

# **Tageslichtabhängige Beleuchtungsregelung in einer Halle**

## **- Simulation und Wirklichkeit -**

Dipl.-Ing. T. Osterhage, Dipl.-Ing. B. Wiemer

Universität Dortmund, Fakultät Bauwesen

Lehrstuhl Technische Gebäudeausrüstung und Bauphysik

Baroper Straße 299, 44 227 Dortmund, Tel.: 49-231-755 5663 Fax: 49-231-755 2466

e-Mail: lehrstuhl@tga.bauwesen.uni-dortmund.de

### **Zielsetzung**

In Büroräumen sind durch tageslichtabhängige Regelungen 20 – 40% Energieeinsparung erzielt worden, ohne Abstriche an der Qualität der Beleuchtung in Kauf nehmen zu müssen /1/. Da vergleichbare Untersuchungen in großen und hohen Industriehallen noch fehlen /2/ wurde die Installation einer neuen tageslichtabhängig geregelten Beleuchtungsanlage in der Experimentierhalle an der Universität Dortmund durch den Lehrstuhl TGA begleitet. Dabei galt es eine Vielzahl von Fragen zu beantworten, wie z. B. folgende: Konnte die Qualität der Beleuchtung im Hinblick auf die Güteigenschaften der Beleuchtung verbessert werden? Funktioniert die Regelung einwandfrei? Konnte die prognostizierte Energieeinsparung erreicht werden? Welche Planungswerkzeuge sind für einen derartige Gebäudetypus sinnvoll? Sind die NutzerInnen der Halle mit der neuen Beleuchtungsanlage zufrieden?

### **Ausgangssituation**

Die Beleuchtungsanlage wurde seit der Errichtung der Halle nicht verändert, sie war überdimensioniert und hat mit zu geringen Wirkungsgraden gearbeitet. Die technischen Hochschulbetriebe haben die Dimensionierung der Beleuchtungsanlage (Allgemeinbeleuchtung inkl. Sicherheitsbeleuchtung) vorgenommen. In einigen Gesprächen hat sich dann die Bereitschaft herauskristallisiert, einer tageslichtabhängigen Beleuchtungsregelung in einem Teilbereich der Halle zuzustimmen. Die zur Verfügung stehende Halle besitzt eine Gesamtlänge von 105 m bei einer Breite von 30 m. Es ist zu beachten, dass die Geschosshöhe der Halle in einigen Bereichen unterschiedlich ist. Für die Untersuchung kam nur der 8 m hohe und 2.100 m<sup>2</sup>große Hallenabschnitt mit der raumhohen verglasten Nordfassade in Betracht.



Abbildung 1: Innenansicht der Halle von oben mit verglaster Nordfassade

## Durchführung

Im Zuge der Neuinstallation der Beleuchtungsanlage im Jahre 2000 wurden auch die Regelungselemente und die komplette Messtechnik installiert. Nach anfänglichen Schwierigkeiten und dem Austausch fehlerhafter Module konnten seit März 2001 verwertbare Messergebnisse gewonnen werden.

