

E. Goldberg.

**Der Aufbau des
photographischen Bildes**

06
SLUB Dresden

2001

8

8665

Zell 3

0510/

AP 96700

J 7

Enzyklopädie der Photographie Heft 99

Wiss.-photogr. Institut
der Techn. Hochschule
DRESDEN A 24, George-Bähr-Str. 1

*Wiss. phot. Institut
Dr. V. V. V.*

Der Aufbau

12/7 22

des

Photographischen Bildes

von

Prof. Dr. E. Goldberg

Mit 51 Textabbildungen

C 10 b

C 10 b

Wiss.-photogr. Institut
d. S. Techn. Hochschule
DRESDEN-A. 24, George-Bähr-Str. 1

Halle (Saale)

Verlag von Wilhelm Knapp

1922

Wiss. - philolog. - bibl.
der Techn. Hochschule
Dresden A 24, Georg-Str. 17



Meinem verehrten Lehrer und Freund

Herrn Professor Dr. R. Luther

in Dankbarkeit gewidmet

1013

2001.8.008665.002

Vorwort.

Weniger als in jeder anderen Technik ist die Erkenntnis der theoretischen Grundlagen in der Photographie fortgeschritten. Durch eine empirische Arbeit ist es gelungen, praktisch brauchbare Erzeugnisse herzustellen, ohne Kenntnis der Vorgänge zu besitzen, die bei der Verarbeitung dieser Erzeugnisse stattfinden. Daß dieser Zustand einer Entwicklung der photographischen Technik nicht förderlich ist, zeigt am besten die Tatsache, daß seit 15 bis 20 Jahren ein grundlegender Fortschritt in der photographischen Chemie nicht erzielt worden ist.

Andererseits haben fast alle Bemühungen, die technischen Erzeugnisse vom wissenschaftlichen Standpunkt zu bearbeiten, Mißerfolg gehabt, der zur Folge hatte, daß die technischen Kreise mit gewissem Mißtrauen der wissenschaftlichen Arbeit auf photographischem Gebiete begegneten. So ergab sich der Zustand, daß sogar die einfachsten Prüfungsmethoden, die auf zahlenmäßiger Basis begründet waren, sich keinen Eingang in die Praxis verschaffen konnten, und daß bis zur letzten Zeit der Vergleich einzelner Fabrikate (Platten, Papiere, Objektive usw.) nur auf dem Wege der praktischen Aufnahme vorgenommen wurde.

Der einzige Grund für diesen auf die Dauer unmöglichen Zustand kann nach Ansicht des Verfassers nicht etwa in der Indolenz der technischen Kreise, sondern nur in der Unzulänglichkeit der vorhandenen Prüfungsmethoden bestehen.

Im Jahre 1892 haben Hurter und Driffield die theoretischen Grundlagen zum Studium der Beziehungen zwischen der Belichtung und der entstehenden Schwärzung geschaffen. Sie haben gezeigt, wie man diese Beziehung in Form einer „charakteristischen Kurve“ darstellen kann, wenn auf der Abszisse die logarithmischen Werte der Belichtungen, auf der Ordinate die der Schwärzungen aufgetragen werden. Die Einführung dieses außerordentlich wichtigen Hilfsmittels in die Praxis scheiterte jedoch. Erst im Jahre 1909 hat Callier durch genauere Untersuchung an sich bekannter Tatsachen gezeigt,

daß die üblichen Methoden zur Messung der Schwärzung photographischer Schichten fehlerhaft waren, und daß die richtigen Werte zum Teil bis zu 50% niedriger als die bis dahin angenommenen waren. Da die Einteilung der Ordinate im Netz der Schwärzungskurve somit neu vorgenommen werden mußte, ist die Gültigkeit des sämtlichen bis dahin gesammelten Zahlenmaterials in Frage gestellt, wenn nicht annulliert worden.

Die Abszisse der charakteristischen Kurve stellt die Helligkeitsverhältnisse im Naturobjekt in regelmäßiger Anordnung dar. Man kann also nur dann die laboratoriumsmäßig ermittelten Beziehungen zwischen Belichtung und Schwärzung (d. h. Objekt und Bild) auf die Natur übertragen, wenn die photometrischen Verhältnisse im Objekt genau definiert sind. Nur dann kann man die im Objekt vorhandenen Helligkeiten auf der Abszisse der charakteristischen Kurve unterbringen. Zahlenmäßiges Material über die photometrischen Eigenschaften der Naturobjekte ist so gut wie nicht vorhanden. Die wenigen Literaturdaten widersprechen sich derart in der Größenordnung, daß sie nicht ohne weiteres gebraucht werden können. Damit fehlt aber sozusagen der Schlüssel zum Übersetzen der Theorie der photographischen Vorgänge in die Praxis.

Aus diesem Grunde hat der Verfasser vor mehr als zehn Jahren sich die Aufgabe gestellt, die Grundlagen des Zustandekommens einer photographischen Aufnahme durchzuarbeiten. Es hat sich bald nach erfolgter Veröffentlichung der Vorarbeiten herausgestellt, daß die Erforschung der Synthese einer Photographie nicht durchführbar ist, solange verschiedene grundlegende Zahlen aus Nebengebieten gar nicht oder nur in sehr unzuverlässiger Form bekannt sind. Dieser Umstand führte zu einer größeren Reihe von Untersuchungen, die scheinbar nur im losen Konnex mit dem letzten Ziel der Arbeit waren.

Im nachfolgenden werden die Ergebnisse dieser unter einem gemeinsamen Grundgedanken ausgeführten Arbeiten in zusammengefaßter Darstellung der Öffentlichkeit übergeben.

Die theoretischen Feststellungen haben zur Ausarbeitung von Prüfungsmethoden geführt, die vielleicht eher als die bisherigen den praktischen Forderungen entsprechen werden, da sie auf Grund der Erkenntnis der Eigenschaften eines Naturobjekts aufgebaut sind und somit nicht aus dem Laboratorium heraus, sondern auf dem umgekehrten Wege entstanden sind.

Abgesehen von den Einleitungen zu den einzelnen Kapiteln, die ohne weiteres als bekannt zu erkennen sind, entstanden alle in den vorliegenden Ausführungen enthaltenen Anschauungen im Laufe der Arbeit und sind als neu anzusehen. Bei der zehnjährigen Dauer der Untersuchungen war es zu erwarten, daß in einzelnen Fällen von

anderen Seiten Veröffentlichungen erschienen sind, die zum Teil ähnliche Gedankenrichtung verfolgen. An den betreffenden Stellen sind entsprechende Hinweise gemacht worden.

Ein Teil der im Teil 3 enthaltenen Anschauungen entstand bzw. wurde geklärt in Diskussionen zwischen Herrn Professor Dr. Luther und dem Verfasser.

Die Untersuchungen wurden in der Akademie für graphische Künste und Buchgewerbe zu Leipzig begonnen und seit dem Jahre 1917 in dem Laboratorium der Ica, Akt.-Ges., Dresden, fortgeführt.

Meinen Mitarbeitern Frl. W. Geise, Frl. E. Siebrecht und Herrn M. Neumüller sei an dieser Stelle der herzliche Dank ausgesprochen.

Dresden, im Januar 1920.

Inhaltsverzeichnis.

Vorwort	III
Einleitung	I
Teil 1. Das Naturobjekt	2
Kapitel 1. Das Helligkeitsdetail	2
Maß für Sichtbarkeit von Einzelheiten (Details), Unterschieds- schwelle (U. S.)	3
Praktische Unterschiedsschwelle	4
Relative Wichtigkeit von Details	6
Minimaldetail	7
Kapitel 2. Die Lehre vom Objektumfang (O. U.)	7
Grenzen der Sichtbarkeit von Details. Reizschwelle. Blendung	8
Subjektiver Objektumfang (S. O. U.)	9
Der wahre Objektumfang (W. O. U.)	10
a) Flächenhafte undurchsichtige Gegenstände	10
b) Flächenartige durchsichtige Gegenstände	12
c) Räumlich ausgedehnte Objekte	12
Luftlicht	16
Messung des Luftlichtes	19
Die Sicht	19
Abhängigkeit der Sicht von der Entfernung	21
Sichtweite	22
Teil 2. Das Mattscheibenbild	23
Kapitel 3. Die Lichtverteilung im optischen Bilde	23
Begrenzung des Objektumfanges durch Objektivreflexe	23
Entstehung der Spiegelbilder	24
Zahl der Spiegelbilder	24
Wirkung der Spiegelbilder von leuchtenden Punkten	26
Beschränkung des Objektumfanges durch Politurfehler, Staub, Beschlag usw.	30
Reflexerscheinungen bei außeraxialen leuchtenden Punkten	33
Reflexstörungen in der optischen Achse durch ausgedehnte helle Flächen	35
Störungen außerhalb der optischen Achse durch ausgedehnte helle Flächen	38
Reflexstörungen durch das Himmelslicht bei Außenaufnahmen	39
Störungen durch Reflexe vom Kamerabalgen und der Linsen- fassung	42
Ausnutzbarer Objektumfang (A. O. U.)	43
Kapitel 4. Photometrische Eigenschaften von verschiedenen Objektarten	43
Normalobjekt	43

Spezialfälle von photographischen Aufnahmen:	
Porträtaufnahmen	44
Innenaufnahmen von Räumen, Aufnahmen von Maschinen u.dgl.	44
Reproduktionen von Zeichnungen und Gemälden	44
Gerichtliche Aufnahmen	45
Senkrechte Fliegeraufnahmen	45
Ballonaufnahmen und schräge Flugzeugaufnahmen	45
Landschaften mit Vordergrund und Aufnahmen im Freien	46
Offene Landschaften	46
Durchschnittsobjekt	48
Teil 3 Photographische Aufnahme	50
Kapitel 5. Charakteristische Kurve und Detailkurve	50
Herstellung einer Helligkeitsskala	50
Detailwiedergabe und charakteristische Kurve	52
Gestalt der charakteristischen Kurve bei naturgetreuer Aufnahme	53
Papier-Schwärzungsmesser	54
Charakteristische Kurve von Positiven	55
Anforderungen bei der photographischen Wiedergabe von Details	56
Kurve der Detailwiedergabe	58
Detailplatte	60
Detailkurve	61
Kapitel 6. Sensitometrie des Positivs	62
Anforderungen für Detailwiedergabe in den Lichtern	62
Anforderungen für Detailwiedergabe in den Schatten	63
Maß für Gradation. Kopierumfang (K. U.)	64
Tiefe Schatten	64
Anpassungsfähigkeiten von Positivverfahren	65
Kurvenform und Papiereigenschaften	65
Kapitel 7. Sensitometrie des Negativs	66
Grenzen des praktisch verwendbaren Kurvenabschnittes bei	
Negativen	67
Negativumfang	68
Normalnegativ	68
Abweichungen vom geradlinigen Verlauf der Schwärzungskurve	69
Vorteile der konvexen Gestalt der Schwärzungskurve	70
Kapitel 8. Anpassung der Gestalt der Schwärzungskurve an die	
Helligkeitsverteilung im Naturobjekt	71
Schwärzungskurve beim Normalobjekt	73
Anpassung der Schwärzungskurve an Objekte mit anormalem	
Umfang	73
Wahl der Kurve bei Objekten mit kleinem Umfang	73
Wahl der Kurve bei Objekten mit großem Umfang	74
Gestalt der Schwärzungskurve bei Überbelichtungen	75
Schlußbemerkung	76
Anhang 1 Vergleichsphotometer	77
Anhang 2. Über Herstellung neutralgrauer Keile für photometrische	
Zwecke	80
Unterguß	81
Gelatine	82
Farbstoff	82
Herstellung und Messung der Farblösung	83
Gießtechnik	84
Kreiskeil	84

Verzeichnis der Definitionen.

	Seite		Seite
Albedo	10	Normalnegativ	68
Anpassungsfähigkeit von Pa- pieren	65	Normalobjekt	43
Auflösungsvermögen	2	Objektivumfang	7
Ausnutzbarer Objektumfang	43	Papierempfindlichkeit	63
Brillanz	36	Plattenempfindlichkeit	73
Charakteristische Kurve	52	Praktische Unterschieds- schwelle	4
Detailplatte	60	Reflexe	23
Detailkurve	61	Reizschwelle	8
Detailwiedergabe	52	Schärfendetail	2
Dichte	11	Schwärzung	11
Durchschnittsobjekt	48	Sicht	19
Gradation	64	Sichtweite	22
Härte von Papieren	64	Spezifische Brillanz	37
Helligkeitsdetail	2	Spiegelbilder	24
Kopierumfang	64	Subjektiver Objektumfang	9
Lichtempfindlichkeit von Pa- pieren	63	Tonkurve	48
Lichtempfindlichkeit v. Platten	73	Unterschiedsempfindlichkeit	4
Luftlicht	16	Unterschiedsschwelle	3
Minimaldetail	7	Wahrer Objektumfang	10
Negativumfang	68	Weber-Fechnersches Gesetz	3
		Weichheit von Papieren	64

Verzeichnis der Abkürzungen.

	Seite
A. O. U. = Ausnutzbarer Objektumfang	43
Dt = Detail	2
<i>G</i> = Papierempfindlichkeit	63
K. U. = Kopierumfang	64
M. E. = Mattscheibenebene	24
O. U. = Objektumfang	7
<i>R</i> = Brillanz	36
<i>S</i> = Schwärzung (Dichte)	53
S. O. U. = Subjektiver Objektumfang	9
U. E. = Unterschiedsempfindlichkeit	4
U. S. = Unterschiedsschwelle	3
W. O. U. = Wahrer Objektumfang	10

Der Aufbau des photographischen Bildes.

Einleitung.

Wiedergabe von Objekteinheiten als Aufgabe der Photographie Die Aufgabe der Photographie besteht in einer bildmäßigen Wiedergabe der Gegenstände, aus denen die äußere Natur zusammengesetzt ist, mögen sie lebendig oder tot, raum- oder flächenförmig, einfarbig oder vielfarbig sein. Wir unterscheiden demgemäß außer der gewöhnlichen Photographie die Farbenphotographie, die stereoskopische Photographie und die Kinematographie als Mittel zur Wiedergabe der Farben, der Raumwirkung und der Bewegungen. Die nachfolgenden Darlegungen sollen auf die gewöhnliche einfarbige Photographie beschränkt sein.

Betrachtet man einen Naturausschnitt mit einem Auge, so sieht man die Objekte, als ob sie auf einer Fläche entworfen wären. Die Möglichkeit, diese Objekte mit ruhendem Auge zu empfinden, beruht darauf, daß die einzelnen Gegenstände, sowie die einzelnen Teile derselben verschieden stark Licht ausstrahlen oder reflektieren, also verschiedene „Flächenhelle“ oder Farbenqualität besitzen, so daß diese einzelnen Teile verschieden stark die entsprechenden Teile des Augenhintergrundes (der Netzhaut) erregen. Jeder Gegenstand der äußeren Natur besteht aus solchen optisch unterscheidbaren Einzelteilen, wobei die beiden benachbarten Teile des Objektes nicht nur in bezug auf Helligkeit, sondern auch in bezug auf die Farbe voneinander verschieden sein können. Da die einfarbige Photographie die Farbenunterschiede nur in Form von Helligkeitsunterschieden wiedergibt, so werden im folgenden die verschiedenen Farben nur ihrer Helligkeit entsprechend (also vom Gesichtspunkte eines Farbenblinden) bewertet, ohne auf die Qualität der Empfindungen, die im Auge durch die Farben ausgelöst werden, einzugehen. Hierbei soll angenommen werden, daß die subjektiv empfundene Helligkeit der photographischen entspricht, was nur für solche Aufnahmen zutrifft, die auf orthochromatischen Platten mit Zuhilfenahme eines Gelbfilters hergestellt sind. Da aber diese Aufnahmen sich im Aufbau des Bildes von gewöhnlichen prinzipiell nicht unterscheiden, so konnte im Interesse der Vereinfachung der Versuchsbedingungen diese Beschränkung vorgenommen werden.

Ein Paar benachbarter Einzelteile des optischen Bildes eines Gegenstandes soll im folgenden „Helligkeitsdetail“ (abgekürzt Dt.) genannt werden. Solch ein Detail ist also ein mehr oder minder plötzlicher Helligkeitssprung oder eine Helligkeitsstufe im optischen Bilde. Aus derartigen Helligkeitssprüngen baut sich das optische Bild eines Naturgegenstandes, der vom menschlichen Auge wahrgenommen wird, auf.

Die Helligkeitsdetails grenzen aneinander und ergeben auf diese Weise ein kompliziertes System von Einzelheiten, deren Wahrnehmung durch das Auge bzw. deren naturgetreue Wiedergabe durch die photographische Platte dadurch ermöglicht wird, daß mit Hilfe eines optischen Systems (Augenlinse bzw. Objektiv) in einer räumlich vom Objekt getrennten Ebene (Netzhaut bzw. empfindliche Platte) eine Abbildung des Naturobjekts entworfen wird. Diese Abbildung ist nur dann für den gedachten Zweck brauchbar, wenn nicht nur die einzelnen Helligkeiten den tatsächlich im Naturobjekt vorhandenen entsprechen, sondern auch die Abgrenzung der einzelnen Lichtflecke auf der Abbildung genau in derselben Weise erfolgt, wie es beim gewählten Objekt der Fall war. Je kleiner die einzelnen Stellen der differenzierten Helligkeiten (Helligkeitsdetails) sind, desto größer sind die Zumutungen, die an die Leistungsfähigkeit des optischen Systems (sein „Auflösungsvermögen“) gestellt werden. Im Gegensatz zu den Helligkeitsdetails kann man somit hier von „Schärfendetails“ sprechen.

Teil I.

Das Naturobjekt.

Kapitel I. Das Helligkeitsdetail.

Ordnet man die verschiedenen dem Auge zugänglichen Helligkeiten in eine solche Reihe, daß auf der einen Seite Weiß, auf der anderen Schwarz steht, so erhält man eine stetig verlaufende Skala, die überhaupt keinen sichtbaren Übergang von einer Helligkeit zur anderen besitzt und die somit gar keine Details aufweist (vgl. hierzu Abb. 51, S. 85). Man kann aus dieser Skala eine Anzahl Helligkeiten herausgreifen, die sich voneinander in gleicher Weise unterscheiden. Wird die Anzahl dieser Stufen gesteigert, so wird der Unterschied in der Empfindung immer kleiner und verschwindet zuletzt.

Maß für Sichtbarkeit von Einzelheiten (Details), Unterschiedsschwelle (U. S.)

