

Natürliche und künstliche Beleuchtung des Schulzimmers

R. Spieser

Zusammenfassung

Der Schulraum ist die wichtigste Arbeitsstätte unserer Jugend während ihrer Entwicklungszeit. Die meisten Tätigkeiten sind mit einem mehr oder weniger intensiven Sehprozeß verbunden, dessen Ablauf von den Bedingungen der natürlichen und künstlichen Beleuchtung abhängt. Die in jeder Hinsicht gute Dosierung des Lichtes im Raum und am Arbeitsplatz ist die Sorge der Bau- und Lichtfachwelt.

Hier wird vorwiegend die Tagesbelichtung besprochen und auf eine neue Veröffentlichung über künstliche Beleuchtung verwiesen. Die wichtigsten Gesichtspunkte bei der Bewertung des Tageslichtes werden aufgeführt und die meist angewandten Fensteranordnungen diskutiert.

Résumé

La salle de classe est l'endroit de travail le plus important de la jeunesse. La plupart des activités sont liées à un effort de vision plus ou moins intense, dont le déroulement dépend des conditions de lumière naturelle et artificielle. Le dosage judicieux de la lumière dans la pièce et à l'endroit de travail est la tâche des experts en matière de construction et d'illumination.

Le travail en présence traite essentiellement de la lumière du jour et attire l'attention du lecteur sur une publication récente au sujet de la lumière artificielle. Les facteurs les plus importants dans l'évaluation de la lumière du jour sont passés en revue et les dispositions de fenêtres les plus fréquentes sont discutées.

Einführung

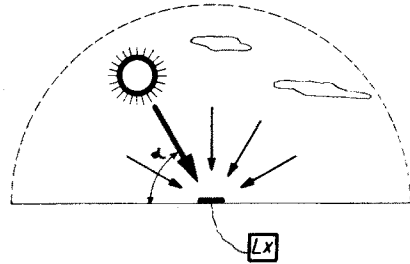
Im folgenden Bericht werden hauptsächlich die Überlegungen zusammengestellt, die in Verbindung mit der natürlichen oder Tagesbeleuchtung sich aufdrängen. Es wird richtig hervorgehoben, daß für die übliche «Volksschule» der Großteil der Unterrichtsstunden auf die Tageszeit, d. h. bei ausreichendem Naturlicht entfällt. Diese Voraussetzung ist allerdings nicht ohne weiteres erfüllt, weil unter gewöhnlichen Verhältnissen die Tageslichtverteilung im Klassenzimmer außerordentlich ungleichmäßig verläuft, und weil zudem die klimatischen und topographischen Bedingungen in unserem Land für ausreichende natürliche Beleuchtung oft sehr ungünstig sind; schließlich ist an die dauernd steigenden Anforderungen an die quantitativen und qualitativen Sehbedingungen zu erinnern. Während die natürlichen Gegebenheiten unverändert bleiben und nur durch bauliche Maßnahmen besser ausnützlich sind, stehen die Möglichkeiten der künstlichen Beleuchtung nahezu unbegrenzt da und übernehmen unter Umständen die Führung im Fortschreiten der beleuchtungstechnischen Entwicklung.

1.1 Beleuchtung bei «klarem» Himmel

Bei klarem Himmel, mit 0 bis $\frac{1}{5}$ Bewölkung, wird ein im Freien liegender Meßpunkt, je nach Sonnenstand, zu 60–80% direkt von der Sonne beleuchtet. 40–20% stammen vom Licht des «Gewölbes», in diffuser Form.

Das Sonnenlicht hat 3500–5500 °K Farbtemperatur (gelbweiß bis blauweiß) bei 10° bzw. 60° Sonnenhöhe. Himmelslicht erreicht etwa 25 000 °K Farbtemperatur (tiefes Blau).