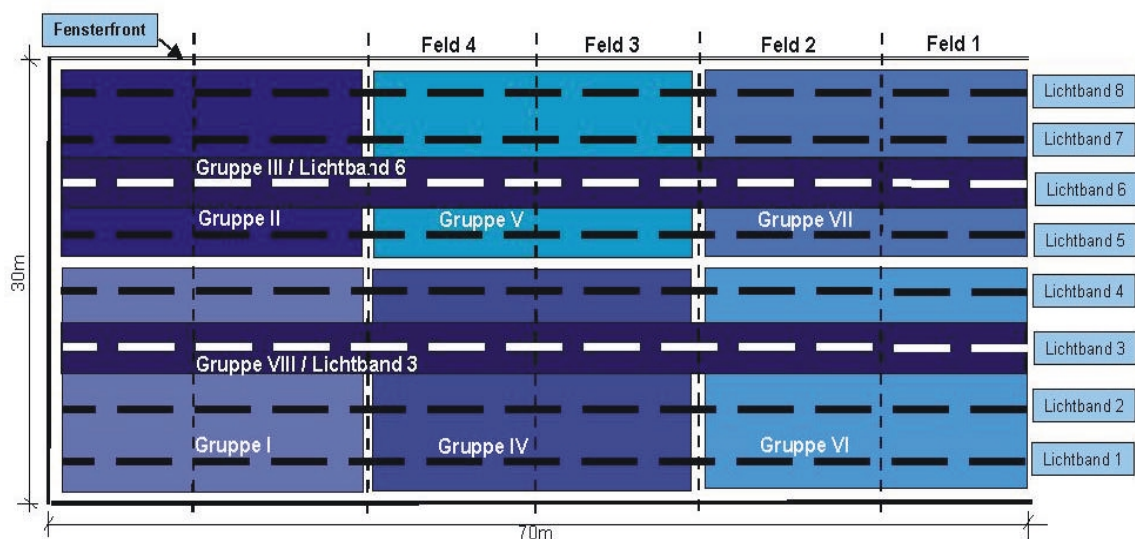


Abbildung 2: Verschaltung der Lichtbänder (Lichtband 3 und 6 Sicherheitsbeleuchtung)

Alle Lichtbänder verlaufen parallel zur Nordfassade. Die Lichtbänder werden gruppenweise geschaltet und erlauben somit manuelle Einschaltmöglichkeiten. Die getrennte Stromversorgung der Sicherheitsbeleuchtung wurde beibehalten. Aus messtechnischer Sicht wurde die Halle in 2 Hälften zu je 4 Gruppen unterteilt. In jeder Hallenhälfte befinden sich 6 Felder, wovon momentan allerdings nur die ersten 4 Felder ausgewertet werden. Aufgrund des abnehmenden Tageslichteinfalles mit zunehmendem Abstand von der verglasten Fensterfront werden bis jetzt nur die ersten drei Lichtbänder tageslichtabhängig geregelt. Dabei wurde pro Feld und Lichtband ein Sensor installiert. Die technischen Daten werden für jedes einzelne Lichtband separat erfasst, um später genaue Aussagen über jedes Band machen zu können.

## Ergebnisse

Durch die Sanierung der Beleuchtungsanlage wurde die gesamt installierte Leistung gegenüber der vorherigen Situation um 65 % reduziert, dies lässt sich durch die Verringerung der Leuchtenanzahl mit einer jeweils niedrigeren Systemleistung erklären.

