

I. Abschnitt.

Fenster, Thüren und andere bewegliche Wandverchlüffe.

A. Fenster.

Fenster werden in den raumbegrenzenden Wänden angeordnet. Ihr Hauptzweck ist, dem Tageslicht Zutritt zu den Innenräumen des Gebäudes zu gewähren, also die Erhellung derselben mittels Sonnenlicht zu ermöglichen. Dies könnte auch durch einfache Wandöffnungen geschehen und wird wohl auch in manchen Fällen in solcher Weise bewirkt. Gewöhnlich aber verlangt man, daß die Lichtöffnungen derart verschlossen sind, damit die Temperatur im Inneren der Räume von den äußeren Witterungsverhältnissen thunlichst unabhängig ist; auch das Eindringen von Staub, Insecten etc. soll möglichst verhindert werden.

1.
Vor-
bemerkungen.

Weiteren Zwecken dienen die Fenster dadurch, daß sie der Sonnenwärme Zutritt in die Innenräume gestatten und eine Lufterneuerung in denselben möglich machen.

Alle diese Zwecke lassen sich durch verglaste Lichtöffnungen, die man sowohl in den Wänden (Fenster), als auch in den Decken, bezw. Dächern (Decken-, bezw. Dachlichter) anbringen kann, erfüllen. Da sonach bei diesen verschiedenen Arten von Lichtöffnungen gewisse gemeinsame Gesichtspunkte als maßgebend auftreten, mag der Betrachtung der Fenster ein Kapitel über Erhellung der Räume mittels Tageslicht im Allgemeinen vorausgeschickt werden.

I. Kapitel.

Erhellung der Räume mittels Sonnenlicht.

Von Dr. EDUARD SCHMITT.

Die Erhellung der geschlossenen Räume unserer Gebäude kann in zweifacher Weise geschehen:

2.
Erhellung
im
Allgemeinen.

- 1) durch Sonnen- oder Tageslicht — natürliche Beleuchtung, und
- 2) durch künstliche Lichtquellen — künstliche Beleuchtung.

Bei Tage ist, wo immer es angeht, wo die örtlichen Verhältnisse es gestatten und wo die Bestimmung des betreffenden Gebäudes nicht das Gegentheil erfordert, die natürliche der künstlichen Beleuchtung vorzuziehen. Der wohlthätige Einfluß des

Sonnenlichtes auf das menschliche Auge, so wie auf den menschlichen Organismus überhaupt, auf thierisches und pflanzliches Leben ist so allgemein anerkannt, daß über diese Angelegenheit Zweifel nicht entstehen können¹⁾. Auch fördert das Sonnenlicht unsere Gesundheit mittelbar dadurch, daß es die Feinde derselben, die Bakterien, zerstört. Vom allgemeinen gesundheitlichen Standpunkt aus wird es deshalb in einem zum Aufenthalt von Menschen bestimmten Raum nicht leicht ein Zuviel des Lichtes geben: je mehr Licht und Sonnenschein in einen Raum fallen, desto gefunder ist er. Die Hygiene des Auges warnt allerdings vor dem Zuviel; allein dies läßt sich un schwer vermeiden. Denn wir haben es ja in den allermeisten Fällen mit zerstreutem Sonnenlicht zu thun, und dieses wird niemals zu hell; unmittelbare Sonnenstrahlen, die in den betreffenden Raum etwa gelangen, lassen sich leicht abblenden.

Schwieriger ist die Frage zu lösen, wie man »zu wenig Licht« vermeidet. Das Lesen, das Schreiben und andere Arbeiten an ungenügend erhellten Plätzen sind dem Auge unzweifelhaft schädlich. Da, wo sich nur wenige Menschen in einen Raum zu theilen haben, kann man die Arbeitsplätze in die Nähe der Fenster rücken; wo aber, wie in Fabriken, Schulen etc., an allen Stellen des Raumes gearbeitet werden soll, muß auch an den von den Fenstern am meisten entfernten Arbeitsplätzen der erforderliche Helligkeitsgrad vorhanden sein.

Es wird deshalb vor Allem die Frage zu erörtern sein, welches Mindestmaß der Erhellung erforderlich ist, um die wohlthätige Wirkung des Sonnenlichtes zu erzielen — ein Maß, unter welches nicht gegangen werden darf, wenn das menschliche Auge nicht Schaden nehmen soll.

3.
Erhellungsgrad
und
Lichteinheit.

Um den Erhellungsgrad eines geschlossenen Raumes angeben, bezw. die Lichtmenge bestimmen zu können, die irgend ein Flächenelement in diesem Raume unter dem Einfluß einer Lichtquelle besitzt, muß man ein Vergleichsmaß, eine sog. Lichteinheit, fest stellen. Bei Erhellung durch Sonnenlicht scheint es nahe zu liegen, die Einheit aus dem Tageslicht selbst abzuleiten; allein man würde hierdurch keinen Festwerth erzielen, weil das Tageslicht je nach der Jahres- und Tageszeit, je nach dem Grade der Bewölkung und je nach verschiedenen anderen Umständen, von denen später noch die Rede sein wird, wechselt. Es wurden deshalb andere Einheiten aufgesucht, die sich indess durchweg auf künstliche Lichtquellen beziehen.

Der Erhellungsgrad eines Flächenelementes in einem geschlossenen Raume ist aber nicht bloß von der einfallenden Lichtmenge, d. i. von der Zahl der Lichteinheiten, die dasselbe von einer Lichtquelle empfängt, abhängig, sondern auch vom Abstände desselben von dieser Lichtquelle und von dem Winkel, den der Lichtstrahl mit der beleuchteten Fläche einschließt, dem sog. Elevations- oder Auffallwinkel. Bekanntlich steht der Erhellungsgrad im umgekehrten Verhältniß zum Quadrat jenes Abstandes und im geraden Verhältniß zum Sinus des Auffallwinkels. Bei der natürlichen Beleuchtung der Räume können die Oeffnungen in den Wänden, bezw. in der Decke oder im Dach, durch welche das Himmelslicht einfällt — die sog. Lichtöffnungen oder Lichtfelder — als Lichtquellen angesehen werden.

Die Lichteinheit ist in den einzelnen Ländern verschieden gewählt worden.

In Deutschland hatte der »Deutsche Verein von Gas- und Wasserfachmännern« als Einheit der Lichtstärke eine Paraffinkerze von 20 mm Durchmesser und von genau beschriebener Zusammenfassung

¹⁾ *Uffelmann* kommt in einer Untersuchung über die Bedeutung des Sonnenlichtes (siehe: Wiener med. Klinik 1889) zu dem Schlusse, daß das Sonnenlicht ein die Gesundheit kräftigender, der Lichtmangel ein sie schwächender Factor ist.

des Dochtes empfohlen und sich mit deren Herftellung feit 1868 befchäftigt; 12 folcher Kerzen wiegen 1 kg und follen eine Flammenhöhe von 50 mm geben.

In Frankreich dient als Einheit das Licht einer Carcel- (Moderateur-) Lampe größten Formats von 20 mm Dochtweite, welche in einer Stunde 42 g gereinigten Colza-Oels (Kohlfaat- oder Rüböls) verbraucht; man nennt dort diefe Lichtmenge einfach »Bec Carcel« oder auch fchlechtweg »Bec«.

In England wendet man als Lichteinheit die fog. Parlamentskerze (*London standard spermaceti candle*) an, die bei einer Flammenhöhe von 44,5 mm ftündlich 120 Grains (= 7,77 g) Spermaceti (Wallrath) verbraucht.

Um Vergleiche in den verfchiedenen Angaben zu ermöglichen, fei erwähnt, dafs annähernd

- 1 deutche Normalkerze = 0,110 *Becs Carcel* = 0,98 Parlamentskerzen,
 1 *Bec Carcel* = 9,83 (oder rund 10) Vereinskерzen = 9,6 Parlamentskerzen und
 1 engl. Parlamentskerze = 1,02 Vereinskерzen = 0,104 *Becs Carcel*.

Diefe Lichteinheiten haben der Hauptbedingung, welche man an ein Urmaß ftellen muß: dafs es bequem an allen Orten und zu allen Zeiten herzufstellen ift — nicht ganz entfprochen; namentlich war deren Unveränderlichkeit (Conftanz) nicht in genügendem Maße zu erreichen.

Im Jahre 1878 ftellte *Schwendler* die Einheit für Lichtmessungen durch die Wirkung eines ftändigen galvanifchen Stromes, der ein 0,017 m dickes Platinblech durchfließt, dar; die Helligkeit, mit der eine folche Platineinheit glüht, ift in hohem Maße unveränderlich. Da es indefs umftändlich und fchwierig ift, einen conftanten galvanifchen Strom zu erzeugen und zu controliren, fo hat diefe Einheit keinen Eingang in die Praxis gefunden.

Die 1881 ftattgehabte erfte internationale Elektrizitäts-Ausftellung zu Paris gab Anlafs, fich mit dem fraglichen Gegenftande gleichfalls zu befchäftigen, um fo mehr, als man beim elektrifchen Bogenlicht bedeutend größere Helligkeitsgrade zu beftimmen hatte, wie feither. Indefs kam der damals abgehaltene internationale Congrefs von Elektrikern zu keinem abfchließenden Ergebnifs, und es wurde die Bearbeitung der Frage einer internationalen Commiffion überwiefen. Von diefer wurde 1884 als »praktifche Einheit des weiffen Lichtes die Lichtmenge, welche in normaler Richtung von 1 qcm der Oberfläche von gefchmolzenem Platin bei der Erfarrungs-Temperatur ausgegeben wird«, angenommen.

Diefe Platin-Lichteinheit wurde durch einen von *Siemens* conftruirten Apparat praktifch brauchbar gemacht; allerdings hängt dabei das Licht nicht von im Erfarren gefchmolzenem Platin, fondern von im Schmelzen begriffenem ab. Im Uebrigen ift die *Siemens'sche* Platin-Einheit ein fehr zuverlässiges Lichtmaß. *Siemens* fand die Helligkeit feiner Einheit im Schmelzpunkt gleich derjenigen von 15 engl. Parlamentskerzen.

Hefner-Alteneck fchlug als Lichteinheit die Leuchtkraft einer frei brennenden Flamme vor, welche aus dem Querschnitte eines mafiften, mit Amylacetat gefättigten Dochtes aufsteigt, der ein kreisrundes Dochtröhrchen aus Neufilber von 8 mm innerem, 8,3 mm äußerem Durchmesser und 25 mm frei ftehender Länge vollkommen ausfüllt, bei einer Flammenhöhe von 40 mm vom Rande des Dochtröhrchens aus und wenigftens 10 Minuten nach dem Anzünden gemeffen. Die Größe diefer Amylacetat-Einheit ift gleich der mittleren Leuchtkraft einer englifchen Wallrathkerze; die Conftanz diefer Lichtquelle ift eine vorzügliche; die 1888-er Verfammlung des »Deutfchen Vereins von Gas- und Wafferfachmännern« hat die Amylacetat-Lampe »fchon in ihrer jetzigen Gefalt als ein geeignetes Vergleichsmittel für Lichtmessungen« bezeichnet²⁾.