1.1



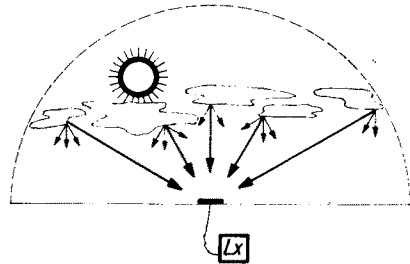
1.2 Beleuchtung bei bedecktem Himmel

Bei bedecktem Himmel mit $\frac{4}{5}$ – $\frac{5}{5}$ Bewölkung oder mit Nebeldecke entsteht eine allseitig zuströmende Belichtung, d.h. vollständig diffuse Beleuchtung.

Bei höherem Sonnenstand über der Wolken- decke beträgt die Farbtemperatur etwa 6500 °K entsprechend einer blauweißen Farbtonung.

Die Folge ist eine minimale bis fehlende Schattigkeit an körperlichen Objekten, während bei klarem Himmel (oben) sehr kräftige Schatten entstehen.

1.2



1.3 Zeitliche Häufigkeit der Bewölkung in der Nordost-Schweiz

Als langjähriger Mittelwert für Beobachtungsstationen der Nordost-Schweiz können auf Grund klimatologischer Statistiken orientierend die nebenstehenden Werte angegeben werden. Dabei bedeuten:

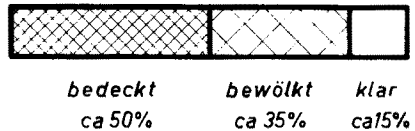
klar: 0– $\frac{1}{5}$ Bewölkung

bewölkt: $\frac{1}{5}$ – $\frac{4}{5}$ Bewölkung

bedeckt: $\frac{4}{5}$ – $\frac{5}{5}$ Bewölkung

Die Beurteilung der natürlichen Beleuchtung von Innenräumen muß demnach in unseren Gebieten auf die Verhältnisse bei bewölktem oder noch eher bedecktem Himmel abstellen.

1.3



1.4 Tageslichtkennwerte

Das quantitative Angebot des natürlichen Lichtes ist zeitlich außerordentlich stark schwankend, wie Bild (1.4) zeigt.

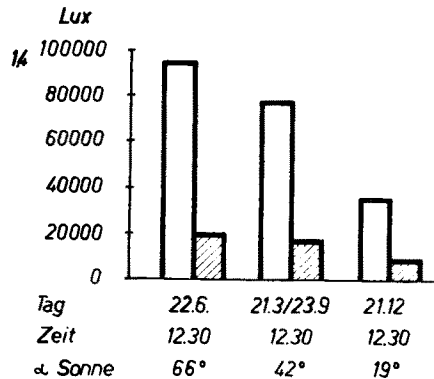
Helle Balken = klarer Himmel

Dunkle Balken = bedeckter Himmel

Dabei ist zu beachten, daß es sich um lang- jährige Mittelwerte der Tagesmaxima handelt, d.h. bei höchstem Sonnenstand. Über den tages- zeitlichen Verlauf der natürlichen Außenbe- leuchtung orientieren im Detail die «Allg. Leit- sätze für Beleuchtung» der SBK, 4.Auflage 1965. S. 20, Fig. 3.

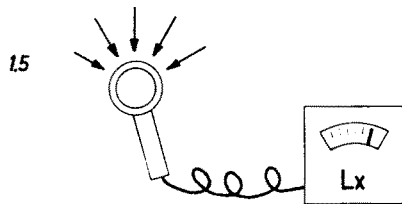
Auszugsweise gibt folgende Tabelle einige Kennwerte der Außenbeleuchtung zu anderen Tageszeiten, die am Rand der Benützungzeiten unserer Volksschulräume liegen. Voraussetzung ist immer der «bedeckte Himmel»:

Ortszeit:	Dez.	Jan., Nov.	Febr., Okt.
8– 9 Uhr	2000 Lux	3000	6000
15–16 Uhr	2000 Lux	3000	6000



1.5 Beleuchtungsstärke-Messungen

Im Freien und in Innenräumen erfolgen sie mit dem lichtelektrischen Element, in Form des Luxmeters. Die Instrumentanzeige ist direkt (ohne Korrektur) verwertbar, sofern folgende Bedingungen erfüllt sind:

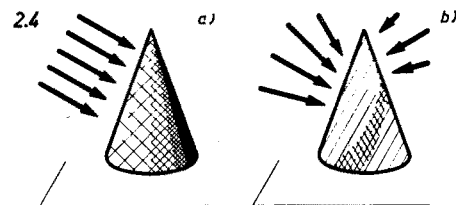


- Eichung an offizieller Stelle,
- Einwandfreier Gebrauchszustand,
- Keine Zusatzreflexion oder -absorption.

