
L	
Lampen	57
Lampenabstand	65
Lampenleistung	59
Lebensdauer	57
Leistungsfähigkeit	22
Leistungssteigerung	22, 23, 35
Leuchtdichteverteilung	23
Leuchtenanordnung	66
Leuchtenbetriebswirkungsgrad	52, 65
Leuchtstofflampen	58
Lichtausbeute	57
Lichtaustrittsfläche	65
Lichtfarbe	57
Lichtleistensystem	31, 65
Lichtstrom	57
Lichtstromrückgang	52
Lichtverluste	52



Stichwort	Seitenzahl
M	
Motivation	22
N	
Natriumdampf-Hochdrucklampen	60
Notbeleuchtung	39
Nutzwertanalyse	24
O	
Oberlichter	44
Optimierung	22
P	
Planung	24, 71
Produktivität	17, 21, 23
Produktivitätssteigerung	17, 23
Q	
Quecksilberdampflampen	60
R	
Raumflächen	30
Raumwirkungsgrad	30
Reinigung	51
Reinigungsperiode	52
S	
Schalten	33
Sehaufgabe, spezifische	32
Sehvorgang	22
Shedoberlichter	44
Sicherheitsbeleuchtung	39
Sichtfenster	43
Sonnenenergie	16
Sonnenschutz	47
Steuerung	33
Stoffwechsel	22
Systemleistung	57
T	
Tageslicht	33, 43
Tageslichtberechnung	43
Tageslichtquotient	43
Tageslichtquotientenverlauf	46



Stichwort	Seitenzahl
U	
Unfallrate	34
Unterhalt	51
Unterzüge	66
V	
Verkehrszonen	31
Verlustarmes Vorschaltgerät (VVG)	69
Verschmutzung	51
Vertikalbeleuchtungsstärke	12
W	
Wärmeenergie	16
Wärmeschutz	47
Wartung	51
Wechselwirkungen	71
Wertetabelle	26
Wirtschaftlichkeit	21, 52
Z	
Zonenschaltung	14, 33
Zugänglichkeit	53