Je verschiedener die Flächenhelle zweier benachbarter Stellen eines Objektes ist, desto ausgeprägter wird der Unterschied von dem Auge empfunden. Hierbei kommt aber nicht der absolute, sondern der

relative Unterschied in Frage, da für die Gesichtsempfindungen das Weber-Fechnersche Gesetz¹⁾ gilt, wonach der Unterschied von je zwei Empfindungen als gleich merklich geschätzt wird, wenn das Verhältnis der Reize das gleiche ist. Das Verhältnis zwischen den beiden Helligkeiten kann daher als Maß für die Stärke des Helligkeitssprunges und zugleich als Maß für das Detail angesehen werden. Da aber aus praktischen Gründen (vor allem infolge vereinfachter graphischer Darstellung) in der photographischen Wissenschaft die photometrischen Größen immer in Form von (dekadischen) Logarithmen angegeben werden, so soll im folgenden als Maß für das Helligkeitsdetail (Dt.) der Logarithmus des Verhältnisses der beiden Helligkeiten angegeben werden, die das Detail bilden.²⁾

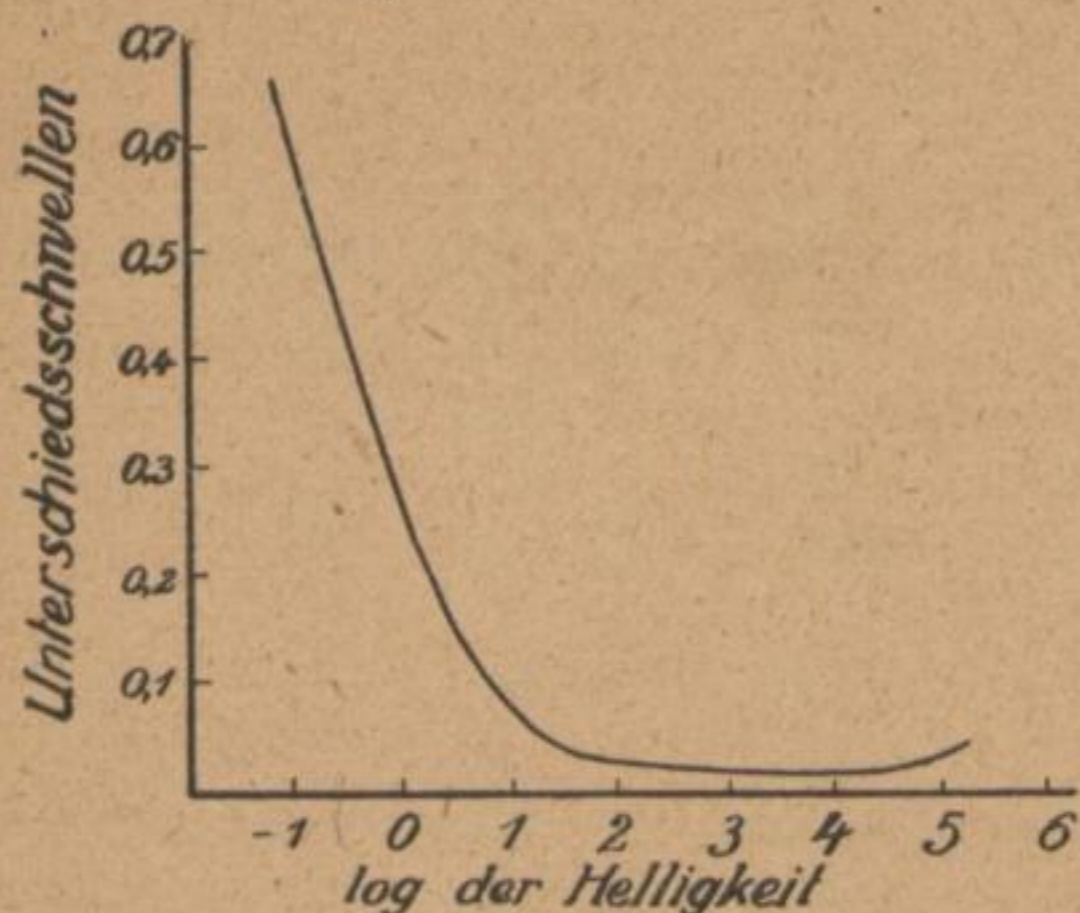
Sinkt dieses Verhältnis unter eine gewisse Grenze, so kann das Auge keinen Unterschied zwischen den beiden benachbarten Stellen empfinden. Man bezeichnet diese Grenze mit dem Wort „Unterschiedsschwelle“. Ausgedehnte Untersuchungen, die allerdings immer unter Laboratoriumsbedingungen gemacht wurden, haben gezeigt, daß bei mittleren Helligkeiten und unter sonst günstigen Umständen dieses Grenzverhältnis etwa 1,01 beträgt, daß der Mensch also nur dann zwei Felder voneinander unterscheiden kann und überhaupt feststellen kann, daß eine Mehrheit von Feldern vorhanden ist, wenn das eine Feld etwa um 1% heller als das andere ist (Dt. = 0,004). Diese Zahl bezieht sich auf Felder genügender Helligkeit und Größe (als Mindestgesichtswinkel in diesem Sinne kann etwa 1°, entsprechend einem in 25 cm Entfernung betrachteten Felde von etwa 5 mm im Durchmesser angesehen werden). Sie ist unter der Voraussetzung ermittelt, daß das Auge in seiner Aufmerksamkeit durch andere Gegenstände nicht abgelenkt wird und genügend lange Zeit einen und denselben Gegenstand betrachtet. Diese hohe Unterschiedsempfindlichkeit (U. E.) wird nur bei mittleren Helligkeiten erreicht. Sie sinkt bei starker und bei schwacher Beleuchtung ganz erheblich. Über die Abhängigkeit der Unterschiedsschwelle von der Helligkeit hat A. König³⁾ Messungen angestellt, die durch die Kurve der Abb. 1 wiedergegeben sind. Diese Zahlen haben fast nur beim Ermitteln der Intensitäten von Licht-

1) Wundt, *Physiol. Psychol.*, 6 Aufl. I, 615.

2) Da in der Literatur vielfach üblich ist, die Verschiedenheit zweier Helligkeiten nicht logarithmisch, sondern in Form des relativen Unterschiedes (also prozentual) anzugeben, so wird an hierzu geeigneten Stellen das prozentuale Maß gewählt werden. In diesen Fällen wird die logarithmische Zahl in Klammern unter Bezeichnung Dt. beigefügt werden.

3) A. König, *Physiol. Optik*, Leipzig 1903, S. 128.

quellen im Laboratorium, also bei photometrischen Messungen praktische Geltung. Sowie mehr als zwei Felder vorhanden sind, oder



Beleuchtung: schwach mittel stark

Abb. 1.

sowie die Felder unter eine gewisse Grenze in ihrer Größe sinken, verringert sich sofort die Empfindlichkeit des Auges, und die Unterschiedsschwelle steigt. Eine auch noch so geringe Unschärfe der Grenze zwischen den beiden Feldern wirkt ebenfalls sehr ungünstig auf das Unterscheidungsvermögen ein. Noch stärker sinkt es, wenn die beiden Flächen nicht unmittelbar aneinander grenzen, sondern eine sichtbare Trennungslinie vorhanden ist. Untersuchungen darüber, wie hoch die Unterschiedsschwelle

beim Betrachten von Naturgegenständen (die „praktische“ Unterschiedsschwelle) ist, lagen bis jetzt nicht vor. Sie können nur auf statistischem Wege ausgeführt werden, da die Bedingungen zu verschiedenartig sind.

Praktische Unterschiedsschwelle

Da die Größe der praktischen Unterschiedsschwelle ausschlaggebend für die späteren Untersuchungen über die Wiedergabe von Naturgegenständen durch die Photographie ist, so wurde auf die folgende Weise versucht, wenigstens annähernd sich Rechenschaft über die Größe dieser Unterschiedsschwelle zu verschaffen. In Abb. 2 ist die Versuchsanordnung skizziert. Durch das Objektiv *a* wurde ein reelles optisches Bild von irgendeinem Naturausschnitt entworfen. Dieses Bild wurde dann durch eine Lupe *b* (Okular) betrachtet. In der Ebene des optischen Bildes rotiert ein durchsichtiges Sektorrad *c* (sog. Massonsche Scheibe), das in der Abb. 3 in Originalgröße dargestellt ist. Bei genügend schneller Rotation des Sektorrades (mindestens 40 Umdrehungen pro Sekunde) sieht das Auge die ganze Fläche mit verschieden hellen konzentrischen Kreisen überlagert. Die Größen der Kreisabschnitte im Sektorrad wurden in der Weise berechnet und ausgeführt, daß der erste graue Kreis um 1% dunkler als das voll durchsichtige Nachbarfeld war, der nächste um 2%, der 3. um 4%, der 4. um 6% usw. bis zu 30% beim 15. Kreis. Diese grauen Kreise überlagern das vom Objektiv entworfene Bild. Durch entsprechende Verstellung der ganzen Einrichtung kann man irgendeinen gewählten grauen Kreis jeder beliebigen Stelle des Objekts super-

ponieren. Das betreffende Objekt wird dabei in Streifen zerteilt, deren Helligkeit abwechselnd größer und kleiner ist und die ohne jede Trennungslinie aneinanderstoßen. Man kann dann mit ziemlicher Sicherheit feststellen, ob der graue Kreis auf der betreffenden Stelle zu sehen ist oder nicht. Auf diese Weise konnte die Unterschiedschwelle an verschiedenen Stellen des Objekts ermittelt werden. Für

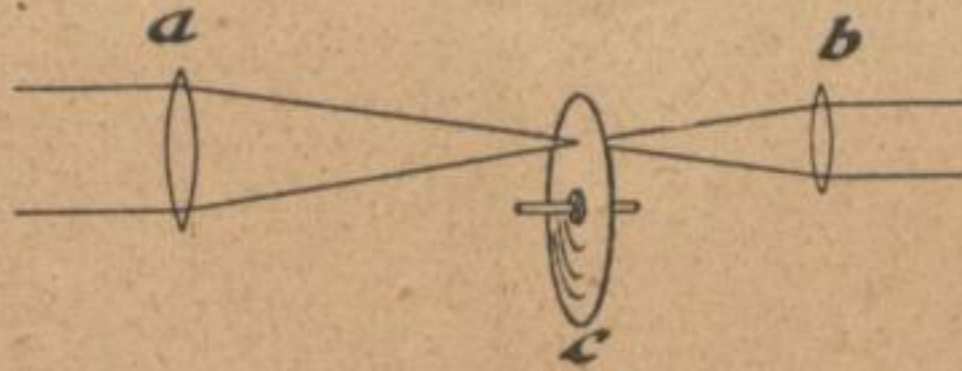


Abb. 2.



Abb. 3.

Messungen außerhalb des Laboratoriums wurde eine andere Vorrichtung benutzt, die mit einfacheren Mitteln und praktisch hinreichender Genauigkeit die gewünschten Zahlen zu ermitteln gestattete. Das Sektorrad wurde durch eine Glasplatte ersetzt, die in Form von grauen durchsichtigen Quadraten eine Reihe von Merkzeichen trug, die das Licht in meßbarer Weise verschieden stark schwächten und, ebenso wie das Sektorrad, mit dem Bilde im Gesichtsfelde des Fernrohrs in

optischen Kontakt gebracht werden konnten. Diese Platte ist, soweit die Reproduktionsmöglichkeiten es gestatten, in Abb. 4 wiedergegeben. Als Beispiel des im Fernrohr nach Überlagerung der Scheibe sichtbaren Bildes soll die Abb. 5 dienen.

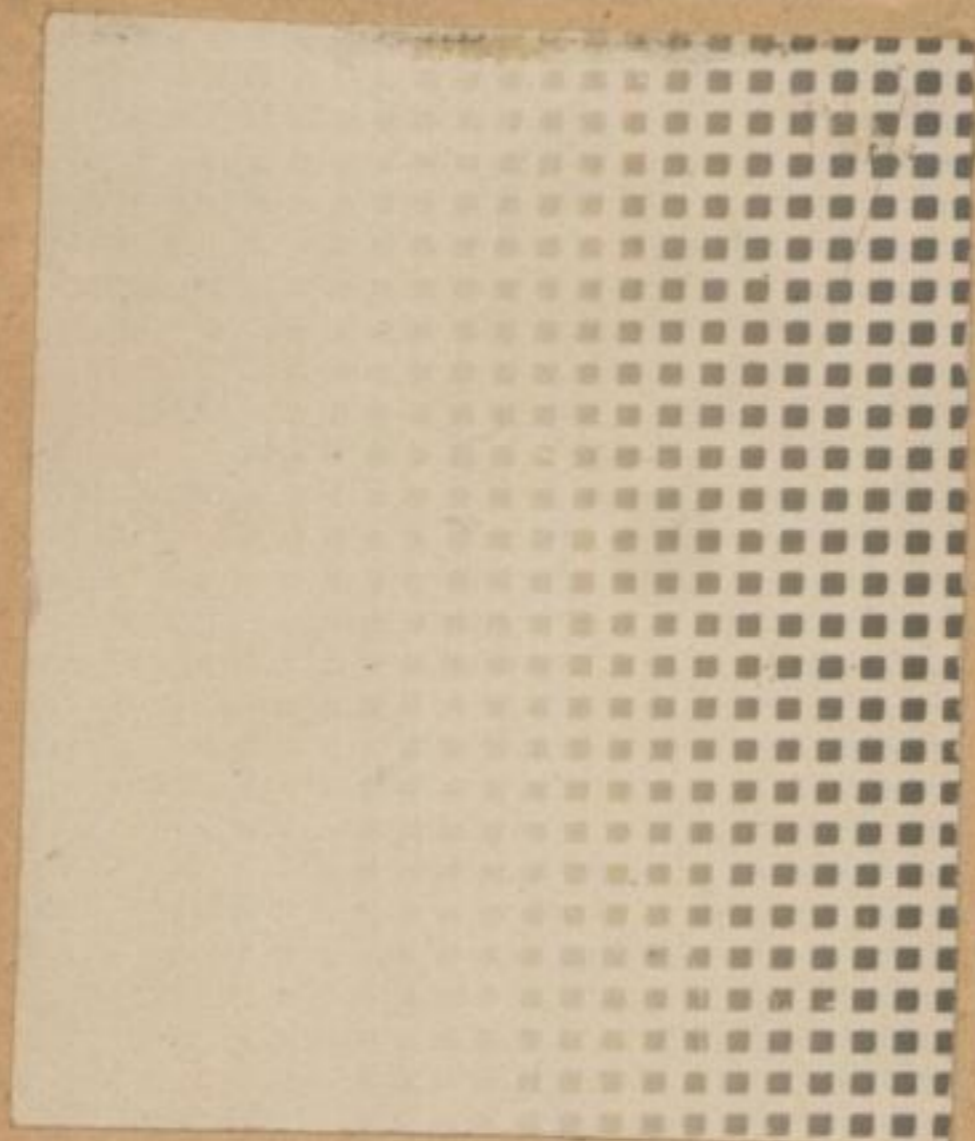


Abb. 4.

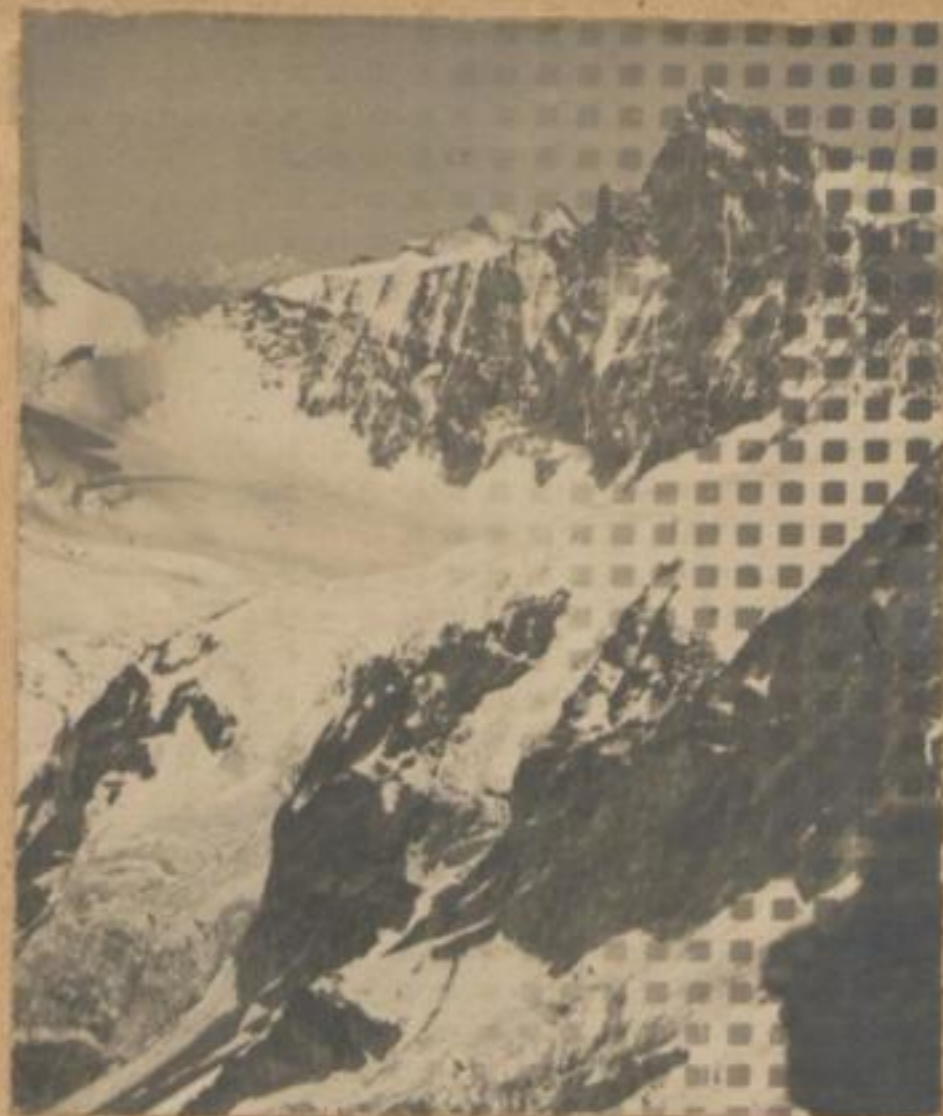


Abb. 5.

Es hat sich bei den Messungen herausgestellt, daß die U. S. außerordentlich stark durch die Art der Objekte beeinflusst wird. Sie ist am geringsten bei größeren Flächen, die ganz gleichmäßig hell sind und deren Beleuchtung etwa 5000 Lux (entsprechend der mittleren Beleuchtung des weißen Papiers am Tage im Schatten) beträgt. In diesen Fällen entspricht sie den im Laboratorium gewonnenen Werten, beträgt also etwa 1% der Helligkeit. Zu solchen Objekten gehören z. B. leichte Wolken. Die geringste Struktur auf einer Fläche führt eine Verringerung der U. E. bzw. Vergrößerung der Unterschiedschwelle herbei. Sie steigt z. B. bei einer glatt gestrichenen Wand, auf der Unebenheiten des Stücks sichtbar sind, oder bei glatt gespannten hellen Geweben, die Leinwandmuster aufweisen, auf 2 — 6% je nach Stärke der Struktur. Sind die glatten bzw. schwach detaillierten Flächen dunkel, so steigt die U. S. auf 25 — 30%. Bei stark detaillierten Objekten (z. B. Laubwerk, Ziegelmauer usw.) beträgt die U. S. sogar im vorteilhaftesten Falle (mittlere Helligkeit) nur 25%, bei geringerer Helligkeit sogar nur 50%. Man sieht, daß die „praktische U. S.“ keinesfalls der laboratoriumsmäßig ermittelten entspricht. Da bei den Naturobjekten im allgemeinen nur Flächen mit mehr oder minder

starker Struktur vorkommen (abgesehen vom klaren Himmel), so kann man als praktische U. S. bei hellen Objekten 2—5%, im Schatten dagegen 20—30% annehmen.

Relative Wichtigkeit von Details Gleichzeitig konnte dieselbe Untersuchungsmethode zur Ermittlung einer anderen Größe dienen. Es handelte sich darum, festzustellen, welche Details dem Beobachter als wichtig erscheinen und wo die Grenze liegt, unterhalb deren das Detail, ohne daß der Gesichtseindruck vom Gegenstand leidet, weggelassen werden kann. Es handelt sich also um Ermittlung der relativen Wichtigkeit von Helligkeitsdetails, die, wie wir später sehen werden, für die gesamten späteren Folgerungen von ausschlaggebender Bedeutung ist. Langwierige Versuchsreihen an verschiedenen Objekten haben ergeben, daß in den hellen Stellen der Landschaft ein Detailverlust immer verschlechternd auf die Bildqualität wirkt, bei mittlere-Helligkeit kann eine gewisse Detailverminderung ertragen werden, während wieder in den dunklen Stellen die U. E. schon an sich so gering ist, daß ein weiterer Verlust an Details unvorteilhaft und beinahe gleichbedeutend mit einer Detaillosigkeit ist.

Minimaldetail

Als Minimaldetail kann also gelten:

in hellen Objektstellen (in den Lichtern)

5% (Dt. = 0,02),

in Stellen mittlerer Helligkeit (in den Mitteltönen)

10% (Dt. = 0,04),

in dunklen Objektstellen (in den Schatten)

25% (Dt. = 0,1).

Dieses Minimaldetail muß in einer photographischen Kopie (Papierbild) sichtbar sein, falls dieses Bild beim Betrachten einen Eindruck hervorrufen soll, der natürlich ist und einigermaßen dem Eindruck entspricht, welcher beim Betrachten des zur photographischen Abbildung gelangten Naturausschnittes selbst vorhanden war.

Diese Zahlen stellen also die Minimalforderung dar, die eine Photographie vom Standpunkt der Detailwiedergabe erfüllen muß.

Während die Ausdrücke „Lichter“, „Mitteltöne“, „Schatten“ jedem praktischen Photographen ganz geläufig sind, wurde bis jetzt kaum jemals der Versuch gemacht, diese Begriffe zahlenmäßig festzulegen. Dies soll im nächsten Kapitel geschehen.

Kapitel 2. Die Lehre vom Objektumfang.

Aus den bisherigen Betrachtungen geht hervor, daß von der gesamten Skala der in einem Objekt vorhandenen Helligkeitsabstufungen

vor allem die obere und die untere Grenze von Bedeutung sind. Da für die Gesichtsempfindungen wie auch für die photographische Wiedergabe nicht der absolute Wert der Helligkeiten, sondern (in weiten Grenzen) nur das Verhältnis derselben wichtig ist, so kommt auch hier nur das Verhältnis der Helligkeiten der hellsten und der dunkelsten Objektstellen in Frage. In den nachfolgenden Betrachtungen soll der Logarithmus dieses Verhältnisses als Helligkeitsumfang des Objektes, oder kurz als „Objektumfang (O. U.)“ bezeichnet werden.

