

Dimensionierung und Qualitätsüberprüfung technischer Bestrahlungsanlagen

Wladimir Jordanow

1. Einleitung

Oft spielen Licht und/oder Strahlung eine tragende Rolle in den modernen Fertigungs- und Prüfprozessen. Das Licht (unter den Begriff des Lichtes ist in diesem Kontext die Gesamtheit der optischen Strahlung gemeint: UV-Strahlung, sichtbares Licht, Infrarot-Strahlung) wird wegen seiner natürlichen physikalischen, chemischen, thermischen u.a. Wirkung in technischen Prozessen benötigt. Der immer breiter werdende Einsatz von Optosensorik und Optoelektronik in den Fertigungs-, Produktionsüberwachungs- und in den Qualitätsprüfanlagen verstärkt diese Tendenz noch mehr. Es entsteht eine rasant wachsende Vielfalt von „nicht traditionellen“ Lichtenwendungen in unzähligen Erscheinungsformen und Variationen. Das Licht tritt dabei als Werkzeug, als Energieträger, als informationsübertragendes Medium oder in kombinierter Funktion auf. Gleichzeitig kann es vorkommen, daß das in bestimmten Technologieprozessen eingesetzte oder entstehende Licht, bzw. einzelne Spektralbereiche davon, für die benachbarten Prozesse nicht erwünscht, sogar störend sind. Sehr komplexe Anforderungen an den Anlagebau sind in der Regel die Folge. Bei sonst ausgereizten technologischen Parametern können häufig nur eine professionelle Einbindung und die optimale Berücksichtigung/Nutzung aller auftretenden Licht- und Strahlungseffekte über die Funktionsfähigkeit der Anlage entscheiden. Im Resultat dieser spezifischen Problematik entsteht ein Bedarf an adäquaten, oft unkonventionellen lichttechnischen Speziallösungen. Die relevanten Lichtparameter sollen dabei den jeweiligen Spezialanforderungen des technischen Vorgangs optimal zugeschnitten – „modelliert“ werden. Diese Problematik kann verallgemeinert als Aufgaben der technischen Beleuchtung betrachtet werden.

Technologieanlagen, bei denen optische Strahlung (Licht) gezielt zu industriellen Zwecken eingesetzt wird, können als Anlagen technischer Beleuchtung betrachtet werden. Dabei kommt es nicht auf die Realisierung bestimmter ergonomisch-visueller Bedingungen an. Eine Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung oder die subjektive Bewertung der Prozesse direkt über das menschliche Auge sind sogar unerwünscht und oft unmöglich. Die Gestaltung und die Optimierung der Wechselwirkung des verwendeten Lichts (der Strahlung) mit dem unmittelbaren Umfeld gelten als Aufgaben der technischen Beleuchtung.

Bewußt wird bei dieser Definition der Begriff der Beleuchtung weit über seine sinngemäße Bedeutung der Schaffung einer visuellen Umfeldhelligkeit hinaus erweitert. Unter „Beleuchtung“ soll in diesem Kontext jede geometrische

und/oder photometrische Modellierung bestimmter Parameter des Licht- und Strahlungsfeldes verstanden werden. Dies gilt gleichermaßen auch für die kontrollierte Gestaltung aller technischen und physikalischen Prozesse und Erscheinungen, die unmittelbar oder auch indirekt mit dem Licht in Wechselwirkung treten. Sie lassen sich leider in den seltensten Fällen vollständig nach Wunsch modellieren, müssen aber trotzdem unbedingt, gewichtet nach ihrer Bedeutung, angemessen berücksichtigt werden. Die Beleuchtungsaufgabe wächst dadurch zu einem multidisziplinären technischen Unterfangen.

2. Problemstellung

Das Licht ist das Medium, das bei technischen Prozessen sofort in die meisten und die kompliziertesten Wechselwirkungen mit der Umgebung eintritt. Außerdem wird das photometrische Feld infolge dieser Wechselwirkungen am stärksten beeinflusst. Besonders bei dynamischen, nichtstationären Systemen ist eine Konstanthaltung ausgesuchter Lichtparameter nicht trivial. Unüberlegte Eingriffe und externe Regelversuche können zusätzliche Instabilitäten und ungewollte Veränderungen von weiteren (Licht-)Parametern im Gesamtsystem (Schwingung) verursachen. Eine Dimensionierungs-/Optimierungsaufgabe mit vielen heterogenen Randbedingungen – werkstoffliche, mechanische, konstruktive, energetische, thermische, lichttechnische u.v.a. – ist zu lösen. Mindestens genauso wichtig sind auch weitere Gesichtspunkte wie z.B. Entstehungskosten und weitere ökonomische Aspekte, Wartungszyklen, Wartungsaufwand, Wartungsfreundlichkeit, Energieverbrauch, Langzeitstabilität u.v.m. Erschwerend dazu kommt die Anforderung, viele dieser Gesichtspunkte (DIN-)normkonform behandeln zu müssen.