Die Erfüllung dieser Bedingungen setzt einen zuverlässigen Lieferanten und sorgfältigen Benutzer des Instrumentes voraus. Vielfach sind beim Fehlen der einen oder anderen Voraussetzung Korrekturen nötig und Fehler möglich.

2.4 Schattigkeit

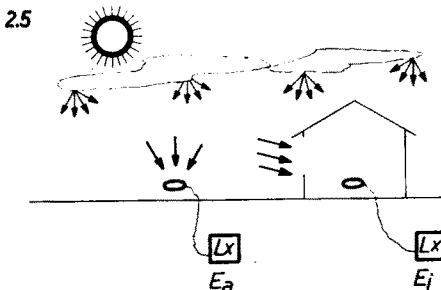
Sie ist wichtige Voraussetzung für deutliche und natürliche Erkennbarkeit körperlicher Objekte. Abgesehen von der formalen Gestaltung des Sehobjektes ist vorwiegend die Art des Lichteinfalls maßgebend für den Grad und die Natürlichkeit der Schatten. Abb. 2.4 illustriert die vorkommenden Extreme:



- a) Vorwiegend direktes Licht mit harter, starker, ausgeprägter Schattigkeit und Körperlichkeit.
- b) Vorwiegend diffuses Licht mit sehr weicher bis fehlender Schattigkeit und «formloser» Erscheinung des Objektes.

2.5 Tageslichtverhältnisse im Innenraum

Sie werden durch einen Kennwert, genannt



Tageslichtquotient (TLQ), gekennzeichnet.

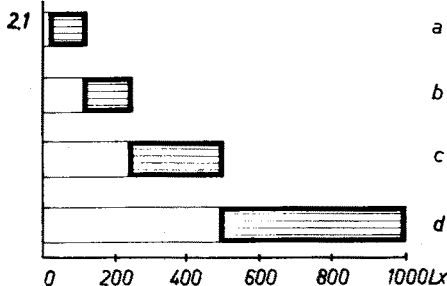
Seine Bedeutung geht aus Fig. 2.5 hervor. Zwei Luxmeter erfassen gleichzeitig, bei gleichförmig bedecktem Himmel, d.h. «trübem» Wetter, die Beleuchtungsstärke auf einer Außen- und Innen-Horizontalfläche.

$$\text{Das Verhältnis } \frac{E_i}{E_a} \cdot 100 \text{ ergibt den TLQ in \%}$$

Tageslichtquotienten sind der Berechnung zugänglich unter Annahme einer gesetzmäßigen Leuchtdichteverteilung am bedeckten Himmel, die auf statistischer Grundlage durch eine internationale Norm festgelegt ist. Tageslichtberechnungen sind dem Fachmann zu übertragen.

2.1 Richtwerte der Beleuchtungsstärke

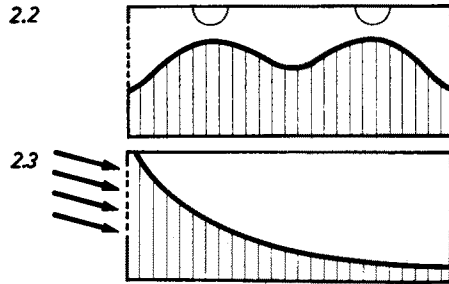
Für Schulgebäude können aus den «Allgemeinen Leitsätzen für Beleuchtung» der SBK, 4. Auflage 1965, die nebenstehenden Richtwerte für die Beleuchtungsstärke an den Arbeitsplätzen entnommen werden. Die Angaben entsprechen dem «Stand der Technik», sind in allen westlichen Ländern auf ähnlichem Niveau und tragen der dauernd steigenden Tendenz in der Beleuchtungsverbesserung Rechnung. Die etwas weit



- a) Verkehrszone: Gänge, Treppen;
- b) Aula, Singsaal;
- c) Unterrichtsraum für Tagbenutzung, Lehrerzimmer;
- d) Unterrichtsraum für Abendkurse, Hörsäle, Zeichensäle, Handarbeitsräume.