Grenzen der Sichtbarkeit von Details. Reizschwelle. Blendung

Die Intensität des Lichtes, das von den Naturgegenständen ausgestrahlt oder reflektiert wird, ist äußerst verschieden. Nach oben ist die Grenze durch die höchste zurzeit erreichbare Temperatur, d. h. durch die Sonnentemperatur, gegeben. Nach unten ist eine physikalische Grenze überhaupt nicht vorhanden. Wir können uns bei jeder noch so geringen Helligkeit eine andre denken, die noch zehnmal oder hundertmal geringer ist. Der Nachweis solcher Helligkeiten ist selbstverständlich um so schwieriger, je geringer die Helligkeit ist. Die Helligkeitsskala in der Natur ist also unendlich groß. Wie bereits oben ausgeführt, ist die Skala der Helligkeiten, die vom Auge empfunden werden können, im Gegensatz hierzu endlich begrenzt. Beträgt die Beleuchtung einer Fläche mehr als etwa 10 Millionen Kerzen in 1 m Entfernung (gleich $10 \cdot 10^6$ Lux), so ist das Auge dermaßen geblendet, daß es nur noch außerordentlich starke Zunahme der Helligkeit als solche empfindet. Ist die Beleuchtung geringer als 1 Kerze in 250 m Entfernung, so wird der Gegenstand unter allen Umständen als schwarz empfunden und eine weitere Verminderung der Helligkeit wird nicht mehr wahrgenommen.¹⁾ Innerhalb dieser Helligkeitsverhältnisse von etwa $1 : 10^{12} = 1 : 1000$ Milliarden liegen nun sämtliche 660 Helligkeitsstufen²⁾, die das menschliche Auge voneinander unterscheiden kann.

Bis jetzt wurden in der photographischen Literatur über die Größe des Helligkeitsumfanges zwei Ansichten vertreten. Hurter und Driffield haben im Jahre 1892 in ihren klassischen Untersuchungen auf Grund von Versuchen an einem Gegenstand eine Zahl (u. zw. 1 : 30) ermittelt, die im allgemeinen den Helligkeitsumfang darstellen sollte und benutzten diese Zahl als maßgebend in allen ihren Betrachtungen.

Mees³⁾ hat im Jahre 1914 mit einem Photometer die absoluten Helligkeitswerte an den einzelnen Stellen von einigen Landschaften mit Vordergrund ermittelt und diese Werte, die auf einen Objekt-

1) Vgl. Borchardt, Zeitschr. f. Sinnesphysiologie **48**, 176, 1913.

2) Vgl. König, Z. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. **8**, 379, 1895.

3) Mees, British Journal of Photography **61**, 23, 1914.

umfang von etwa 1:20 schließen lassen, in seinen Betrachtungen über die Ermittlung der richtigen Belichtungszeit verwendet. Bei offenen Landschaften nimmt Mees 1:5 als Objektumfang an. Scheffer¹⁾ sagt schließlich in seinen Betrachtungen über die Sensitometrie, daß der Objektumfang in einer Landschaft bis zu 1:100000 beträgt und benutzt diese Zahl als Ausgangspunkt für weitere sensitometrische Berechnungen. Abgesehen von diesen Angaben, die nur in wenigen Worten ohne weitere Erklärung uns vorliegen, ist nirgends in der Literatur etwas über den Begriff des Objektumfanges zu finden. In Eders Handbuch, wo sonst alle Ergebnisse von Veröffentlichungen sorgsam registriert sind, finden sich ebensowenig Angaben hierüber, wie in den wichtigen zusammenfassenden Darstellungen der Sensitometrie von Mees und Sheppard. Aber auch die oben erwähnten Zahlen von Mees bzw. Scheffer sind ohne weitere Angaben über die Art deren Ermittlung mitgeteilt. Wie nun gezeigt werden soll, sind die in der Literatur angegebenen Zahlen nicht ohne weiteres zu verwenden, da man streng zwischen der wahren und der scheinbaren Flächenhelle der Naturgegenstände und demgemäß zwischen dem wahren und praktisch ausnutzbaren Objektumfang unterscheiden muß.

Subjektiver Objektumfang (S. O. U.) In jedem Objekt, das photographisch wiedergegeben werden soll, müssen wir als hellste Stelle diejenige ansehen, wo das Auge ein Minimaldetail von 5 % (vgl. S. 7) noch gut erkennt, als die dunkelste Stelle diejenige, wo gegenüber einem benachbarten „schwarzen Körper“ noch ein deutlicher Unterschied vom Auge festgestellt werden kann. Hierbei wird vorausgesetzt, daß das Auge nicht unbeweglich bleibt, sondern nacheinander die einzelnen Objektstellen zu betrachten und in einem Gesamteindruck zu verschmelzen in der Lage ist, da nur solche Betrachtungsweise der tatsächlichen entspricht. Was über und unter den erwähnten Grenzen liegt, ist ohne Belang, da es für die Bildwirkung gar nichts beiträgt und als rein weiß bzw. tiefschwarz empfunden wird. Das Verhältnis der Flächenhellen von diesen beiden Objektstellen stellt die vom Auge empfundene Skala von Helligkeitsstufen im Objekt dar und wird im nachfolgenden als „subjektiver Objektumfang“ bezeichnet. Da in der Sensitometrie aus praktischen Gründen die Lichtintensitäten logarithmisch aufgetragen werden, so sollen die unter der Bezeichnung S. O. U. weiterhin gegebenen Zahlen den Logarithmus dieses Verhältnisses darstellen.

Die Größe des subjektiven Objektumfanges ist bei den einzelnen Naturgegenständen sehr verschieden. Bei offenen Landschaften, bei denen der Himmel etwa die Hälfte des Bildes einnimmt, und keine

1) Scheffer, Die Grundlagen der Photographie, 1917, S. 69.

tiefen, stark beschätteten Einschnitte (Höhlen, Toreingänge usw.) vorhanden sind, kann man als Durchschnittswert für S. O. U. bei bewölktem Himmel etwa 1,6 — 1,8 annehmen. Soll der Himmel außer Betracht gelassen werden, so kann man für S. O. U. der Landschaft den Wert 0,8 — 1,0 annehmen. Ist volle Sonnenbeleuchtung vorhanden, so steigt der S. O. U. auf etwa 1,4 — 1,6. Der menschliche Kopf weist bei hellem Haar einen S. O. U. von etwa 1,0, bei dunklem Haar etwa 2,0 auf. Bei Porträtaufnahmen von Personen, deren Kleidung z. T. weiß, z. T. schwarz ist, beträgt der S. O. U. etwa 2,0 — 2,5.

Bei solchen Objekten, bei denen die hellsten Stellen stark begrenzt sind und deshalb keine Blendung hervorrufen, kann der S. O. U. bis zu 3,5 — 4,0 steigen. Am höchsten ist der Wert bei Betrachtung des Zimmerinnern, von Toreingängen usw., wo bei bewegtem Auge Helligkeitsunterschiede bis zu 6,0 — 7,0 überbrückt werden. Diese Zahlen stellen einen Mittelwert aus einer sehr großen Reihe von photometrischen Messungen an verschiedenen Objektarten, die mit Hilfe des im Anhang beschriebenen Vergleichsphotometers ausgeführt wurden, dar.

Unabhängig von der Größe des S. O. U. teilt das Auge das Intervall der Helligkeiten in bestimmte Empfindungsstufen ein, die man als „Lichter“, „Mitteltöne“, „Schatten“ des Bildes zu bezeichnen pflegt. Somit erhält die Tonskala der Empfindungen je nach der Größe des S. O. U. verschiedene absolute Werte. Während bei einer gedruckten Abbildung der Unterschied zwischen den als „Spitzlichter“ und als „Mitteltöne“ empfundenen Stellen nur 0,3 beträgt und der gesamte S. O. U. sich nur auf etwa 0,8 erstreckt, hat die Empfindungsskala beim Betrachten des Zimmerinnern die fünffachen Werte aufzuweisen, ohne daß dies direkt zum Bewußtsein des Menschen kommt.

Der wahre Objektumfang (W. O. U.) Im Gegensatz zum „subjektiven“ Objektumfang soll als „wahrer Objektumfang“ (W. O. U.) das logarithmische Verhältnis der tatsächlich am Gegenstand gemessenen Helligkeiten der hellsten und der dunkelsten Stellen bezeichnet werden.

a) Flächenhafte undurchsichtige Gegenstände.

Bei flächenhaften Objekten, zu denen vor allem alle Zeichnungen, Gemälde, Druckwerke usw. gehören, ist das Verhältnis der Intensitäten des von der hellsten und der dunkelsten Stelle reflektierten Lichtes stark beschränkt, denn auch die dunkelste schwarze Flächenfärbung, die technisch darstellbar ist, reflektiert immer noch etwa 1 % des auffallenden Lichtes, während das hellste Weiß höchstens 90 % des Lichtes zurückstrahlt. Der Objektumfang beträgt also im

Maximum $1,9 = \log \frac{90}{1}$. Praktisch wird diese Zahl fast niemals erreicht.

Die Feststellung derselben kann mit praktisch genügender Genauigkeit in der Weise erfolgen, daß man bei gleichbleibenden Beleuchtungsbedingungen die Stärke des von den einzelnen Objektteilen reflektierten Lichtes, d. h. die Albedos der betreffenden Flächen mißt.

Albedo Unter der Bezeichnung Albedo wird im allgemeinen das Verhältnis der Intensität des von den Gegenständen reflektierten Lichtes zu der des auffallenden Lichtes verstanden. Nur muß man berücksichtigen, daß das auffallende Licht bei jedem Gegenstand z. T. direkt von der Oberfläche reflektiert wird, z. T. aber erst in die Farbschicht, die die Oberfläche bedeckt, eindringt und dann von den Teilchen dieser Farbschicht zurückgeworfen wird.

Für unsere Betrachtungen ist dieser Unterschied insofern von Bedeutung, als wir demgemäß zweierlei Arten von Albedobestimmung zu unterscheiden haben.

Im ersteren Falle empfängt der Gegenstand die Beleuchtung von der Seite unter einem solchen Winkel, daß das von der Oberfläche des Gegenstandes regelmäßig gespiegelte Licht nicht in das Photometer

Tabelle 1.
Reduzierte Albedos in logarithmischen Einheiten
(Schwärzungen¹⁾).

Art der Fläche	Schwärzung
Kreidepapier matt	0,0
Weißer Leinwand	0,1
Graue Mitteltöne auf Photographien	0,5
Schwarzes Packpapier	0,9—1,1
Schwarzer Buchdruck	1,0
Tiefschwarze Illustrationsfarbe	1,2
Dunkelste Schatten auf mattem Bromsilberpapier	1,2
Dunkelste Schatten auf schwarzem Pigmentpapier	1,6
Dunkelste Schatten auf glänzendem Zelloidinpapier	1,7
Schwarze Tusche	1,7
Schwarzes Tuch	1,6—1,8
Schwarzer Samt	1,8—2,3
Schwarzer Pelz	2,5

1) Unter der Bezeichnung „Schwärzung“ oder „Dichte“ von Platten wird in der photographischen Photometrie immer der Logarithmus des Verhältnisses der Stärken des auffallenden und des durchgelassenen Lichtes verstanden. Sinngemäß wird dieser Begriff auch auf Dichten angewendet, die in der Aufsicht betrachtet werden, wobei an Stelle des durchgelassenen das reflektierte Licht tritt.

gelangen kann. (Grenzfall: Beleuchtung eines glänzenden Gegenstandes durch punktförmige Lichtquelle.) Dann wird nur das aus der Tiefe der Farbschicht stammende Licht gemessen. Im zweiten Falle dagegen strömt das Licht von allen Seiten gleichmäßig auf die zu messende Fläche (Grenzfall: Beleuchtung eines wagerecht liegenden glänzenden Gegenstandes durch gleichmäßig bewölkten Himmel). In diesem Fall wird neben dem Tiefenlicht auch das Oberflächenlicht ausgenutzt. Das letztere beträgt meist etwa 5% des auffallenden Lichtes, kann also die Albedo bei dunklen Flächen ganz beträchtlich erhöhen. Bei ideal matten Oberflächen, die das Licht vollkommen zerstreuen, werden beide Arten der Albedobestimmung zu gleichen Ergebnissen führen. Hier wird das Oberflächenlicht vollkommen diffus zerstreut und ein der wirksamen Öffnung der Photometeröffnung entsprechender Teil dieses Lichtes bei beiden Beleuchtungsarten vom Photometer aufgenommen. Selbstverständlich kommen alle möglichen Zwischenstufen zwischen vollkommen glänzenden und vollkommen matten Flächen vor.

In der vorstehenden Tabelle sind einige Messungen von Albedos¹⁾ zusammengestellt (auf Kreidepapier = 0 bezogen).

b) Flächenartige durchsichtige Gegenstände.

Bei durchsichtigen Objekten, zu denen Transparente, Kirchenfenster und vor allem Diapositive gehören, kann der wahre Objektumfang aus den photometrisch gemessenen Durchlässigkeiten der hellsten und der dunkelsten Stellen unmittelbar berechnet werden. Bei den monochromen Projektions-Diapositiven kann er bis zu außerordentlich hohem Wert steigen.

Als Mittelwerte aus 250 Beobachtungen wurde folgender Objektumfang festgelegt:

flaue Diapositive	0,4 — 0,6	} logarithmische Schwärzungs- einheiten.
weiche „	0,8 — 1,0	
normale „ (für Projektion geeignet)	1,0 — 1,4	
harte „	1,4 — 1,9	

Bei den einzelnen Diapositiven schwanken die Werte sehr stark, da man nicht immer ein Diapositiv als hart bezeichnen kann, das an einer begrenzten Stelle eine Dichte von über 1,4 aufweist.

1) Die Zahlen beziehen sich auf Albedos erster Art. Sie sind gewonnen durch Messungen des logarithmischen Helligkeitsverhältnisses Kreidepapier: gemessene Fläche mittels des im Anhang beschriebenen Vergleichsphotometers. Die Flächen wurden durch seitlich unter 45° beiderseits angebrachte Glühlampen beleuchtet, das Vergleichsphotometer senkrecht auf die Meßfläche gerichtet.

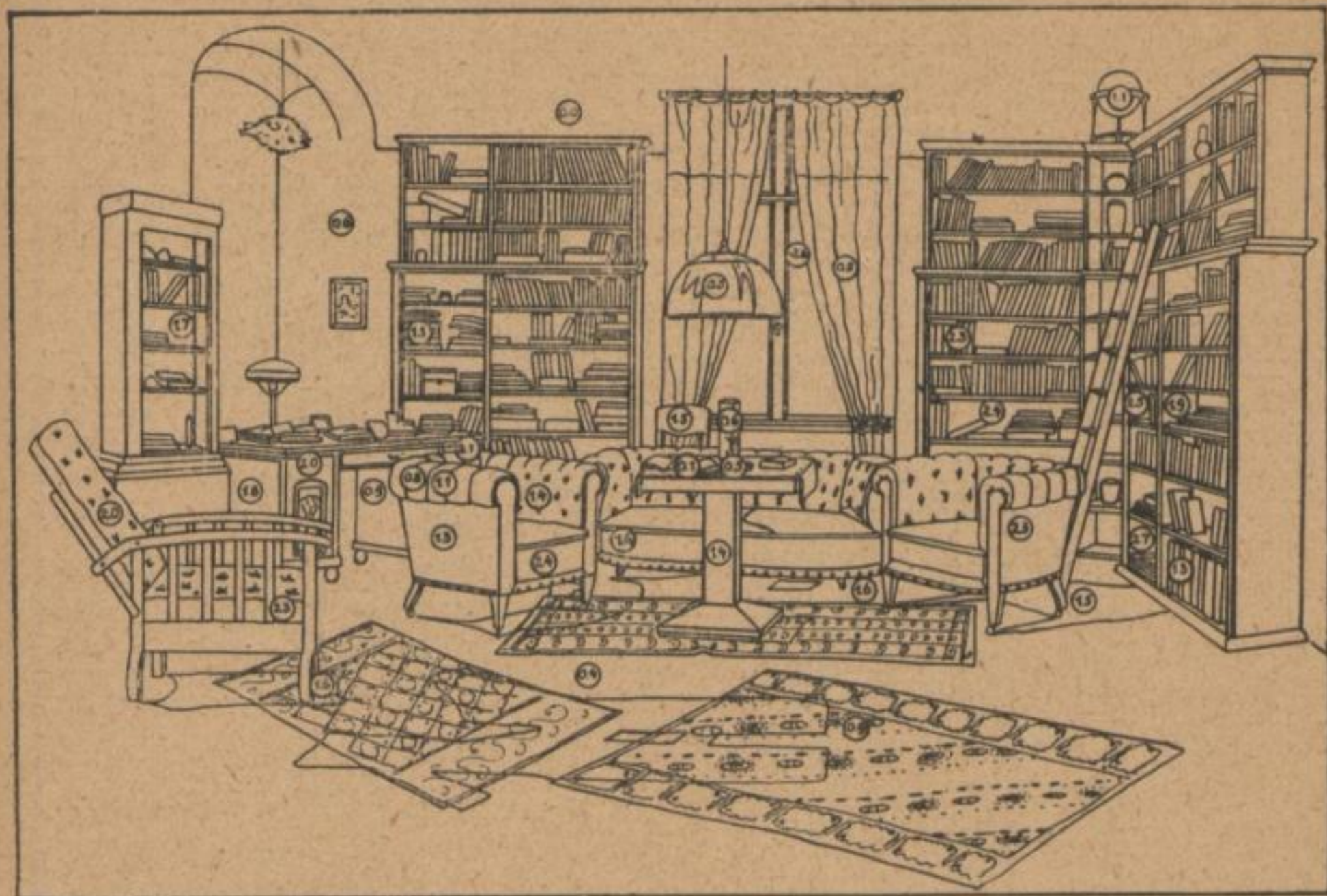


Abb. 6.



Abb. 7.

c) Räumlich ausgedehnte Objekte.

Bei räumlich ausgedehnten Gegenständen, zu denen praktisch alle Naturgegenstände, außer den in vorigen Abschnitten erwähnten, gehören, werden einzelne Teile von anderen beschattet und der Objektumfang hierdurch oft stark ausgedehnt. Auch mit der Beleuchtungsart ändert er sich in hohem Maße. Würde die Lichtquelle genau an derselben Stelle sich befinden, wie das Auge der betrachtenden Person oder das Objektiv der Kamera, so könnten keine Schatten entstehen, die dem Auge bzw. der Kamera sichtbar wären. Das ist annähernd der Fall bei solchen Aufnahmen, die bei voller Sonnenbeleuchtung in der Weise vorgenommen werden, daß die Sonne sich genau im Rücken der Kamera befindet und ziemlich tief am Horizont steht. In diesem Falle entspricht der Objektumfang genau dem bei flächenförmigen Objekten der entsprechenden Färbung vorhandenen. Bildet dagegen die Richtung der beleuchtenden Strahlen einen Winkel mit der optischen Achse des Objektivs, so werden mehr oder minder starke Schlagschatten sichtbar, die die Helligkeitsverteilung in den Gegenständen außerordentlich verändern können. Wird z. B. das Innere eines Zimmers, das durch ein Fenster beleuchtet ist, photographiert, so ist die Helligkeit eines am Fenster liegenden weißen Papierblattes viel größer, als die einer an der Wand hängenden ebenso weißen Zeichnung, da das erste Papierblatt direkt vom Himmel beleuchtet wird, während die zweite Fläche nur zwei-, drei- und mehrmal reflektiertes Licht erhält. Fast immer ist sogar die Helligkeit eines tiefschwarzen Papierblattes in der Nähe des Fensters größer als diejenige von weißen Flächen im Innern des Zimmers. (Vgl. hierüber sehr interessante Darstellungen in E. Hering, Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn, Leipzig 1905, S. 13.) Scheint dagegen die Sonne direkt ins Zimmer, so ist die Helligkeit aller von Sonnenstrahlen getroffenen Gegenstände gleicher Albedo fast gleich und unabhängig von deren Lage im Zimmer. Im Gegensatz hierzu haben die anderen Gegenstände im Zimmer die normale, meist sehr niedrige Flächenhelle. Besonders gering ist die Helligkeit der unter den Tischen und in den Ecken des Zimmers befindlichen Gegenstände. Auf diese Weise steigt der wahre Objektumfang ganz außerordentlich stark. In der Abb. 6 ist die Lichtverteilung in einem sehr hellen Zimmer dargestellt. Die an den einzelnen Gegenständen verzeichneten Zahlen sind in der Weise gewonnen, daß das in der Abb. 7 abgebildete Zimmer mit Hilfe des im Anhang 1 (s. S. 77) beschriebenen Vergleichsphotometers ausgemessen wurde.