3. Problemkonkretisierung

Für solche komplexe Probleme existiert keine eindeutige, singuläre, „richtige“ Lösung. Eine Lösungssuche besteht meistens aus mehreren iterativen Schritten, bis zu einer bestmöglichen Annäherung an das gewünschte Zielergebnis. Die Wahl sinnvoller Startbedingungen und einer adäquaten Zielvorgabe (Start- bzw. Abbruchbedingungen) bestimmt die Konvergenzgeschwindigkeit der Iteration. Die Fähigkeit eine günstige Wahl zu treffen, hängt ausschließlich von der Erfahrung des Bearbeiters ab. Leider unterliegen die Aufgaben technischer Beleuchtung einer sehr raschen Entwicklungsdynamik. Sogar eine ausgereifte Lösung ist oft zur Bescheidenheit einiger wenigen Einzelanfertigungen oder einer Kleinserie verurteilt. Viele Entwicklungen sind kundenspezifisch und daher einzigartig in ihrer Gesamtheit. Schon geringfügige Parameteränderungen in der Aufgabenstellung oder ein Prioritätenwechsel der Anforderungen können einen vollkommen veränderten Iterationsverlauf zur Folge haben. Griffbereite Entscheidungshilfen für solche Probleme gibt es nicht. Deshalb ist die Verfügbarkeit einer effektiven Methodik zur Problemanalyse das einzige Instrument zur Erarbeitung eines geeigneten know-hows für zeitsparende Lösungssuche und zum Konzeptentwurf. Die mit solchen Beleuchtungsaufgaben beschäftigten Ingenieure versuchen über die Erfahrung aus den Einzellösungen, sich einer plausiblen allgemeinen Bearbeitungsmethodik anzunähern. Der Weg dahin führt unvermeidlich über eine systematische Klassifizierung der häufig auftretenden Fragestellungen – Aufgabensimplifikation durch apriori Problemklassifizierung.

Eine vollständige Ausführung aller Klassifizierungsmöglichkeiten ist in diesem Rahmen nicht möglich. Statt dessen erläutern wir den erwähnten Ansatz anhand weniger ausgesuchten Beispiele.

Eine der häufigst genutzten Anlagenarten zur technischen Beleuchtung bilden die Bestrahlungsanlagen. Diese können, wie in der Tabelle 1 angedeutet, in drei wesentliche Typen unterteilt werden:

- Anlagen mit physikalischer Wirkung (eine rein physikalische Wirkung ist äußerst selten)
- Anlagen mit photo-chemischer Wirkung
- Anlagen mit photo-biologischer Wirkung

Aus dieser Vielfalt greift man die in der Abb. 1 markierten Anlagenarten heraus und verdeutlicht am Beispiel ihres gezielten Vergleiches (Tab. 1) einige der wichtigen Besonderheiten. Weitere Anregungen und Informationen zum Thema sind beim Autor direkt anzufordern.

