

## Generalsanierung Gymnasium Sonthofen Beleuchtungskonzept



Der Gebäudekomplex des Gymnasium Sonthofen besteht aus einem 76 m langen, dreigeschossigen Klassentrakt sowie einem, auf der Nordseite vorgelagerten eingeschossigen Fachklassengebäude. Beide Bauten wurden in Stahlbeton-Skelettbauweise nach dem Kasseler-Modell errichtet. Die Rohbaustruktur besteht aus Stahlbeton-Stützen, Unterzügen und Bodenplatten (Pi-Platten). Mit dem Kasseler-Baukonzept sollte ein weitgehend veränderbarer Ausbau und eine flexible Raumaufteilung ermöglicht und über modulare Konzepte die Baukosten reduziert werden. Bei vielen der in dieser Zeit bundesweit errichteten Schulbauten sind die Dächer, Fassaden, Heizungs- und Lüftungsanlagen sowie die Raumbeleuchtung sanierungsbedürftig. Außerdem wurden die Schulgebäude zu einem Zeitpunkt errichtet, zu dem die Betriebskosten eines Gebäudes nur eine untergeordnete Rolle spielten. Die konstruktiv bedingte, sehr negative Energiebilanz dieser Gebäude stellt einen weiteren Grund für den erheblichen Sanierungsbedarf bei Schulbauten nach dem Kasseler Modell dar.

Partielle Sanierungsmaßnahmen führen bei Gebäuden mit der beschriebenen Problemkonstellation (v. a. Wärmebrücken) meist nur zu unbefriedigenden energetischen Resultaten. Deshalb scheint bei diesen Schulbauten die Generalsanierung auf Niedrigstenergieniveau der bessere Weg zu sein. Bereits realisierte Sanierungsprojekte auf Niedrigenergie- bzw. Passivhausniveau, wie z. B. die Generalsanierung der Hauptschule II in Schwanenstadt, zeigen zudem, dass eine derart angelegte Sanierung heute kein Novum mehr darstellt, sondern bereits mehrfach realisierte Praxis ist, (Frankfurt, Bremen, Günzburg, Waldshut, Neckargemünd, Biberach, Schwanenstadt/Ö, Klaus/Ö, u. a.).

Bei einigen dieser in den vergangenen Jahren realisierten Projekte zeigt sich aber, dass eine vorwiegend auf die gedämmte Fassade angelegte Sanierung oft zu kurz greift. Der so reduzierte Gesamtenergiebedarf wird primärseitig häufig durch einen hohen elektrischen Energieverbrauch in seiner Wirkung deutlich gemindert. Ein adäquater primärenergetischer Grenzwert ist deshalb nur durch einen ganzheitlichen Planungsansatz zu erreichen, bei dem alle Gewerke ein Optimum an Energieeffizienz und Nutzungsqualität anstreben. Dies gilt insbesondere auch für die elektrischen Verbraucher, die das energetische „Gesamtergebnis“ durch den Primärenergiefaktor von 2,7 in hohem Maße beeinflussen. Bei einer im Passivhausstandard sanierten Schule (Heizenergiekennwert von 15 kWh/m<sup>2</sup> a) wirkt sich ein berechneter Endenergiebedarf für die Beleuchtung von 15 kWh/m<sup>2</sup> a mit einem Primärenergiekennwert von 40 kWh/m<sup>2</sup> a mehr als 2 ½ mal so stark auf die Gesamtenergiebilanz aus. Deshalb war es das Bestreben des Planungsteams eine möglichst gute Gesamtperformance des Sanierungskonzeptes zu erreichen.

### **Die Raumbelichtung, IST-Zustand**

Das Bestandsgebäude hat eine Nutzfläche von etwa 7.800 m<sup>2</sup>. Die Klassenräume sind den Fassadenbereichen zugeordnet, die Verkehrsflächen, Sanitär- und Technikräume befinden sich in der Kernzone. Je nach Raumnutzung wurden in den 70er Jahren unterschiedliche Leuchten eingesetzt:

Klassenräume	Einbauleuchten mit weißem Raster, 2x36 W Pendelleuchten mit Prismenwanne, 1x58 W
Musikräume, Fotolabor	Einbaudownlights für AGL-Lampen 150 W
Nebenräume, Sanitärbereiche	Einbauleuchten mit weißem Raster, 2x36 W teilweise ergänzt durch Wannenleuchten mit opalen Wannen
Flure	freistrahkende Lichtleisten mit umlaufendem Metallrahmen
Eingangsbereich, Aufgänge	freistrahkende Kompaktleuchtstofflampen, große Glaskugelleuchten, Lichtleisten mit Metallrahmen