Bei Gegenständen außerhalb von Gebäuden sind die Verschiedenheiten manchmal auch sehr groß. Ganz besonders stark sind sie bei Aufnahmen von Toreingängen, wo ein Teil des Bildes von der Sonne

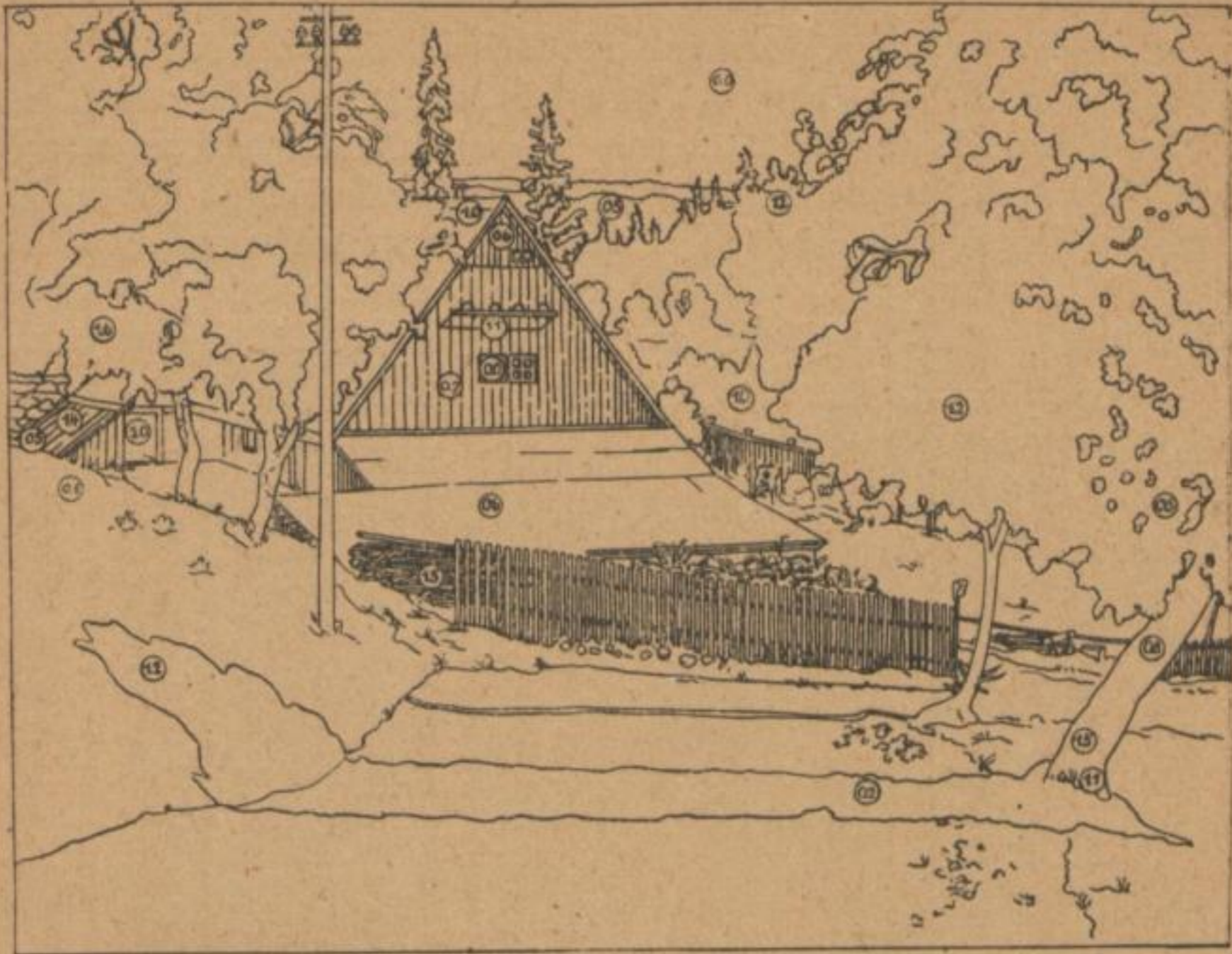


Abb. 8.



Abb. 9.

beschieden ist, während der andere Teil im Schatten liegt, und bei Aufnahmen in Gärten und im Innern des Waldes, vor allem, wenn die Sonne zwischen den Blättern noch durchscheint und auf diese Weise begrenzte Stellen der sonst dunklen Landschaft in hohem Maße aufhellt. Hier beträgt der Objektumfang, auch wenn man von den tiefsten Schatten absieht, etwa 5. Bei offenen Landschaften sind die Helligkeitsunterschiede bei weitem nicht so stark. Die Sonnenbeleuch-



Abb. 10.

tung erhöht den wahren Objektumfang je nach Jahreszeit und Sonnenstand um 0,3 — 0,8. Die Abb. 8 u. 9 zeigen die Helligkeitsverteilung in einer sonnenbeschiedenen Landschaft, während die Abb. 10 u. 11 die Lichtverhältnisse bei einem kontrastreichen Gegenstände darstellen.

Luftlicht Sobald es sich um Gegenstände der äußeren Natur handelt, tritt eine physikalische Begrenzung des Objektumfanges ein. Bis jetzt wurde angenommen, daß die Flächenhelle der einzelnen Teile des Gegen-

standes, die z. B. an und für sich dunkel sind und noch dazu vertieft liegen (z. B. des Inneren eines Kellers von außen gesehen, der Tunneleinfahrt, des Zugangs zu einer Höhle, des Inneren des Waldes usw.), ohne jede Grenze nach unten sinken kann. In der Tat wird aber der Objektumfang auch bei diesen Gegenständen nach unten hin



Abb. 11.

dadurch begrenzt, daß zwischen dem betrachtenden Auge und dem Gegenstand sich immer eine Luftschicht befindet. Diese Luftschicht ist niemals „optisch leer“, sie trägt immer eine gewisse Menge von Staubteilchen, Wasserdampf, Insekten, Bakterien usw., die Lichtreflexionen, sowie Beugungserscheinungen, hervorrufen und scheinbare

Goldberg, Der Aufbau des photographischen Bildes.

2

Aufhellung der dunklen Teile der Naturobjekte verursachen.¹⁾ Die Stärke dieses Luftlichtes ist äußerst verschieden und hängt in der Hauptsache von der Dicke der Luftschicht zwischen dem Betrachter und dem Objekt, sowie von den Witterungsverhältnissen ab. An nebligen Tagen kann das Luftlicht so stark sein, daß schon auf geringe Entfernung von einigen Metern überhaupt keine Einzelheiten von Naturobjekten mehr gesehen werden können, so daß nicht nur die dunklen, sondern auch die hellen Stellen der Naturobjekte von ihm „überwuchert“ werden. Sogar an klarsten Tagen wird sich dieses Luftlicht bei größeren Entfernungen in Form von einem Schleier, der die dunklen Stellen aufhellt, bemerkbar machen.

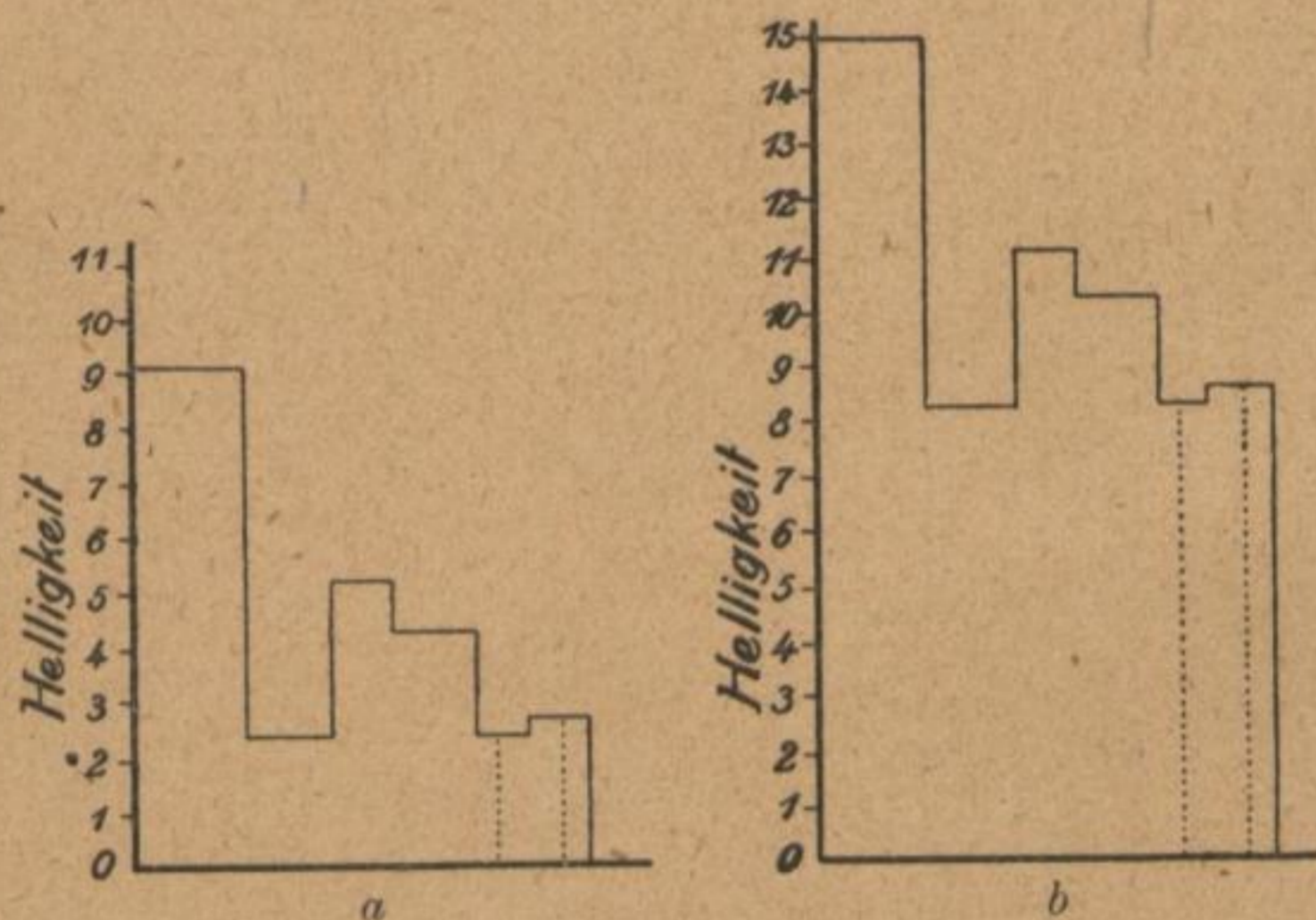


Abb. 12.

Was die optische Wirkung all dieser Störungen in der Lichtverteilung des optischen Bildes anbetrifft, so besteht sie im Aufhellen des gesamten Bildes, d. h. darin, daß zu der Helligkeit, die irgendein Teil des Objektes besitzt, ein Zusatzglied hinzukommt. In der Abb. 12 a ist die Lichtverteilung bei einem Naturobjekt senkrecht zur optischen Achse dargestellt.²⁾ Infolge des Zusatzgliedes geht die Lichtverteilung in die Form der Abb. 12 b über. Es bleibt also der absolute Unterschied zwischen der Helligkeit der benachbarten Objektteile, d. h. die Differenz bestehen, während der relative Unterschied, also das Ver-

1) Vgl. hierzu die nach Fertigstellung dieser Ausführungen erschienene Arbeit von Leonh. Weber, Ann. d. Physik 1916.

2) In der Abb. 12 sind die tatsächlichen Helligkeitswerte und nicht deren Logarithmen (wie es in dieser Arbeit sonst der Fall ist) eingetragen.

hältnis der Helligkeiten solcher Nachbarpunkte sich bei zunehmender Größe dieses Zusatzgliedes vermindert. Für die Gesichtsempfindung ist vor allem der relative Unterschied in der Flächenhelligkeit maßgebend, so daß die Unterschiedsempfindlichkeit, wie oben ausführlich dargelegt, vom Verhältnis der eben unterscheidbaren Helligkeiten abhängt. Somit wird die Wirkung des Zusatzgliedes, das durch den Lichtschleier eingeführt ist, darin bestehen, daß alle nunmehr unterhalb der Empfindlichkeitsschwelle liegenden Details verschwinden. Da die Unterschiedsempfindlichkeit mit der Abnahme der Helligkeit stark abnimmt, so wird sich dieser Detailverlust vor allem in den tiefen Schatten, weniger in den Mitteltönen und noch weniger in den hellsten Stellen des Bildes äußern. Die dunkelsten Stellen sind für das menschliche Auge immer vollkommen detaillos; die Grenze dieser Detaillosigkeit wird durch den Lichtschleier erheblich nach den Mitteltönen hin heraufgeschoben. Dies bedeutet eine mehr oder weniger starke Verminderung des subjektiven Objektumfanges, da wir doch nach der Definition der Seite 9 den subjektiven Objektumfang dort zu zählen beginnen, wo das menschliche Auge bereits die Einzelheiten empfindet.

Messung des Luftlichtes Durch die Erscheinung des Luftlichtes wird der Objektumfang nach unten hin begrenzt. Selbstverständlich ändert sich das Luftlicht von Tag zu Tag und von Stunde zu Stunde in den weitesten Grenzen. Es handelt sich also nun um die Festlegung der Begriffe „gute, schlechte Sicht“, „klares Wetter“, „schwacher, bzw. starker Nebel“ in Zahlen, wobei man sich mit statistischen Ermittlungen begnügen muß, um Richtungslinien für die weiteren Folgerungen zu haben. Zu diesem Zwecke wurde die folgende Anordnung gewählt.

Die Sicht Das eine Objektiv des im Anhang I beschriebenen Vergleichsphotometers wurde auf den Himmel am Horizont, das andere auf den in derselben Richtung in bestimmter Entfernung befindlichen schwarzen Körper, also eine Öffnung in der Wand eines innen dunklen Hohlraumes, gerichtet. Wäre kein Luftlicht vorhanden, so müßte das Helligkeitsverhältnis Himmel : schwarzer Körper = ∞ sein. (In Wirklichkeit hat dieses Verhältnis, selbst wenn das dazwischenliegende Medium optisch leer ist, immer einen endlichen Wert infolge der Reflexe im Objektiv und an den Wänden des Vergleichsphotometers, vergleiche weiter unten Kap. 3.) Die zwischen dem Fernrohr des Vergleichsphotometers und dem schwarzen Körper befindliche Luftschicht hellt nun den schwarzen Körper auf und verursacht auf diese Weise eine Beschränkung des Helligkeitsverhältnisses Himmel : Schwarz. Die am Photometer abgelesene Zahl (die Sicht) stellt für die gegebenen

Verhältnisse (Entfernung, Beleuchtung, Witterung) das Maximum des Kontrastes Himmel : tiefes Schwarz dar und ergibt demgemäß den höchsten hierbei zu erzielenden Objektumfang.

Als Maß für die „Sicht“ wurde der Logarithmus des Helligkeitsverhältnisses Himmel : Schwarz gewählt. Diese Darstellung hat den Vorteil, daß große Zahlen vermieden werden und daß der Anschluß an andere in dieser Arbeit ermittelten Werte gewahrt wird.

Die meisten Messungen wurden in der folgenden Weise ausgeführt: Als schwarze Körper dienten: 1) offene Dachluke in 35 m Entfernung vom Beobachter (wagerechte Richtung), 2) Öffnungen im Kirchturm in 290 m Entfernung (wagerechte Richtung). Beide Objekte waren in einem ruhigen verhältnismäßig staubfreien Stadtteil Dresdens gelegen, in unmittelbarer Nähe eines großen Parks. Die Messungen wurden im Laufe des Frühlings und Sommers 1918 ausgeführt und täglich dreimal (7 Uhr vormittags, 12 Uhr mittags, 7 Uhr abends) wiederholt. Das Wetter war meist klar, nur hin und wieder regnerisch und neblig. Im allgemeinen stimmten die Messungen einigermaßen gut überein mit dem subjektiv geschätzten Klarheitsgrade der Luft.

Tabelle 2.

Messungen der Sicht in Dresden (Nordrichtung).
(Logarithmisches Helligkeitsverhältnis Himmel
am Horizont : Schwarz)

Klarheitsgrade	Entfernung	
	35 m	250 m
1 (Gebirge auf 25 km gut sichtbar)	2,4	1,7
2 (Gebirge unsichtbar, normale Sicht)	2,4	1,5
3 (Dunstiges Wetter)	1,9	1,0
4 (Leichter Nebel)	1,7	0,9

Die Zahlen sind Mittelwerte aus 20—30 Messungen.

Hin und wieder kamen plötzlich starke Abweichungen vor, die darin bestanden, daß die Klarheit der Luft auf kleine Entfernung (35 m) auch beim Klarheitsgrade 1 schlecht war (Gebirge auf 25 km Entfernung gut sichtbar). Diese Abweichungen kamen, wie mit ziemlicher Sicherheit festgestellt werden konnte, vor allem bei lang andauernder Trockenheit vor und sind durch den auf den Stadtstraßen aufgewirbelten Staub zu erklären. Die höchsten Zahlen für den Objektumfang wurden fast immer einige Stunden nach einem Regen festgestellt. Diese Beobachtungen deuten darauf, daß im allgemeinen die untere Begrenzung des Luftlichtes im Sommer weniger durch Nebel und Wasserdunst, als durch Staub und Insekten verursacht wird.

Im September 1918 wurden dieselben Beobachtungen im sächsischen Erzgebirge in waldreicher staubfreier Lage (ca. 600m Höhe) fortgesetzt. Hier wurde bei klaren Tagen eine Sicht bis 2,9 in 35 m Entfernung festgestellt.

Abhängigkeit der Sicht von der Entfernung Weitere Versuchsreihen gal-
ten der Ermittlung der Abhängigkeit der Sicht von der Entfernung
unter sonst gleichen Verhältnissen. Als Objekt (schwarzer Körper)

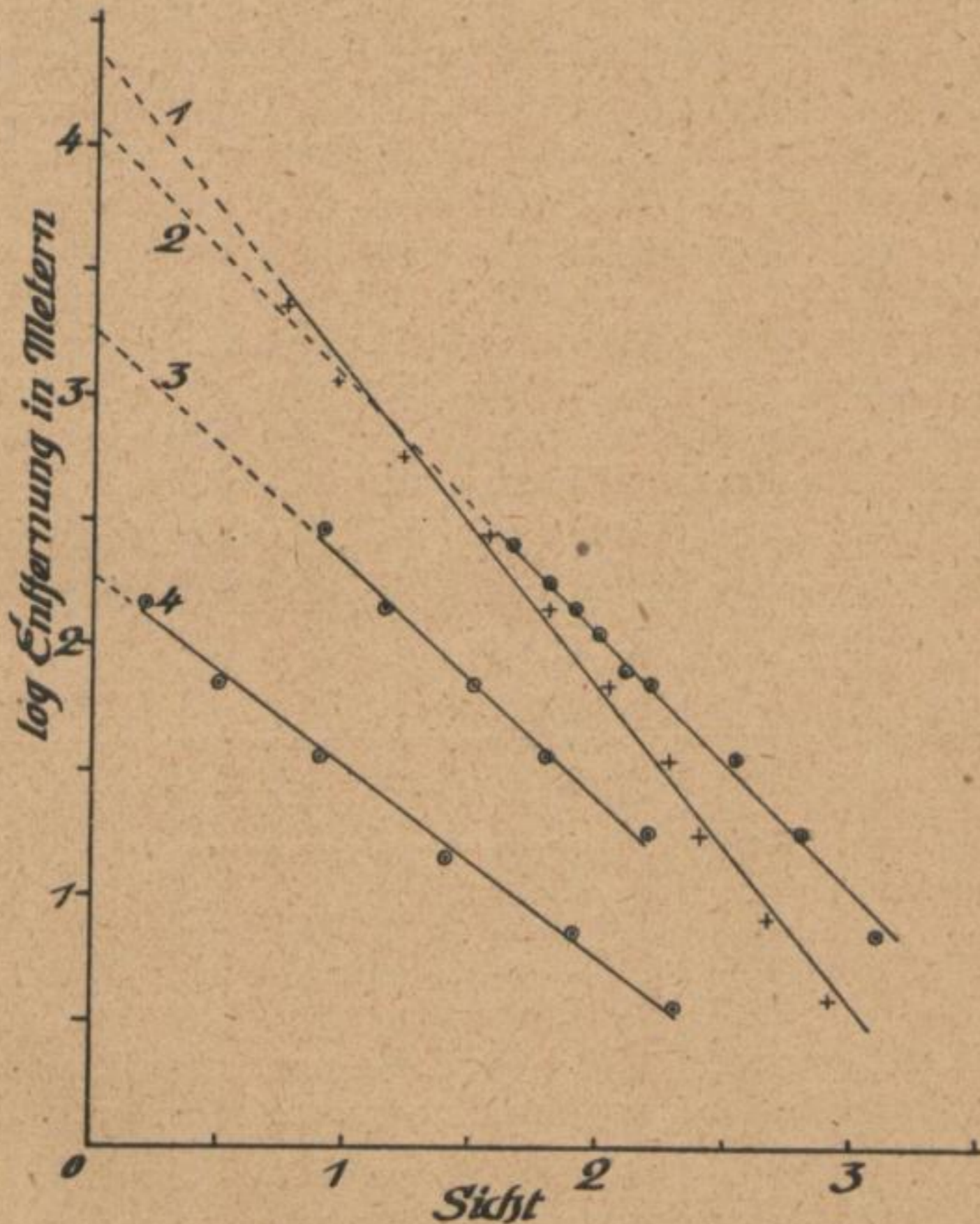


Abb. 13.

diente ein würfelförmiges nach vorn offenes Zelt von 1 m Seitenlänge, das innen mit schwarzem Samt gefüttert war und dessen Hinterwand eine wahre Flächenhelle von unter 4,0 (Logarithmus des Verhältnisses Flächenhelle des Himmels im Zenit) Flächenhelle des schwarzen Körpers hatte. Die Versuche wurden an verschiedenen Tagen des Juli 1919 im sächsischen Erzgebirge in etwa 750 m Höhe ausgeführt. Das Wetter war z. T. klar, z. T. dunstig bis neblig. Die Ergebnisse einiger Versuche sind in der Abb. 13 in Kurven-

form dargestellt. Man erkennt daraus, daß die Zunahme des Luftlichts proportional der Entfernung erfolgt, die Sicht ist also umgekehrt proportional dem Logarithmus der Entfernung.