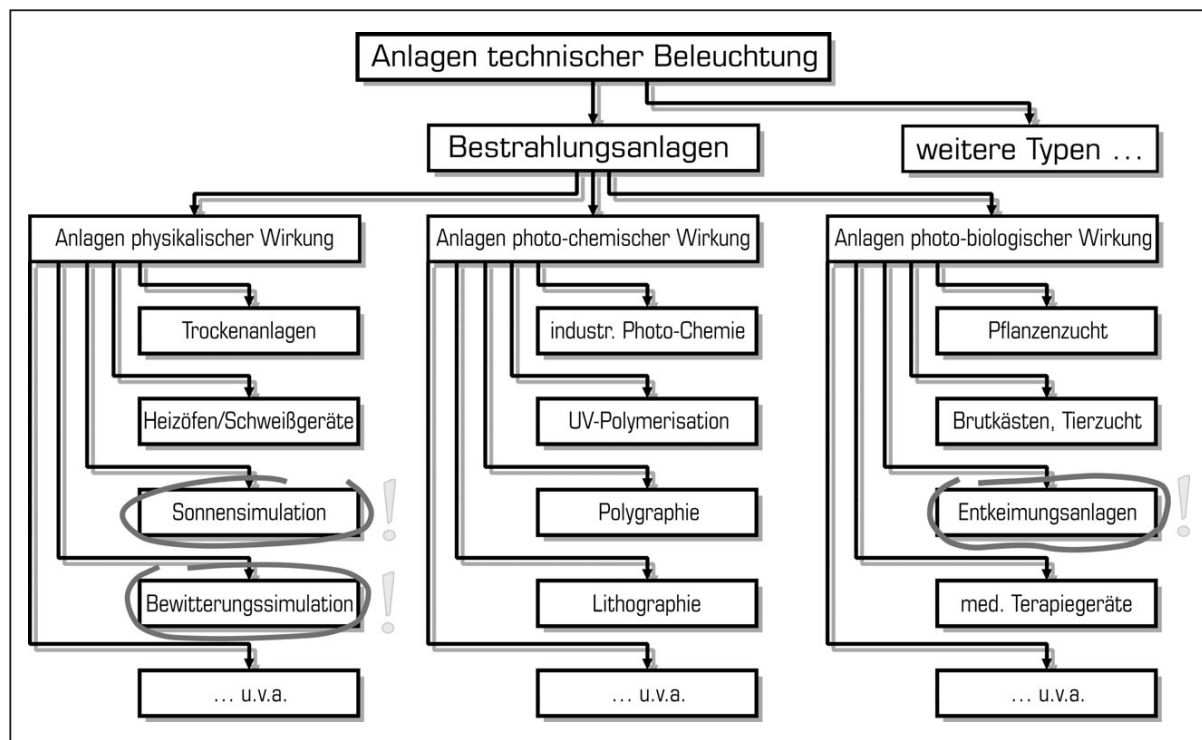


Abb.1: Klassifizierungsbeispiel von technischen Bestrahlungsanlagen

3.1 Die künstliche Sonnensimulation als Beleuchtungsaufgabe

Die künstliche Sonnen- und Bewitterungssimulation ist ein bewährtes Verfahren zur Material- und Bauteileprüfung. Diese wird besonders in der Weltraumforschung, in der Automobilindustrie und bei deren Teillieferern angewendet. Es existieren entsprechende DIN-Normen /6/, die die Gütemerkmale zur Sonnensimulation reglementieren. Die Art und die spektrale Zusammensetzung der Strahlung, die Bestrahlungsstärke, die räumliche Verteilung, sowie die erforderliche Bestrahlungsdauer und weitere lichttechnische Parameter sind dort festgeschrieben. Dies gilt auch für die geforderte Temperatur und die klimatischen

Vergleichskriterien	Art der Bestrahlungsanlage			
	Sonnen-/Bewitterungssimulation		Luft- /Wasserentkeimung	
	allgemeine Sonnensimulation	Bewitterungskammer (Automobilindustrie)	Abluftbehandlung	Entkeimung von Wasser
Ziel der Bestrahlung	Materialprüfung, Qualitätsprüfung		Luft- und Wasseraufbereitung	
Klassifizierung	physikalische Wirkung		photo-biologische Wirkung	
Strahlungsquellen, Strahlungserzeugung	oft kostengünstige Halogenlampen mit (Teil-)Filterung, ansonsten Speziallampen in verschiedenen Leistungsstufen	ausschließlich Speziallampen in verschiedenen Leistungsstufen- 150 W und 4 KW, ungefiltert aber mit Schutzgitter/-glas	marktübliche UV-Lampen in verschiedenen Ausführungsformen, UV-Speziallampen, ungefiltert, Form der Lampe und der Reaktorkammer müssen sinnvoll zueinander passen (wegen "optische Einschnürung" bei stark absorbierendem Medium)	
Strahlungseinkopplung	Strahlerpositionierung um das Bestrahlungsobjekt	Strahler in/um eine Klimakammer angeordnet, selten mobile Zusatzstrahler, automatisierte Strahlerpositionierung - selten	der zu behandelnde Luftstrom umfließt die Lampen/Strahler oder durchfließt einen UV-Reaktor	Strahler meistens in das zu behandelnde Medium eingetaucht, s.g. UV-Reaktor
Prüfling, Bestrahlungsobjekt	unterschiedliche flache oder räumliche Proben / Gegenstände	unterschiedliche Autzubehöerteile, Autotinnenraumausstattung, ganze Karossen	Abgase, Abluft, schadstoffbelastete Gasgemische /Dämpfe u.a.	Abwasser, Industrierwasser, Kühlwasser, Trinkwasser u.a.
zeitliches, räumliches Verhalten des Prüflings	statische Aufgabe, zeitlich konstante Position, teilweise gegenseitige Abschattung der einzelnen Prüflinge	statische Aufgabe, zeitlich konstante Position, keine Fremdabschattung, aber Eigenabschattung berücksichtigen	dynamischer Stofffluß, oft keine homogene Stoffmenge vorhanden und/oder die Stoffdurchflußmenge ist nicht zeitlich konstant.	
optisches Verhalten des Mediums	neutral, keine oder vernachlässigbare Wirkung	üblicherweise neutral, keine Wirkung, selten muß die Trübung / Absorption durch Wasserdämpfe berücksichtigt werden	absorbierend, je nach Luft-/Wasser-Verunreinigung unterschiedlich spektralselektiv absorbierend, verschiedene Partikel können auch eine Streuung des Lichtes hervorrufen, optische Abschattung durch größere Partikel möglich	
räumliche Verteilung der Strahlung, charakteristische Größe	Oberflächenbestrahlung: horizontale, vertikale, bzw. halbsphärische Bestrahlungsstärken interessant		Volumenbestrahlung: zylindrische, sphärische Bestrahlungsstärken interessant	
spektrale Charakteristik der verwendeten Strahlung	sonnenlichtähnliches Vollspektrum	sonnenlichtähnliches Vollspektrum	UVC-Strahlung - üblich 100nm - 280 nm, die Kombination mit IR-Bestrahlung erhöht die Wirkung	UVC-Strahlung - üblich 100nm - 280 nm, oft quasi-monochromatische Strahlung