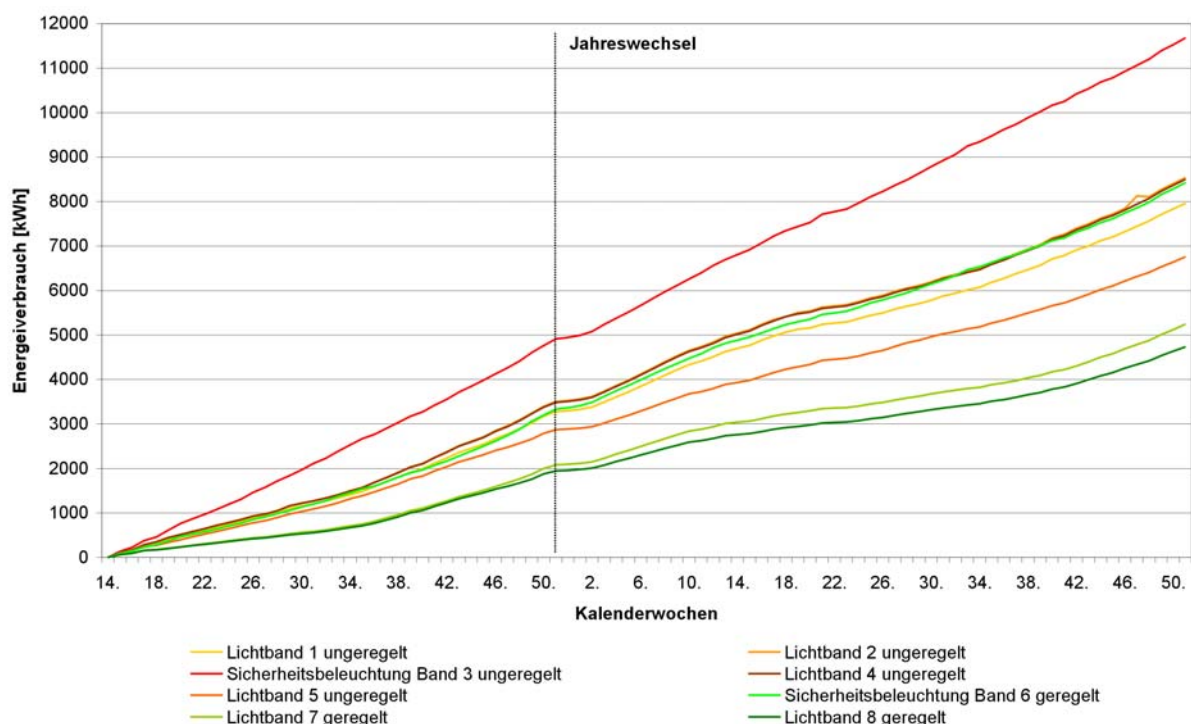


Abbildung 3: Energieverbrauch pro Lichtband

In Abbildung 3 sind die Energieverbräuche der einzelnen Lichtbänder aufgetragen. Den höchsten Energieverbrauch besitzt das Lichtband 3 (Sicherheitsbeleuchtung), es

ist das ganze Jahr über im Dauerbetrieb und nicht geregelt. Im Vergleich dazu verbraucht das Lichtband 6 bei gleicher Einschaltdauer, aber als tageslichtabhängig geregeltes System, ca. 2.500 kWh weniger. Dies ergibt eine Einsparung von 30 % gegenüber dem ungeregelten Lichtband.

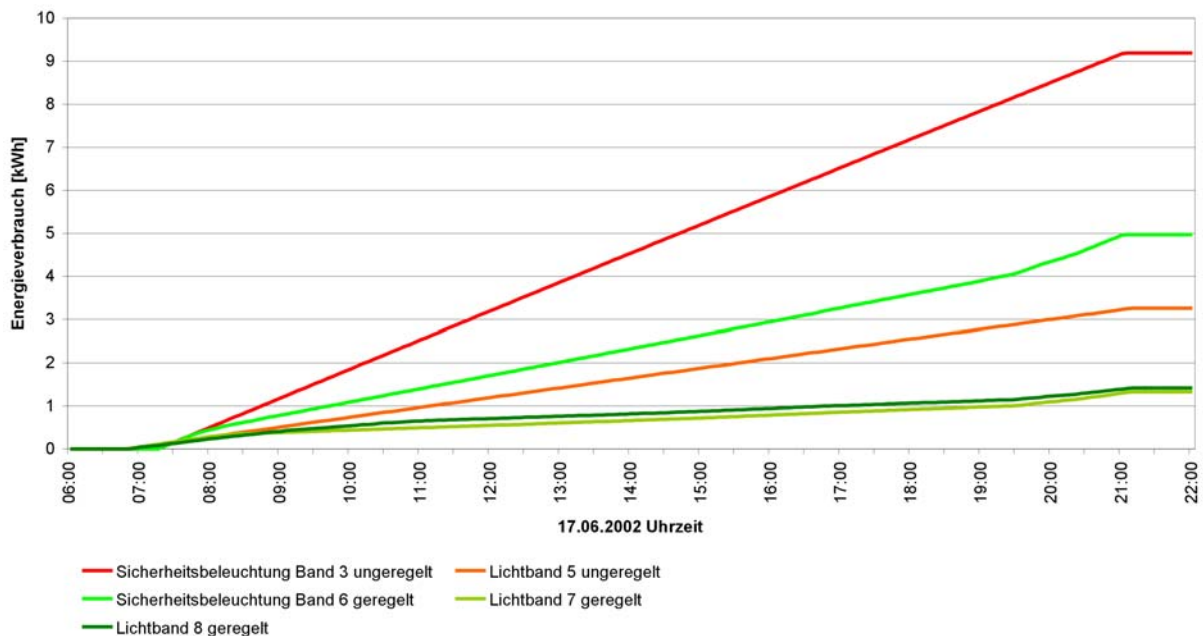


Abbildung 4: Energieverbrauch geregelt / ungeregelt an einem Sonnenscheintag

Bei der genauen Betrachtung eines Sonnenscheintages kann man eine Energieeinsparung bei den geregelten zu den ungeregelten Lichtbändern bei gleicher Einschaltdauer von bis zu 60 % feststellen.