2.2 und 2.3 Örtliche Gleichmäßigkeit

Bei der oft gleich dichten Besetzung von Klassenräumen sollten alle Plätze ähnlich gute Lichtverhältnisse aufweisen. Dies ist verhältnismäßig leichter zu erzielen bei künstlicher Beleuchtung als bei Naturbeleuchtung, wo der stark fallende Tageslichtquotient, zumindest bei nur einseitiger Fensteranordnung, auffallend starke Unterschiede von fensternahen bis -fernen Plätzen bedingt. Die letzteren Verhältnisse rufen dringend nach Ausgleichslösungen entweder durch andere Fenstergestaltung oder durch künstliches Zusatzlicht.

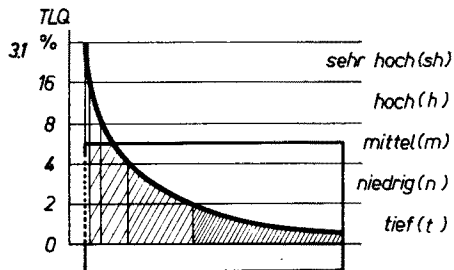


3.1 Bewertung des Tageslichtquotienten

Zur Gewinnung eines relativen Maßstabes über den Wert des TLQ und damit der natürlichen Raumbelichtung kann eine «Zonen»-Teilung eingeführt werden. Sie erlaubt die Gliederung einer Arbeits- oder Nutzfläche in Teilflächen von ungleichem Ausnutzungswert bei Tag. Sie läßt auch Hinweise auf den Benützungsgrad künstlicher Beleuchtung zu, um die bei 2.1 genannten Niveaux zu erreichen.

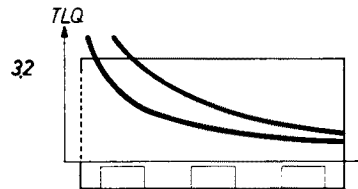
Deutung der TLQ-Zonen für Schulräume:

TLQ	Zone	Künstlicheinsatz in % der Tag-Arbeitszeit
unter 2%	tief	über 50% Kunstlicht-Zeit
2-4%	niedrig	20-50% Kunstlicht-Zeit
4-8%	mittel	0-20% Kunstlicht-Zeit
8-16%	hoch	0% Kunstlicht-Zeit



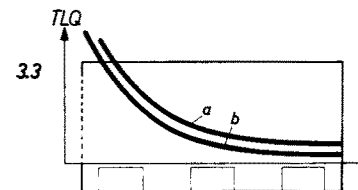
3.2 Einfluß der Fensterhöhe auf den TLQ, bei einseitigem Längsfenster

Die tiefer liegende Kurve entsteht unter dem Einfluß eines relativ starken Fenstersturzes oder Rolladenkastens, der etwa $\frac{1}{2}$ m der wertvollsten, d.h. obersten Fensterpartie wegnimmt. Bei «Befreiung» von diesem Hindernis kann sich die TLQ-Kurve auf dem obren Verlauf bewegen. Die Wirkung ist allerdings vorwiegend in den fensternahen und mittleren Raumteilen wertvoll, weniger in der Raumtiefe.