Tabelle 1 – Teil 1: Vergleich zwischen der künstlichen Sonnen-/Bewitterungssimulation und der Luft- und Wasserbehandlung nach verschiedenen Kriterien

Vergleichskriterien	Art der Bestrahlungsanlage			
	Sonnen-/Bewitterungssimulation		Luft- /Wasserentkeimung	
	allgemeine Sonnensimulation	Bewitterungskammer (Automobilindustrie)	Abluftbehandlung	Entkeimung von Wasser
wichtigste Parameter / wirksame Größen	spektrale Zusammensetzung wichtig, oft extreme Anforderung an die Gleichmäßigkeit, selten Parallelität der Strahlung gefordert	naturähnliche Bewitterungsbedingungen werden in Zyklen simuliert, Gleichmäßigkeit der Verteilung wird nicht immer gefordert	Bestrahlungsdosis pro Volumeneinheit bis zum Erreichen einer keimabtötenden Wirkung, Dosis hängt vom Einsatzgebiet, aber in erster Linie vom Grad der gewünschten Keimabtötung ab.	
Beleuchtungs- / Bestrahlungsstärke (in der DIN 75220 und DIN 5031 Teil 10 sind horiz. Werte vorgeschrieben /5/ und /6/)	outdoor Prüfung: $1000 \text{ W/m}^2 \pm 10\%$ indoor-Prüfung: $830 \text{ W/m}^2 \pm 10\%$		keimabtötende Dosis für Bakterien: für eine 90% Bakterienabtötung: $0,7 - 19,7 \text{ mWs/cm}^2$ (bei 254nm) für eine 99% Bakterienabtötung: $3,5 - 98,5 \text{ mWs/cm}^2$ (bei 254nm)	
Temperaturbereich	keine Vorgaben	-10°C bis 90°C -outdoor -10°C bis 45°C - indoor	keine Vorgaben	keine Vorgaben
Zeitregime der Bestrahlungsanlage	zeitlich begrenzter Dauerbetrieb	Dauerbetrieb - abfolgende Prüfzyklen	ununterbrochener Dauerbetrieb	
elektrische Leistungsaufnahme der Anlage	aufgabenabhängig zwischen wenigen 10 W, bis mehrere 100 KW	zwischen mehrere 10 KW bis zu einigen 100 KW	verschiedene Leistungsabstufungen, abhängig von der vorgesehenen Stoffdurchflußmenge, für Wasserbehandlung ist in der Regel mehr elektrische Leistung erforderlich als bei der Luftaufbereitung	
Wärmeentwicklung, Eigenabstrahlung der Körper	die Wärmeentwicklung hängt von der Strahlerleistung ab, meistens unproblematisch, die Eigenstrahlung vernachlässigbar, Faustformel: Gerätenvolumenbedarf - ca. 1L pro 100 W elektrische Leistung	enorme Temperaturgradienten und Wärmeentwicklung durch die Strahler, Temperaturen von bis zu $\gg 120^\circ\text{C}$ auf dem Prüfling möglich, deutliche Eigenstrahlung im Wellenlängenbereich $5\mu\text{m}-12\mu\text{m}$	merkbare Wärmeeinwirkung nur in geschlossenen Systemen, bzw. bei geringen Stromflüssen, ansonsten sorgt der Stofffluß für einen natürlichen Wärmeabtransport, bei Umgebungstemperaturen $T \gg 30^\circ\text{C}$ sinkt der Wirkungsgrad der Lampen/ Strahler	
Regelbarkeit	Aus verschiedenen Dimensionierungsgründen wird eine Regelbarkeit gewünscht und realisiert. Praktisch ist eine Regelung von mehr als 10% Lampenleistung NICHT sinnvoll. Sie ist sogar ohne Verschiebung der Spektralzusammensetzung der Strahlung nicht möglich.		Aus mangelnden Möglichkeiten einer präzisen Dimensionierung wird diese Art von Anlagen in der Regel überdimensioniert, daher wird eine zusätzliche Regelung äußerst selten verwendet.	