In der 1890 abgehaltenen Jahresverfammlng diefes Vereines wurde befchloffen:

- 1) Die Amylacetat-Lampe, welche ferner »*Hefner-Lampe*« benannt werden foll, wird anftatt der Vereins-Paraffinkerze als Lichtmaß des Vereines angenommen.
- 2) Das Verhältnifs der Leuchtkraft eines *Hefner-Lichtes* zur Paraffinkerze wird mit 1 : 1,20 mit einer Abweichung von $\pm 0,05$ feft gefteht³⁾.

Das Sonnenlicht ift in den allermeiften Fällen fo ftark und fo grell, dafs die gefchloffenen Räume unferer Gebäude davor gefchützt werden müffen. Die Erhellung derfelben bei Tage erfolgt defhalb, wie bereits gefagt wurde, durch das von der Atmosphäre aufgenommene und wieder zerftreute (diffufe) Licht.

4.
Erhellung
mittels
Sonnenlicht.

²⁾ Siehe über Normal- und Vergleichslichtquellen: KRÜSS, H. Die elektro-technifche Photometrie. Wien, Peft u. Leipzig 1886. S. 96 u. ff. — ferner: WEBER, L. Zur Frage der Lichteinheiten. Journ. f. Gasb. u. Wafl. 1888, S. 597.

³⁾ Das über denfelben Gegenftand in Theil III, Band 4, 2. Aufl. (S. 5) diefes »Handbuches«, welcher früher (1881) als das vorliegende Heft erfchienen ift, Gefagte ift auf Grund des in Art. 2 Mitgetheilten zu ergänzen.

Die Räume selbst werden durch solches Licht entweder unmittelbar oder mittelbar erhellt.

Das Tageslicht ist unmittelbar (direct), wenn die Lichtöffnung, durch welche dasselbe einfällt, unmittelbar in das Freie führt. Mittelbares (indirectes) Tageslicht empfangen Räume durch Lichtöffnungen, welche nach benachbarten — daneben oder darüber gelegenen — unmittelbar erhellten Räumen münden.

Bei der unmittelbaren Beleuchtung ist noch zu unterscheiden, ob das zerstreute Sonnenlicht ganz unbeeinträchtigt aus dem völlig Freien kommt oder ob der Licht-einfall durch gegenüber liegende oder benachbarte Gebäude, bezw. andere Gegenstände ganz oder zum Theile gehemmt ist, so daß es theilweise als Reflex-Licht zur Wirksamkeit kommt. Besonders störend und für das Auge geradezu schädlich ist das Reflex-Licht, welches von hell gefärbten und vom Sonnenlicht grell erhellten Flächen zurückgeworfen wird und in Räume benachbarter oder gegenüber liegender Gebäude einfällt. Solches Licht soll deshalb so weit, als irgend möglich, vermieden werden.

5.
Unmittelbare
Erhellung.

Die Lichtöffnungen, durch welche geschlossene Räume unmittelbares Tageslicht empfangen, werden angeordnet:

- 1) in den seitlichen Umfassungswänden — Seitenlicht, oder
- 2) in den nach oben abschließenden Decken, bezw. Dächern — Decken-, bezw. Dachlicht.

Decken- und Dachlicht werden häufig als Oberlicht⁴⁾ bezeichnet. In bestimmten Fällen wird das von oben lothrecht einfallende Licht auch Zenith-Licht genannt, insbesondere, wenn es nahe am First eines Satteldaches, in der Spitze eines Zeltdaches, durch den Scheitel eines Kuppelgewölbes, bezw. Kuppeldaches etc. in den Raum einfällt.

3) Nicht selten kommen seitliche und in der Decke, bezw. im Dach angeordnete Lichtöffnungen gleichzeitig zur Anwendung. Es geschieht dies hauptsächlich in jenen Fällen, wo ein Raum durch die seitlich angebrachten Fensteröffnungen in gewissen (rückwärts gelegenen) Theilen nicht genügend erhellt wird; das Decken-, bezw. Dachlicht dient dann zur Vervollständigung der Erhellung in diesen Theilen. Bisweilen ist jedoch das Decken-, bezw. Dachlicht die Hauptlichtquelle für den betreffenden Raum, und die in seinen Umfassungswänden vorhandenen Fensteröffnungen sind hauptsächlich in Rücksicht auf die Lüfterneruerung oder aus anderen, mit der Raumerhellung nicht zusammenhängenden Gründen vorgesehen worden.

6.
Seitliche
Erhellung.

Die am häufigsten vorkommende Art der Tageserhellung unserer Räume ist diejenige mittels Seitenlicht, und darunter wieder diejenige mittels gewöhnlicher Fenster, d. i. solcher, deren Unterkante in Brüstungshöhe gelegen ist oder tiefer herabreicht. Befinden sich die Fensteröffnungen in wesentlich größerer Höhe, so erfolgt die Erhellung des betreffenden Raumes mittels fog. hohen Seitenlichtes oder Hochlichtes, welches auch Oberlicht⁵⁾ genannt wird.

Die seitliche Erhellung von Räumen erfolgt aber auch bisweilen durch verglaste Wände, viel seltener durch fog. Glathüren; der erstere Fall tritt namentlich

⁴⁾ Im »Handbuch der Architektur« wird der Gebrauch der Bezeichnung »Oberlicht« vermieden, um Mißverständnissen vorzubeugen; wie noch in Art. 6 gesagt werden wird, nennt man nicht-selten hoch einfallendes Seitenlicht gleichfalls »Oberlicht«.

⁵⁾ Diese Bezeichnung wird namentlich für Fenster, die über Thür- oder Thoröffnungen angebracht sind, gebraucht. (Siehe auch die vorhergehende Fußnote.)

bei Pflanzenhäusern, photographischen Arbeitsstätten, Markthallen, Personenhallen grösserer Bahnhöfe, Ausstellungsbauten etc. ein.

Wenn ein Raum von oben erhellt werden soll, so wird, wenn eine wagrechte Decken-Construction vorhanden ist, entweder die ganze Decke oder meist ein entsprechend grosser, thunlichst central gelegener Theil derselben als Lichtfläche constructirt; die darüber gelegenen Dachflächen sind alsdann gleichfalls mit genügend grossen Lichtöffnungen zu versehen, und in manchen Fällen wird zwischen Decke und Dach ein Lichtschacht angeordnet.

Ist der zu erhellende Raum nach oben unmittelbar durch die Dach-Construction abgeschlossen, so ist in den Dachflächen ein entsprechend grosser, central gelegener Theil lichtdurchlässig auszuführen.

In sehr vielen Fällen ist die Frage, ob man einen Raum durch seitlich oder durch von oben einfallendes Licht zu erhellen habe, durch die Lage dieses Raumes im Gebäude selbst ohne Weiteres beantwortet. Sind über dem zu erhellenden Raume andere Räume angeordnet, so ist eine unmittelbare Beleuchtung des ersteren von oben so gut wie ausgeschlossen, und eben so giebt es Fälle, wo ein Raum von der Seite her sich gar nicht oder doch nicht ausreichend erhellen läßt, so das Licht-einfall von oben geradezu geboten ist.

Von derartigen Fällen abgesehen, läßt sich die Frage, ob Seitenlicht dem Decken-, bezw. Dachlicht vorzuziehen sei und umgekehrt, allgemein nicht beantworten; hauptsächlich wird dabei die Bestimmung des betreffenden Raumes ausschlaggebend sein.

Sind, wie dies meistens zutrifft, nur in einer Umfassungswand des zu erhellenden Raumes Fenster angeordnet, so ist in einem Punkte desselben der Erhellungsgrad ein um so geringerer, je weiter er von den lichtgebenden Wandöffnungen entfernt ist. Wenn sonach die Bestimmung des betreffenden Raumes eine derartige, nach der Raumtiefe abnehmende Erhellung zuläßt, so ist solches Seitenlicht anwendbar. Gestattet die beabsichtigte Raumbenutzung dies nicht und lassen sich Fenster in zwei einander gegenüber stehenden Wänden anbringen, so wird man dadurch in manchen Fällen die ausreichende, bezw. geeignete Erhellung des Raumes erzielen können.

Immerhin wird es Fälle geben, wo durch seitliches Licht entweder keine genügende oder keine geeignete Raumerhellung erzielt werden kann, wo dies vielmehr nur durch von oben einfallendes Licht erreichbar ist. Handelt es sich darum, grosse wagrechte Flächen thunlichst gleichmäsig zu erhellen, so kann dies durch Decken-, bezw. Dachlicht eher bewirkt werden, als durch Seitenlicht. Allerdings werden auch bei von oben einfallendem Lichte die am Umfange der zu erhellenden wagrechten Fläche gelegenen Theile etwas schwächer beleuchtet sein, als die gerade unter der Lichtöffnung befindlichen; allein die Ungleichmäsigkeit in der Erhellung wird eine viel geringere, als bei seitlicher Beleuchtung sein.

Es giebt ferner Fälle, wo es sich hauptsächlich darum handelt, in bestimmten Theilen der Umfassungswände einen thunlichst gleichmäsigem Erhellungsgrad zu erzielen. Bei seitlicher Beleuchtung sind die mit Fenstern versehenen Wände für viele Zwecke fast unbenutzbar, und die senkrecht dazu stehenden Wände zeigen, je nach dem Abstand von der Fensterwand, im Erhellungsgrade verschiedene Abstufungen, so das auch diese nur unter gewissen Bedingungen zweckmäsig verwendet werden können. Hingegen läßt sich durch in der Decke, bezw. im Dach thunlichst central

7.
Erhellung
von oben.

8.
Seitlich
oder
von oben
einfallendes
Licht?

angeordnete Lichtöffnungen, insbesondere, wenn man noch gewisse Vorichtsmafsregeln trifft, eine viel gleichmäfsigere Erhellung der betreffenden Theile sämmtlicher Umfassungswände erzielen.

In derartigen Fällen wird fonach die Erhellung von oben derjenigen von der Seite her vorzuziehen fein, und man wird auch noch den weiteren Vortheil des von oben einfallenden Lichtes auszunutzen in der Lage fein, der darin besteht, dafs letzteres in der Regel von der Umgebung weniger beeinträchtigt wird, als das Seitenlicht.

Indefs ist die Raumerhellung von oben nicht frei von Mifsständen:

1) Der Erhellungsgrad ist je nach dem Stande der Sonne ein ziemlich stark wechselnder; zwar ist dies auch bei Seitenlicht der Fall, allein in wesentlich geringerem Mafse.

2) Unter sonst gleichen Verhältnissen ist in vielen Fällen der Erhellungsgrad, der von oben einfallendes Licht erzeugt, weniger ausgiebig, als der vom Seitenlicht herrührende. Denn die Arbeitsstellen etc. des betreffenden Raumes befinden sich meist dem Fußboden nahe, und da die Entfernung derselben von der Lichtöffnung im ersteren Falle in der Regel gröfser ist, als im letzteren, so mufs der Erhellungsgrad ein geringerer fein.

Oder umgekehrt: will man in beiden Fällen einen gleichen Erhellungsgrad erzielen, so werden bei Beleuchtung von oben die Lichtöffnungen in der Regel gröfser fein müssen, als bei seitlicher Erhellung. Da nun Fenster etc. in der Ausführung meist billiger zu stehen kommen, als Decken- und Dachlichter, so bedingt die Erhellung von oben im Allgemeinen theurere constructive Einrichtungen, als jene von der Seite her.