In den Klassenräumen mit einer Grundfläche von etwa 70 qm wurden 12 Einbauleuchten mit weißem Raster, 2x36 W, sowie 2 Pendelleuchten mit Prismenwanne für die Tafelbeleuchtung eingesetzt. Je nach spezifischer Situation wurden dadurch Beleuchtungsstärken (Neuwert) von teilweise mehr als 500 lx erzielt. Heute betragen diese noch 350 lx bis 400 lx. Auf Grund der 2-achsigen Anordnung der Leuchten in den meisten Klassenräumen war die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärkeverteilung sehr schlecht. Die spezifische Anschlussleistung in den Klassenräumen lag zwischen 18 und 20 W/m<sup>2</sup>. Insgesamt sind im Bestandsgebäude 1410 Leuchten mit einer gesamten Anschlussleistung von 128 kW eingebaut worden. Für die einzelnen Geschosse ergibt sich ein spezifischer Anschlusswert von 15 – 16 W/m<sup>2</sup> (Klassentrakt), bzw. 20 W/m<sup>2</sup> (Fachklassentrakt).



In den Klassenräumen wurden Einbauleuchten mit weißem Raster, quer zu den Deckenlamellen eingebaut, (2x36 W). Für die Tafelbeleuchtung wurden jeweils 2 asymmetrisch strahlende Prismenwannenleuchten eingesetzt.

### Sanierungskonzept Raumbelichtung, Planungsansatz

Nach dem Beschluss der Stadt Sonthofen sollte die Generalsanierung des Gymnasiums auf ein möglichst niedriges Energieniveau erfolgen, - wenn technisch machbar und wirtschaftlich vertretbar: auf Passivhausniveau.

Der Zielwert für den Heizenergiebedarf war damit bei etwa 15 kWh/m<sup>2</sup> a vorgegeben. Vergleichbare universelle (Passivhaus-) Grenzwerte für den elektrischen Energieverbrauch gibt es z. Z. noch nicht, da bei Nichtwohngebäuden der Referenzgebäudeansatz zu unterschiedlichen, gebäudespezifischen Werten führt. Gleichwohl hat es in der jüngeren Vergangenheit Gebäudekonzepte gegeben, die einen hohen Nutzerkomfort mit minimalem Primärenergiebedarf in Einklang gebracht haben, und das bei moderaten Investitions- und deutlich reduzierten Betriebskosten. So z. B. die im Rahmen des Energieoptimierten Bauens vom BMWi geförderten EnOB- bzw. Solarbau-Projekte.

Für diese Bauvorhaben wurde ein Primärenergiebedarf von max. 100 kWh/m<sup>2</sup> a angesetzt und in der Mehrzahl der Fälle auch erreicht. Darin inkludiert ist der Energiebedarf für Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung. D. h., bei einer gleichmäßigen Aufteilung des angestrebten Grenzwerts bleiben für die einzelnen Verbrauchsbereiche 15-20 kWh/m<sup>2</sup> a übrig. Dies gilt auch für die Beleuchtung.

Durch den Primärenergiefaktor von 2,7 für den elektrischen Strom ergibt sich ein Endenergiebedarf von max. etwa 7,5 kWh/m<sup>2</sup> a für die Raumbelichtung (um den Zielwert von 20 kWh/m<sup>2</sup> a zu erreichen). Ein Wert, der eine recht „sportliche“ Herangehensweise an die Planungsaufgabe notwendig macht und mit konventionellen Systemlösungen i. d. R. nicht zu erreichen ist.

Aus diesen Zielvorgaben heraus resultierte ein mehrdimensionaler Planungsansatz der aus folgenden Einzelaufgaben bestand:

1. Raumbelichtung:
  - normgemäße Auslegung der Beleuchtungsanlage
  - Beachtung lichttechnischer Qualitätskriterien
  - Auswahl hoch effizienter Produkte
  - Optimierung der Systemleistung

- 2. Sonnenschutz:
  - Optimierung von Sonnen-/Blendschutz und Lichteintrag (Lichtlenkung)
  - Berücksichtigung von Wartungskosten und Schutz gegen Zerstörung
  - Vergleich unterschiedlicher Lamellensysteme
  
- 3. Steuerung/Regelung:
  - Festlegung der Steuer/Regelungsstrategie für die Raumbelichtung
  - Festlegung der Steuer/Regelungsstrategie für den Sonnenschutz
  - Präsenzsteuerung für Klassen- und Nebenräume

Mit dem Abschluss der Planung ist der Optimierungsprozess aber noch nicht beendet. Der wichtigste Schritt findet erst mit der Inbetriebnahme des „Gesamtsystems“ (Beleuchtungsanlage, Sonnenschutz und Steuerung) statt. Diese wird – im Rahmen eines die Bauausführung begleitenden Monitorings – über 3 Jahre hinweg durchgeführt, (schrittweises Feintuning von Einzel- und Gesamtsystem).