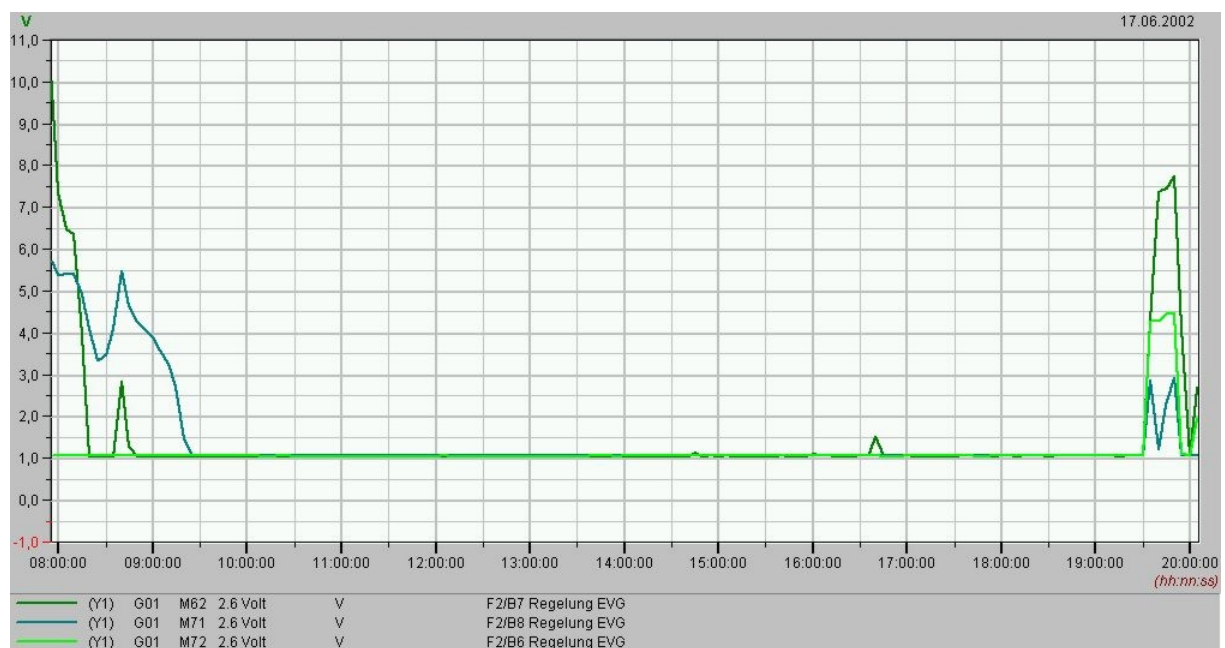


Abbildung 5: Bildschirmkopie des Messwerterfassungsprogramms für einen Sonnenscheintag

Wenn man dazu die Abbildung 5 betrachtet, kann man deutlich das Regelungsverhalten des Systems erkennen. Sobald die Beleuchtungsstärke im Raum ausreichend ist wird die Eingangsspannung der Regelungseinrichtung reduziert. Einzelne Schwankungen lassen auf kurze Bewölkungen schließen.

Betrachtet man die Ergebnisse der einzelnen Lichtbänder untereinander, so ergibt sich eine Staffelung. Das fensternahe, geregelte Lichtband 8 hat den geringsten Energieverbrauch. Das Lichtband 7 verbraucht über den gleichen Zeitraum etwa 8 % mehr Energie. Selbst bei dem Lichtband 6 für die Sicherheitsbeleuchtung, welches ca. 10 m von der Fensterfront entfernt ist, ist eine Einsparung von 30 % gegenüber dem ungeregelten Lichtband festzustellen. In Summe konnten während des Betrachtungszeitraumes 3.000 Euro an reinen Energiekosten eingespart werden.

Wichtig für alle Neuerungen am Arbeitsplatz ist die Akzeptanz der Mitarbeiter, ansonsten sind derartige Unternehmungen von vorne herein zum Scheitern verurteilt.

## **Planungswerkzeuge**

Anhand der, im Rahmen dieser Untersuchung aufgestellten Bewertungskriterien (vgl. Abb. 7), wurden verschiedene Planungswerkzeuge, hier computergestützte Lichtberechnungsprogramme, verglichen.