Tabelle 1 – Teil 2: Vergleich zwischen der künstlichen Sonnen-/Bewitterungssimulation und der Luft- und Wasserbehandlung nach verschiedenen Kriterien

Bedingungen. Es werden zwei unterschiedliche Typen von Sonnensimulation angewendet: die „outdoor-“ und die „indoor-Prüfung“.

Für die Sonnensimulation in der Automobilindustrie ergeben sich aus der DIN 75220 folgende wichtige Anforderungen:

Spektrale Zusammensetzung:

wie die Globalstrahlung (bei der indoor-Prüfung - reduzierter UV-Anteil)

Bestrahlungsstärke:

1000 W/m² ±10% – outdoor-Prüfung, 830 W/m² ±10% - indoor-Prüfung

Temperaturbereich:

–10°C bis 45°C – outdoor-Prüfung, –10°C bis 90°C – indoor-Prüfung

3.2 Die Luft-/Wasserentkeimung (-sterilisation) als Beleuchtungsaufgabe

Die keimreduzierende/-tötende und sterilisierende Wirkung des natürlichen Sonnenlichtes sind lange schon bekannt. Nähere Untersuchungen schränken den für diese Wirkung verantwortlichen Spektralbereich auf 100 nm-280 nm ein. Heute ist die künstliche Bestrahlung mit hochenergetischer UV-Strahlung ein erprobtes und bewährtes Verfahren für die Behandlung von Abluft und Abwasser, sowie für die Sterilisation von Trinkwasser. Für diese Art der Bestrahlungsanlagen existieren wenig exakte Dimensionierungsmethoden, da die Rechenmodelle oft für nichtabsorbierende Medien konzipiert sind. Dabei ist die Vielfalt der industriellen UV-Anwendungen enorm.

Für die Luft- und Wasserbehandlung mit UV-Licht existieren folgende wichtige Anforderungen:

Spektrale Zusammensetzung:

Es kann mit quasi-monochromatischer Strahlung im UVC-Bereich gearbeitet werden. Für verschiedenes Bestrahlungsgut sind unterschiedliche Wellenlängen optimal wirksam. Als Strahlungsquelle wird üblicherweise Quecksilber-Niederdruckentladung, bevorzugt die 253,7 nm Linie verwendet.

Bestrahlungsdosis:

Keimabtötende Dosis für die meisten Bakterien (nach Schenk /2/ Teil I - 4.10.3)

für eine 90% Keimabtötung: 0,7-19,7 mWs/cm² (bei 254 nm Wellenlänge)

für eine 99% Keimabtötung: 3,5-98,5 mWs/cm² (bei 254 nm Wellenlänge)

4. Problemanalyse

Das wesentlichste Merkmal der Anlagen zur technischen Beleuchtung besteht darin, daß sie nicht nach subjektiven (visuellen) Kriterien entworfen und dimensioniert werden können. Je nach Spezifik der übergeordneten technischen Aufgabe werden ausschließlich objektive, meßtechnische Bewertungsmethoden eingesetzt.

4.1 Besonderheiten der Bearbeitung technischer Beleuchtungsaufgaben

Die Bearbeitung technischer Beleuchtungsaufgaben erfordert:

- eingehende physikalische, thermodynamische und lichttechnische Analyse der Prozesse;
- Zusammenstellung aller denkbaren Lösungsvarianten, Wahl geeigneter Beleuchtungsvarianten;
- Recherche und Auswahl verfügbarer, marktbekannter Einzelkomponenten: Lampen, Strahler, Materialien, Luft-, Klima-, Pumpentechnik u.v.m.;
- Recherche oder Messung aller für die Simulation erforderlichen Parameter, überschlägige Abschätzung der Licht- und Anlagenparameter durch vorab Berechnung, Eingrenzung der als geeignet in Frage kommenden Bauteile;
- Zusammenstellung der realisierbaren Anlagenparameter und Suche nach sinnvollen Startbedingungen für die Simulationsdurchführung;
- überschlägige Berechnung und Bewertung der vorläufigen Ergebnisse – oft können (nur in dieser Frühphase) konventionelle Lichtberechnungsprogramme dafür verwendet werden;
- Wahl eines adäquaten Berechnungsverfahrens zur Simulation;
- Konstruktionsmodellerstellung, Schnittstellenvorbereitung für Datenaustausch/ Datenweitergabe
- Durchführung iterativer Simulationsschritte mit exakten Materialparametern und adaptiven Berechnungsverfahren;
- Meßtechnische Überprüfung der Zwischenergebnisse, Bestimmung der am besten geeigneten Berechnungsverfahren;
- Durchführung der Dimensionierung;
- Meßtechnische Kontrolle an der fertigen Beleuchtungs-/Bestrahlungsanlage;