3) Von oben einfallendes Licht erzeugt in manchen Fällen auch aus dem Grunde einen geringeren Erhellungsgrad, weil bei folcher Beleuchtungsart die doppelte Verglafung der Lichtöffnung (in der Decke und im Dach) häufiger nothwendig wird, als bei seitlicher Erhellung.

4) Bei Schneefall wird die Wirkfamkeit von Decken- und Dachlichtern beeinträchtigt. Indefs kann man diesem Mifsstande in ausgiebiger Weise begegnen, wenn man die verglasten Flächen der Lichtöffnungen so steil anordnet, dafs der Schnee darauf nicht liegen bleibt; und wenn letzteres dennoch in geringem Mafse der Fall fein sollte, so schmilzt über erwärmten Räumen der abgelagerte Schnee bald ab.

5) Auch durch Staubablagerung tritt eine Verminderung der Raumerhellung ein. Je flacher die verglaste Lichtfläche gelegen ist, desto leichter wird sich Staub ablagern.

9.
Mittelbare
Erhellung.

Mittelbares Licht kann einem Raume entweder durch offene oder verglaste Wandöffnungen (Fenster, Glsthüren etc.), welche in einen daran stofsenden Raum münden, oder durch Glaswände, welche ihn von benachbarten Räumen trennen, oder durch Lichtöffnungen in feiner Decke zugeführt werden.

Blofs untergeordnete Räume und folche, in denen durch die Lichtöffnungen nicht auch der erforderliche Luftwechsel erzeugt werden soll, können durch mittelbares Licht erhellt werden. Für wichtigere Räume ist dies wohl nur in dem Falle als zuläfsig zu erachten, wenn dieselben an gröfsere glasbedeckten Höfen gelegen sind; alsdann kann man folchen Räumen durch ihre nach dem Hofe mündenden Fenster wohl die nöthige Lichtmenge zuführen; allein den Zwecken der Lufterneuerung können derartige Fenster nur in sehr unvollkommenem Mafse genügen.

Das Licht, welches durch sehr enge Lichthöfe, bezw. Lichtschächte und durch

Lichtgräben in die daran grenzenden Räume fällt, ist dem mittelbaren Lichte gleich zu achten.

Die in Rede stehenden Lichtöffnungen werden in unseren Klimaten nur sehr selten ganz frei gelassen, sondern, wie schon in Art. 1 (S. 5) gesagt wurde, fast ausnahmslos durch eine Verglafung — einfach oder doppelt — verschlossen.

10.
Licht-
öffnungen.

Beim Durchgang des unmittelbaren Tageslichtes durch verglaste Lichtöffnungen wird die Intensität des einfallenden Lichtes etwas herabgemindert; dieser Verlust beträgt:

bei einfachem Fensterglas	4 Procent,
bei doppeltem Fensterglas	9—13 »
bei 8 ^{mm} starkem Spiegelglas	6—10 »
bei grünem und rothem Glas	80—90 »
bei orangefarbigem Glas	34 »
bei matt geschliffenem Glas	30—66 »

Diese Zahlenangaben sind in der unten genannten Quelle⁶⁾ allerdings als für künstliche Beleuchtung geltend mitgetheilt. Allein nach *Mohrmann's* Versuchen⁷⁾ haben dieselben auch für Tageslicht Gültigkeit, mit Ausnahme des für mattes Glas angegebenen Werthes, der im Durchschnitt geringere Procentfätze ergab.

Nach *Mohrmann* kann für kräftig behandelte, vielfarbige Glasfenster im mittelalterlichen Charakter bei Tageslicht ein durchschnittlicher Verlust von 50 bis 80 Procent in Rechnung gestellt werden.

Bisweilen wählt man für die Lichtöffnungen Verglafungen, welche auf das einfallende Tageslicht eine zerstreue Wirkung ausüben (auch das schon erwähnte matt geschliffene Glas thut dies); in gleicher Weise wirken Oelpapier, gewöhnliches Papier, dünne Gewebe und andere durchscheinende Körper. Beim Durchgang durch solche Körper erleidet das Sonnenlicht gleichfalls einen Verlust; derselbe beträgt nach *Mohrmann's* Versuchen⁸⁾:

für klares Glas mit Rippen oder gepreßter Musterung . .	10—20 Procent,
für Glas, sehr matt geschliffen, nur theilweise zerstreuend	12 »
für Glas, ziemlich matt geschliffen, fast völlig zerstreuend	20 »
für Glas, mittelfark geschliffen, völlig zerstreuend . . .	25—30 »
für Glas, sehr rauh geschliffen, weiß aussehend	30—50 »
für Milchglas, 2 bis 3 ^{mm} stark	50—80 »
für klares Oelpapier	15—30 »
für dünnes Briefpapier	50—70 »
für gewöhnliches Schreibpapier	75—90 »
für dicht gewebtes Leinen	50—95 »

Nach neueren, von *Herzberg* angestellten Versuchen⁹⁾ wurde der in Rede stehende Lichtverlust ermittelt:

1) bei einfachem weissen rheinischen Doppelglas	zu 10 Procent,
2) bei einfachem dünnem Spiegelglas	» 10 »
3) bei unter 1 und 2 genannten Gläsern zusammen, in 6 ^{cm} Abstand in einen Rahmen gespannt	» 21 »
4) bei einfachem mattem Glas (undurchsichtig, nur Licht durchlassend)	» 27 »
5) bei einfachem Cathedralglas von etwas grünlicher Färbung	» 12 ² / ₃ »

6) Nach: Deutsches Bauhandbuch. Bd. II, 1. Berlin 1880. S. 357.

7) Siehe: MOHRMANN, K. Ueber die Tagesbeleuchtung innerer Räume. Berlin 1885. S. 19.

8) Siehe ebendaf., S. 21.

9) Siehe: Gefundh.-Ing. 1889, S. 281 — und: Journ. f. Gasb. u. Waff. 1889, S. 502.

- 6) bei einfachem Kathedralglas von weißer Färbung . . . zu $12\frac{2}{3}$ Procent,
 7) bei unter 1 und 6 genannten Gläsern zusammen, in 6^{cm}
 Abstand in einen Rahmen gespannt . . . » 23 »
 8) bei matter Glascheibe mit gemaltem Stern zusammen
 mit einer weißen Dachscheibe, letztere bestaubt (beide
 aus dem Deckenlicht eines in Benutzung befindlichen
 Saales); die Scheiben (der Wirklichkeit entsprechend)
 in 1,6^m Abstand von einander . . . » 60 » ¹⁰⁾
 9) bei neuer, nicht bestaubter, matter Glascheibe (ohne Stern)
 zusammen mit der bestaubten weißen Glascheibe des
 vorigen Versuches; die Scheiben in 1,6^m Abstand von
 einander . . . » 40 »

In den nachstehenden Erörterungen wird unter »Lichtöffnung« oder »Lichtfläche« durchwegs der Flächeninhalt der Fenster-, Decken-, bezw. Dachlichtöffnung, der verglasten Theile von Glasthüren, Glaswänden etc. — nach Abzug der Sprossen und aller sonstigen Constructionstheile, welche den Lichteinfall hemmen — verstanden.

Eine große Lichtmenge verschlucken meist die Fenstersprossen, und zwar nach *Mohrmann* ¹¹⁾:

bei eisernen Fenstern	5—10 Procent,
bei Bleiverglafung	10—25 »
bei den gewöhnlichen hölzernen Wohnhausfenstern	25—35 »

Die üblichen leichten Tüllvorhänge bewirken einen Lichtverlust von 15 bis 30 Procent und mehr; sie wirken auch etwas zerstreud.

Auf Grund obiger Zahlenangaben wird für gewöhnliche Wohnhausfenster mit einem Lichtverlust von ca. 50 Procent (5 Procent für das Glas, 30 Procent für die Sprossen und 25 Procent für die Vorhänge angenommen, giebt $100 \cdot 0,95 \cdot 0,70 \cdot 0,75 = 49,9$) zu rechnen sein.

Von der Construction der die Lichtöffnungen bildenden Anlagen soll im vorliegenden Kapitel nicht die Rede sein, sondern nur von der Verforgung geschlossener Räume mittels Sonnenlicht im Allgemeinen ¹²⁾. Ueber erstere ist das Nöthige zu finden: bezüglich der Fenster und damit verwandter Anlagen, so wie der Glasthüren im vorliegenden Heft, bezüglich der Glaswände in Theil III, Band 2, bezüglich der verglasten Decken und Deckenlichter in Theil III, Band 2, Heft 3 und bezüglich der verglasten Dächer und Dachlichter in Theil III, Band 2, Heft 5 dieses »Handbuches«.

II.
Wirkfamkeit
des
Sonnenlichtes.

Das zerstreute Sonnenlicht ist je nach dem Theile des Himmelsgewölbes, von welchem es ausstrahlt, verschieden stark (intensiv). Es ist am wirksamsten, wenn es aus der Umgebung des augenblicklichen Sonnenstandes, am schwächsten, wenn es nahe am Horizonte ausstrahlt; das aus anderen Theilen des Himmelsgewölbes herrührende Sonnenlicht hat auch eine andere Intensität. Für den Erhellungsgrad eines geschlossenen Raumes ist sonach die Menge des unmittelbar einfallenden Himmelslichtes von wesentlichstem Einflufs. Auch das Licht, welches vom Reflex an den Wänden und an der Decke dieses Raumes, an gegenüber liegenden Gebäuden etc. herrührt, ist von Einflufs; doch kommt dieser erst in zweiter Linie. Solches Reflexlicht ist namentlich für jene Theile des zu erhellenden Raumes von Wesenheit,

¹⁰⁾ Dieses Ergebnis ist nicht ganz zuverlässig, weil der gemalte Stern der photometrischen Messung sehr hinderlich war.

¹¹⁾ A. a. O., S. 20.

¹²⁾ Verf. wird dabei zum Theile einer Arbeit *F. v. Gruber's* in: Arbeiten der hygienischen Sectionen des VI. Internationalen Congresses für Hygiene und Demographie zu Wien 1887. Anhang zum Thema XI. Wien 1888. S. 53 (auch abgedruckt in: Wochschr. d. öst. Ing.- u. Arch.-Ver. 1888, S. 261, 269, 277, 285) folgen; der Herr Urheber dieser Abhandlung hat deren Benutzung für den vorliegenden Zweck in sehr dankenswerther Weise gestattet.

welche weit vom Fenster, bezw. von den anderweitigen Lichtöffnungen entfernt sind. Derartiges Licht wird in den nachstehenden Untersuchungen keine weitere Berücksichtigung finden.

Der Erhellungsgrad eines geschlossenen Raumes ist aber auch noch von anderen, zum Theile zufälligen Einflüssen abhängig: vom geographischen Breitengrad, von der Jahres- und Tageszeit, vom Grade der Bewölkung und der Feuchtigkeit der Luft etc. Man hat bis vor Kurzem angenommen, daß diese Einflüsse so überwiegend sind, daß man die zuerst erwähnte Verschiedenheit des Erhellungsgrades vernachlässigen könne. Indefs hat *Cohn* im Jahre 1885 durch photometrische Beobachtungen nachgewiesen, daß der südliche und südöstliche Himmel stets einen stärkeren Lichteffect giebt¹³⁾.