## 1. Raumbelichtung

Auf Grund der Tiefe der Klassenräume von über 8m hätte eine 2-achsige Anordnung der Leuchten (gem. Bestandssituation), eine sehr ungleichmäßige Raumausleuchtung ergeben. Die zu großen Helligkeitsunterschiede würden das menschliche Auge auf die Dauer zu stark belasten und die Konzentration stören. Deshalb kam von vornherein nur eine 3-achsige Leuchtenanordnung infrage. Bei einem Standard-Klassenzimmer mit einer Fläche von etwa 70 m<sup>2</sup> ergaben erste Berechnungen (300 lx) eine Anzahl von 9 Leuchten (Pendelleuchte mit Spiegelraster, dir./indir. strahlend), mit einer Bestückung von 49 W pro Leuchte. Nach Diskussion der unterschiedlichen Beleuchtungs- und Leuchtenkonzepte fiel die Entscheidung auf eine Anbauleuchte mit Spiegelraster und seitlichem Lichtaustritt über Lichtkammern, (Konzept Mildes Licht). Diese Leuchte zeichnet sich durch einen sehr hohen Beleuchtungswirkungsgrad und eine sehr durchdachte und hochwertige Lichttechnik aus. Das Licht wird über eine direkte Komponente (Spiegelraster) und eine indirekte (Lichtkammern) in den Raum hinein abgegeben. Durch die dadurch erzielte Deckenaufhellung wird der so genannte Höhleneffekt, wie er bei direkt strahlenden Rasterleuchten auftreten kann, vermieden. Zum Anderen ergibt sich aus den beiden Beleuchtungskomponenten (direkter und diffuser Lichtanteil) eine sehr harmonische Raumbelichtung, die eine ausgewogene Allgemeinbeleuchtung mit einer sehr guten Konturenerkennung kombiniert. Der weitere Optimierungsvorgang (Leuchtenauswahl und Platzierung) ermöglichte die Reduzierung der Leuchtenbestückung um eine Stufe von 49 W auf 35 W, (Klassenzimmer mit 70 qm und 300 lx).

Für die Tafelbeleuchtung wurden ebenfalls mehrere Berechnungen durchgeführt. Letztlich fiel die Entscheidung auf eine asymmetrisch strahlende, doppellängige Anbauleuchte mit flachem Alu-Gehäuse, (2x1x54 W). Die ausgewählte Leuchte passt sich formal sehr gut in das Decken- und Raumbild ein und gewährleistet die Ausleuchtung des Tafelbereichs mit den geforderten 500 lx.

Die Einrichtung eines Muster-Klassenraums ermöglichte einerseits die formale Abstimmung und die visuelle Bewertung der einzelnen Komponenten, sowie die Durchführung einer Vergleichsmessung der Neuanlage. Diese ergab einen Neuwert von etwa 460 lx bei einer Gleichmäßigkeit ( $g_1 = E_{min} / E_{mittel}$ ) von 0.56. Durch die Messung wurden die berechneten lichttechnischen Werte bestätigt, ( $E_m = 440 \text{ lx}$ ,  $g_1 = 0,52$ ).

Gemeinsam mit der Beleuchtung für die Klassenzimmer wurden mit der Bemusterung auch die Leuchten für die Verkehrswege festgelegt. Für die Flurbereiche wird eine Wandleuchte, bestehend aus einer Lichtleiste (1x35 W) und einer Vorsatzoptik aus weißem Lochblech, eingesetzt. Diese Leuchte weist ebenfalls einen sehr hohen Beleuchtungswirkungsgrad auf und gibt ihr Licht in einer sehr „milden“ Form mit einem hohen diffusen Anteil in den Raum ab. Dadurch wird die oft enge Flurgeometrie lichttechnisch „aufgeweitet“.

Nach Durchführung der kompletten Ausführungsplanung ergeben sich die nachfolgenden Vergleichswerte zwischen Bestands- und Neuanlage.

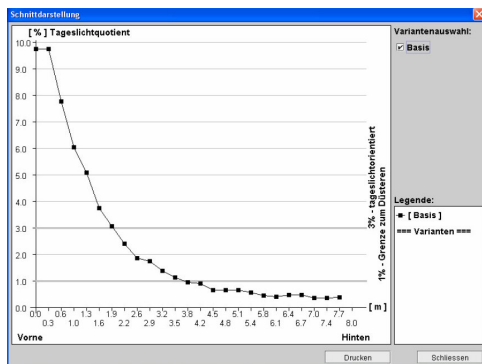
	Nutzfläche m <sup>2</sup>	Anzahl Leuchten Stck.	Elektrischer Anschlusswert kW	spezifischer Anschlusswert W/m <sup>2</sup>	Energiebedarf Endenergie kWh/m <sup>2</sup> a	Energiebedarf Primärenergie kWh/m <sup>2</sup> a
Bestandsgebäude	7.800	1.410	128	16,4	13,7	37,1
Gebäude nach Sanierung	8.800	1.380	67	7,6	6,5	17,6

(\* der Fachklassentrakt wird um ein Geschoss aufgestockt.)