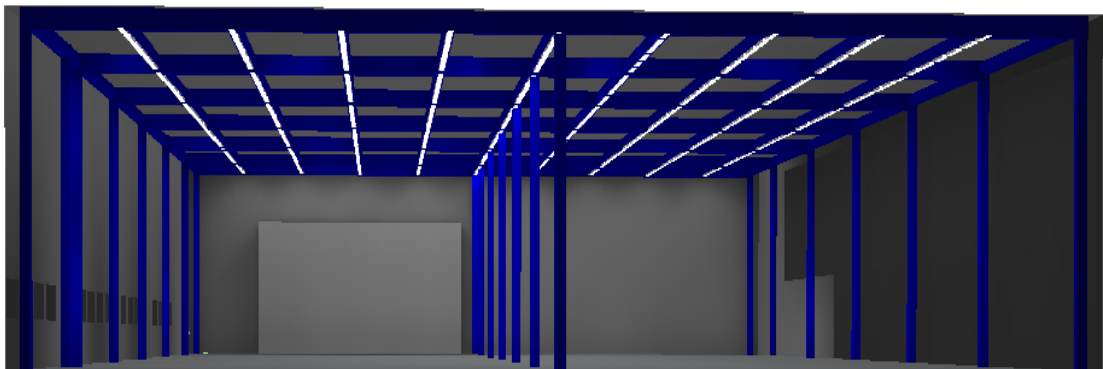


Abbildung 6: Kunstlichtsimulation des Halleninnenraums mit DIALux

Auf Grundlage der nachfolgend aufgeführten Bewertungskriterien wurden die verschiedenen Lichtberechnungsprogramme untersucht und bewertet:

Genauigkeit der Beleuchtungsberechnung
Qualität der Darstellung/Visualisierung
Benötigte Rechenzeit
Benötigte Einarbeitungszeit
Benötigter Eingabeaufwand
Bedienungsfreundlichkeit
Anschaffungskosten
Notwendige Programme
Mögliche Betriebssysteme
Einsatzbereiche
Einsatzgrenzen
Sonstiges

Abbildung 7: Beurteilungskriterien

Die großen Unterschiede bei den Leistungsmöglichkeiten der verschiedenen Programme erschweren einen direkten Vergleich. Unter der Prämisse einer größtmöglichen Annäherung an die Realität in Bezug auf Lage der Messpunkte der Handmessung sowie Wiedergabe der Eigenschaften der Experimentierhalle in Bezug auf Geometrie, Material, Farbe, Tages- und Kunstlichtsituation wurde die Halle in den verschiedenen Programmen nachgebildet.

Um das Kriterium „Genauigkeit der Beleuchtungsberechnung“ untersuchen zu können, wurden die tatsächlichen Handmessungen der Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene in der Halle als Vergleichswerte herangezogen und mit den Tabellenwerten aus den jeweiligen Berechnungsprogrammen verglichen.

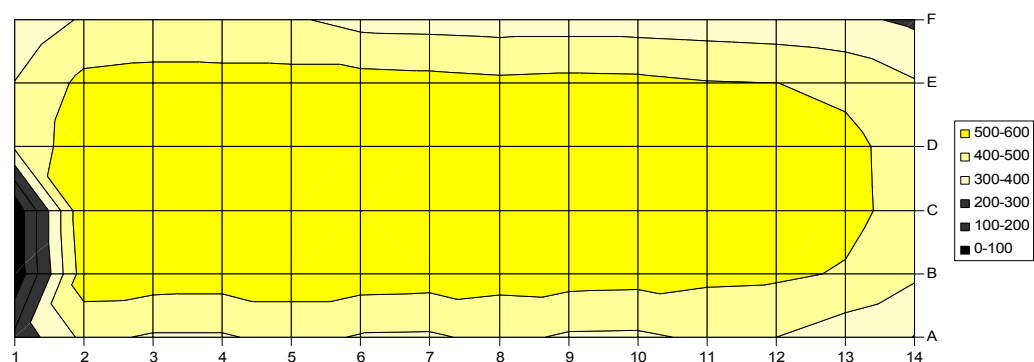


Abbildung 8: DIALux nur Kunstlicht (Nacht); Grauwertdarstellung Beleuchtungsstärke [lx]

Untersucht wurden aufgrund der unterschiedlichen Leistungsmöglichkeiten der verwendeten Programme sowohl die Situation bei Tages- und Kunstlicht, als auch die Situation bei ausschließlich Kunstlicht.