Sichtweite Der Objektumfang nimmt also zuerst bei Zunahme der Entfernung rapid ab und geht dann ganz langsam auf Null zurück. Objektumfang = 0 wird praktisch dort erreicht, wo dunkle Gegenstände (Gebirge usw.) am Horizont im Nebel bzw. Dunst verschwinden. Wird die gerade Linie, die (bei Darstellung der Sicht in den gewählten Einheiten) die Abhängigkeit des Sichtgrades von der Entfernung angibt, nach oben verlängert, so trifft sie die Ordinate O an einer Stelle, die einer um so höheren Entfernung entspricht, je klarer die Luft ist. Man kann den Logarithmus dieser Entfernung als absolutes von der Entfernung unabhängiges Maß für die Sicht in der betreffenden Richtung ansehen. Die erhaltene Zahl gibt, wie bereits oben gesagt, den Logarithmus der Entfernung an, wo die Sichtbarkeit (die „Sicht“) überhaupt aufhört. Wir wollen diese Zahl „absolute Sicht“ nennen.¹⁾ Bei Betrachtung aus dieser Entfernung wird das tiefste Schwarz genau so hell wie das hellste Weiß sein. Aus den Kurven der Abb. 13 sind z. B. folgende Werte für die Sichtweite zu ermitteln:

Tabelle 3.
Sichtweite.

Kurve	Zeit	Wetter	Richtung	Absolute Sicht
1	11 a. m.	klar	NNW	4,35
2	2 p. m.	klar	N	4,05
3	6 p. m.	dunstig	NO	3,25
4	11 a. m.	neblig	N	2,3

Zur Ermittlung dieser Zahlen braucht man keine Kurve zu ziehen. Es genügt eine Messung von zwei schwarzen Körpern, die in verschiedener Entfernung aufgestellt sind und die dicht nacheinander mit dem Vergleichsphotometer anvisiert werden. Da solche Messungen innerhalb einiger Sekunden ausgeführt werden können, so eignet sich diese Methode zur Einführung in die meteorologische Praxis.

Bis jetzt wurde die Sicht in den meteorologischen Berichten einfach auf Grund subjektiver Schätzung angegeben. Wiegand hat kürzlich eine neue empirische Methode zur Sichtmessung beschrieben.²⁾ Die so gewonnenen Werte haben jedoch den Nachteil, daß sie nur

1) Der Numerus dieser Zahl ist bereits als „Sichtweite“ in der Meteorologie zur subjektiven Kennzeichnung des Dunst- bzw. Nebelgrades gebräuchlich.

2) Wiegand, Physik. Zeitschrift 20, 151, 1919.

für die Versuchsentfernung maßgebend sind und außerdem reine Instrumentenkonstanten sind, denen keinerlei theoretische Bedeutung zukommt.

Bei der Bedeutung, die die Sichtmessungen bei der Entwicklung des Luftverkehrs erhalten, würde sich die weitere Ausarbeitung der oben angegebenen Methode zur Sichtmessung lohnen. Da jedoch dieses Thema außerhalb des eigentlichen Arbeitsgebietes des Verfassers liegt und hier nur als Mittel zum Zweck herangezogen ist, soll die weitere Durchführung des Verfahrens hiermit der Fachwelt überlassen werden.

Teil 2.

Das Mattscheibenbild.

Kapitel 3. Die Lichtverteilung im optischen Bilde.

Wie oben nachgewiesen wurde, ist der wahre Objektumfang bei Naturgegenständen sehr verschieden und hat im allgemeinen, falls helle Stellen nebst dunkel gefärbten und durch vorspringende Teile beschatteten Stellen vorhanden sind, einen hohen Wert, soweit nicht Luftlicht oder Nebel eine Aufhellung der Schatten verursachen.

Bei subjektiver Betrachtung nimmt das menschliche Auge nur einen Teil des „wahren Objektumfanges“ auf, da die durch die hellen Stellen verursachte Blendung einschränkend wirkt. Bei der Abbildung des Gegenstandes durch das photographische Objektiv erleidet der Objektumfang ebenfalls eine sehr beträchtliche Einschränkung. Für die Aufnahme, die wir doch immer mit Hilfe einer Kamera mit davor sitzender Linse oder Linsenserie (Objektiv) vornehmen, ist nicht die wahre Verteilung des Lichtes im Naturgegenstand, sondern die Verteilung des Lichtes auf der empfindlichen Platte maßgebend. Wir müssen also noch die durch die photographische Ausrüstung hinzukommenden Änderungen in der Lichtverteilung berücksichtigen.

Begrenzung des O. U. durch Objektivreflexe Das Objektiv soll sämtliche von einem hellen Punkt ausgehenden Strahlen in einem Punkt vereinigen und dort eine Abbildung verursachen. In der Tat ist es niemals in vollem Umfang der Fall, da an den Glasflächen des Objektivs Reflexe entstehen, die immer einen Teil der Lichtstrahlen von dem vorgeschriebenen Wege ablenken. Die Menge des reflektierten Lichts hängt bekanntlich nur von der Anzahl der gegen Luft frei stehenden Glasflächen ab, da die Grenzflächen Glas-Glas, d. h. die Kittflächen nur verschwindend wenig Licht reflektieren. Jede Grenzfläche Luft-Glas reflektiert dagegen etwa 4% des Lichtes, falls das Licht, wie es in photographischen Objektiven immer der Fall ist, unter

kleineren Winkeln auf die Fläche fällt. Bei einem Vierflächner (z. B. Aplanaten) beträgt die Menge dieses gespiegelten Lichtes etwa 18⁰/₀, bei einem Sechsfächner (z. B. Cookelinsen) 25⁰/₀, bei einem Achtfächner 32⁰/₀.

Entstehung der Spiegelbilder

Das von einem in der optischen Achse befindlichen leuchtenden Punkt kommende Licht wird durch die Reflexion an den Glasflächen zurück in den Objektraum geworfen und verursacht nur eine Verminderung der Objektivlichtstärke, ohne weitere Störungen hervorzurufen. Ein kleiner Teil dieses reflektierten Lichtes, und zwar wiederum etwa 4⁰/₀ (entsprechend 0,16⁰/₀ des auffallenden Lichtes) wird aber, soweit eine Glasfläche auf dem Rückwege nach



Abb. 14.

dem Objektraum getroffen wird, von dieser zum zweitenmal zurückgeworfen und gelangt dann nach etwaiger Ablenkung durch Brechung in den Bildraum. In der Abb. 14 ist der einfachste Fall (einzelne Linse) schematisch dargestellt. Die einfallenden Strahlen sind ausgezogen, die primär reflektierten Strahlen sind gestrichelt, die sekundär reflektierten punktiert gezogen. Man

sieht, daß die doppeltreflektierten Strahlen sich in diesem Falle in der Nähe des Linsenscheitels kreuzen und dann unter einem begrenzten Winkel in den Bildraum gelangen. An Kreuzungspunkten *a* und *b* der Strahlen entstehen reelle Spiegelbildchen des leuchtenden Objektpunktes. Das Bild *a* bleibt, wie alle durch Primärreflexion entstandenen Spiegelbildchen, auf die Lichtverteilung in der Mattscheibenebene ohne Einfluß und nur die sekundär reflektierten Bilder (entsprechend dem Bildchen *b*) sollen im folgenden in Betracht gezogen werden.

Zahl der Spiegelbilder

Die Zahl dieser Spiegelbilder beim zusammengesetzten Objektiv wächst sehr rasch mit der Zunahme der Zahl von gegen die Luft stehenden Linsen. Sie wird durch die Formel $\frac{n(n-1)}{2}$

bestimmt, wo *n* die Anzahl der Grenzflächen Luft-Glas bedeutet, und beträgt bei Landschaftslinsen 1, bei Aplanaten 6, bei Triplets 15, bei vierlinsigen unverkitteten Anastigmaten 28. Eine Gellscheibe ist einer Linse gleichbedeutend und erhöht also die Zahl der Spiegelbilder, die z. B. im letzten Beispiel auf 45 steigen. Die Lage der Bildchen ist äußerst verschieden. Liegen die Spiegelbilder in der Nähe des Objektivs im Bildraum oder im Objektraum (im letzten Falle sind die Bilder virtuell), so entsteht in der Mattscheibenebene (M. E.) ein Zer-

streuungskreis, dessen Größe vom Öffnungswinkel des betreffenden Strahlenbündels abhängt und dessen Mittelpunkt unter den gegebenen Verhältnissen in der optischen Achse liegt. Befindet sich das Spiegelbildchen in der Nähe der Platte (also in Nähe der M.E.), so ist dieser Kreis verhältnismäßig klein und dementsprechend hell. Da die Spiegelbilder oft mit Aberrationen behaftet sind, so ist dementsprechend der Zerstreungskreis manchmal am Rand heller oder dunkler als in der Mitte.

Bei leuchtenden Objektpunkten, die außerhalb der optischen Achse liegen, sind die Verhältnisse ähnlich mit dem Unterschied, daß die Spiegelbilder, ebenso wie die Zentren der Zerstreungskreise, außer-

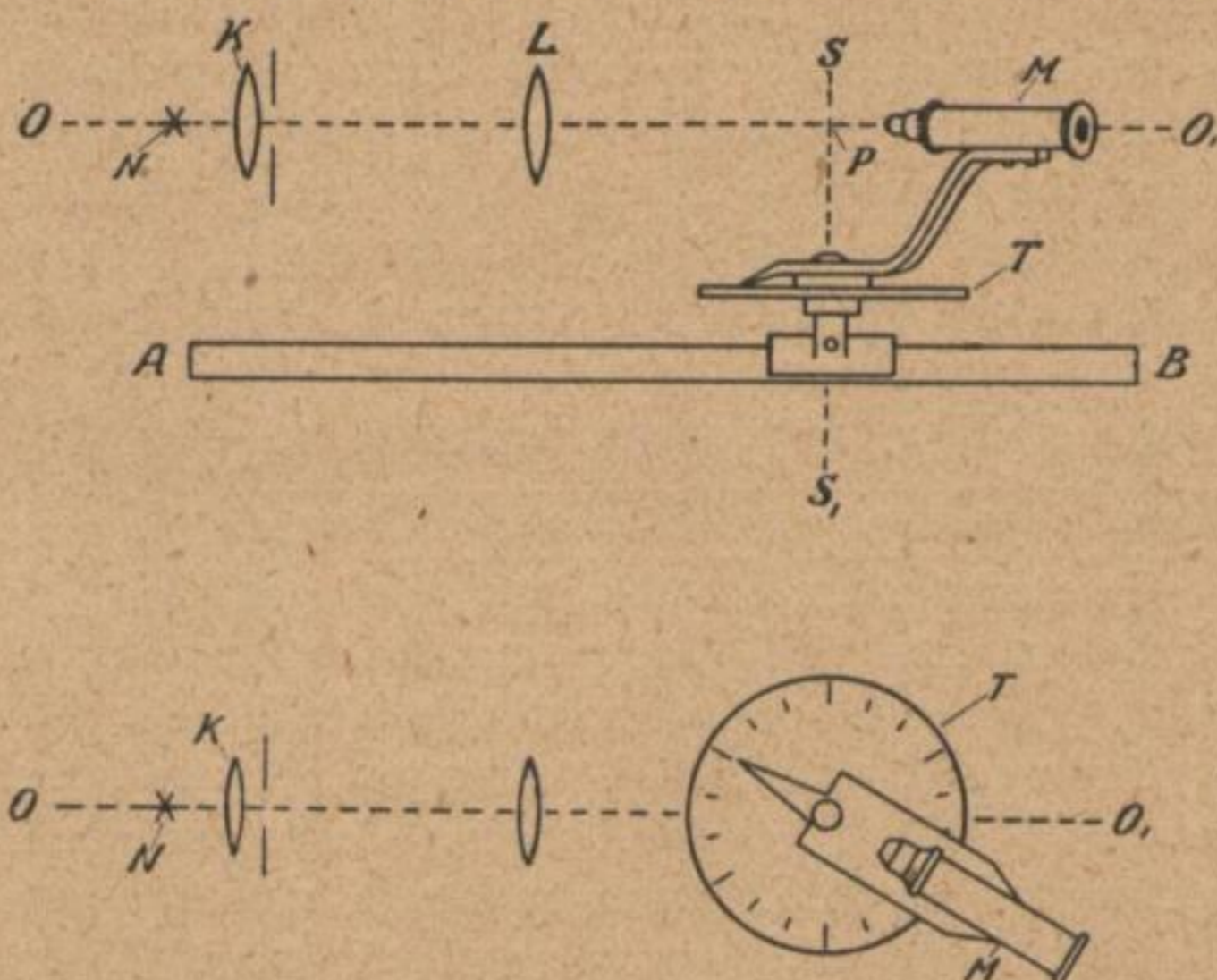


Abb. 15.

halb der Achse liegen. Infolge der Vignettierung durch die Fassungs-ränder und die Blende arten die Kreise z. T. in Kreiszeiwecke aus. Da in der Literatur¹⁾ keine Angaben über die Lage und andere Daten der Spiegelbildchen von photographischen Objektiven vorhanden sind, wurden sie bei einigen typischen Objektiven bestimmt. Hierzu diene die folgende Anordnung (Abb. 15).

Auf einer mit Teilung versehenen optischen Bank AB , deren Richtung der optischen Achse OO_1 des Objektivs entspricht, kann ein Reiter verschoben werden, der ein Meßmikroskop M trägt. Das Meßmikroskop ist schwenkbar um die Reiterachse SS_1 angebracht, den jeweiligen Betrag der Schwenkung kann man am Teilkreis T ablesen.

1) Vgl. ausführliche Literaturzusammenstellung bei Erfle, Centralztg. f. Optik und Mechanik 40, 210, 1919.

Das Mikroskop ist auf den Kreuzungspunkt der Schwenkachse SS mit der optischen Achse OO_1 des Objektivs, also auf den Punkt P scharf eingestellt. Als primäre Lichtquelle diente die Projektions-Nernstlampe von Köhler¹⁾, wobei mit Hilfe eines Kondensors K ein vergrößertes Bild des Nernststabes N auf dem zu untersuchenden Objektiv L entworfen wurde. Die Kondensoröffnung diente also als sekundäre Lichtquelle. Die durch Reflexion entstehenden Scheibchen sind Bilder des Kondensors. Man kann die Größe der Scheibchen, deren Lage im Raum und den von ihnen bestrahlten Raumwinkel (entsprechend dem Winkel φ in der Abb. 14) mit Hilfe des Meßmikroskops untersuchen. Hierzu wird das Mikroskop so lange auf der optischen Bank verschoben, bis das gewünschte Spiegelscheibchen scharf im Gesichtsfeld des mit Teilung versehenen Okulars erscheint. Dann wird das Mikroskop so lange um die Achse SS_1 geschwenkt, bis das Spiegelscheibchen aus dem Gesichtsfelde verschwindet. In der Tabelle 4 sind einige typische Versuchsreihen gegeben. Man sieht als wichtigstes Ergebnis der Messungen, daß die allermeisten Spiegelbilder in der Nähe des Objektivs liegen und daß der Öffnungswinkel der gespiegelten Strahlen mit der Verringerung der Blendenöffnung stark abnimmt.

Wirkung der Spiegelbilder von leuchtenden Punkten

Die praktische Wirkung der Spiegelscheibchen besteht darin, daß die in der Mattscheibenebene (M.E.) entstehenden Zerstreuungskreise sich in ihrer Lichtwirkung summieren und auf diese Weise die in der M. E. liegende Abbildung des primären axialen leuchtenden Punktes mit einem hellen Hof umgeben. Während, abgesehen von der eigentlichen Abbildung, die Beleuchtung in der M. E. gleich Null sein müßte, entsteht dementsprechend eine bestimmte Lichtverteilung auch außerhalb der Abbildung. Die Beleuchtung nimmt von der Abbildung des leuchtenden Punktes zum Plattenrand beständig ab, wenn der primäre leuchtende Punkt sich in der Nähe der optischen Achse befindet. Nur falls die Spiegelbilder mit Aberrationen behaftet sind, können ringförmige Erhöhungen der Beleuchtung in bestimmten Richtungen auftreten. (Vgl. S. 25.)

Tabelle 4.

Lage und Größe der Spiegelscheibchen.

Bemerkungen:

Die Entfernung: leuchtendes Flächenelement-Blendenebene entsprach vier Brennweiten des betreffenden Objektivs.

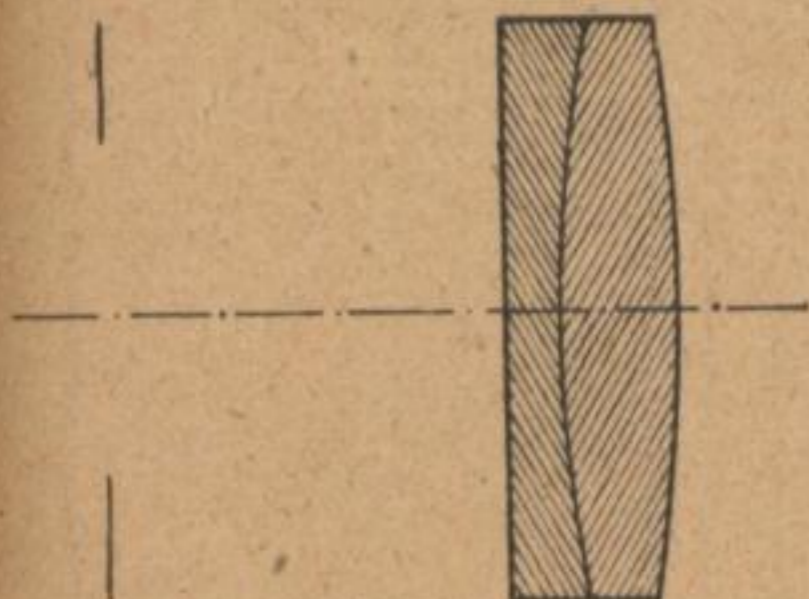
Die Größe der Scheibchen ist in Prozenten der Größe des leuchtenden Flächenelementes angegeben.

Die Lage des Spiegelscheibchens l ist gleich der Entfernung von der Blendenebene in Prozenten der Brennweite, wobei die Entfernungen in der Lichtrichtung positiv gezählt werden.

1) In der Ausführung von Carl Zeiß, Jena.