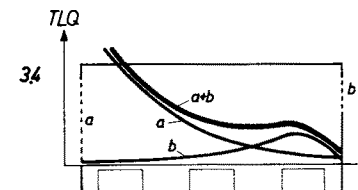
3.3 Einfluß der Raumflächen auf den TLQ, bei einseitigem Längsfenster

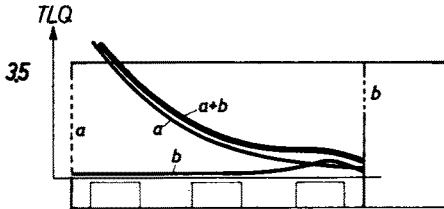
Helle Decken- und Wandtönungen beeinflussen den TLQ-Verlauf im Sinn einer merklichen Aufhellung der fensterfernen Raumstellen. Die obere Kurve (a) für «hellgetönte» Räume steht an der inneren Raumlängswand nahezu doppelt so hoch wie bei dunkel getönten Raumflächen (b). Bei der Farbgestaltung ist diesem Einfluß Rechnung zu tragen.



3.4 Einfluß eines zweiten Längsfensters, hochliegend, an der Gegenwand

Die zum linksseitigen Längsfenster nun hinzukommende Ergänzung vom rechtsseitigen Fenster zeigt eine ganz erhebliche Erhöhung des TLQ in den Raum-Innenzonen rechts. Der TLQ kann hier von «tief» auf «mittel» gehoben werden. Der Kunstlichtbedarf an den Innenbänken geht stark zurück.



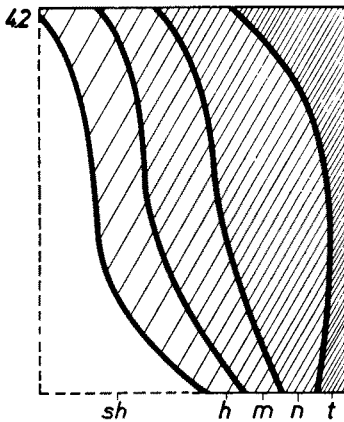
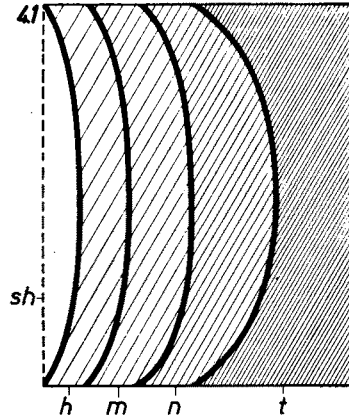


3.5 Einfluß eines zweiten hochliegenden Längsfensters mit vorgebautem Korridor

Das Hinzukommen des Korridors an der Seite des halbhohen Längsfensters rechts mindert den Einfluß dieses Fensters soweit herab, daß nur noch von einer geringen Verbesserung gesprochen werden kann. Die Wirkung des korridorseitigen Fensters wird mehr «scheinbar» zu einer stimmungsmäßigen Aufhellung benützt.

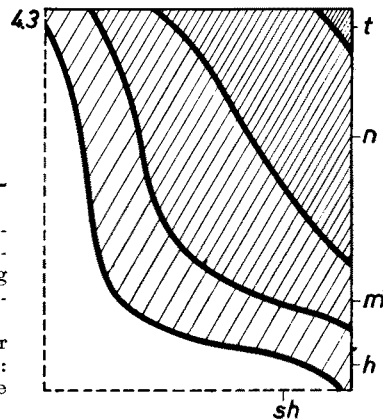
4.1 Zonenteilung im Klassenraum-Grundriß bei einseitigem Längsfenster

In Übereinstimmung mit den TLQ-Schnittbildern von Abb. 3.1 und 3.3 wird in der Grundfläche des Schulraumes dargestellt, wie die 5 «Niveau»-Zonen «sehr hoch» bis «tief» gemäß Abb. 3.1 sich verteilen. Die Tiefzone (t) bedeckt nahezu einen Drittel der innenseitigen Klassenzimmerfläche, die Hälfte ist niedrig bis mittelgut belichtet; ein kleiner, fensternaher Rest erreicht «hoch».