Zur Erhellung eines im Freien befindlichen Flächenelementes trägt das ganze Himmelsgewölbe bei. Wenn sich hingegen dieses Flächenelement in einem geschlossenen Raume befindet, so trägt zu seiner Erhellung nur derjenige Theil des Himmelsgewölbes bei, von welchem Lichtstrahlen nach diesem Flächenelement gelangen können. Je nach der Größe dieses Theiles ist der Grad der Erhellung ein verschiedener, und zwar ist er direct proportional der Größe jenes Firmamenttheiles, sobald das zu erhellende Flächenelement einer Ebene angehört, welche senkrecht zum Axialstrahl des betreffenden Firmamenttheiles steht. Schließt die Ebene mit jenem Axialstrahl einen Winkel, der kleiner als 90 Grad ist, ein, so ist die Erhellung eine geringere, und zwar nimmt sie mit dem Sinus dieses Winkels ab.

Mittels der in Art. 3 (S. 6) vorgeführten Lichteinheiten läßt sich bei künstlicher Erhellung der Räume die Lichtmenge angeben, welche eine Lichtquelle ausstrahlt. Bei Erhellung mittels Sonnenlicht hat man hingegen nicht so sehr die Lichtstärke anzugeben, welche von einem bestimmten Punkte des Himmelsgewölbes ausgeht, als vielmehr den Erhellungsgrad, welcher auf einem von diesem Punkte beleuchteten Körper hervorgebracht wird, mit anderen Worten: es handelt sich um die gesammte Wirkung aller auf ein bestimmtes Flächenelement unmittelbar oder durch Reflex gelangenden Lichtstrahlen des Himmelsgewölbes.

Diese Wirkung vergleicht man deshalb nicht unmittelbar mit der Normalkerze (oder einer anderen Lichteinheit), sondern mit der Wirkung, welche die letztere in einem bestimmten Abstände auf das zu erhellende Flächenelement ausübt. Man nimmt als Abstand des letzteren von der Normalkerze 1^m an und nennt den so erzeugten Erhellungsgrad eine Meter-Normalkerze oder kurzweg Meterkerze.

In unferen Breitengraden beträgt, wie photometrische Untersuchungen gezeigt haben, bei gleichmäßig bedecktem Himmel an einem Wintertage, bezw. eine Stunde vor Sonnenuntergang an einem Sommertage, der Erhellungsgrad, welcher durch eine 1^{qcm} große Oeffnung auf einem um 1^m von derselben entfernten Flächenelement erzeugt wird, $\frac{1}{4}$ der Helligkeit einer Meter-Normalkerze, wenn die sog. deutsche Normalkerze (siehe Art. 3, S. 6) zu Grunde gelegt wird.

Die Intensität von Lichtquellen und der an irgend einer Stelle eines geschlossenen Raumes vorhandene Helligkeitsgrad werden mittels der sog. Photometer gemessen. Es kann hier nicht der Ort sein, solche Vorrichtungen zu beschreiben;

12.
Meter-
Normalkerze.

13.
Licht-
messungen.

¹³⁾ Siehe über diesen Gegenstand:

COHN, H. Tageslicht-Messungen in Schulen. Deutsche Medicin. Wochschr. 1884, Nr. 38.

WEBER, L. Intensitäts-Messungen des diffusen Tageslichtes. Annalen der Physik u. Chemie, Bd. 26 (1885), S. 374.

es sei nur auf die übersichtliche Darstellung derselben im unten genannten Werke ¹⁴⁾ hingewiesen und bemerkt, daß sich für die Messung des diffusen Sonnenlichtes insbesondere *Weber's* Milchglas-Photometer eignet.

14.
Erforderlicher
Erhellungs-
grad.

Der in einem geschlossenen Raume erforderliche Erhellungsgrad ist, wenn nicht durch die Bestimmung des Raumes bereits anderweitig gegeben, vor Allem vom hygienischen Standpunkte aus zu bemessen. Es ist nicht Aufgabe des Architekten, den Erhellungsgrad, welchen der Mensch für einen bestimmten Zweck nothwendig hat, fest zu stellen; dies ist die Aufgabe der Hygieniker, bzw. vor Allem der Augenärzte unter ihnen. Sache des Architekten ist es, den von letzteren im Verein mit den Physikern angeestellten Forschungen zu folgen und dieselben, so weit als thunlich, technisch zu berücksichtigen.

Ueber den in den Innenräumen unserer Gebäude erforderlichen Erhellungsgrad gehen die Ansichten ziemlich aus einander. Mehrere derselben seien nachstehend vorgeführt.

1) Eine vielfach benutzte Angabe ist, daß es in den meisten Fällen genüge, wenn die Fensterlichtfläche $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{5}$ der Grundfläche des zu erhellenden Raumes beträgt, vorausgesetzt daß die Erhellung nicht durch Nachbargebäude beeinträchtigt wird.

2) Eine hiermit verwandte Bestimmung enthalten die vom »Deutschen Verein für öffentliche Gesundheitspflege« 1889 vorge schlagenen »Reichsgesetzlichen Vorschriften zum Schutz des gefunden Wohnens«; in § 7 heist es: »... In jedem solchen (zum längeren Aufenthalt von Menschen dienenden) Raume soll die lichtgebende Gesamtläche der ... Fenster mindestens ein Zwölftel der Grundfläche betragen ...«

Die Angaben unter 1 und 2 sind schon um dessentwillen unvollkommene, weil bei denselben die Grundform des zu erhellenden Raumes (das Verhältnis seiner Tiefe zur Länge), eben so die Lage und Form der Lichtöffnungen etc. nicht berücksichtigt sind.

3) *Baumeister* macht ¹⁵⁾ die Größe der Fensteröffnung vom körperlichen Inhalt des betreffenden Raumes abhängig. Danach sollen »alle zum längeren Aufenthalte von Menschen bestimmten, d. h. bewohnten Räume (als Wohn- und Schlafzimmer, Arbeits- und Versammlungs-Localen, Küchen) Fenster erhalten, deren lichtgebende und zum Oeffnen eingerichtete Gesamtläche mindestens 1 qm auf 30 cbm Rauminhalt beträgt«.

Diese Bestimmung ist dann von Bedeutung und deshalb berücksichtigenswerth, wenn man die Fensteröffnungen vor Allem als Mittel für die Lüfterneuerung im betreffenden Raume betrachtet; vom Standpunkte der Erhellung dieses Raumes zeigt sie die gleichen Unvollkommenheiten, wie unter 1.

4) *Böckmann* leitet ¹⁶⁾ folgende Regel ab: »Als gut beleuchtet kann man die Räume bezeichnen, bei denen man, an die dem Fenster entgegengesetzte Wand gelehnt, noch den Himmel sehen kann.«

Diese Regel nimmt zwar auf die Rauntiefe, in gewissem Sinne auch auf die Lage und Form der Fensteröffnungen Rücksicht; allein der dadurch gegebene Maßstab ist um dessentwillen nicht genügend sicher, weil es sich vor Allem darum handelt, ob der Theil des Himmelsgewölbes, den man sehen kann, auch groß genug ist, um den für einen bestimmten Zweck erforderlichen Erhellungsgrad zu erzielen.

5) *Förster* verlangte 1884, daß von jedem Tischplatze aus ein Stück Himmel sichtbar sein müsse und daß der Winkel zwischen der höchsten vom Tischplatze aus nach dem obersten Fensterrahmen gezogenen und der tiefsten noch oben über den Firn des gegenüber liegenden Hauses gehenden Linie mindestens 5 Grad betragen solle; er fügte ferner hinzu, daß die unmittelbar vom Himmel auf den Tischplatz fallenden Strahlen nicht schräger als unter einem Winkel von 25 bis 27 Grad kommen dürfen.

Obwohl durch letztere Bestimmung die größte zulässige Tiefe eines einseitig beleuchteten Raumes fest gelegt wird, so reicht auch diese Regel nicht völlig aus.

6) *Javal* fordert — insbesondere für Schulen — daß jeder Platz unmittelbares Sonnenlicht erhalten müsse. Hierdurch ist aber noch nicht die Frage gelöst, wie viel von diesem Lichte unbedingt nothwendig ist.

7) *Mohrmann* verlangt ¹⁷⁾ für:

¹⁴⁾ Handbuch der Hygiene. Herausg. v. Th. WEYL. Bd. IV, Lief. 1: Die Beleuchtung. Von L. WEBER. Jena 1895. S. 49 u. ff.

¹⁵⁾ In: Normale Bauordnung nebst Erläuterungen. Wiesbaden 1880 (§ 38).

¹⁶⁾ In: Deutsches Bauhandbuch. Bd. II, Theil 2. Berlin 1884. S. 79.

¹⁷⁾ In: MOHRMANN, K. Ueber die Tagesbeleuchtung innerer Räume. Berlin 1885. S. 14.

α) Untergeordnete Räume, deren Beleuchtung ein Lesen nur mit Mühe ermöglichen würde	mindestens 1
β) Vorplätze, Treppenhäuser etc.	5
γ) Arbeitsplätze für untergeordnete Arbeit in manchen Werkstätten, Packräumen, Küchen etc.	15—20
δ) Arbeitsplätze, die Lesen und Schreiben ohne Anstrengung zulassen . .	50—100
ε) Plätze für sehr feine Arbeit, Zeichenpulte, Sammelkasten in Museen, Wände der Gemälde-Galerien	200 u. mehr Meter- Normalkerzen.

Es wird noch gezeigt werden, daß die unter δ und ε gestellten Forderungen ziemlich hohe sind.

Außer dem hier maßgebend gewesenen hygienischen Standpunkte können für den erforderlichen Erhellungsgrad eines Raumes auch ästhetische Rücksichten von Einfluß sein. Denn es steht keineswegs fest, daß die Innenräume unserer Gebäude unter allen Umständen vollkommen gleichmäßig erhellt sein müssen. Im Gegentheil, in dem Gegensatz, welcher durch die Ungleichmäßigkeit der Erhellung verschiedener Theile eines und desselben Raumes erzeugt wird, liegt nicht selten ein Reiz, den die decorative Ausstattung dieses Raumes zur Geltung bringen kann, den aber keine Decoration hervorzurufen im Stande ist. Diese — rein ästhetische — Seite der Erhellungsfrage kann hier weiter keine Berücksichtigung finden, obwohl die nachstehenden Erörterungen zu derselben in keinerlei Gegensatz treten werden. Solche »behaglich« erhellte Räume pflegen in der Regel nur für den Aufenthalt weniger Personen bestimmt zu sein, und die gesundheitlichen Anforderungen sind schon erfüllt, wenn bloß die Arbeitsplätze dieser Personen genügend stark beleuchtet sind.

Auch so weit der besondere Zweck eines Raumes ein besonderes Maß, bezw. eine besondere Art der Erhellung bedingt, wie z. B. in Schulen, Museen, Ausstellungsräumen, großen Sitzungssälen etc., wird dieser Gegenstand von den nachfolgenden allgemeinen Erörterungen auszuschließen sein; hiervon wird im IV. Theile dieses »Handbuches«, bei Besprechung der betreffenden Gebäudearten, im Besonderen zu reden sein.