## 2. Sonnenschutz

Um den Energiebedarf für die Raumbelichtung auf 6,5 kWh/m<sup>2</sup> a (Endenergie) bzw. auf 17,6 kWh/m<sup>2</sup> a (Primärenergie) begrenzen zu können, ist ein gut funktionierendes Gesamtkonzept für die Raumbelichtung erforderlich, bei dem die Tageslichtnutzung zu einem wichtigen Element wird. Denn Sonnenlicht kann einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung des Energiebedarfs bei der künstlichen Beleuchtung leisten. Allerdings entfallen 42% der solaren Strahlung auf den IR-Bereich und damit auf die Wärmestrahlung. Deshalb ist ein gut funktionierender Sonnenschutz (Wärmeschutz) i. d. R. unumgänglich.

Energie- und Tageslichtkonzepte sind heute sehr eng mit der Gebäude- und Raumgeometrie, aber auch mit Aufbau und Konstruktion der Fassade verbunden. An der Gebäude- und Raumgeometrie des Baukörpers lässt sich im Rahmen einer Sanierung wenig ändern. Deshalb ist die Fassadengestaltung um so wichtiger. Die Raumtiefe der meisten Klassenräume des Gymnasiums Sonthofen ist mit etwa 8,2 so groß, dass eine ausreichende Versorgung der Räume mit Tageslicht nicht möglich ist. Durch den Rückbau der auskragenden Balkenelemente und die Auslegung der Fassade als großzügig verglaste Bandfassade konnte eine relativ gute Versorgung der fensternahen Raumhälfte mit Tageslicht erzielt werden. Der Tageslichtquotient fällt aber von etwa 10% in Fensternähe auf einen Wert von ca. 1% in der Raummitte ab, so dass die innere Raumhälfte nur sehr unzureichend mit Tageslicht versorgt wird.



Verlauf des Tageslichtquotienten von der Fensterachse bis zur Innenwand (ca. 8 m).

(Der Tageslichtquotient gibt an welcher Anteil der Beleuchtungsstärke im freien Außenraum am Bezugsort – z. B. der Arbeitsfläche – zur Verfügung steht.)

Um das Tageslicht dennoch etwas gleichmäßiger im Raum zu verteilen, soll ein Sonnenschutz mit Lichtlenkfunktion eingesetzt werden. Dieser soll den fensternahen Lichtüberschuss etwas reduzieren und das Licht weiter in die Raumtiefe lenken. Die dazu nötige, teilweise Öffnung der Sonnenschutzlamellen darf aber nicht zu einem zu hohen solaren Wärmeeintrag und zu Blendungserscheinungen führen.

Die primären Bewertungskriterien eines Sonnen- und Blendschutzsystems mit Lichtlenkfunktion sind,

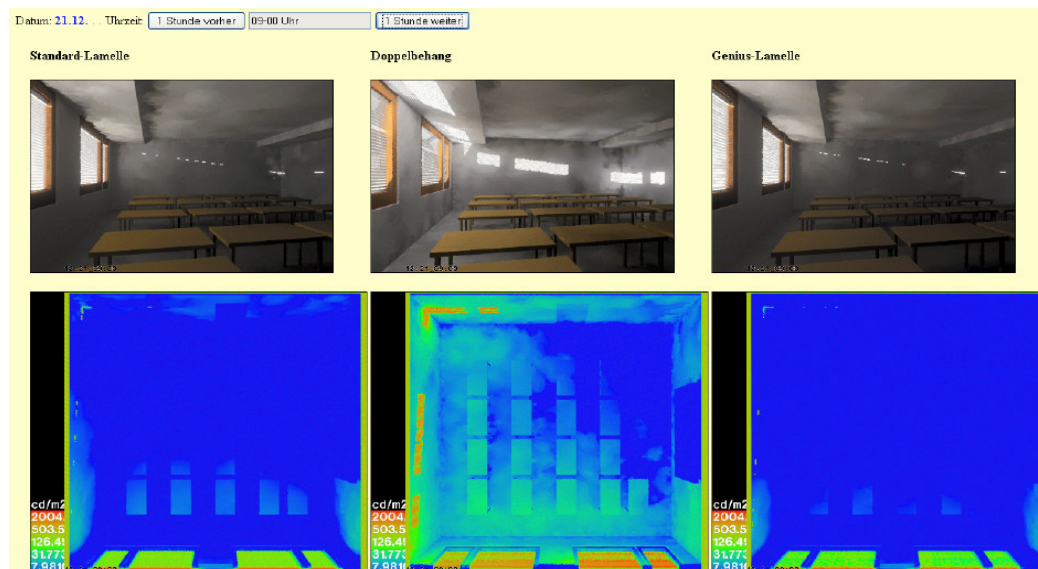
- Reduktion des Wärmeeintrags
- Schutz vor zu hohen Leuchtdichten (Blendschutz)
- Umlenkung des Tageslichts in größere Raumtiefen
- Erhaltung des Außenbezuges (Durchsicht)
- Energetische Optimierung der Raumbelichtung
- Betriebs- und Wartungskosten
- Schutz vor mechanischer Zerstörung