Die Zuverlässigkeit von Lichtplanungsprogrammen wurde auch im Rahmen einer Untersuchung am lichttechnischen Institut der Universität Karlsruhe /4/ betrachtet. Sowohl die Methoden der Beleuchtungsberechnungen, eine fehlende Rechengenauigkeit sowie eine fehlende genaue Spezifizierung des Begriffes Rechengenauigkeit bzw. Zuverlässigkeit von Lichtberechnungsprogrammen erschweren demnach die Vergleichbarkeit von Planungs- und Simulationsprogrammen erheblich.

Hinzu kommen Abweichungen bei unsicheren Reflexionsgraden der Raumflächen und Einrichtungsgegenständen sowie die geometrischen Raumeingaben, Material- und Farbangaben.

Kokoschka geht von einer allgemeinen Abweichung von ungefähr 10 % zwischen Simulationsergebnis und Nachmessung aus. Für einzelne Messpunkte seien noch größere Abweichungen möglich /4/.

Im Rahmen unserer Untersuchung zeigten die betrachteten Programme sowohl Simulationsergebnisse, die sich nah im Bereich der tatsächlich ermittelten Messwerte befanden, als auch Ergebnisse, deren Abweichungen deutlich erkennbar waren.

Zusammenfassend bestätigt sich die Vermutung, dass die Ergebnisse der Beleuchtungsstärkeberechnungen von Simulationsprogrammen nur mit Schwierigkeiten miteinander verglichen, bzw. verifiziert werden können. Die Komplexität der zu untersuchenden Experimentierhalle, sowie die bisher selten in der Simulation betrachteten Raummaße der Halle mit acht Metern lichter Höhe erschweren den Umgang mit den jeweiligen Programmen sowie die Ergebnisauswertung. Auch die fehlende Klassifizierung der Berechnungsprogramme in Bezug auf Art, Umfang und Qualität der Berechnungsergebnisse und die deutlich variierenden Anforderungen an den Anwender sind problematisch.



Abbildung 9: Kunstlichtsimulation des Halleninnenraums mit Lightscape



Abbildung 10: Tageslichtsimulation des Halleninnenraums mit Radiance

Die Optimierung der verschiedenen Parameter, sowie die Verbesserung der Darstellungsqualität im Bereich der Visualisierung sind sehr zeitaufwändig. Die Anforderungen an die Hardware wachsen bei komplexen Modellen mit höheren Ansprüchen an die Darstellungsqualität immens.

Es gibt große Unterschiede bei den Anschaffungskosten, der Komplexität der einzelnen Lichtplanungsprogramme und somit der Einarbeitungszeit und Bedienungs-freundlichkeit.

Ein unerfahrener Anwender, vielleicht Planer eines komplexen Projektes mit Termindruck, läuft Gefahr mögliche Fehler bei der Auswahl und Anwendung eines Lichtplanungsprogramms, sowie bei der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse zu übersehen.

Somit kann man sich der Forderung Kokoschkas nach einer Klassifizierung der Berechnungsprogramme an ihre Berechnungsqualität anschließen /4/, um die zu erwartende Zuverlässigkeit, Art und Umfang der Berechnungen zu erhöhen.

Das Forschungsprojekt wird durch das Ministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert (Projektträger BEO).

## **Literatur**

- /1/ R. Embrechts: Energieeinsparung und Beleuchtung – macht Platz für Individualität, LiTG-Tagungsbericht, 1996
- /2/ Bundesamt für Konjunkturfragen, 1993
- /3/ Altmann, K., Apian - Bennewitz, P.: Studie zur Anwendung und Grenzen derzeitiger Programmtypen zur photo-realistischen Darstellung von Licht und Beleuchtung in der Architektur- Das Kimbell Art Museum als Fallstudie für Lightscape, Radiance, 3D-Studio-MAX, i. A. d. Licht Akademie, 03/2000
- /4/ Kokoschka, S.: Zuverlässigkeit lichttechnischer Planungsprogramme, Licht und Architektur, Heft 1/2000, S. 62 f.