Die Durchführung einer technischen Beleuchtungssimulation erfordert fast immer einen gleichzeitigen Umgang mit lichttechnischen und radiometrischen Größen. Die Gütekriterien sind oft in strahlungsenergetischen Maßeinheiten angegeben. Üblicherweise werden bestimmte Energiedichteverteilungen oder die Bestrahlungsdosen auf vorgegebenen Flächen gefordert. Bei einer simultanen Verwendung von lichttechnischer Meßtechnik und radiometrischen Sensoren ist stets die $V(l)$ -Abhängigkeit der lichttechnischen Größen zu berücksichtigen. Da die Beurteilungskriterien nicht auf visuellen Methoden basieren, bedarf es in solchen Fällen einer Umrechnung der lichttechnischen in strahlungsphysikalische Größen. Dies kann auf analytischem Wege oder rein pragmatisch über Umrechnungsfaktoren erfolgen. Dazu benötigt man lediglich geeignete Vergleichsmessungen mit der entsprechenden Meßtechnik. Der Einsatz moderner CCD-Kameratechnik ist zu solchen Zwecken hervorragend geeignet. Zahlreiche Beispiele solcher Messungen werden im begleitenden Poster präsentiert.

4.2 Beispiel eines Lösungsansatzes für eine Bewitterungssimulationskammer

Ein geeigneter Lösungsansatz für die optimale Gestaltung einer Bewitterungssimulationskammer ist nur bei Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte zu bestimmen:

- Einheitliche physikalische Betrachtung aller Prozesse
- Parametrisiertes Denken in allen Schritten

- Herantasten an die geeignete Beleuchtungslösung durch iterative Näherungstests nach dem Wechselprinzip: „einfaches Körpermodell – komplexe Lichtberechnungsmethoden“ (Abb. 2) oder „komplexes Körpermodell – vereinfachte Lichtberechnungsmethoden“ (Abb. 3)
- Modulare Lösung in Teilaufgaben
- Automatisierung zyklischer Berechnungsschritte
- Verwendung spezialisierter Software für zeiteffektive Lösung von unterstützenden Zwischenaufgaben
- Datenaustausch zwischen externen Routinen und vorhandenen lichttechnischen Berechnungsmodulen

Eine zufriedenstellende Lösungsfindung nur anhand einer theoretischen Vorberachtung mit anschließender mathematischer Simulation ist nicht möglich. Der Bezug zur Praxis und die späteren Fertigungstoleranzen sind nicht aus einer mathematischen Modellierung des Systems sofort klar erkennbar. Eine schrittweise iterative Simulationsdurchführung im ständigen Wechsel zu praktischen Messungen sichert eine bestmögliche Konvergenzgeschwindigkeit zur angestrebten Zielstellung (Iterationsgrenze). Mit jedem zusätzlichen Iterationsschritt vertiefen sich die Kenntnisse über das System. Das Wesen der Wechselwirkungsprozesse wird immer besser analysiert und verstanden. Dies kommt den nachfolgenden Simulationsschritten zugute. Die Modellparameter können direkt den reellen Parametern (Meßergebnissen) angepaßt werden. Die Abbruchsbedingung des so entstehenden Optimierungsprozesses ist einzig durch die Anforderungen der Aufgabenstellung gegeben.

Die Vielfältigkeit der anfallenden Meßaufgaben ist fast unbegrenzt. Die meßtechnische Überprüfung der Zwischenergebnisse erfordert ein gut ausgestattetes lichttechnisches Labor. Ein solches Labor existiert im Fachgebiet Lichttechnik an der Technischen Universität Ilmenau. Eine Entwicklungsarbeit dieser Art ist nur Dank der Unterstützung und der Mitarbeit aller Kollegen denkbar. Der Einsatz des dort entwickelten Leuchtdichteanalysators schafft völlig neue Möglichkeiten für die Handhabung solcher und ähnlicher Problemen. Ohne ausreichende Soft- und Hardwareunterstützung bzw. ohne eine (Teil-)Automatisierung von zyklischen und Berechnungsabläufe ist eine sinnvolle Bearbeitung der Aufgaben nicht zu realisieren. Der Zugriff auf klassische, konventionelle lichttechnische Berechnungsprogramme ist wenig sinnvoll, meistens unmöglich, da die komplexe Anforderungen solcher technischer Beleuchtungsaufgaben keine adäquate Behandlung finden. Gleichzeitig ist es nicht möglich zur Lösung jeder einzelnen Aufgabe, jeweils eine neue Software zu entwickeln. Die Lösung dieses Dilemmas liegt in einem permanenten „parametrisierten Denken“ (z.B. Abb. 2). Das aus unterschiedlichen Projekten akkumulierte know-how bleibt bei einer gesicherten Skalierbarkeit der Vorgabeparameter stets wiederverwendbar. Es ist nicht erforderlich die Berechnungsmethoden selbst zu verändern, sondern vielmehr deren Auswahl, die Reihenfolge und die Datenflußmechanismen dazwischen. Diese Forderung macht die Softwareentwicklung in einer klassischen Compilersprache unnötig komplex. Die Interpretersprachen, die solche Nachteile umgehen, kommen wiederum bei besonders komplexen Lichtberechnungen (z.B. von Lichtinterflexionen) an ihren zeitlichen Limits. Hybride Programmier Techniken können