Im Vorfeld weiterer Untersuchungen wurde die Integration des Lamellensystems in ein Verbundfenster festgelegt. Dadurch sollen einerseits die Wartungs- und Betriebskosten reduziert (Schutz vorm Außenklima) und andererseits die Gefahr einer mechanischen Zerstörung (Vandalismus; beim Einsatz im Innenraum) vermieden werden.

Die technische Vorgabe des Einbaus in ein Verbundfenster bedingte die Beschränkung der Lamellenbreite auf maximal etwa 30 mm. Lamellensysteme mit ausgeklügelten Konturen zur Optimierung der Lichtlenkfunktion schieden deshalb von vornherein aus.

Zur Auswahl eines geeigneten Lamellensystems und zur energetischen Bewertung seiner Funktion wurde eine professionelle Simulation mit unterschiedlichen Lamellensystemen von der Fa. ALware (Braunschweig) durchgeführt.

Der Simulation zu Grunde gelegt wurde ein typischer Klassenraum mit etwa 70 qm Fläche. Die unterschiedlichen Lamellen wurden virtuell „nachgebaut“ und als Sonnenschutzelement in die ebenfalls virtuell erzeugten Fenster „eingesetzt“. Bezogen auf einen geeigneten geografischen Standort und bei unterschiedlichen Himmelszuständen wurde die Wirkung dieser Lamellensysteme auf Raumbelichtung und Sonnenschutz untersucht.



Der visuelle und lichttechnische Vergleich der 3 ausgewählten Lamellensysteme im Rahmen eines Tagesganges zeigte, dass die konkav gewölbte Spiegellamelle den Anforderungen insgesamt am besten entsprach. Im Einzelnen waren dies:

- Reduzierung des solaren Wärmeeintrags (Gesamtenergiedurchlassgrad)
- Reduzierung der Fensterleuchtdichten (Blendungsbegrenzung)
- Lichtumlenkung zur besseren Raumausleuchtung (Energieeffizienz)

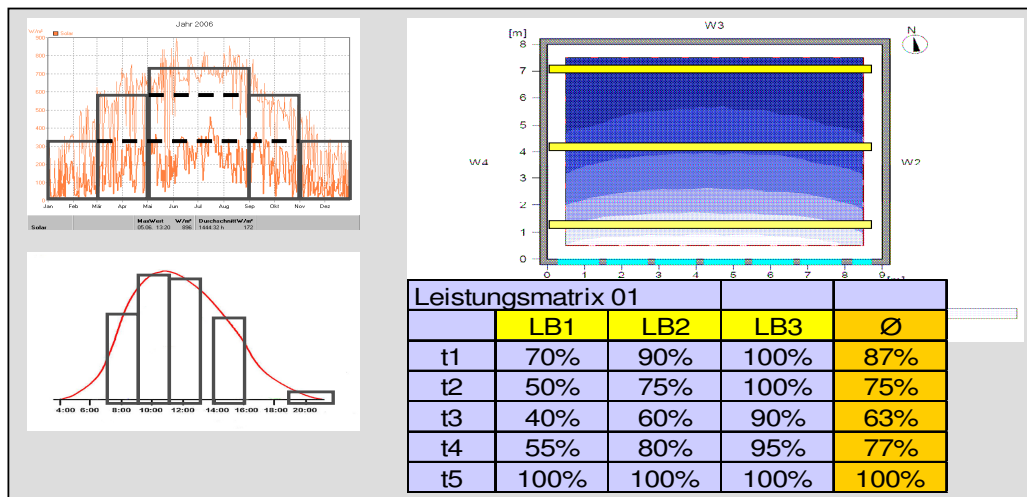
Deshalb wurde dieses Lamellensystem für die weitere energetische Bewertung ausgewählt.

## Energetische Bewertung des Sonnenschutzsystems

In sich konsistente, professionelle Berechnungsprogramme zur ganzheitlichen qualitativen (Lichtwirkung im Raum, visueller Eindruck) und quantitativen (Beleuchtungsstärken, Leuchtdichten, Energieeffizienz, u. a.) Bewertung von künstlicher Beleuchtungsanlage und Sonnenschutzsystem sind bis heute am Markt noch nicht verfügbar. Um trotzdem den Einfluss des gewählten Lamellensystems auf den Energiebedarf für die künstliche Beleuchtung bewerten zu können, wurde ein eigenes Berechnungsmodell entwickelt

- Aufteilung von Sonnen-Tagesgang und Jahresverlauf in ein vereinfachtes Schema (Zeitsegmente)
- Berechnung der durch das Tageslicht erzeugten Beleuchtungsstärken innerhalb der vorgenannten „Zeitsegmente“
- Bewertung der notwendigen Ergänzungsbeleuchtung

Das Modell liefert als Ergebnis einen auf die einzelnen Leuchtenachsen bezogenen Dimmwert (%-Angabe) in Form einer Matrix, (Dimmwert pro Leuchtenachse zu definierten Tageszeiten).