Um in zuverlässiger Weise bestimmte Angaben über den Erhellungsgrad machen zu können, stellte *Weber* den Begriff des sog. »Raumwinkels« fest und construirte einen Raumwinkelmeßer. Unter Raumwinkel hat man die körperliche Ecke zu verstehen, die das gesammte Strahlenbüschel umfaßt, welches von jenem Theile des Himmelsgewölbes, der von einem bestimmten Punkte des zu erhellenden Raumes sichtbar ist, nach diesem einfällt. Es handelt sich nun darum, für diese körperliche Ecke ein geeignetes Maß zu finden und eine Vorrichtung zu construire, mittels deren man den Raumwinkel leicht und bequem in diesem Maße messen kann. Hierzu dient *Weber's* Raumwinkelmeßer.

15.
Raumwinkel
und
Raumwinkel-
meßer.

Man denke sich das lichtausstrahlende Himmelsgewölbe in Felder von der Größe eines noch fest zu stellenden Quadratgrades getheilt; alsdann wird der Erhellungsgrad eines Platzes in dem zu erhellenden Raume der Anzahl der von letzterem aus sichtbaren Quadratgrade proportional sein. Es werden aber auch diese Quadratgrade ein z. B. in einer wagrechten Ebene gelegenes Flächenelement um so stärker erhellen, je höher sie sich über dem Horizonte befinden, d. i. je größer der Elevationswinkel der einzelnen Quadratgrade über dem Horizont ist. Der Raumwinkelmeßer hat nun die Aufgabe, den Raumwinkel, d. i. die Größe des

Firmamentfeldes, von welchem dem zu untersuchen- den Flächenelement A (Fig. 1) Lichtstrahlen zugehen, in Quadratgraden zu bestimmen und zugleich den Auffallwinkel ω des Axialstrahls AO dieses Lichtfeldes zu messen¹⁸⁾.

Um dem erstgedachten Zwecke zu dienen, besitzt der Apparat (Fig. 1) eine Linse L , welche das zu messende Bild des betreffenden Theiles des Himmelsgewölbes auf eine hinter derselben stehende Platte P

wirft, wobei jenes Bild so centrirt wird, daß der axiale Lichtstrahl AO senkrecht zu jener Platte gerichtet ist. Auf der Platte P wird ein Blatt Papier befestigt, welches die Gradeinteilung trägt. Nach *Weber's* Vorschlag ist dies ein Quadratnetz von 2 mm Maschenweite, so daß ein Quadratgrad 4 qmm mißt. Die Linse ist auf einem senkrecht zur Platte P stehenden Stabe s verschiebbar eingerichtet und wird so fixirt, daß auf dem Blatt ein scharfes Bild entsteht. Hat sie nun eine solche Brennweite, daß letzteres bei einem Abstände von 114,6 mm geschieht, so wird dieses Maß als Halbmesser einer Kugel erscheinen, deren Oberflächenquadrat 2 mm Seitenlänge, d. i. 4 qmm Flächeninhalt hat.

Im Allgemeinen wird der in Frage kommende Theil des Himmelsgewölbes, in Folge der Form des betreffenden Fensters oder der sonstigen Lichtöffnung, unregelmäßig gestaltet, und deshalb wird auch das auf der Platte P entstehende Bild mn desselben eine unregelmäßige Gestalt haben. Ist das Papierblatt in die Platte eingestellt worden, so zeichnet man mit Bleistift die Umrisse dieses Bildes und zählt hierauf die Zahl z der Quadrate, welche von demselben eingenommen werden; alsdann ist der Raumwinkel unmittelbar in Quadratgraden bestimmt. Den mittleren Elevationswinkel ω liest man auf dem Gradbogen b ab, auf dem die Platte P geführt wird.

Kennt man nun die Größe z des Raumwinkels in Quadratgraden (zu 4 qmm) und den Elevationswinkel ω , so bestimmt nach dem *Lambert'schen* photometrischen Grundgesetz das Product $z \sin \omega$ den auf eine wagrechte Ebene bezogenen Erhellungsgrad des untersuchten Flächenelementes, welches Product *Weber* den reducirten Raumwinkel nennt.

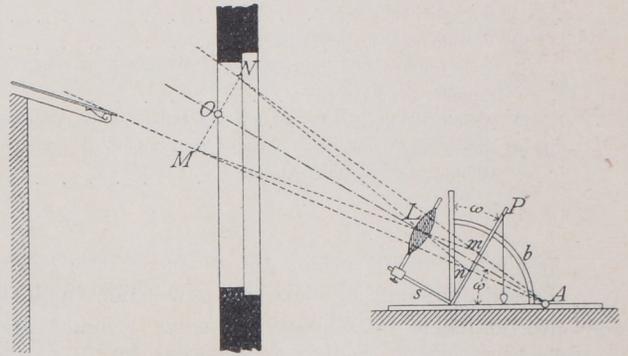
Da der Raumwinkel verschiedene Bogenlängen haben kann, so besteht ohne Weiteres das Gesetz: Die Zahl der Quadratgrade zweier Raumwinkel, welche gleiche Helligkeit hervorbringen, ist dem Sinus der Elevationswinkel umgekehrt proportional.

Ist die Ebene, der das betreffende Flächenelement angehört, nicht wagrecht, sondern um den Winkel α gegen die Wagrechte geneigt, so muß man den Elevationswinkel ω um diesen Winkel α (in der Richtung des Axialstrahls gemessen) vermindern. Beträgt die Brennweite der Linse nicht genau 114,6 mm, so ist an der Zahl der Quadratgrade eine entsprechende Correctur vorzunehmen. Ist endlich das Lichtfeld so groß, daß das ganze Bild desselben bei einer Einstellung des Raumwinkelmeßers nicht fixirt werden kann, so ist dasselbe durch mehrere einander ergänzende Einstellungen zu gewinnen.

Beim Gebrauche des Raumwinkelmeßers wird die Grundplatte A desselben mit Hilfe der Fußschrauben und des Lothes, welches auf dem Nullpunkt des Gradbogens b einspielen muß, genau wagrecht gestellt. Auf der Platte P befindet sich ein kleiner Stift; damit man einen mittleren Werth des Elevationswinkels erhalte, hat man die Platte P so weit zu drehen, bis das Bild des zu messenden Firmamenttheiles möglichst gleichmäßig um diesen Stift gruppiert ist, was mit Hilfe der Theilstriche auf dem Papier mit ausreichender Sicherheit abzuschätzen ist; eine an der Platte P angebrachte Marke giebt alsdann den mittleren Elevationswinkel ω an.

¹⁸⁾ Ueber die Theorie dieses Apparates siehe: WEBER, L. Beschreibung eines Raumwinkelmeßers. Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Jahrg. 4 (1884), S. 343. — Siehe auch: WEBER, L. Beschreibung und Anleitung zum Gebrauch des Raumwinkelmeßers. Als Manuscript gedruckt. Schmidt & Hänfch in Berlin.

Fig. 1.



Es entsteht nun die Frage, wie groß für irgend einen Punkt eines geschlossenen Raumes der Raumwinkel sein muß, damit der gewünschte Erhellungsgrad vorhanden ist.

16.
Größe
des
erforderlichen
Raumwinkels.

Cohn hat, im Jahre 1883 beginnend, zahlreiche Beobachtungen in alten und neuen Schulen Breslaus angestellt¹⁹⁾, und zwar stets zwischen 9 und 11 Uhr, während des Unterrichtes, an den hellsten und dunkelsten Schülerplätzen, sowohl an sehr hellen, als auch an sehr dunkeln Vormittagen. *Cohn* folgerte aus den Ergebnissen seiner Untersuchungen, daß 50 Meter-Normalkerzen der wünschenswerthe Erhellungsgrad seien, und betrachtet 10 Meter-Normalkerzen als den geringsten, noch zulässigen Erhellungsgrad; bei letzterem beträgt die Lesbarkeit (der Schrift von *Snellen* Nr. 10) nur noch $\frac{3}{4}$ der normalen.

Jenes Mindestmaß von 10 Meter-Normalkerzen entspricht 50 reducirten Raumwinkelgraden, so daß *Cohn* daraus folgerte, daß ein Platz zum Schreiben und Lesen ungeeignet sei, dessen Raumwinkel weniger als 50 reducirte Quadratgrade ergibt. Dem wünschenswerthen Erhellungsgrad von 50 Meter-Normalkerzen entsprechen 500 reducirte Raumwinkelgrade.

Wenn nun auch *Cohn's* Untersuchungen in Schulzimmern vorgenommen worden sind und die Ergebnisse derselben vor Allem für diese Geltung haben, so geht man doch nicht wesentlich fehl, wenn man an jeden Arbeitsplatz, der ausreichend erhellt sein soll, die gleichen Mindestanforderungen stellt.

Man kann nun das von *Cohn* aufgestellte Mindestmaß nicht als ein solches ansehen, welches an allen Orten und unter allen Verhältnissen absolute Giltigkeit hat. Denn, wie schon in Art. 11 (S. 13) gesagt wurde, wechselt die Intensität des zerstreuten Himmelslichtes mit der geographischen Breite des Ortes und mit der Beschaffenheit der Luft (ob sie ganz rein ist oder ob sie viel Wasserdampf oder viel Rauch- und Staubtheilchen enthält); auch der Sonnenstand, selbst die Beschaffenheit, namentlich die Farbe der Umfassungswände des betreffenden Raumes werden nicht ohne Einfluß sein; weiters ist zu erwägen, daß die Helligkeit eines Arbeitsplatzes nicht allein von der Größe des ihm zufallenden Stückes des Himmelsgewölbes (also von der Größe des Raumwinkels) abhängig ist, sondern in der Regel auch noch von der Menge des zurückgestrahlten Lichtes (von den Wänden, Geräthen etc. des betreffenden Raumes, selbst von in der Nähe befindlichen Gebäuden etc.), welches er empfängt. Alle diese und manche andere Einflüsse werden sich in den Ergebnissen der photometrischen Untersuchungen zu erkennen geben, nicht aber in jenen der Raumwinkelmessung; es ist sonach das Verhältniß zwischen diesen beiden Messungsergebnissen kein überall gleiches, sondern sollte in jedem einzelnen Falle durch photometrische Messungen fest gestellt werden.

Ueber den Einfluß des Sonnenstandes auf die Helligkeit eines Arbeitsplatzes liegen Untersuchungen von *Gillert*²⁰⁾ vor, aus denen hervorgeht, daß die in ihrer Größe constant bleibenden Raumwinkel zweier Arbeitsplätze zu verschiedenen Tagesstunden verschiedene Werthe ihrer Leuchtkraft annehmen.

»Wenn die Sonne auf- oder untergeht, wird ein Theil des Himmelsgewölbes stärker beleuchtet, als der andere, gewöhnlich größere; aber jener schließt fast den ganzen Horizont in sich ein. Die Erscheinung ist eine Folge des Sonnenstandes. Außerdem werden die der im Horizont stehenden Sonne gegenüber

¹⁹⁾ Siehe: COHN, H. Tageslicht-Messungen in Schulen. Deutsche medicin. Wochschr. 1884.