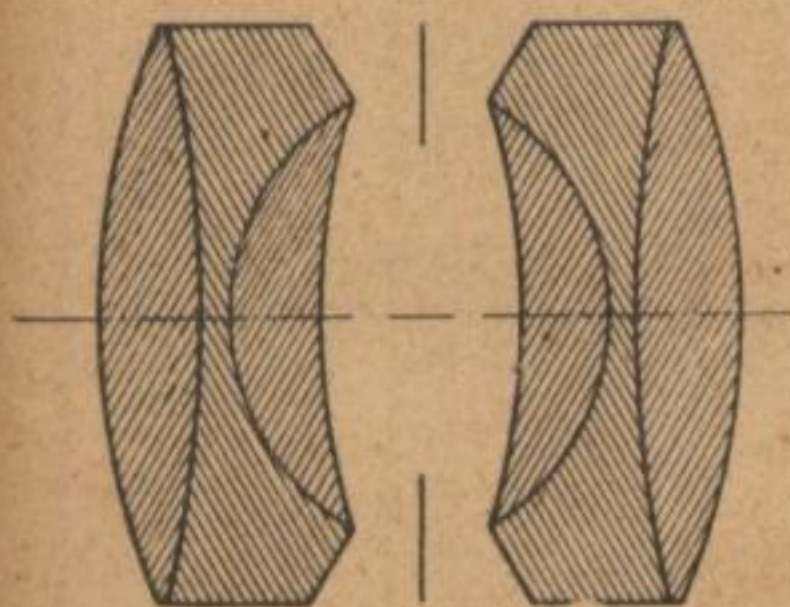
Der Öffnungswinkel entspricht dem Winkel φ in der Abb. 14 bei verschiedenen Abblendungen des Objektivs.
v = verkehrtes Bildchen.

a) Landschaftslinse.



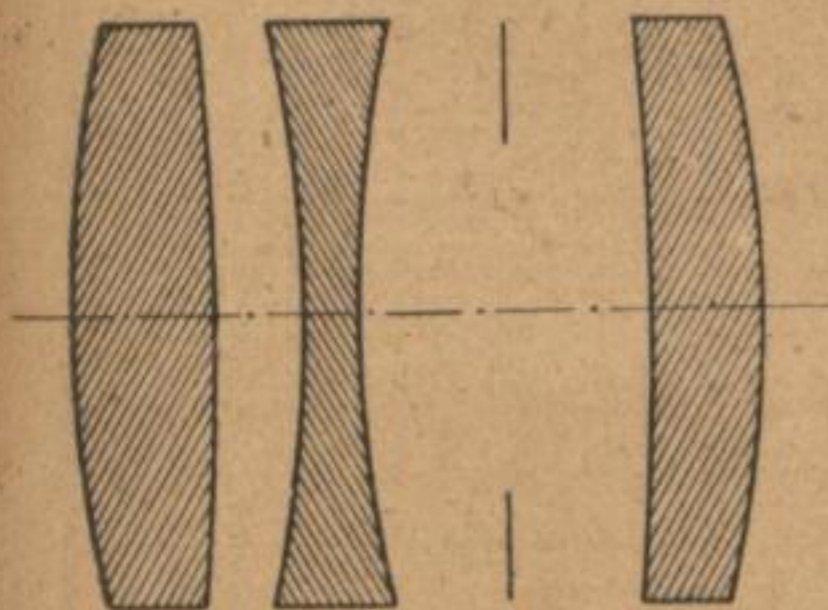
Bildchen Nr.	Größe	Lage	Öffnungswinkel der gespiegelten Strahlen bei der Objektivblende:	
			1/12,5	1/25
1	4	24	36	20

b) Verkittetes Doppelanastigmat.



Bildchen Nr.	Größe	Lage	Öffnungswinkel der gespiegelten Strahlen bei der Objektivblende:		
			1/6,8	1/12,5	1/25
1	4	15	52	40	20
2	3,5	10	64	36	16
3	2	3	94	62	30
4	2	-4	64	56	26
5	2	-4	64	56	26
6	6,5	-20	30	20	16

c) Anastigmatisches Triplet (Cooke-Linse).



Bildchen Nr.	Größe	Lage	Öffnungswinkel der gespiegelten Strahlen bei der Objektivblende:		
			1/6,8	1/12,5	1/25
1	6,5	27	30	20	8
2	7,5	18	32	26	16
3	3,5	16	64	38	20
4	4,5	13	46	30	16
5	4	3	52	30	12
6	2,5	-3	60	36	16
7	3,5	-3	50	26	22
8	2	-3	64	54	36
9	2	-7	60	44	32
10	3,5	-10	44	30	12
11	2v	-15	40	28	16
12	5	-18	34	22	10
13	2v	-18	32	20	10
14	4v	-21	30	18	10
15	5v	-27	22	16	10

d) Unverkittetes vierlinsiges Anastigmat.



Bild- chen Nr.	Größe	Lage	Öffnungswinkel der gespiegelten Strahlen bei der Objektivblende:		
			1/6,8	1/12,5	1/25
1	1,3	44	24	12	—
2	4,5	22	38	24	12
3	4	17	38	28	16
4	4	16	94	28	16
5	2	14	148	68	36
6	3,5	12	48	44	24
7	2,5	6	74	20	20
8	5	6	40	36	12
9	2,5	5	84	56	20
10	4	4	52	40	40
11	2,5	1	90	60	24
12	2,5	1	90	60	24
13	2,5	1	90	90	90
14	2,5	-3	58	48	24
15	2	-4	60	48	24
16	2,5	-4	62	56	32
17	2,5	-4	60	56	32
18	2,5 ^v	-7	60	56	32
19	2,5	-7	58	40	20
20	2,5	-11	40	40	20
21	2	-11	38	28	16
22	3,5	-11	38	28	16
23	4,5	-14	44	32	12
24	3,5 ^v	-14	44	24	12
25	2,5 ^v	-18	32	24	8
26	4,5 ^v	-25	28	20	8
27	9 ^v	-31	24	16	8
28	8 ^v	-41	20	12	8

Bei leuchtenden Punkten, die außerhalb der Achse liegen, können lokale Erhöhungen der Beleuchtung auftreten. Die Verhältnisse entsprechen dann praktisch einer Aufnahme, in der die Sonne mit photographiert wird. Es ist bekannt, daß dann eine allgemeine Verschleierung der ganzen Platte auftritt. Da die Flächenhelle des Himmels im Vergleich zu der der Sonne verschwindend klein ist, so bedeutet diese durch Reflexe entstandene Aufhellung der Sonnenumgebung eine Beschränkung des außerordentlich großen Objektumfanges (Flächenhelle der Sonne als hellste Stelle des Objekts mitgerechnet) auf einen durch die Verschleierung gegebenen kleineren Wert.

Die von den Eigenschaften des Objektivs abhängige Lichtverteilung ergibt alle Aufschlüsse über die Aufhellung der Schatten und Begrenzung

des Objektumfanges. Aus diesem Grunde wurde bei einigen typischen Objektiven die Lichtverteilung auf der Mattscheibe (Plattenebene) gemessen. Die Versuchsanordnung war die folgende: Der bis auf eine Öffnung von 7,5 mm im Durchmesser abgeblendete Kondensor einer Nernst-Projektionslampe diente als Lichtquelle. Seine gleichmäßig leuchtende Fläche wurde mit Hilfe des zu untersuchenden 50 cm entfernten Objektivs direkt auf einer dicht hinter einem 2 mm breiten Spalt liegenden lichtempfindlichen Platte dreifach verkleinert abgebildet. Auf eine andere Stelle derselben Platte wurde daraufhin ein Graukeil aufkopiirt, der Lichtdurchlässigkeiten von 1 bis $\frac{1}{1000}$ aufwies. Da der Unterschied zwischen der Helligkeit der direkten Abbildung und der durch Reflexe verursachten Beleuchtung größer als 1:1000 war, während die photographische Platte einen größeren Belichtungsspielraum nicht bewältigt, mußten auf derselben Platte zwei bis drei Aufnahmen gemacht werden, wobei die Platte unter dem Spalt jedesmal verschoben wurde und vor die Lichtquelle ein neutralgraues Filter zur Abschwächung des Lichtes gesetzt wurde. Auf diese Weise konnte man Beleuchtungsunterschiede von 1:10⁶ bequem überbrücken und zahlenmäßig feststellen, ohne Störung durch die Abweichungen vom Bunsen-Roscoeschen Gesetz zu befürchten. Selbstverständlich wurden hier, wie bei allen anderen Untersuchungen, die praktisch vollkommen lichtstofffreien Agfa-Isolarplatten benutzt und alle Vorsichtsmaßregeln angewandt, um die schädliche Wirkung von Reflexen zu vermeiden. Bei der Diskussion der Ergebnisse muß man berücksichtigen, daß die primäre Lichtquelle kein Punkt, sondern eine kleine Fläche war und daß demgemäß sämtliche Zahlen sich auf diese Fläche beziehen. Infolge der Kleinheit dieser Fläche (1° im Bogenmaß) kann sie als Flächenelement im Sinne späterer Ausführungen gelten.

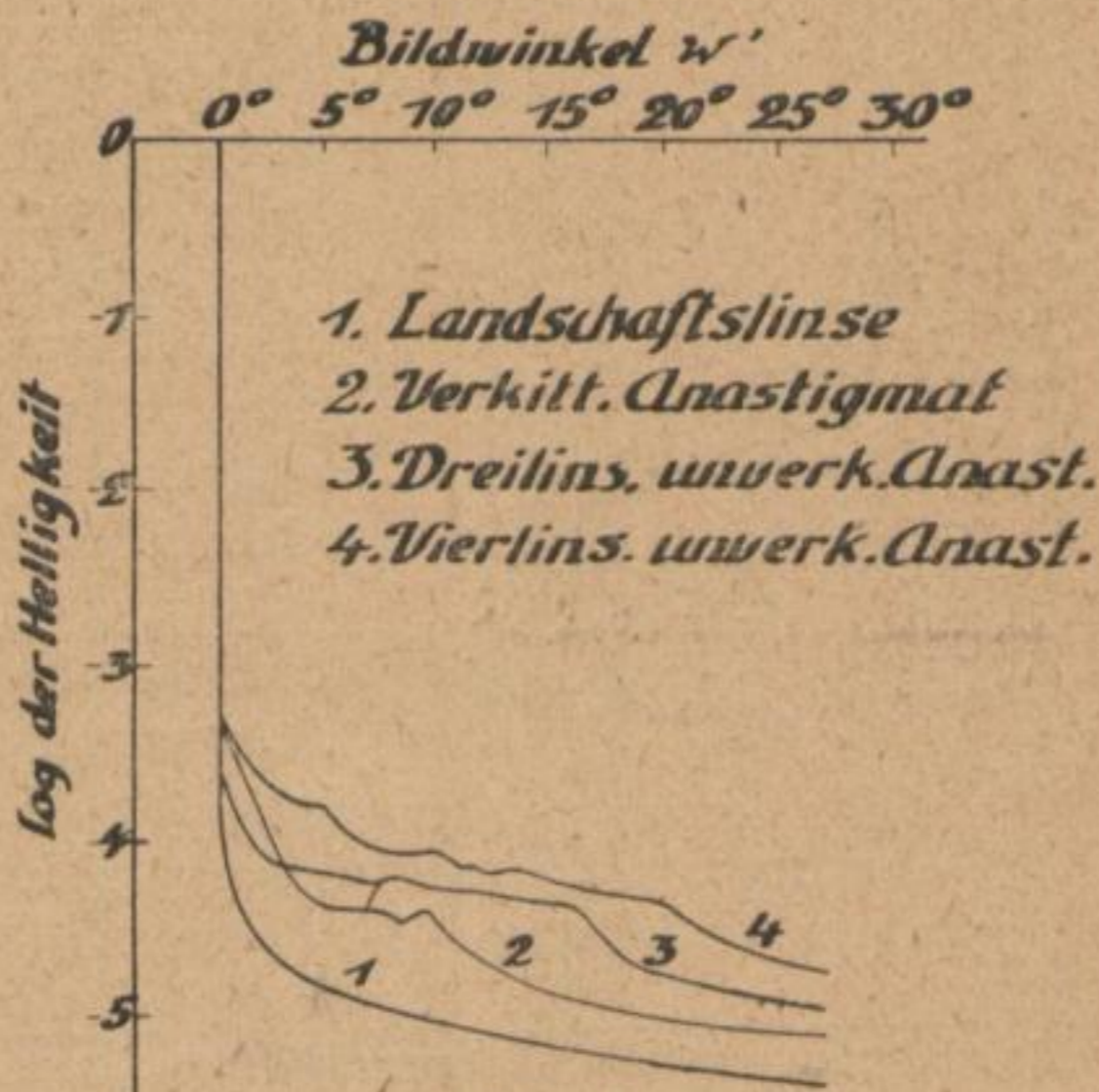


Abb. 16:

Einige typische Kurven sind in der Abb. 16 dargestellt. Eigentümlich ist allen Kurven, daß die Lichtstärke zuerst rasch abfällt und sich dann langsam weiter verringert. Der erste scharf abfallende

Einige typische Kurven sind in der Abb. 16 dargestellt. Eigentümlich ist allen Kurven, daß die Lichtstärke zuerst rasch abfällt und sich dann langsam weiter verringert. Der erste scharf abfallende

Zweig der Kurve ist bei mehrlinsigen Objektiven wenig ausgeprägt, gelangt aber bei der einlinsigen Landschaftslinse voll zur Ausbildung. Beim verkitteten Anastigmat sehen wir eine lokale Erhöhung der Beleuchtung bei 10 Grad, die damit zusammenhängt, daß hier eine

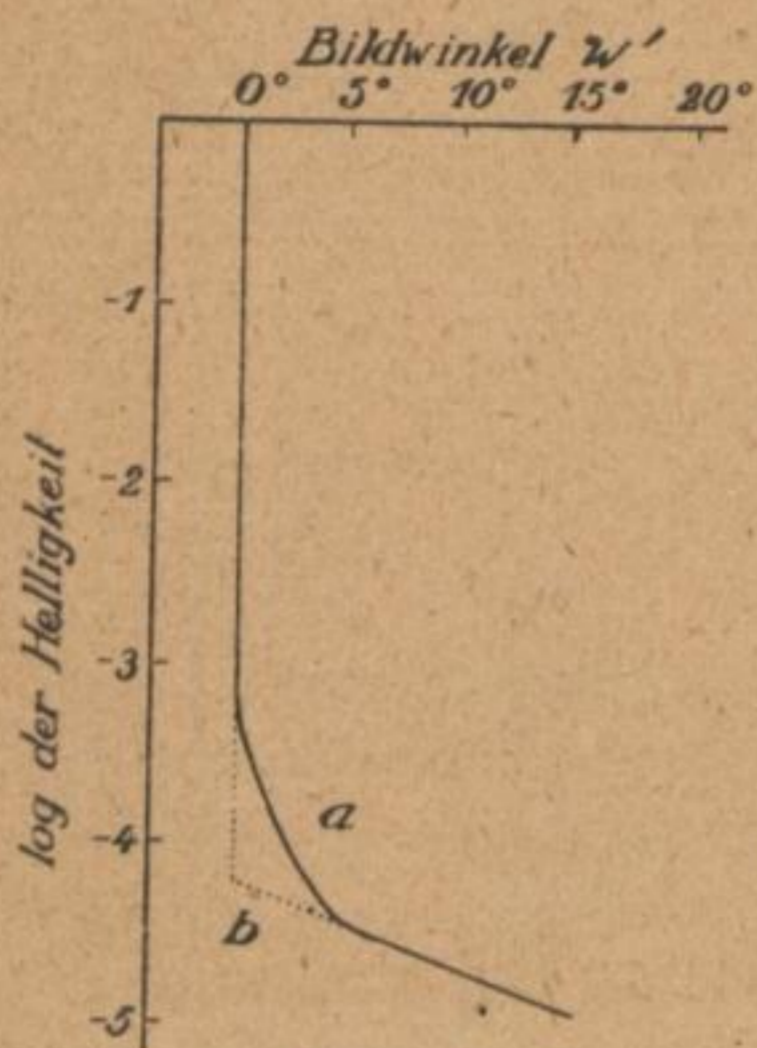


Abb. 17.

Zone des Zerstreungskreises des Scheibchens Nr. 6 (Tabelle 4b) zur Abbildung gelangt (vgl. S. 27).

Nach den in der Tabelle 4 mitgeteilten Daten über die Reflexscheibchen und deren Strahlungswinkel müßte man in dem steil verlaufenden Ast der Kurve einen ganz bedeutend langsameren Abfall der Lichtstärke erwarten. Die Lichtverteilungskurve müßte z. B. beim Aplanaten den gestrichelten Verlauf der Kurve *b* Abb. 17 und nicht den tatsächlich vorhandenen Verlauf Abb. 17a haben. Den Unterschied kann man nur so erklären, daß in der näheren Umgebung der Abbildung des leuchtenden Punktes die Politurfehler und vor allem der unvermeidliche Staub die durch die Reflex-

bilder verursachte Lichtverteilung stören, und daß erst bei größeren Bildwinkeln die Wirkung der Reflexbilder voll zur Geltung gelangt.

Beschränkung des O. U. durch Politurfehler, Staub, Beschlag usw.

Bis jetzt wurde angenommen, daß das Objektiv die Lichtrichtung nur regelmäßig verändern kann. Das ist auch der Fall, wenn die Linsen eine absolut saubere, ideal polierte Oberfläche haben und wenn die Glasmasse vollkommen homogen ist. Beide Forderungen werden niemals genau erfüllt. Besitzen die Linsen keine Hochpolitur oder sind sie mit noch so geringem Beschlag, Fingerflecken, Staub usw. versehen, so wird ein größerer oder kleinerer Teil des Lichtes zerstreut. Ist das Glas nicht ganz homogen, sind z. B. Bläschen vorhanden, so tritt ebenfalls eine diffuse Ablenkung der Lichtstrahlen ein, die, sich, ebenso wie es bei den Reflexbildern der Fall war, in Form von Lichtschleier äußert. Die Arten dieses Lichtschleiers sind je nach der Art des Beschlages oder der Flecke auf der Linse verschieden. Man muß diese Oberflächenstörungen in zwei verschiedene Klassen teilen, genau wie die als lichtstreuende Mittel benutzten Milchgläser, Mattgläser, Mattlacke usw.

Für jedes lichtstreuende Mittel kann man eine Streuungskurve feststellen, die angibt, welcher Anteil des primären Lichtstromes in

den verschiedenen Richtungen abgelenkt wird.¹⁾ Bei diesen Lichtstreuungskurven kann man zweierlei Grundtypen unterscheiden, die in der Abb. 18 dargestellt sind. Beim Typus A fällt die Stärke des Lichtstromes allmählich ab, um bei größeren Winkeln verschwindend klein zu werden. Der Hauptteil des Lichtstromes behält im großen und ganzen seine ursprüngliche Richtung. Solche Lichtverteilung verursachen z. B. sämtliche Mattgläser und Mattlacke. Praktisch äußert sich dann diese Lichtverteilung in der folgenden Weise: Blickt man durch solch ein lichtstreuendes Mittel auf einen hellen Punkt, so erscheint er mehr oder minder unscharf und von einem allmählich nach den Seiten sich vermindern Lichtschein umgeben. Die zweite

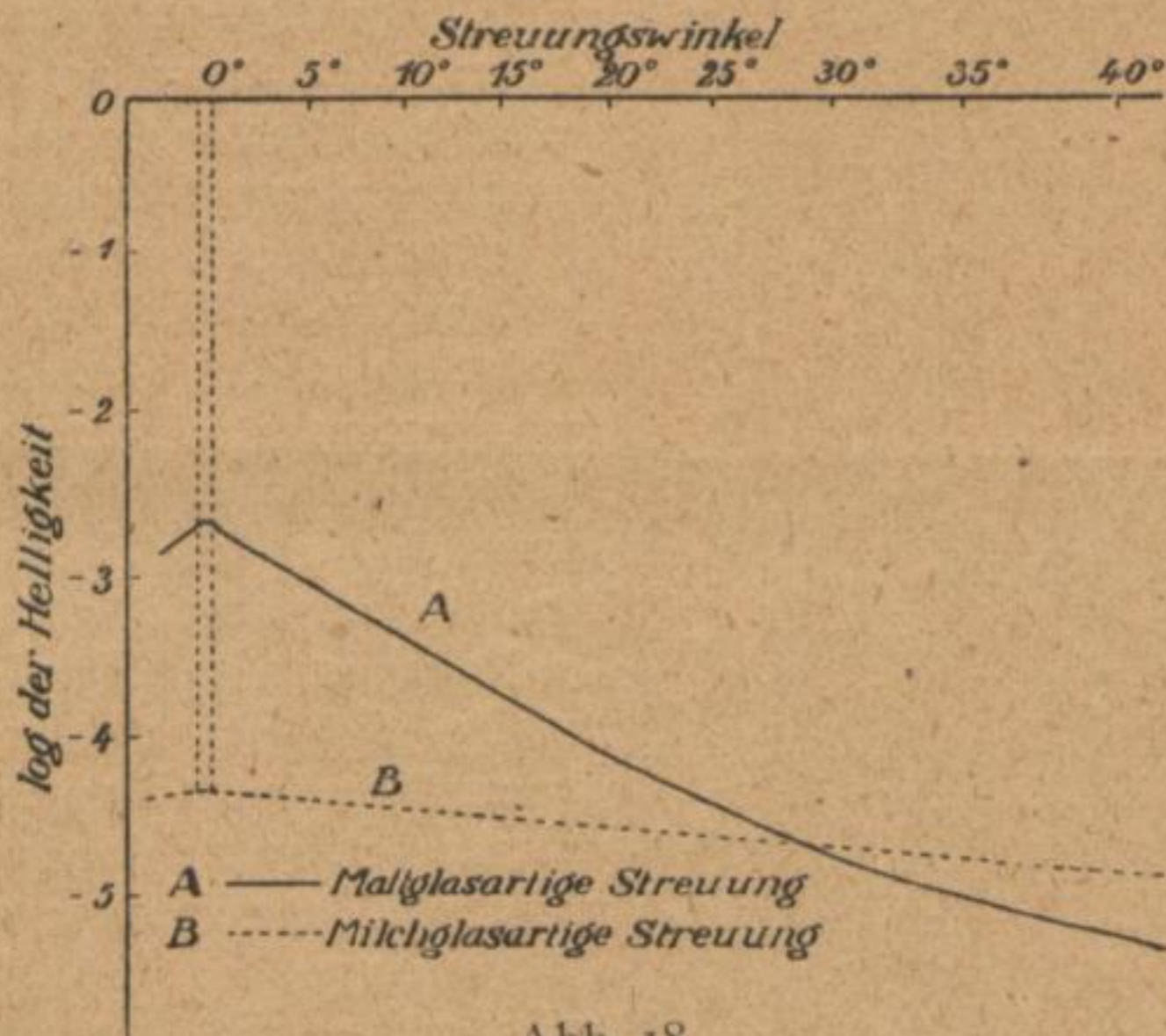


Abb. 18.