Mittels dieser Matrix wurde für jeden relevanten Raum der notwendige elektrische Ergänzungsbedarf für die künstliche Beleuchtung berechnet.

### 3. Steuerung/Regelung

Um eine relevante Einsparung bei der künstlichen Beleuchtung erzielen zu können, sollte diese tageslichtabhängig geregelt werden. D. h., es wird nur soviel Kunstlicht ergänzt, wie zum Erreichen der normativen Beleuchtungsstärkewerte notwendig ist. Grundsätzlich stehen dazu mehrere unterschiedliche Konzepte und Marktsysteme zur Verfügung.

Die einfachste Variante ist die manuelle Abschaltung einzelner Leuchtenbänder bei ausreichendem Tageslicht. Vorteil dieser „Technik“ sind die geringen Kosten, Nachteil ist die diskontinuierliche Beleuchtungsstärkeänderung sowie die funktionelle Abhängigkeit von der Disziplin des „Personals“.

Der letztgenannte Nachteil kann durch eine automatische achsenbezogene Abschaltung behoben werden. Jedoch zeigt sich in der Praxis, dass das stufenweise Wegschalten einzelner Achsen, d. h. die abrupte Reduzierung der Beleuchtungsstärke in bestimmten Raumteilen auf etwa 50%, zu erheblichen Akzeptanzproblemen führen kann.

Und insbesondere hier liegt der Vorteil einer automatisch geregelten Beleuchtungsanlage. Im Rahmen der Inbetriebnahme wird die Beleuchtungsanlage so eingeregelt, dass genau die geforderte bzw. gewünschte Beleuchtungsstärke im jeweiligen Raum erreicht wird. Dies führt u. a. auch dazu, dass die durch die Anwendung des Wartungsfaktors gegebene Überdimensionierung der Anlage (25-50% überhöhter Neuwert, je nach Wartungsfaktor), ausgeglichen wird.

Grundsätzlich stehen für die automatische, tageslichtabhängige Beleuchtungsstärkeanpassung zwei unterschiedliche Konzepte zur Verfügung,

- die zentrale Beleuchtungssteuerung
- die dezentrale Beleuchtungssteuerung

Bei der zentralen Beleuchtungssteuerung werden Tageslicht und Himmelszustand an einer zentralen Stelle – z. B. Gebäudedach – gemessen. Auf der Grundlage von raumweise vorgegebenen „Korrekturfaktoren“ wird dem in dem jeweiligen Raum vorhandenen Tageslichtangebot Kunstlicht hinzugefügt. Vorteil dieser Technik ist die „störrößenfreie“ Messung des Tageslichts (Himmelsgewölbe). Nachteil ist der „offene“ Regelkreislauf, - d. h. es gibt keine direkte Kontrolle (Rückkopplung) der Beleuchtungssituation im Raum.

Bei der dezentralen Beleuchtungsregelung werden in jedem Raum ein oder zwei Lichtsensoren installiert, mit denen das vorhandene „Gesamtangebot“ (Licht) gemessen wird. Reicht das vorhandene Tageslicht aus, wird das Kunstlicht auf 0% herunter geregelt, bzw. ganz ausgeschaltet. Jeder Raum stellt so einen abgeschlossenen Regelkreis dar. Istwert und Sollwert werden permanent miteinander verglichen und die Beleuchtungsanlage gegebenenfalls nachgeregelt.

Vorteil dieser Technik ist die durch den geschlossenen Regelkreis gegebene „Kontrolle“. Nachteil sind die erhöhten Anlagenkosten und die Empfindlichkeit des vom Sensor erfassten „Messraumes“ gegenüber Veränderungen, (Ummöblierung, Farbänderungen, u. a.).

Innerhalb dieser Konzepte gibt es noch unterschiedliche elektronische Systemlösungen, von einfach „verdrahteten“ raumbezogenen Minimallösungen, bis hin zu Gebäudemanagementkonzepten.

Im Planungsteam des Gymnasiums Sonthofen hat man sich nach ausführlichen Diskussionen dazu entschlossen, ein Bussystem mit einer dezentralen Beleuchtungsregelung zu realisieren.