hier Abhilfe schaffen. Die Verwendung hochentwickelter wissenschaftlicher Expertensysteme spart Programmieraufwand und reduziert die Entwicklungsredundanz. Besonders hervorragend bewährt sich eine solche Technik zur Datenein- und -ausgabe. Man ist so in der Lage (fast) alle gewünschten Dateiformate zu nutzen. Dies ist besonders zur Übernahme und Weitergabe von Konstruktionsdaten von Bedeutung (Abb. 3). So können die Simulationsschritte exakt und in nächster Anlehnung an die Vorgaben durchgeführt werden. Gleichzeitig werden nachfolgende Schritte mit vorbereitet. Man spart den Aufwand einer Neubearbeitung.

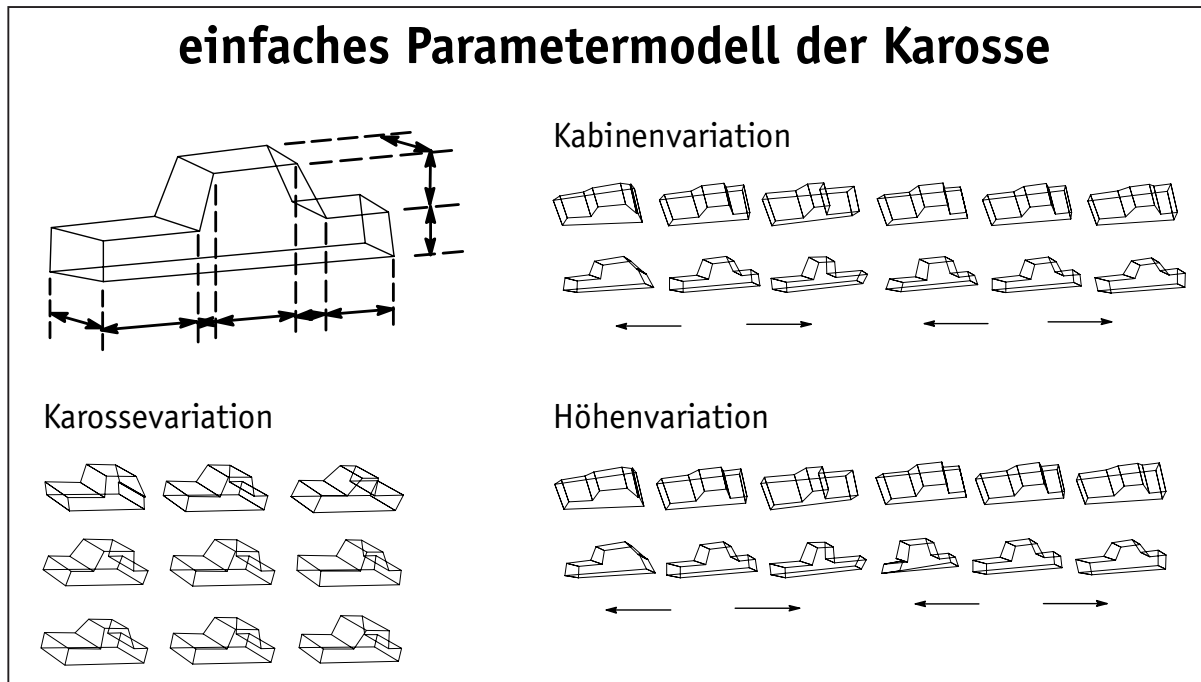


Abb. 2: Ein parametrisiertes Karossenmodell zum Testen komplexer Beleuchtungs-algorithmen