²⁰⁾ Siehe: GILLERT, E. Welche Bedeutung hat der Raumwinkel als Maß für die Helligkeit eines Platzes in einem Lehrraum? Zeitschr. f. Hygiene, Bd. 12, S. 82.

liegenden Quadratgrade von Strahlen getroffen, welche durch die untersten Luftschichten, wenig verschiedene Mittel, fast ungebrochen hindurchgegangen und darum jene Quadratgrade in senkrechter Richtung treffen müssen. Auf diese Weise werden die am Horizont liegenden Quadratgrade in intensive Lichtquellen verwandelt. Hoch über dem Horizont liegende Quadratgrade werden in derselben Zeit weniger bestrahlt und leuchten darum mit geringerer Stärke, als erstere. Erfolgt der Sonnenaufgang während oder kurz vor der ersten Stunde der Arbeitszeit, so sind Arbeitsplätze, welche weiter von den Fenstern entfernt sind, verhältnismässig besser beleuchtet, als näher den Fenstern gelegene, und dieses Verhältniss besteht bis länger als eine Stunde nach Sonnenaufgang fort, wobei die Werthe desselben sich fortgesetzt ändern und sich immer mehr dem Verhältniss der zugehörigen Raumwinkel nähern.

In demselben Masse, wie die aufgegangene Sonne sich ihrem Culminationspunkte nähert, nimmt die Bestrahlung der immer höher gelegenen Quadratgrade zu und die der tieferen ab. Dieses Zu- und Abnehmen setzt sich so lange fort, bis durch die Culmination der Sonne sich die im Zenith liegenden Quadratgrade zu ausserordentlich starken Lichtquellen entwickelt haben. In entsprechender Weise nehmen dann die höher gelegenen Quadrate wieder ab und die tieferen zu. Indem die am Horizont liegenden Quadratgrade durch das Emporsteigen der Sonne an directer Bestrahlung ärmer werden, werden sie nicht lichtschwächer, da sie von höher gelegenen und stärker bestrahlten Quadratgraden viel Licht durch Reflexion empfangen. Diese Erscheinung ist gleichfalls eine natürliche Folge des Sonnenstandes und bewirkt, dass Mittags Fensterplätze verhältnissmässig stärker beleuchtet werden, als Fernplätze, welche in der Regel auch noch an Helligkeit zunehmen.

Hiernach nimmt die Leuchtkraft der Quadratgrade mit dem Stande der Sonne veränderliche Werthe an, und es lassen sich für den Helligkeitsgrad eines Arbeitsplatzes aus der Grösse seines Raumwinkels allein keine völlig sicheren Schlüsse ableiten.

Auch *Erismann*²¹⁾ hat über diesen Gegenstand eingehende Untersuchungen angestellt und fand, dass der mittlere Helligkeitsgrad eines Arbeitsplatzes noch bei einem Raumwinkel von 10 bis 20 Quadratgraden das von *Cohn* geforderte Mindestmass von Helligkeit um das 3- bis 4-fache übertrifft und dass der geringste bei diesem Raumwinkel beobachtete Helligkeitsgrad noch als ausreichend betrachtet werden muss. Selbst bei einem Raumwinkel von nur 5 bis 10 Quadratgraden, ja sogar bei vollständiger Abwesenheit des Himmelslichtes, kann die Helligkeit eines Arbeitsplatzes das geforderte Mindestmass erreichen. Es ist dies im Wesentlichen daraus zu erklären, dass, wie schon mehrfach erwähnt, die Helligkeit eines Arbeitsplatzes in der Regel aus unmittelbarem Himmelslicht und aus zurückgestrahltem Licht zusammengesetzt ist und dass durch den Raumwinkel nur das erstere gemessen wird.

Die Forderungen an den zur Erzielung eines bestimmten Helligkeitsgrades nöthigen Raumwinkel müssen hiernach um so höher gestellt werden, je ungünstiger die Beleuchtungsverhältnisse des betreffenden Gebäudes sind, d. h. je weniger Licht durch Rückstrahlung zur Vertheilung im Raume gelangt. Durch das von Nachbargebäuden etc. zurückgeworfene Licht (Reflex-Licht) können allerdings, wie schon angedeutet wurde, das Auge blendende oder die Sehkraft störende Erscheinungen hervorgerufen werden; dagegen ist, sobald ein thunlichst grosser und möglichst gleichmässiger Helligkeitsgrad für alle Arbeitsplätze eines Raumes gewünscht wird, die weit gehendste Rückstrahlung und Zerstreung des in diesen Raum gelangenden Lichtes anzustreben.

Welchen Einfluss die Farbe der Wände, die diesen Raum einschliessen, auf seine Helligkeit hat, ist neuerdings durch Versuche fest gestellt worden.

Erhell man einen Raum, dessen Wände mit schwarzem Tuch bedeckt sind,

²¹⁾ Siehe: ERISMANN, F. Ueber die Bedeutung des Raumwinkels zur Beurtheilung der Helligkeit in Schulzimmern. Archiv f. Hygiene, Bd. 17, S. 205.

mit einem Beleuchtungskörper von 100 Kerzen, so find zur Erzielung des gleichen Grades von Helligkeit für denselben Raum nöthig, wenn er mit dunkelbrauner Tapete ausgefattet ist, 87 Kerzen, wenn mit blauer Tapete 72, und wenn mit hellgelber Tapete 60 Kerzen. Derselbe Raum, mit hölzerner Wandverkleidung in Naturfarbe oder weiß geftrichen, erfordert 50, mit dunkeltem Paneel 80, mit glatten, geweißten Wänden dagegen nur 15 Kerzen.

Der Erhellungsgrad eines Punktes in einem gefchlossenen Raume wächst, dem Gefagten entsprechend, mit dem Producte $z \sin \omega$, d. h. unter gegebenen Verhältnissen wird man einen um so größeren Erhellungsgrad erzielen, je größer dieses Product ist. Um letzteres möglichst groß zu erhalten, wird man zunächst z thunlichst groß zu wählen haben, was sich hauptsächlich durch die Abmessungen, zum Theile auch durch die Form der Lichtöffnung erreichen läßt; allein auch für den Factor $\sin \omega$ oder, was dasselbe ist, für den Auffallwinkel ω wird ein möglichst großer Werth anzustreben sein, was dadurch erzielt werden kann, daß man das Licht thunlichst hoch einfallen läßt.

Hieraus geht z. B. hervor, daß bei seitlicher Beleuchtung durch gewöhnliche Fenster nicht so sehr die Breite der letzteren, als die Höhenlage des Sturzes über dem Fußboden von wesentlichem Einfluß auf die Erhellung des Raumes ist; denn mit der Höhe des Fensters wächst die Größe des Auffallwinkels ω und mit diesem der Sinus desselben. Für einen bestimmten Arbeitsplatz wird sonach, unter sonst gleichen Verhältnissen, der Erhellungsgrad ein um so größerer sein, je höher der Fenstersturz gelegen ist, oder aber: um den noch zulässigen geringsten Erhellungsgrad für diesen Platz zu erzielen, wird die Fensteröffnung um so kleiner sein dürfen, je höher der Fenstersturz angeordnet ist.

Hierdurch erhält man auch sofort die Begründung für die günstige Wirksamkeit des hohen Seitenlichtes und findet es erklärt, daß ein Raum durch hohes Seitenlicht ganz entsprechend erhellt ist, obwohl dessen Fensterflächen nur $\frac{1}{12}$ seiner Grundfläche betragen (vergl. Art. 13, S. 13, unter 1 u. 2). Hierdurch erhält man auch Aufschluß darüber, daß Fenster, welche nach oben rechteckig begrenzt sind, unter sonst gleichen Verhältnissen für die Raumerhellung vorteilhafter wirken, als die mittels Rundbogen abgefloffenen.

Der Raumwinkelmesser ist nicht nur ein geeignetes Instrument, um in bereits bestehenden Räumen den Erhellungsgrad zu prüfen; sondern das demselben zu Grunde liegende Princip läßt sich auch zur Anwendung bringen, um bei projectirten Neubauten sich von vornherein über die Erhellungsverhältnisse der geplanten Räume Aufschluß zu verschaffen. Man kann in einfacher Weise bestimmen, wie groß für eine bestimmte Stelle des zu schaffenden Raumes die Fenster- oder sonstige Lichtöffnung sein muß, damit das Strahlenbündel des Himmelslichtes, welches auf jene Stelle erhellend wirken kann, einem reducirten Raumwinkel von bestimmter Mindestgröße (z. B. 50 reducirten Raumwinkelgraden) entspricht.

Wenn für den Punkt A (Fig. 2) des zu schaffenden Raumes ein gewisser Erhellungsgrad erreicht werden soll, so nimmt man zunächst Form und Größe der betreffenden Lichtöffnung an. Man nimmt z. B. im Aufriß die Höhenlage des Fenstersturzes U an, wodurch die am höchsten einfallenden Lichtstrahlen (der obere Grenzstrahl $A'U$) bestimmt sind. Ist durch gegenüber liegende Gebäude oder in anderer Weise auch nach unten die Größe des Firmamentfeldes, von dem aus Lichtstrahlen unmittelbar nach A gelangen können, begrenzt, so sind auch die am tiefsten einfallenden Lichtstrahlen (der untere Grenzstrahl $A'V$) bestimmt. Halbirt man den Winkel $UA'V$, den die beiden Grenzstrahlen mit einander einschließen und welchen Förster²²⁾ den Oeffnungswinkel genannt hat, so giebt die Halbierungs-

17.
Untersuchung
neu zu
schaffender
Räume.

²²⁾ In: Einige Grundbedingungen für gute Tagesbeleuchtung in den Schulräumen. Deutsche Viert. f. öff. Gesundheitspf. 1884, S. 420.

linie $A'O'$ annähernd die lothrechte Projection des Axialstrahls, und ω' ist der Winkel, den diese Strahlprojection mit der Wagrechten bildet.

Ist die Lage des unteren Grenzstrahles nicht ohne Weiteres gegeben, so nimmt man am besten zunächst den Winkel ω' an und zeichnet auf dieser Grundlage den Axialstrahl $A'O'$ und den unteren Grenzstrahl $A'V$ ein.

Bezeichnet man mit ε den Winkel, den die Aufriss-Projection des oberen Grenzstrahls $A'U$ mit dem Horizont einschließt, so ist der Oefnungswinkel der beiden Grenzstrahlen $2(\varepsilon - \omega')$.

Die Platte P des Raumwinkelmeßers steht senkrecht zur Richtung des Axialstrahls $A'O'$, und das darauf entstehende, im Aufriss durch m und n begrenzte Bild entspricht nahezu einer durch O' gleichfalls senkrecht

zum Axialstrahl gelegten (d. i. zu P parallelen) Ebene, in welcher die senkrecht zu $A'O'$ gezogene Gerade MN gelegen ist.

In gleicher Weise kann man auch im Grundriss Form und GröÙe der Fensteröffnung annehmen und die beiden Grenzstrahlen $A''T$ und $A''W$ einzeichnen. Halbirt man den Winkel $TA''W$, so erhält man wieder annähernd die wagrechte Projection $A''O''$ des Axialstrahls und zugleich den Winkel ω'' , den letztere mit der senkrecht zur Fensterwand gezogenen Geraden $A''X$ bildet.

Sind bzw. β_1 und β_2 die Winkel, welche diese Gerade mit den beiden Grenzstrahlen $A''T$ und $A''W$ einschließt, so ist der von letzteren gebildete Winkel $TA''W = \beta_1 - \beta_2$ und $\omega'' = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$.