4.2 Zonenteilung im Klassenraum-Grundriß bei 1 Längsfenster und 1/2 Querfenster

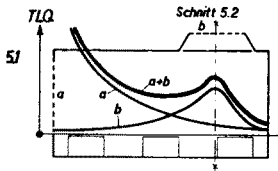
Das Zufügen eines Querfensters an der rückseitigen Raumwand, auf halbe Raumbreite, verbessert die Tageslichtverhältnisse ansehnlich. Die Tiefzone wird nahezu ganz verdrängt; ein Drittel der Fläche erreicht niedriges Niveau, mehr als die Hälfte steht nun bei mittleren und hohen Tageslichtwerten.



4.3 Zonenteilung im Klassenraum-Grundriß bei 1 Längsfenster und 1 Querfenster

Bei der Ausdehnung des Querfensters auf die ganze Rückwandbreite entsteht eine Diagonal-Situation der Tageslichtverteilung. Drei Viertel des Raumes sind mittelmäßig bis sehr hoch belichtet; der «niedrig» bewertete Teil verlagert sich in die innere und vordere Raumecke.

Diese Tageslichtverteilung ladet ein zu einer nicht mehr achssymmetrischen Gruppierung der Bänke im Sinn: Rückseiten gegen die «helle» Ecke, Front gegen die «dunkle» Ecke.

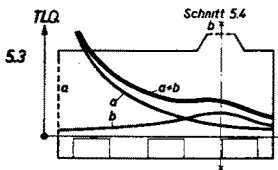
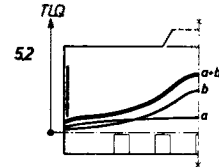


5.1 Klassenraum-Querschnitt mit einseitigem Längsfenster und quadratischem Oberlicht

Das Längsfenster allein bedingt den aus Abb. 3.3 bekannten stark abfallenden Verlauf des TLQ. Das quadratische Oberlicht, in der längsseitigen Raummitte angenommen, ergibt einen örtlichen Zusatz nach Kurve b. Die Überlagerung zeigt einen starken Anhub des TLQ, allerdings nur vorzugsweise in einem kleinen Teil aufzuhellender Innenraumfläche.

5.2 Klassenraum-Längsschnitt mit einseitigem Längsfenster und quadratischem Oberlicht

Das unter 5.1 Gesagte ist ersichtlich aus dem Längsverlauf unter dem quadratischen Oberlicht. Seine Auswirkung ist beschränkt auf etwa $\frac{1}{3}$ der Zimmerlänge. Die Maßnahme ist nicht voll befriedigend.

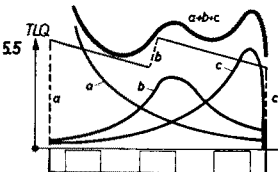
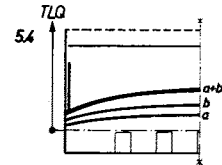


5.3 Klassenraum-Querschnitt mit einseitigem Längsfenster und durchlaufendem Oberlicht

Gegenüber 5.1 erweist sich das Längsoberlicht als besser ausgleichend. Die Wirkung auf die TLQ-Verbesserung ist für die innern Raumzonen entscheidend.

5.4 Klassenraum-Längsschnitt mit einseitigem Längsfenster und durchlaufendem Oberlicht

Verglichen mit Bild 5.2 ist eine Wirkung auf die ganze Raumlänge ersichtlich. Der ganze Schulraum kann auf mittleres Niveau gehoben werden.



5.5 Klassenraum-Querschnitt bei doppelseitigen hochliegenden Längsfenstern und einem durchlaufendem Oberlicht

Diese bautechnisch schon weitgehende Lösung zeigt die Kombinationsmöglichkeiten, falls der Klassenraum sowohl beidseitig frei und nach oben nicht verbaut ist. Die Summenkurve ($a+b+c$) liegt hoch und so gleichmäßig über dem ganzen Querschnitt, daß von einer Tageslicht-«Ebene» gesprochen werden kann.