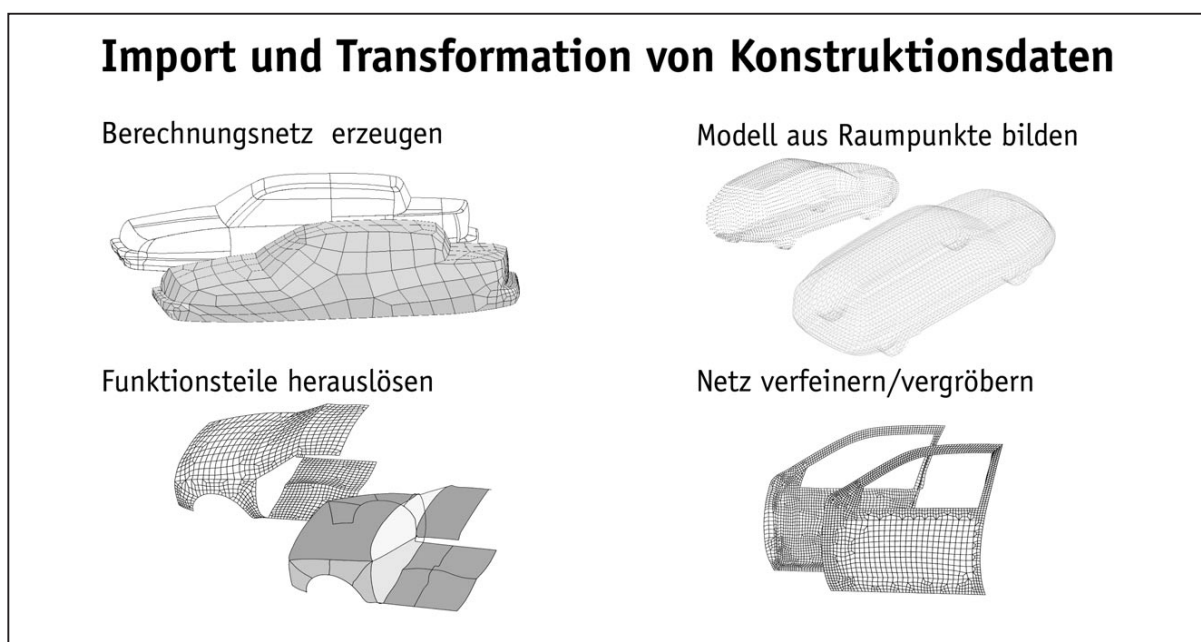


Abb. 3: Die Verfügbarkeit komplexer Konstruktionsdaten ist eine wichtige Voraussetzung für erfolgreiche Beleuchtungssimulation

5. Schlußbemerkungen

Die über die Jahre angesammelte Erfahrung liefert eine gute Basis für weitere Entwicklung neuer Lösungsansätze und für die Realisierung innovativer, technischer Sonderbeleuchtungsanlagen. Durch eine präziseren Dimensionierung schon in der Entwurfsphase sind diese Anlagen kosteneffektiver bei einer gleichzeitigen Qualitätssteigerung derer Wirkung. Zusätzliche Kostenvorteile entstehen durch die Vermeidung von Fehlfunktionen oder Anlagenausfälle. Dies ist besonders für solche lebenswichtige Bereiche wie die Trinkwasseraufbereitung und die Kfz-Qualitätsüberprüfung gleichermaßen enorm wichtig. An einer verstärkten Automatisierung der Rückkopplung von meßtechnischen Zwischenergebnissen in die Beleuchtungsberechnung wird momentan gearbeitet. Noch sind die Auswertemöglichkeiten der orts aufgelösten Leuchtdichtebilder nicht annähernd erschöpft. Neue Modellansätze für spätere Simulationen deuten sich an. Bisher können ausschließlich Materialien mit einer diffusen Reflexionscharakteristik berücksichtigt werden. Spiegelnd reflektierende Materialien können nur im Sinne einer simplen Strahlenverfolgung, aber ohne genaue photometrische Relevanz in die Betrachtung eingebracht werden. Die meßtechnischen Möglichkeiten im UV- bzw. im IR-Spektralbereich müssen weiter ausgebaut werden. Die praktische Verfügbarkeit von geeigneten Strahlungsquellen und besonders Leuchten ist oft ein schwer zu lösendes Problem.

Literatur

- /1/ Bass, M.: Handbook Of Optics, Volume 1. Optical Society of America, 1995
- /2/ Handbuch für Beleuchtung. Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft (SLG), eco-med, 1992, Teil I - 4.10
- /3/ Jordanow, W.; Jordanowa, S.: Problemanalyse und Lösungsansätze für spezielle technische Beleuchtungsaufgaben. Lux Junior '99, 4. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuchs, Dörfeld/Ilm, 1999, S.178-182
- /4/ Bogatew, K.: Handbuch für Beleuchtung, Band I. Verlag Technika, Sofia, 1977
- /5/ DIN 5031 Teil 10. Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik. Größen, Formel- und Kurzzeichen für photobiologisch wirksame Strahlung.
- /6/ DIN 75 220. Alterung von Kfz-Bauteilen in Sonnensimulationsanlagen.