Art der lichtstreuenden Mittel läßt einen Teil der Lichtstrahlen unverändert in derselben Richtung, wie sie auffallen, durch, der andere Teil dagegen wird gleichmäßig nach allen Seiten gestreut. Zu solchen Mitteln gehören die dünnen Milchgläser und alle sogenannten opaleszierenden Schichten. Blickt man durch solch eine Schicht auf einen hellen Gegenstand, so erscheint er ebenso scharf, wie bei direkter Betrachtung. Die Schicht selbst aber leuchtet gleichmäßig in ihrer gesamten Ausdehnung.

Bei dem auf den Objektiven vorkommenden Beschlag sind genau dieselben Typen zu unterscheiden. Demzufolge kommen durch

1) Andere Darstellungsform derselben Erscheinung hat Crova angegeben. Vgl. Upperborn, Photometrie, S. 23, München 1912.

diesen Beschlag zweierlei Störungen zustande. Es kommt sehr oft vor, daß einer optischen Anstalt ein Objektiv mit der Beschwerde eingesandt wird, daß es seit einiger Zeit unscharf arbeitet, wobei es sich sofort herausstellt, daß ein Beschlag zwischen den Linsen der einzige Grund hierfür ist. Hin und wieder kommen z. B. Ansammlungen von kleinen Wassertropfen innerhalb des Objektivs vor, wenn das Instrument öfters starken Temperaturänderungen in feuchter Luft ausgesetzt ist. Opaleszierende Beschläge verursachen dagegen keine Verminderung der Bildschärfe, sondern nur einen ganz gleichmäßig über das ganze Bild lagernden Lichtschleier.

Als eine weitere Störungsursache wäre das von den Blendenrändern, Linsenfassungen und -rändern, Objektivfassung und anderen

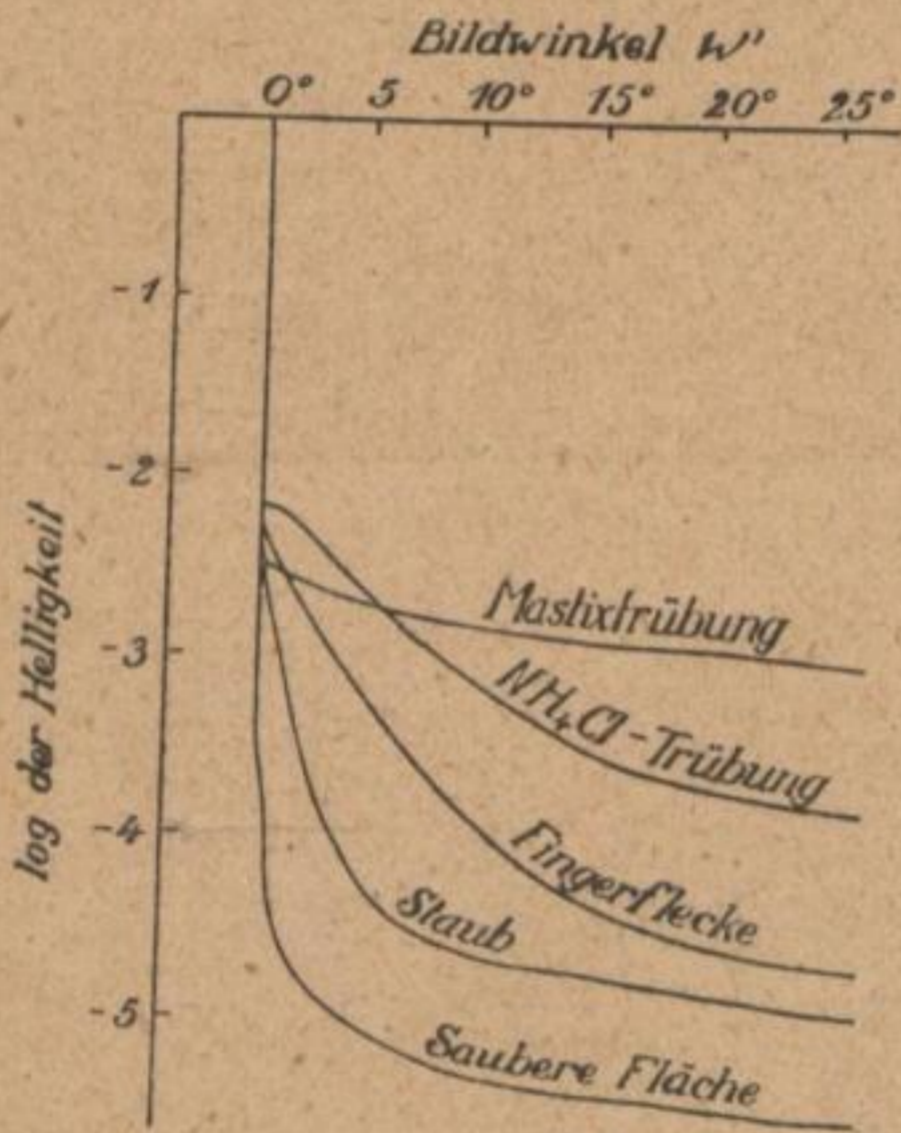


Abb. 19.

Teilen der optischen Ausrüstung reflektierte Licht zu erwähnen. Die Intensität dieses Lichtes ist im allgemeinen bei halbwegs sorgfältiger Ausführung des Objektivs gering im Verhältnis zu den durch die Reflexbilder verursachten Störungen. Diese Fehler kommen also nur dort zum Vorschein, wo die Spiegelbilder in ihrer Wirkung zurücktreten, m. a. W. bei Objektiven mit geringer Linsenzahl.

Um die Wirkung der verschiedenen äußeren Störungsursachen zu untersuchen, wurde eine Landschaftslinse, die das Minimum an Reflexlicht aufweist (1 Spiegelbildchen), mit verschiedenen Arten von Staub, Flecken, Beschlag, Politurfehlern, Kittbläschen usw. versehen und dann

die Lichtverteilung in der Plattenebene, wie oben beschrieben, festgestellt (Abb. 19). Wie zu erwarten war, entspricht die Kurve bei Fingerflecken ungefähr der Zerstreungskurve des mattglasartigen Beschlags, da die das Licht zerstreuenen Teilchen eine beträchtliche Größe haben. Je feiner die Teilchen sind, um so mehr nähert sich die Kurve der Lichtverteilung beim Milchglas (am meisten bei der außerordentlich feinkörnigen Mastixtrübung). Beim Staub muß man berücksichtigen, daß meist nur ein kleiner Teil der Glasoberfläche davon bedeckt ist und daß deshalb die Wirkung des Staubes nicht voll zur Geltung gelangt. Bei völlig verstaubten Flächen würde wohl eine mattglasartige Lichtverteilung entstehen. Es ist recht schwer (vor allem bei mehrlinsigen Objektiven) so staubfreie, saubere und hochpolierte

Linsenflächen für die Versuche über Reflexwirkungen herzustellen, daß die zuletzt beschriebenen Störungsursachen außer Betracht gelassen werden könnten. Selbstverständlich ist die durch diese Störungen verursachte Beeinflussung der ursprünglichen Lichtverteilung selten so stark, wie es aus der Abb. 19 hervorgeht, da zum Studium der Erscheinungen verhältnismäßig starke Staubschichten, Fingerflecke usw. genommen werden mußten. Immerhin überlagern sich bei einem praktisch gebrauchten Objektiv all diese Erscheinungen mit der durch die Spiegelscheibchen verursachten Störung und ergeben dann die in der Abb. 16 dargestellten typischen Kurven. Je nach der Art des Objektivs und je nach der Sorgfalt, mit der das Objektiv bei der Fabrikation und beim späteren Gebrauch behandelt wurde, wird manchmal das gespiegelte und manchmal das zerstreute Licht überwiegen.

Reflexerscheinungen bei außeraxialen leuchtenden Punkten

Bis jetzt wurden alle Ausführungen auf einen in der optischen Achse liegenden Punkt bzw. Flächenelement beschränkt. Gehen wir nun zu Erscheinungen außerhalb der optischen Achse über, so werden die Ver-



Abb. 20.

hältnisse außerordentlich viel komplizierter. Die Lichtverteilung in den früher behandelten Fällen konnte durch eine Kurve eindeutig festgelegt werden, da sie eine Symmetrieachse aufwies und durch einen durch die optische Achse gehenden Schnitt bestimmt wurde. Bei

Goldberg, Der Aufbau des photographischen Bildes.

Lichtverteilungen, die durch Reflexe im Falle einer außerhalb der Achse liegenden Lichtquelle verursacht werden, fehlt diese Symmetrieachse und ist durch eine Symmetrieebene ersetzt. Aus diesem Grunde ist eine Darstellung durch eine Kurve unmöglich und kann nur in Form einer Kurvenschar gegeben werden. Typisch für diese Kurvenschar ist, daß fast immer lokale Anhäufungen von Beleuchtung vorkommen, daß also an Stellen, die weitab von der optischen Abbildung liegen, mehr oder weniger starke Spiegelbilder oder Zerstreuungskreise (bzw. Zweiecke) entstehen. In der Abb. 20 ist ein Beispiel solcher Lichtverteilung gegeben. (An einzelnen Kreisweiecken erkennt man die eckige Form der Irisblende, die hier also als strahlenbegrenzende

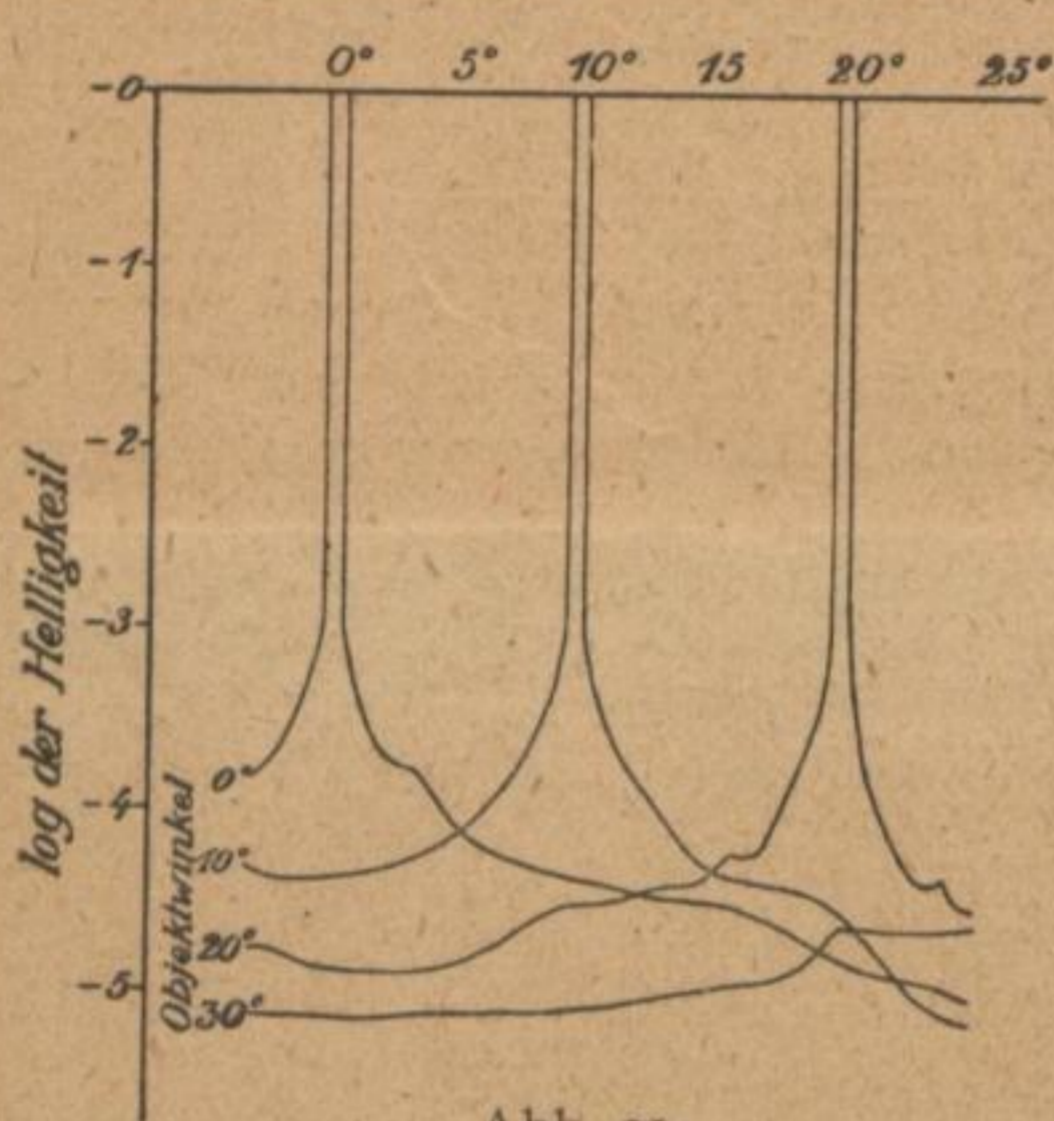


Abb. 21.

Öffnung diene.) Eine systematische Untersuchung dieser Fälle ist unmöglich. Ein typischer Fall ist in der Abb. 21 gezeigt. Aus den vielen durchgemessenen Lichtverteilungen bei solchen Aufnahmen konnte man die allgemeine Folgerung ziehen, daß im großen und ganzen die Verhältnisse ähnlich denen, die bei axialen leuchtenden Punkten auftreten, sind und daß also in erster Annäherung die dort gewonnenen Erfahrungen auch auf außeraxiale Lichtpunkte übertragen werden können.

Bei praktisch in Frage kommenden Aufnahmen sind

Störungen durch Reflexe von leuchtenden Punkten höchst selten.¹⁾ Die Kurven Abb. 16 u. 21 zeigen, daß die durch diese Störungen verursachte Beleuchtung auch in ungünstigen Fällen (nächste Nähe des leuchtenden Flächenelements, mehrlinsiges Objektiv) etwa $\frac{1}{1000}$ der Flächenhelle der primären Abbildung nicht übersteigt. Vom praktischen Standpunkt des Photographen kann diese Zusatzbeleuchtung, die als Beschränkung des Objektumfanges wirkt und einen Hof um den Punkt bzw. um das kleine Flächenelement verursacht, außer acht gelassen werden, da

1) Als ein wichtiger Fall, wo solche Reflexe große Störungen verursachen, können spektrophotographische Aufnahmen genannt werden, wo in der Umgebung von äußerst lichtstarken Spektrallinien oft solche von sehr geringer Lichtstärke nachgewiesen werden sollen. Da die Spektrographen zumeist eine sehr große Anzahl von Glasflächen ausweisen, ist die Vermeidung von Störungen äußerst schwierig.

doch laut früheren Ausführungen der wirkliche Objektumfang nur in seltenen Fällen 1:1000 übersteigt (O. U. = 3 in gewählten logarithmischen Einheiten). Solch ein Ausnahmefall ist eine Aufnahme, bei der die Sonne direkt in das Objektiv hineinscheint.

Reflexstörungen in der optischen Achse durch ausgedehnte helle Flächen

Bei den praktischen Aufnahmen kommen keine leuchtenden Punkte, sondern nur ausgedehnte helle Flächen in Betracht, die ebenfalls Störungen der beschriebenen Art verursachen können. In der Tat kann jede Fläche als aus einzelnen Punkten bestehend angesehen werden. Die Wirkung jedes einzelnen solchen Flächenelements wird aus den obigen Ausführungen klar sein. Alle Einzelwirkungen summieren sich zu einer Gesamtwirkung, die bei Kenntnis der einzelnen Lichtverteilungskurven aus diesen zu ermitteln wäre. Versuche, diese Summation auszuführen, schlugen fehl infolge der bereits angedeuteten Kompliziertheit der Verhältnisse außerhalb der optischen Achse. Man mußte sich deshalb auf die experimentelle Ermittlung der bereits summierten Wirkung einer größeren Fläche beschränken.

Je nach der Größe und Lage der leuchtenden Flächen sind auch die Wirkungen verschieden. Man kann hier verschiedene Fälle hervorheben. Der wichtigste Fall ist eine leuchtende Hemisphäre, deren Symmetrieachse mit der optischen Achse des Objektivs zusammenfällt. Hier ist das Maximum an Reflexlicht im Objektiv erreicht, da Strahlen unter allen denkbaren Winkeln in dasselbe einfallen. Um unter diesen Bedingungen die Stärke des Reflexlichtes zu messen, wurde die folgende Einrichtung angewandt.

In der Abb. 22 ist ein halbkugelförmiger Schirm *a*, der innen rein matt weiß gestrichen ist, dargestellt. An dem Pol dieses Schirmes ist radial ein kleines Rohr *b* befestigt, das innen mit schwarzem Samt ausgelegt und mit einer Reihe von schwarzen Blenden ausgefüllt ist. Das Rohr wirkt als „schwarzer Körper“. Aus seinem Innern wird keine in Betracht kommende Lichtmenge zurückgeworfen. Im Zentrum der Halbkugel ist eine Befestigungsvorrichtung für das zu untersuchende Objektiv *o* angebracht. Rings um das Objektiv ist eine Reihe von 100kerzigen Glühlampen *g* in Form eines Kranzes derart angebracht, daß keine direkten Strahlen von den Lampen in das Objektiv gelangen können. Die ganze Anordnung wurde in einer

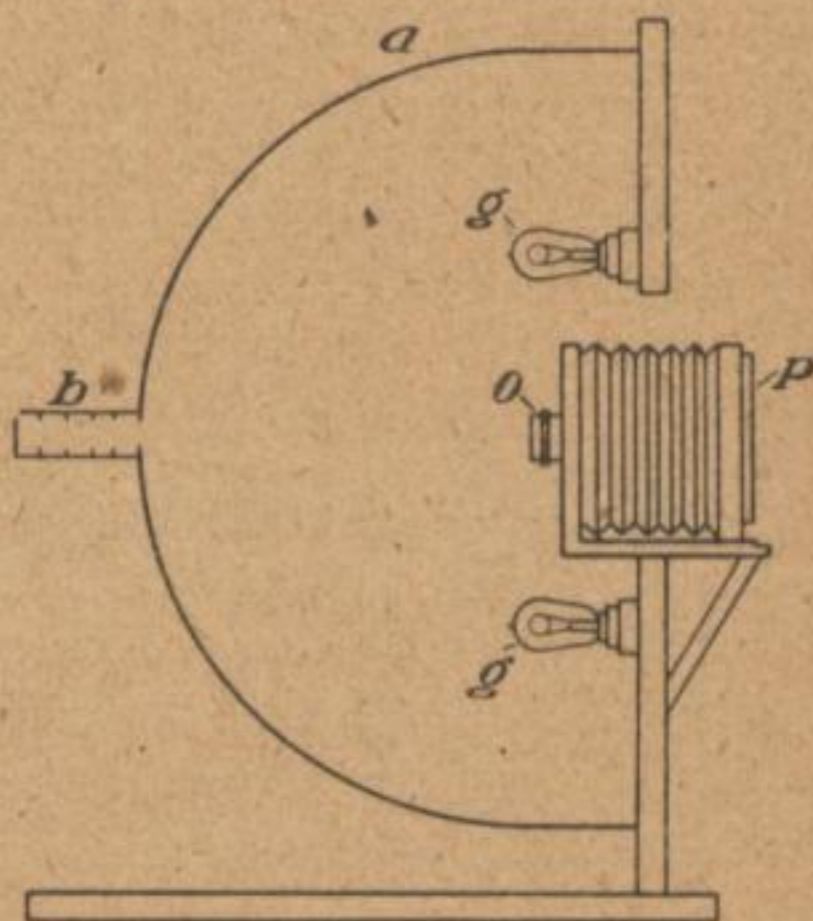


Abb. 22.