Mit Hilfe der beiden Projectionen des Axialstrahls AO läßt sich der Elevationswinkel ω , den dieser Strahl (im Raume) mit dem Horizont einschließt, leicht ermitteln, und zwar eben so wohl durch Construction, wie durch Rechnung.

Durch Construction ist in Fig. 2, Grundriss $\sphericalangle \omega$ gefunden worden, indem das rechtwinkelige $\triangle O''ZA''$ eingezeichnet wurde, dessen Kathete $O''Z = z$ (gleich dem Höhenunterschiede zwischen den beiden Punkten A und O) ist. Auf dem Wege der Rechnung läßt sich $\sphericalangle \omega$ aus der Gleichung

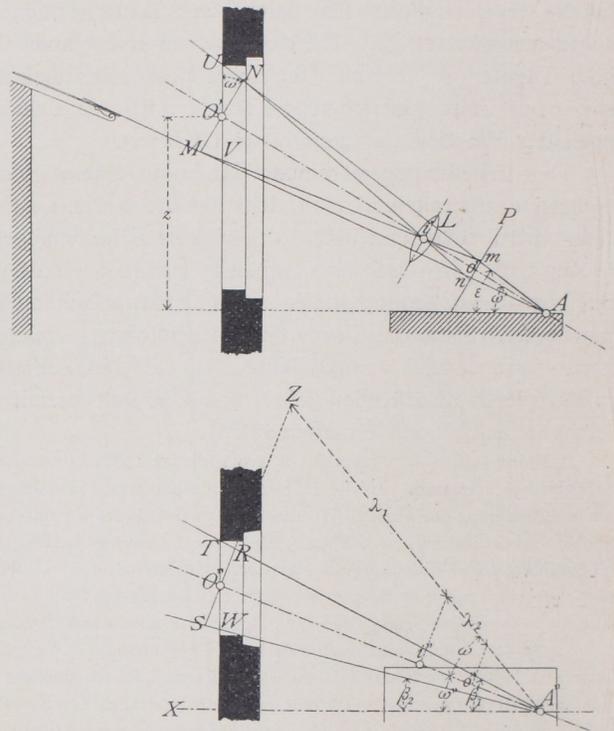
$$\cos \omega = \frac{O''A''}{\sqrt{O''A''^2 + z^2}}$$

finden.

Allein auch die absolute Länge l des Axialstrahls AO kann aus denselben Elementen gefunden werden.

Dieselbe läßt sich entweder unmittelbar aus dem eben construirten rechtwinkligen $\triangle O''ZA''$ entnehmen, worin $A''Z = l$ ist, oder sie läßt sich aus einer der beiden Gleichungen

Fig. 2.



$$l = \sqrt{A'' O''^2 + z^2}, \quad \text{bezw.} \quad l = \frac{O' A''}{\cos \omega}$$

berechnen.

Zieht man nun im Grundriss durch den Punkt O'' die Gerade RS senkrecht zu AO , so ist letztere in derselben, zum Axialstrahl senkrecht gestellten Ebene gelegen, wie MN . Durch diese Ebene und das ihr entsprechende, auf der Platte P erzeugte Bild sind zwei Pyramiden bestimmt, deren gemeinsame Spitze durch den optischen Mittelpunkt i der Linse L des Raumwinkelmeßers gegeben ist. Die eine derselben hat die durch die Punkte M, N, R, S begrenzte Ebene zur Grundfläche, die andere das derselben auf der Platte P entsprechende Bild zur Grundfläche. Beide Pyramiden sind einander ähnlich; daher verhalten sich die Inhalte ihrer Grundflächen, wie die Quadrate ihrer Höhen, d. i. wie die Quadrate der betreffenden Theile des Axialstrahls. Wenn man sodann die Länge dieses Strahls und eine der Pyramiden-Grundflächen kennt, so läßt sich daraus die andere berechnen. Mit anderen Worten: werden Form und GröÙe der Lichtöffnung angenommen, so kann man die GröÙe des derselben entsprechenden Bildes auf der Platte P berechnen und untersuchen, ob die erforderliche Zahl von reducirten Raumwinkelgraden vorhanden ist. Oder: ist man von letzteren ausgegangen, so lassen sich die Abmessungen der erforderlichen Lichtöffnung ermitteln.

Es bezeichne F den Inhalt der durch die Punkte M, N, R, S begrenzten Pyramiden-Grundfläche, f den Flächeninhalt des ihr entsprechenden Bildes, ferner λ_1 und λ_2 bezw. die Höhen der beiden Pyramiden, so gilt die Proportion

$$F : f = \lambda_1^2 : \lambda_2^2.$$

Hierin ist λ_2 ²³⁾ die Brennweite der Linse L , welche beim *Weber'schen* Raumwinkelmeßer (siehe Art. 14, S. 15) 0,1146 m beträgt; der Theil λ_1 des Axialstrahls kann entweder berechnet oder auf dem Wege der Construction gefunden werden²³⁾. Die GröÙe von F kann entweder aus Grund- und Aufriss unmittelbar entnommen oder aus den angenommenen Abmessungen der Fensteröffnung, welche den Flächeninhalt \mathfrak{F} haben soll, berechnet werden²⁴⁾. Es ist nun weiter zu erwägen, daß die wirklich nutzbare Fläche der Fensteröffnung — der Sprossen, der Verglafung etc. wegen (siehe Art. 10, S. 10) — kleiner als \mathfrak{F} ist, so daß in Folge dieses Lichtverlustes F auf F_0 entsprechend zu reduciren ist.

Alsdann ist aus obiger Proportion

$$f = \frac{0,1146^2 F_0}{\lambda_1} = 0,013 \frac{F_0}{\lambda_1},$$

und der reducirte Raumwinkel

$$f' = f \sin \omega$$

oder in *Weber'schen* Quadratgraden ausgedrückt:

$$f' = \frac{f \sin \omega}{4 \text{ qmm}}.$$

Entspricht der für den Punkt A so gefundene Erhellungsgrad f' dem gewünschten, bezw. erforderlichen, so ist die Aufgabe gelöst; sonst muß man auf Grund erneuter Annahmen (veränderter Form und GröÙe der Fensteröffnung) die vorstehende Untersuchung so lange wiederholen, bis der beabsichtigte Erhellungsgrad, d. i. bis der beabsichtigte Werth von f' erreicht ist.

²³⁾ Die dem Aufriss unmittelbar zu entnehmenden Längen $O' z'$ und $z' o'$ sind die Projectionen der GröÙen λ_1 und λ_2 . Um die absoluten Längen derselben zu finden, ist entweder die im Grundriss dargestellte Construction vorzunehmen, oder es ist nach den Gleichungen zu rechnen:

$$\lambda_1 = \frac{O' z'}{\cos \omega} \quad \text{und} \quad \lambda_2 = \frac{z' o'}{\cos \omega}.$$

²⁴⁾ Im $\triangle O' UN$ verhält sich

$$\overline{O' N} : \overline{O' U} = \sin \sphericalangle O' UN : \sin \sphericalangle O' N U, \quad \text{oder} \quad \overline{O' N} : \overline{O' U} = \cos \varepsilon : \cos (\varepsilon - \omega'),$$

woraus

$$\overline{O' N} = \overline{O' M} = \frac{\overline{O' U} \cos \varepsilon}{\cos (\varepsilon - \omega')} \quad \text{und} \quad \overline{M N} = 2 \overline{O' U} \frac{\cos \varepsilon}{\cos (\varepsilon - \omega')}.$$

In gleicher Weise läßt sich aus dem Grundriss die Länge von RS berechnen, so daß sich alsdann der Inhalt der hier rechteckigen Pyramiden-Grundfläche F ermitteln läßt.

Ist der Elevationswinkel ω durch irgend welche Verhältnisse gegeben, bzw. zunächst angenommen worden, und geht man ferner von einem bestimmten Erhellungsgrad, d. i. von einem bestimmten Werthe des reducirten Raumwinkels f' aus, so kann man umgekehrt die erforderlichen Abmessungen der Fensteröffnung ermitteln. Aus obiger Proportion folgt

$$F_0 = \frac{f \lambda^2}{0,1146^2} = 76,14 f \lambda^2.$$

Die Länge λ_1 kann nach Früherem aus dem Grundriß entnommen oder berechnet werden, und für f ist der Werth aus der Gleichung

$$f = \frac{f'}{\sin \omega} = \frac{f'}{\sin \omega} 4 \text{ qmm}$$

zu benutzen.

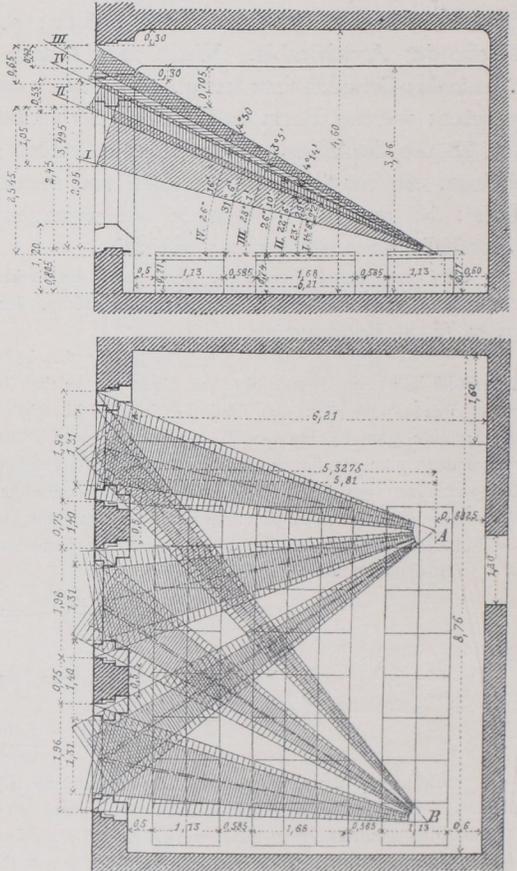
Aus dem so gefundenen Werthe von F_0 lassen sich Breite und Höhe der Fensteröffnung ermitteln, sei es auf dem Wege der Construction oder der Rechnung²⁵⁾, und hiernach auch der erforderliche Flächeninhalt F_0 der Fensteröffnung. Nunmehr ist, mit Rücksicht auf den Lichtverlust durch Sprossen, Verglasung etc., F_0 auf F zu vergrößern, wodurch Form und Gröfse des betreffenden Fensters vollständig bestimmt sind.

Die praktische Anwendung des im vorhergehenden Artikel entwickelten Verfahrens soll an einem von *v. Gruber* durchgeführten Beispiele gezeigt werden.

v. Gruber unterfuchte²⁶⁾ u. A. die Erhellungsverhältnisse eines typischen Volksschulzimmers in Wien (Fig. 3). Dasselbe besitzt bei 56 Schülerplätzen 54,312 qm Grundfläche, d. i. 0,969 qm für jeden Schüler, und einen Rauminhalt von 215,076 cbm, d. i. 3,841 cbm für jeden Schüler; der gesammte Flächeninhalt der 3 Fenster nimmt den 0,28-ten Theil der ganzen Fensterwand ein, und es verhält sich ersterer zu letzterer wie 1 : 5,64.