Gründe für diese Entscheidung waren,

- Integration von Heizung/Kühlung, Lüftung (CO<sub>2</sub>), Beleuchtung und Präsenz in das Regelsystem (Berücksichtigung der wechselseitigen Abhängigkeiten, z. B. Sonnenschutz – Kühlung/Heizung)
- Gebäude mit einer sehr dichten Gebäudehülle (Passivhäuser) heizen sich im Vergleich zu konventionellen Bauten viel schneller auf. Deshalb „reagieren“ sie deutlich empfindlicher gegenüber Fehlverhalten. Die beste Vorsorge ist die automatische Anpassung der Regelgrößen beim Auftreten extremer „Störgrößen“, (z. B. sehr hohen Außentemperaturen).
- Die kontinuierliche Regelung der künstlichen Beleuchtung garantiert einen störungsfreien Unterrichtsablauf. Die Konzentration wird nicht durch abrupte Umfeldveränderungen beeinträchtigt.
- Der geschlossene Regelkreislauf bietet die beste „Kontrolle“ der Beleuchtungsverhältnisse im Raum.
- Das konzipierte Bussystem ermöglicht die Optimierung des Gesamtsystems (Temperatur, CO<sub>2</sub>, Beleuchtung, Sonnenschutz) während der geplanten Monitoringphase.
- Auch die energetische Optimierung der Raumbelichtung lässt sich am effektivsten mit einem integrierten Regelkonzept einschließlich des Sonnenschutzes erreichen

Mit diesem, auf einem flexiblen Bussystem aufbauenden Regelungskonzept, das eine überschaubare systemtechnische Komplexität aufweist, lässt sich eine optimale energetische Raumkonditionierung erreichen.

### **Berechnung und Bewertung des Energiebedarfs für die Raumbelichtung**

Zur Berechnung des Energiebedarfs für die künstliche Beleuchtung wurden mehrere z. T. modifizierte Berechnungsverfahren herangezogen. Einerseits ein etwas reduziertes Verfahren nach der DIN V 18599 Teil 4, dann eine vereinfachte Berechnungsmethode auf Basis des Schweizer Minergiekonzeptes und eine dritte Bedarfsberechnung auf Grundlage eines gemeinsam mit der Schule entwickelten Nutzerprofils.

Allen Verfahren ist der Berechnungsansatz über die spezifische Anschlussleistung und die effektive jährliche Betriebszeit gleich. Die spezifische Anschlussleistung (W/m<sup>2</sup>) liegt mit der ausgeführten Fachplanung für jeden Raum vor.

Die Unterschiede bei der Ermittlung des Energiebedarfs ergeben sich somit aus dem jeweils verwendeten Berechnungsweg bzw. durch eine entsprechende Festlegung der effektiven jährlichen Betriebszeit.

Die Bedarfsberechnung nach DIN V 18599 legt die Nutzerprofile nach Teil 10 zu Grunde, berücksichtigt die relative Abwesenheit und die vorgesehene Präsenzerfassung. Nicht berücksichtigt wurde die tageslichtabhängige Beleuchtungsregelung. Grund dafür ist einerseits die Komplexität des entsprechenden Berechnungsverfahrens und andererseits zu grob gerasterte Einheitswerte für die unterschiedlichen Raum- und Nutzungsarten.

Die sehr gute Dokumentation vieler Schweizer Minergie-Projekte liefert heute ein recht umfassendes Zahlenwerk zum Thema Schulbeleuchtung. Das Datenwerk umfasst geometrische Angaben, spezifische Anschlussleistungen und Verbrauchswerte sowie Nutzungsprofile. Diese wurden der zweiten Bedarfsermittlung in etwas angepasster Form zu Grunde gelegt.

Für die dritte Berechnung wurde gemeinsam mit der Schulleitung des Gymnasiums ein Nutzerprofil erarbeitet, dass sowohl die Feier- und Ferientage berücksichtigt, als auch die unterschiedliche Raumbelastung.

Die etwas „gröbere“ Abschätzung des Energiebedarfs nach DIN V 18599 ergab einen durchschnittlichen spezifischen Energiebedarf von 9,5 kWh/m<sup>2</sup> a (Endenergie. Dieser Wert würde bei Berücksichtigung der tageslichtabhängigen Beleuchtungsregelung geringer werden.)

Die Wertermittlung nach den Minergieprofilen (Nutzungszeiten für Klassenräume und Verkehrswege) ergab einen etwas verbesserten Bedarf von 8,8 kWh/m<sup>2</sup> a.