Sammelbemerkung

Die gezeigten Varianten bilden nur eine beschränkte Auswahl unter den zahlreichen Möglichkeiten; immerhin enthalten sie die wichtigsten, d. h. praktisch gebräuchlichsten Ausführungen der Fenster. Die TLQ-Werte sind nur als Vergleichsgrößen anzusehen und immer für «bedeckten» Himmel gültig. Die exakten, wirklichen Werte sind noch bedingt durch die variable Art der Verglasung, Fensterkonstruktion (Sprossen) und Fensterschnitt (Sturz, Brüstung). Ausgefallenerere Lösungen : z. B. Fenster bis zum Boden, komplizierte Oberlichter oder Laternen, sind einer Detaildiskussion zu überlassen.

Worin liegen die Vorzüge einer gleichmäßigen Tageslicht-Verteilung mit mittlerem Niveau im Volksschulklassenzimmer?

In wenigen Schlagworten ausgedrückt:

Rückgang der Kunstlichtbenützungszeit auf ein Minimum.

Wegfall der meisten Schulzeiten mit gemischter Tages- und Kunstbeleuchtung.

Vermeidung von Nachteilsituationen in großen Teilen der Klasse, wenn Kunstlicht gespart wird.

Künstliche Beleuchtung

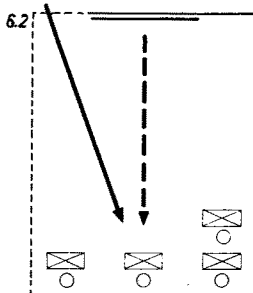
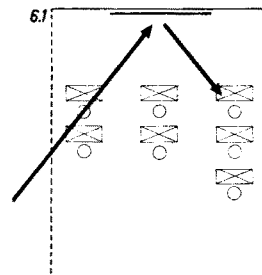
Die vor kurzer Zeit abgefaßte Veröffentlichung zu diesem Thema ist in der Zeitschrift «Aluminium Suisse» 1963/H 6 enthalten und den Teilnehmern an der Tagung vom 29. 4. 65 ausgehändigt worden. Weitere Hefte sind von der Redaktion oder vom Verfasser ohne weiteres auf Anfrage erhältlich. Eine Wiederholung des dortigen Berichtes scheint hier demnach überflüssig.

Einige besondere, dort nicht enthaltene Hinweise seien hier noch illustriert und kurz besprochen:

6.1 Reflexblendung durch die Wandtafel

Der Grundriß zeigt die Blendungsmöglichkeiten über eine, meist etwas glänzende Wandtafel. Als Blendlichtquellen kommen vorwiegend in Betracht: Direktes Tageslicht, zum Beispiel von nicht abgeschirmter Sonne, oder diffuses Tageslicht von höherer Leuchtdichte.

Zur Abhilfe kann nur eine nahezu «ideale» Mattierung der Tafel in Verbindung mit einem Blendschutz am Fenster (Storen) vorgeschlagen werden. Das Problem erschwert sich mit zunehmender Breite (Tiefe) des Klassenzimmers.

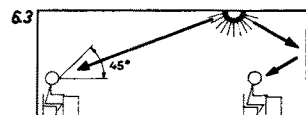


6.2 Relativblendung durch Fenster nahe der Wandtafel

Fenster und Tafelfläche in einer Ebene sind außerordentlich ungünstige Voraussetzungen für eine sogenannte Relativblendung. Die hohe Leuchtdichte des Fensters, neben der immer stark herabgesetzten Tafelleuchtdichte schafft einen bisweilen unerträglichen Kontrast zum Nachteil der Sehschärfe auf der Tafel. Abhilfe durch primäre Vermeidung dieser Kombination oder nachträglich durch «Schließen» oder Abdämmen des Fensters auf ein Maß, das den Wert des Fensters praktisch aufhebt (Abzuraten!).