Zuvörderst wurde einer der ungünstigsten Plätze (*A*) geprüft, und zwar nur mit Rücksicht auf das demselben zunächst liegende Fenster und bei Annahme von wagrechten, 71 cm über dem Fußboden gelegenen Tischplatten (Fall I); es stellte sich heraus, daß ein einzelnes Fenster, selbst wenn seine ganze Fläche für den betreffenden Platz als Lichtöffnung dienen könnte, d. h. wenn dem Fenster gegenüber bis zur Höhe der Tischplatte keine das Himmelslicht abhaltende Wand vorhanden wäre, nicht genügen würde, um einen reducirten Raumwinkel von 50 Graden zu ergeben.

Fig. 3.



18.
Beispiel.

²⁵⁾ Ist z. B. im Aufriß MN ermittelt, so sind die für die Fensteröffnung maßgebenden Höhen $O'U$ und $O'V$ zu berechnen. Aus der Gleichung für $O'N$ in der vorhergehenden Fußnote folgt

$$\overline{O'U} = \frac{\overline{O'N} \cos(\varepsilon - \omega')}{\cos \varepsilon}.$$

Ferner verhält sich im $\triangle O'MV$

$$\overline{O'V} : \overline{O'M} = \sin \sphericalangle O'MV : \sin \sphericalangle O'VM, \text{ oder } \overline{O'V} : \overline{O'N} = \cos(\varepsilon - \omega') : \cos(2\omega' - \varepsilon),$$

woraus

$$\overline{O'V} = \frac{\overline{O'N} \cos(\varepsilon - \omega')}{\cos(2\omega' - \varepsilon)}.$$

Eben so lassen sich für den Grundriß die Breiten $O'T$ und $O'W$ berechnen, sobald RS gegeben, bzw. ermittelt worden ist.

²⁶⁾ A. a. O.

Die weiteren 3 Fälle, welche untersucht wurden, und die Ergebnisse der Untersuchung sind sowohl aus Fig. 3, wie aus der nachstehenden Tabelle zu ersehen.

Fall	Annahmen:				Untersuchter Platz	Winkel des untersten Grenzstrahls	Oeffnungswinkel	Höhe der Lichtöffnung	Reducirter Raumwinkel:				
	Pultfläche	Pult-höhe	Zim-mer-höhe	Breite des Fensters					Höhe	in der Aufriß-Projection gemessen			zusammen
										1tes	2tes	3tes	
I	wagrecht	0,77	3,96	1,31	2,45	A	14° 8'	9° 21'	1,05	24,72	24,72	0,96	50,40
II	»	0,77	3,96	1,96	2,95	A	22° 6'	4° 14'	0,53	24,70	24,70	4,79	54,19
III	»	0,77	4,60	1,96	3,495	A	28° 1'	3° 5'	0,42	24,64	24,64	9,23	58,51
IV	in zur Vorderkante fenk-rechter Richtung 11° 8' gegen den Horizont geneigt	0,77	4,60	1,96	3,495	B	26° 16'	4° 5'	0,65	3,53	14,01	31,39	48,01
		Meter							Meter	reducirte Raumwinkelgrade			

Daraus ist zu erkennen, welchen bedeutenden Einfluß die Vergrößerung der Fensterbreite, besonders aber jene der Fensterhöhe, auf die Erhellung der am meisten von der Fensterwand entfernten Plätze bei Schulzimmern ausübt, die nicht eine vollkommen freie Lage haben. Je größer die Fensterhöhe ist, desto kleiner braucht der Oeffnungswinkel $U'AV$ (Fig. 2) der beiden Grenzstrahlen zu sein, um eine ausreichende Raumwinkelgröße zu erzielen.

Es ist ferner zu ersehen, daß die Neigung der Pultfläche (Fall IV) einen nicht unwesentlichen Einfluß auf ihre Erhellung ausübt und daß sie daher auch stets in Rechnung gezogen werden muß, wenn man sicher sein will, daß alle Plätze genügend Licht erhalten.

Literatur

über »Erhellung der Räume mittels Sonnenlicht«.

- On the admission on daylight into buildings, particularly in the narrow and confined localities of towns.* Builder, Bd. 10, S. 363, 387.
- PFEIFFER, C. *Light: Its sanitary influence and importance in building.* Builder, Bd. 35, S. 739.
- MENTZ, R. Beitrag zur Frage der Beleuchtung durch Oberlicht und durch Seitenlicht, mit spezieller Rücksichtnahme auf Oberlichtfäle und Seitenkabinette in Gemäldegalerien. Deutsche Bauz. 1884, S. 488, 499.
- MOHRMANN, K. Ueber die Tagesbeleuchtung innerer Räume. Berlin 1885.
- WEBER, L. Intensitätsmessungen des diffusen Tageslichtes. Annalen d. Physik u. Chemie, Bd. 26 (1885), S. 374.
- TRÉLAT. *La fenêtre étudiée comme source de lumière dans la maison.* Revue d'hyg. 1886, S. 647.
- Berichte über den VI. Internationalen Congress für Hygiene und Demographie zu Wien 1887. Heft Nr. XI: Mittel, die Gebäude mit Sonnenlicht und Sonnenwärme zu versorgen. Wien 1887.
- MENTZ. Berechnung der Tages-Beleuchtung innerer Räume und Maßstäbe dazu. Deutsche Bauz. 1887, S. 257.
- GRUBER, F. v. Die Verforgung der Gebäude mit Sonnenwärme und Sonnenlicht. Wochschr. d. öst. Ing.- u. Arch.-Ver. 1888, S. 261, 269, 277, 285.
- GILLERT, E. Tageslichtmessungen in der 69. Gemeindefchule in Berlin. Zeitfchr. f. Schulgesundheitspfl. 1891, S. 149.
- BOILEAU, L.-C. *Les plafonds vitrés. — Éclairage horizontal. — Éclairage vertical. — L'architecture* 1890, S. 159; 1891, S. 53, 519, 533; 1892, S. 141.

- GILLERT, E. Welche Bedeutung hat der Raumwinkel ($w \sin \alpha$) als Maafs für die Helligkeit eines Platzes in einem Lehrraume? *Zeitfchr. f. Hygiene*, Bd. 12, S. 82.
- BOUBNOFF, S. Photometrische Tageslichtmessungen in Wohnräumen. *Archiv f. Hygiene*, Bd. 17, S. 49.
- ERISMANN, F. Ueber die Bedeutung des Raumwinkels zur Beurtheilung der Helligkeit in Schulzimmern. *Archiv f. Hygiene*, Bd. 17, S. 205.
- MOORMANN. Ueber die Tagesbeleuchtung von Schulräumen. *Centralbl. d. Bauverw.* 1894, S. 519.
- Handbuch der Hygiene. Herausg. v. TH. WEYL. Bd. IV, Lief. I: Beleuchtung. Von L. WEBER. Jena 1895.

2. Kapitel.

Construction der gewöhnlichen Fenster

(im Profanbau).

Von HUGO KOCH.

19.
Geschicht-
liches:
Zeit
bis zum
XII. Jahrh.

Bezüglich der Fenster und sonstigen Lichtöffnungen, welche bei den alten Griechen und Römern üblich waren, sei auf Theil II, Band I (Art. 33, S. 60 und Art. 122, S. 164²⁷⁾ und Band 2 (Art. 212, S. 223) dieses »Handbuches« verwiesen. Ueber die während des Mittelalters gebräuchlichen Fenster enthält Theil II, Band 4, Heft 2 (Abth. II, Abschn. 3, B, Kap. 7, unter d) eingehende Mittheilungen.

Hiernach waren bis zum XI., ja selbst bis zum XII. Jahrhundert die öffentlichen Gebäude, vor Allem die Kirchen, nur felten mit verglasten Fenstern versehen. Die Lichtöffnungen waren klein und bestenfalls mit Vorhängen verschlossen; denn der »Anschlag« im Mauerwerk, der Absatz, gegen welchen sich der Fensterrahmen lehnt, fehlt bei den Resten derartiger Bauwerke aus dem VIII. bis zum XI. Jahrhundert.

Bei den Privatgebäuden fühlte man jedoch das Bedürfnis, besonders während der Nacht- und Winterszeit, sich gegen Kälte und Sturm zu schützen. Deshalb schlofs man die Oeffnungen mittels hölzerner, in einfachster Weise durch zwei lothrechte Bretter gebildeter Läden, welche gegen das Verziehen und Werfen oben und unten durch wagrechte Leisten verstärkt wurden. Diese Leisten dienten zugleich dazu, den Befschlag, bestehend in langen eisernen Bändern, aufzunehmen, deren Enden, zu einer Oefse gekrümmt, über die in der Mauer befestigten Haken geschoben wurden. Wollte man Licht und Luft haben, so wurden diese Läden geöffnet²⁸⁾.

Die Uebelstände, welche dieser Verschlufs mit sich brachte, die Verdunkelung der Räume bei geschlossenen Läden, das Eindringen der Kälte, des Regens und Schnees bei geöffneten, führten darauf, die Bretter durch kleine Ausschnitte zu durchbrechen, welche Anfangs wohl mit durchscheinendem Pergament, leinenen Stoffen u. dergl. verkleidet gewesen sein mögen, später aber durchweg verglast waren. Genügte eine solche kleine Oeffnung dem Lichtbedürfnis der Bewohner nicht, so schritt man zunächst nicht etwa dazu, dieselbe zu vergrößern, sondern vermehrte die Zahl der Fenster, die dann nur durch Säulchen von einander getrennt wurden, woraus sich die romanische Fenster-Architektur entwickelte. Derartige zusammenhängende Fensterreihen mit trennenden Säulchen finden wir bei fast allen französischen Wohnhäusern des XII. Jahrhunderts²⁹⁾.

Weil sich jedoch bei den rundbogigen Fenstern die Verschlufsäden nicht öffnen lassen, wurde im Inneren der Fenstersturz wagrecht gestaltet, wenn man auch ausen den Rundbogen beibehielt. Häufig war dabei die äufere Oeffnung durch ein Säulchen getheilt, während innen der gerade Sturz nur eine einzige Oeffnung überdeckte. Fig. 4³⁰⁾ zeigt ein solches Fenster vom Schlosse zu Carcaffonne (Ende des XI. Jahrhunderts). Die lichte Weite beträgt im Inneren 1,20 m. Der innere Sturz *L* besteht aus einem aus Beton angefertigten Blocke, während das Säulchen aus weifsem Marmor gemeifelt ist. Die beiden Haken *G* in der Ansicht *D* und im Querschnitt *C* dienten dazu, die in der Mitte durch Gelenkbänder

²⁷⁾ 2. Aufl.: Art. 60, S. 84 und Art 173, S. 240.

²⁸⁾ Nach: VIOLETT-LE-DUC. *Dictionnaire raisonné de l'architecture française* etc. Bd. 5. Paris 1875. S. 365 u. ff. — so wie: SCHÄFER. Die Fenster im mittelalterlichen Profanbau. *Wochbl. f. Arch. u. Ing.* 1882, S. 428.

²⁹⁾ Siehe: VERDIER & CATTOIS. *Architecture civile et domestique*. Paris 1864.

³⁰⁾ Facf.-Repr. nach: VIOLETT-LE-DUC. a. a. O., S. 405.