Spezifische energetische Kennwerte, Gymnasium Sonthofen Neubau					Anschlussleist.
Gebäudebereich	Q (18599)	Q (Minergie*)	Q (Nutz.prof.)	W/m2	Watt
EG Klassentrakt 2.157,16	21.904,70 10,15 kWh/m2 a	19.148,80 8,88 kWh/m2 a	14.469,11 6,71 kWh/m2 a	8,06	17.386,00
EG Fachklassentrakt 1.393,20	10.102,16 7,25 kWh/m2 a	8.706,00 6,25 kWh/m2 a	7.473,57 5,36 kWh/m2 a	6,17	8.596,00
1. OG Klassentrakt 2.046,71	22.583,94 11,03 kWh/m2 a	20.896,25 10,21 kWh/m2 a	14.378,78 7,03 kWh/m2 a	8,04	16.447,00
1. OG Fachklassentrakt 1.402,69	17.816,88 12,70 kWh/m2 a	16.449,70 11,73 kWh/m2 a	11.125,19 7,93 kWh/m2 a	12,02	16.865,00
2. OG Klassentrakt 2.042,40	13.492,31 6,61 kWh/m2 a	14.503,90 7,10 kWh/m2 a	11.573,36 5,67 kWh/m2 a	6,82	13.933,00
Summenwerte 9.042,16	85.899,98 9,50 kWh/m2 a	79.704,65 8,81 kWh/m2 a	59.020,02 6,53 kWh/m2 a		73.227,00

Den geringsten Bedarfswert ergab die Berechnung mit dem vom Projektteam selbst erarbeiteten Nutzerprofil. Nach dieser Berechnung ergibt sich ein Energiebedarf für die künstliche Beleuchtung in Höhe von 6,5 kWh/m<sup>2</sup> a.

Bei all diesen Werten handelt es sich natürlich nur um berechnete, theoretische Werte, die eine entsprechende Abweichung zu den zukünftigen Verbrauchswerten haben werden. Diverse andere untersuchte und dokumentierte Projekte zeigen, dass die Abweichungen erheblich sein können und sehr stark vom Nutzerverhalten abhängig sind. Dieses lässt sich nur durch eine autarke, in ihrem Verhalten nicht beeinflussbare Anlagenregelung ausschalten. Gleichwohl kann und darf dies nie ein adäquates Planungsziel sein. Der Nutzer sollte immer die Möglichkeit zur Einflussnahme erhalten, damit er die von der Anlage vorgegebenen Werte und Einstellungen nach seinem Wunsche individuell anpassen kann.

Trotzdem gehen wir davon aus dass die in der Tabelle angegebenen Werte von ihrer Größenordnung her erreichbar sein sollten. Wenn auch nicht am Anfang, so doch nach der Inbetriebnahmephase und nach einem sicherlich notwendigen Informations-, Schulungs- und auch Eingewöhnungsprozess der Nutzer. Dass dies möglich ist, bestätigen auch die Verbrauchszahlen aus der Schweiz, von denen einige im Bereich zwischen 4,5 und 6,5 kWh/m<sup>2</sup> a liegen.

## Objekte mit Planung nach SIA 380/4

### Gebäudeüberblick Schul- und Sportgebäude

Gebäude	Fläche m <sup>2</sup>	Energie MWh	Leistung kW	Leistung W/m <sup>2</sup>	EKZ kWh/m <sup>2</sup>	Bauab- schluss	Q-Kont- rolle	TL- Messung
Albisriederplatz	6180	40	39	6.3	6.4	Aug 08		
Allenmoos I	2437	21	19	8	8.6	Jan 04		
Allenmoos II (HPS)	4608	30	43	9.4	6.5	Dez 06		
Am Wasser	1894	17	21	11.1	9	Aug 00		
Apfelbaum Trakt A	2586	4	16	6.3	5	Aug 03	25.5.05	
Apfelbaum Trakt B + C	1412	7	9	6.4	5.2	Aug 04	31.1.07	x
Apfelbaum Trakt D inkl. Turnh.	3242	29	24	7.4	8.9	Aug 03	25.5.07	x
Balgrist Turnhalle	599	3	6	9.5	4.2	Nov 05		
Buchwiesen	5585	40	44	7.9	7.1	Aug 03	12.4.05	
Buchwiesen Pavillon 1+2	581	4	6	10	7.2	Aug 04	12.4.05	
Buchwiesen Trakt A	1416	6	9	6.3	4.4	Okt 04	12.4.05	
Bühl C	1741	13	13	7.7	7.3	Nov 03	1.12.03	
Dölttschi	5761	50	50	8.7	8.6	Aug 09		
Falletsche Erweiterung	4954	74	54	10.9	14.9	Okt 06		
Fluntern	4003	20	27	6.7	5	Dez 05	23.1.06	x
Gotthelfstrasse (HPS)	2293	14	15	6.7	5.9			
Hardau (Sporthalle)	5627	62	37	6.5	11	Aug 07		
Hardau BWS	2051	16	19	9.2	7.7	Aug 05	9.2.06	x
Hardau Primarschule	2074	13	17	8.3	6	Aug 05	9.2.06	x
Hirzenbach Neubau Halle	2392	10	19	7.9	4.4	Mai 07		
Hirzenbach Neubau Kiga	1486	9	11	7.5	6.2	Dez 06		