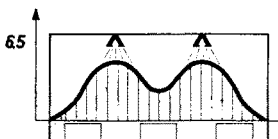
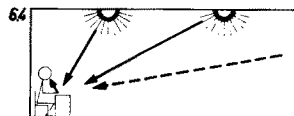
6.3 Direkte und indirekte Blendung durch Kunstlicht

Elektrische Leuchten, bestückt mit Glühlampen oder Fluoreszenzlampen, sind nicht immer ausreichend blendungsfrei; sie weisen bisweilen in «kritischen» Richtungen zu hohe Leuchtdichten auf, die sich durch direkte Wirkung nach dem frei blickenden Auge oder über spiegelnde Flächen (Tafeln, Bänke oder Bücher) störend auswirken können. Abhilfe: Leuchten niedriger Leuchtdichte, d. h. Leuchten mit lichtstreuenden, großflächigen Baustoffen nach allen Richtungen für direkten oder indirekten Einblick. Ein Blendungsschutzwinkel von 45° soll eingehalten sein.



6.4 Reflexblendung und Kontrastblendung

Beim Blick auf das Arbeitsfeld (Bank) ist Reflexblendung an glänzenden Gegenständen (Glanzpapier) möglich bei nahestehenden Leuchten über dem Arbeitsplatz. Beim Blick zur Tafel kontrastieren u.U. helle Leuchtenfelder gegenüber relativ schwach beleuchteten Wandtafeln. Ergebnis: Sehschärfen einbuße und Adaptationsschwierigkeiten für den Schüler.



6.5 Tiefstrahler

Nur direkt und scharf zur Arbeitsfläche gerichtete Leuchten sind Ursache folgender Störfaktoren:

- Wärmestrahlung bei Benützung von Glühlampen
- Sehr harte Schlaglichter und Schatten
- Große Ungleichförmigkeit
- Spiegelblendung durch Objekt am Arbeitsplatz.

7.1.2.3 Wandtafelbeleuchtung

1. Bei einseitiger, natürlicher Belichtung erhält die Tafel relativ wenig frontales Licht; es ist vielmehr tangential einfallend und damit schwach. Die Tafelbilder und -zeichnungen kommen lichtmäßig wenig zur Geltung.

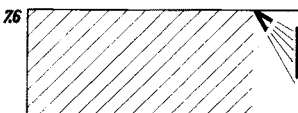
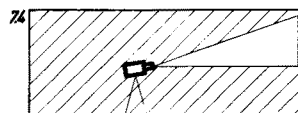
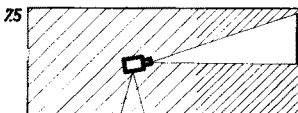
2. Bei künstlicher Beleuchtung, die nur dem Raum zugeordnet ist, sind die Verhältnisse ähnlich. Die Tafel, am «Rand» der Arbeitszone liegend, ist vielfach unterbelichtet.

3. Zusatzleuchten an der Wandtafel sind mit folgenden Vorteilen verbunden:

Ausreichendes Tafellicht bei schwacher Tagesbeleuchtung ohne Benützung des übrigen Kunstlichtes.

Verstärkte Tafelbeleuchtung auch bei eingeschaltetem Kunstlicht.

Einsparung an Kunstlicht, das sich ausschließlich auf die Bankzonen beschränken kann.



7.4.5.6 Beleuchtung bei Projektion von Bildern und Experimenten speziell in Hörsälen

4. In gleichmäßig erhellten Räumen, auch bei eventueller Dämmerhaltung auf ein Niveau, das Mitschreiben und Lesen erlaubt, wird jedes Projektionsbild vom Allgemeinlicht mehr oder weniger überflutet und erhält dadurch einen «Schleier», der die Bildwirkung beeinträchtigt.

5. Die Raumzone in Nähe des Bildes ist ganz zu verdunkeln, damit sich das Bild ungestört und kontraststark präsentieren kann.

6. Aushängetafeln sind in der Regel durch das Allgemeinlicht nicht genügend hervorgehoben; es ist Zusatzlicht, ähnlich der Wandtafel, erforderlich, um das Schaubild zur Geltung zu bringen.

PS: Herrn W. Mathis, in Firma Osram AG Zürich, verdanke ich wertvolle Mitarbeit bei der rechnerischen und graphischen Bearbeitung der Tageslichtquotienten.

Adresse des Autors: Prof. R. Spiesser, 8044 Zürich, Zürichbergstraße 81.