Dunkelkammer aufgestellt. Wird eine photographische Platte p in der M. E. des Objektivs außerhalb der Halbkugel so angebracht und beleuchtet, daß auf ihr eine scharfe Abbildung des schwarzen Körpers entsteht, so müßte die Abbildung der runden Öffnung des schwarzen Körpers bei einem reflex- und beschlagfreien Objektiv, also im idealen Falle, auf dem entwickelten Negativ auch bei der längsten Exposition vollkommen klar bleiben. Ist diffuses Licht infolge der Reflexe oder infolge eines Beschlags vorhanden, so erhält diese Stelle der Platte einen Schleier, dessen Stärke allerdings auch von der Belichtungszeit, der Empfindlichkeit der Platte, der Lichtstärke der das Innere der Halbkugel beleuchtenden Lampen abhängig ist. Da aber nicht nur der schwarze Körper, sondern auch seine hell erleuchtete Nachbarschaft auf derselben photographischen Platte zur Abbildung gelangt, so wirken sämtliche zuletzt genannten Veränderlichen auch auf die Schwärzung der dem schwarzen Körper benachbarten Teile der photographischen Abbildung. Das Verhältnis zwischen der Stärke des Reflexlichtes und der Flächenhelle des Schirminnern bleibt konstant und ist unabhängig von der absoluten Stärke der Beleuchtung. Es gilt also die Formel $R = \lg \frac{J_s}{J_r}$,

wo J_r die Helligkeit der durch die Reflexe verursachten Beleuchtung, J_s die Helligkeit der ihm benachbarten hell erleuchteten Schirmteile bedeutet. R ist die gesuchte Zahl, die das Gesamtmaß für die Objektivreflexe und das vom Beschlag herrührende Licht ergibt und als „Brillanz“ des Objektivs bezeichnet werden soll. Wie in allen bisher zahlenmäßig behandelten Erscheinungen ist auch hier die logarithmische Darstellung gewählt, um Anschluß an andere Zahlenreihen zu gewinnen.

Bei der praktischen Durchführung der Versuche über Brillanz der Objektive wurde auf der einen Hälfte einer empfindlichen Platte der auf dem Pol der weißen Halbkugel befindliche schwarze Körper nebst einem kleinen Teil der weißen Umgebung abgebildet und auf der anderen Hälfte nachträglich ein Keil, dessen Endpunkte den Lichtintensitäten 1 und 1000 entsprachen, aufkopiert. Diese Methode entspricht prinzipiell dem von Hurter und Driffield¹⁾ angewandten Verfahren der photographischen Photometrie mit dem Unterschiede, daß die Skala bei Hurter und Driffield mit Hilfe einer rotierenden Sektorenscheibe auf die Platte aufkopiert wurde. Das Aufkopieren eines Keiles ist einfacher und einwandfreier, da die durch intermittierende Beleuchtung verursachten Störungen wegfallen und eine reine Intensitätenskala zur Anwendung gelangt (vgl. auch S. 29).

Im Gegensatz zu den in den weiteren Tabellen mitgeteilten Zahlen eignen sich die mit der eben beschriebenen Anordnung er-

1) Vgl. Anmerkung auf Seite 51.

haltenen Zahlen zur Kennzeichnung der durch Reflexe bei einem bestimmten Objektivtyp verursachten Störungen. Diese Zahlen können demgemäß als „spezifische Brillanz“ bezeichnet werden.

Tabelle 5.

Spezifische Brillanz der Objektive (in logar. Einheiten).
Hemisphäre als leuchtende Fläche.

Objektivtypus	Konstruktion nach Tabelle 4	Spez. Brillanz
Landschaftslinse 1/6,8	a	2,2
Doppelanastigmat verkittet 1/6,8	b	1,8
Triplet (Cookelinse) 1/6,8	c	1,5
Unverkittetes Anastigmat vierlinsig 1/6,8	d	1,2
Unverkitt. Anastigmat vierlins. m. Filt. 1/6,8	—	1,0

Mit Hilfe der Anordnung Abb. 22 konnte auch der Einfluß der einzelnen Zonen der leuchtenden Hemisphäre untersucht werden. Zu diesem Zwecke wurden einzelne Zonen so ausgeblendet, daß nur von ihnen das Licht ins Objektiv gelangte. In der Tabelle sind die Zonen und Breitengrade einer Kugel angegeben, deren Rotationsachse mit der optischen Achse des Objektivs zusammenfällt. Man erkennt daraus, daß bei mehrlinsigen Objektiven der Einfluß der von der optischen Achse entfernt liegenden Zonen sehr gering ist und daß in der Hauptsache die Zonen $75^{\circ} - 90^{\circ}$ die Verschleierung des Bildes verursachen.

Tabelle 5a.

Brillanz der Objektive in der optischen Achse bei verschiedener Ausdehnung der beleuchtenden achsensymmetrischen Fläche (in logar. Einheiten).

Ausdehnung der Fläche in Breitengraden	Anzahl der freistehenden Linsen im Objektiv (abgeblendet auf $1/12$)			
	1	2	3	4
$0^{\circ} - 90^{\circ}$	2,35	1,9	1,6	1,4
$60^{\circ} - 90^{\circ}$	2,35	1,95	1,65	1,4
$75^{\circ} - 90^{\circ}$	2,4	2,0	1,7	1,5
$83^{\circ} - 90^{\circ}$	2,5	2,3	1,9	1,8
$86^{\circ} - 90^{\circ}$	2,6	2,5	2,1	2,0
$88^{\circ} - 90^{\circ}$	2,7	2,6	2,3	2,3

Als ein wichtiger Fall wurde die Wirkung der äußersten Zone (Breitengrade $0^{\circ} - 30^{\circ}$) besonders untersucht. Zu diesem Zwecke wurde das Objektiv statt mit einer Halbkugel mit einem hellen Ring umgeben, der dieser Zone entsprach, und abends im Freien so aufgestellt, daß das Objektiv nach dem dunklen Himmel gerichtet war

(Abb. 23). Da bei einigermaßen klarer Luft die Rückstrahlung der Atmosphäre verschwindend gering ist, wurde auf diese Weise ein einwandfreier schwarzer Körper von großer Ausdehnung gegeben, der sonst sehr schwer herzustellen ist. Die Versuche mit dieser Anordnung haben ergeben, daß bei dieser seitlichen Beleuchtung auch in ungünstigen Fällen (Objektiv mit vier freistehenden Linsen)

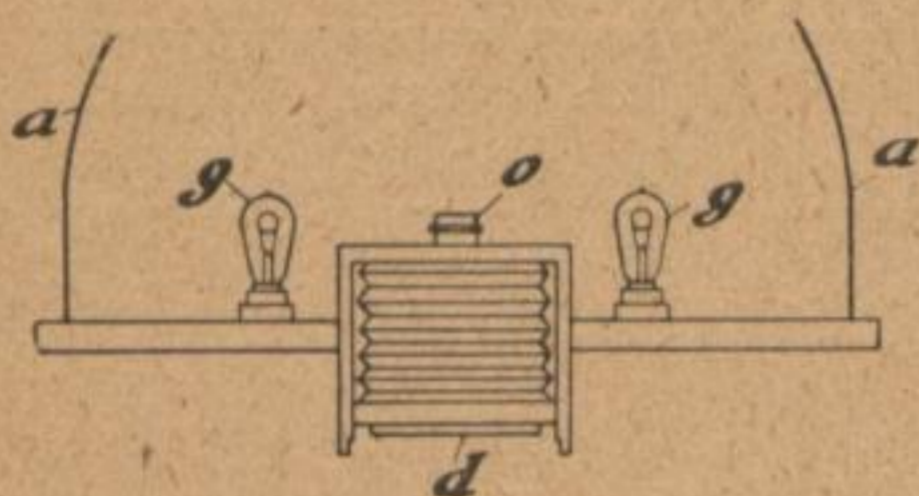


Abb. 23.

Objektivbrillanz von 3,3 vorhanden ist. Der durch die Beleuchtung hervorgerufene Lichtschleier hat also im ganzen eine Helligkeit von $\frac{1}{2000}$ der Flächenhelle des leuchtenden Ringes. Diese Versuche zeigen, daß im allgemeinen die „Sonnenblende“ so gut wie gar keinen Einfluß auf die Brillanz des Objektivs hat. Deren Bedeutung liegt fast ausschließlich

im Fernhalten der Balgenreflexe. Nur dort, wo die Flächenhelle des abzubildenden Objekts außerordentlich klein gegenüber der Flächenhelle des als Lichtquelle dienenden Himmels ist (Aufnahmen von schwarz gekleideten Personen im Atelier), kann die Sonnenblende von Wichtigkeit sein. Auch zur Vermeidung von Störungen in den Fällen, wo die Sonne direkt in das Objektiv scheinen kann, wenn also die Bezeichnung „Sonnenblende“ zu Recht besteht, kann sie mit Vorteil angewendet werden.

Störungen außerhalb der optischen Achse durch ausgedehnte helle Flächen

Bis jetzt wurden nur die Störungen in der optischen Achse untersucht. Um über die Störungen durch Reflexlicht außerhalb der optischen Achse eine Anschauung zu gewinnen, mußte man sich auf einzelne wichtige Fälle beschränken, da sonst die außerordentliche Verschiedenheit der Versuchsbedingungen jeden allgemeinen Schluß unmöglich machen würde. Die beiden wichtigsten Fälle sind: erstens eine Aufnahme, bei der die Lichtverteilung im Naturobjekt ziemlich gleichmäßig ist; zweitens eine solche, bei der ein größerer Teil des Gesichtsfeldes so bedeutend heller, als der übrigbleibende, ist, daß der letztere außer acht gelassen werden kann. Der erste Fall kommt z. B. bei Fliegeraufnahmen, Architekturaufnahmen, Reproduktionen von großen Zeichnungen vor, der zweite dagegen bei gewöhnlichen Landschaftsaufnahmen.

Bei Naturobjekten mit gleichmäßiger Lichtverteilung konnte man die Beschränkung des Objektumfanges außerhalb der optischen Achse durch Reflexlicht usw. mit Hilfe der oben beschriebenen weißen Halbkugel (Abb. 22) untersuchen, indem man an Stelle des kleinen

schwarzen Körpers einen vom Pol bis zum Äquator sich erstreckenden Schlitz, der als schwarzer Körper diente, anbrachte. Die durch das Reflexlicht usw. verursachte Aufhellung des Schlitzbildes wurde, wie früher, photographisch gemessen und in Beziehung zur Helligkeit der dicht benachbarten Stellen der Halbkugel gebracht. Hierbei stellte es sich heraus, daß die Wirkung des Reflexlichtes ziemlich gleichmäßig über das ganze Bildfeld sich erstreckt, soweit Winkel bis zu 30° seitlich der optischen Achse in Betracht kommen (Gesamtbildwinkel = 60°). Bei den weitaus meisten Aufnahmen kommen größere Winkel nicht in Betracht. Der geringe Abfall des Reflexlichtes erreicht auch in ungünstigen Fällen kaum 0,2 in den gewählten logarithmischen Einheiten.

Reflexstörungen durch das Himmelslicht bei Außenaufnahmen

Die zweite hervorgehobene Objektart, bei der ein Teil der Fläche bedeutend heller als der andere ist, entspricht den photographischen Aufnahmen außerhalb des geschlossenen Raumes und ist besonders wichtig, da wohl die weitaus meisten Aufnahmen zu dieser Klasse gehören. Auch hier muß man, um zu bestimmten Folgerungen zu kommen, eine Vereinfachung eintreten lassen. Bei Außenaufnahmen wird man fast immer finden, daß ein größerer Teil des Bildes vom Himmel eingenommen wird und daß der andere Teil eine Flächenhelle von (im Mittel) nicht über etwa 20% der Himmelselligkeit hat (Häuser, Wald, Personen usw.). Die vom Himmel auf dem Bilde eingenommene Fläche ist sehr verschieden. Im Grenzfall nimmt der Himmel genau die Hälfte des Bildes ein, der Horizont schneidet also die optische Achse. Ein größerer Anteil des Himmels kommt sehr selten vor, da die Aufnahmen dann ästhetisch ungünstig wirken. Einen geringeren Anteil dagegen findet man oft bei photographischen Aufnahmen, doch wirkt bei allen Aufnahmen außerhalb des Hauses ein Stück des Himmels mit, auch wenn dieser auf dem späteren Bilde überhaupt nicht erscheint.

Der eben beschriebene Fall wurde nun genau untersucht mit Hilfe einer Vorrichtung, die der früher benutzten Anordnung Abb. 22 entspricht mit dem Unterschiede, daß statt einer Hemisphäre ein räumlicher Quadrant als lichtgebende Fläche genommen wurde. Dieser Quadrant wurde abends im Freien aufgestellt, so daß als zweiter Quadrant und zugleich als schwarzer Körper der freie Raum (der dunkle Himmel) wirkte (Abb. 24). Diese Anordnung entspricht den wirklichen photographischen Aufnahmen einer

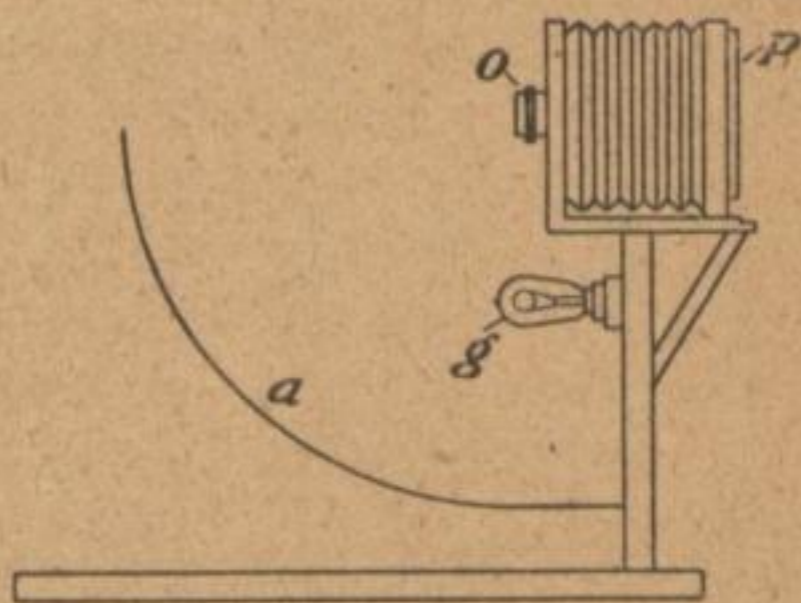


Abb. 24.

offenen Landschaft mit dem Unterschiede, daß in der Natur der Himmel die helle Fläche, der Boden die dunkle darstellt, während in der gegebenen Versuchsanordnung der nächtliche Himmel als dunkle Fläche, das beleuchtete Objekt als helle Fläche fungiert.

Es wurden dieselben Versuchsreihen wiederholt, die früher mit der leuchtenden Hemisphäre angestellt wurden. In der Tabelle 6 (Seite 42) sind die Ergebnisse dargestellt. Die Zahlen bedeuten,

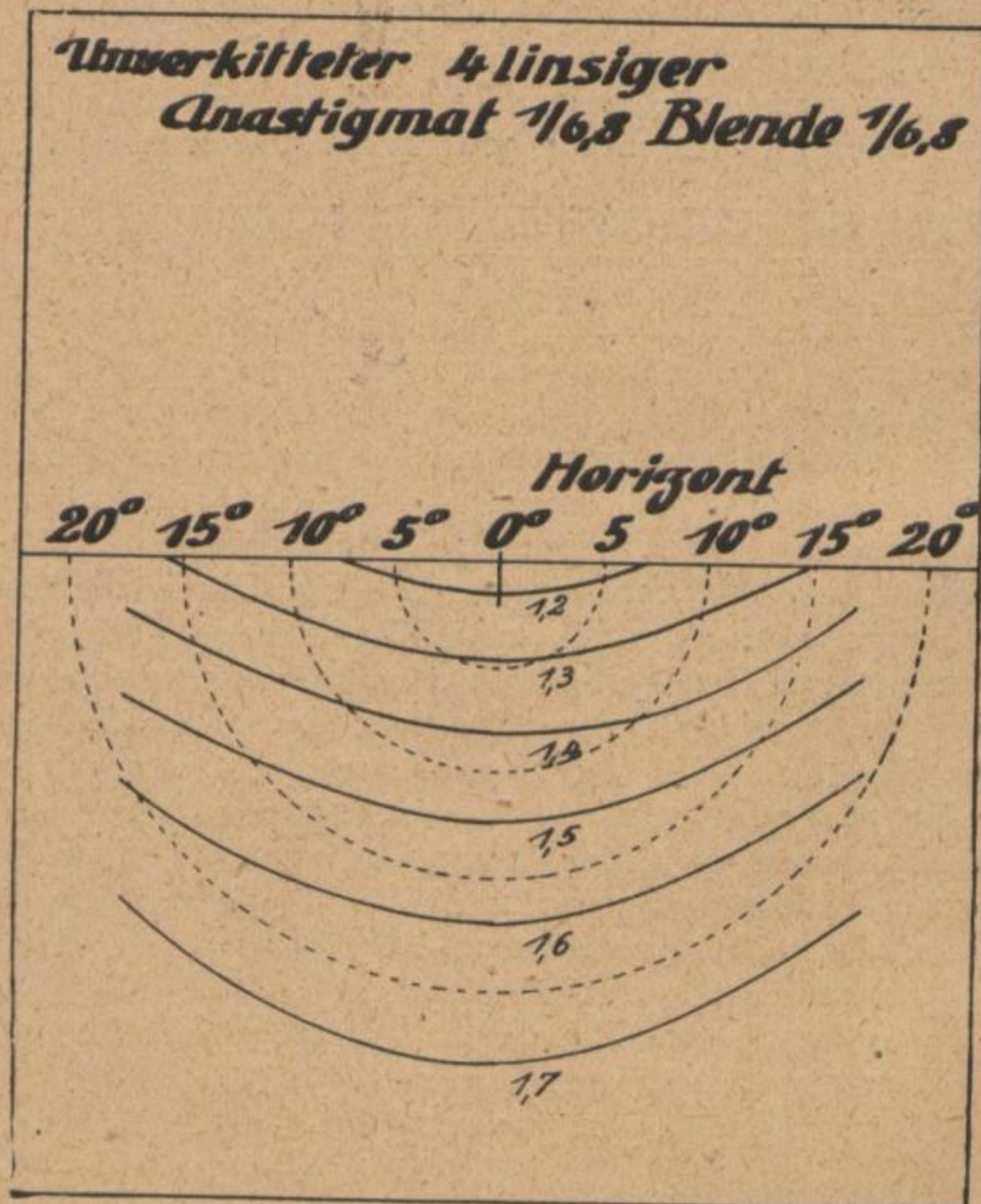


Abb. 25.

wie immer, die Logarithmen des Helligkeitsverhältnisses an den Plattenstellen, die dem leuchtenden bzw. dem schwarzen Quadrant entsprachen. Da für die photographische Aufnahme nicht nur die Gegend um die optische Achse, sondern die gesamte Plattenoberfläche gleich wichtig sind, wurde die Untersuchung auf diese Bildteile ausgedehnt. In der Tabelle 6 sind außer den für die optische Achse (also für die unmittelbare Nähe des Horizontes) geltenden Zahlen auch solche für einige

andere Bildwinkel angegeben. Die Zahlen gelten für den betreffenden Bildwinkel, gemessen in einer Ebene, die die optische Achse senkrecht zum Horizont schneidet. Bei großen Blenden ist der Abfall des Reflexlichtes mit der Entfernung vom Horizont nicht sehr stark. In der Abb. 25 ist eine typische Lichtverteilung dargestellt. Die ausgezogenen Kurven sind Kurven gleicher Brillanz. Die gestrichelten Halbkreise geben den Winkel gegenüber der optischen Achse (0°) an.

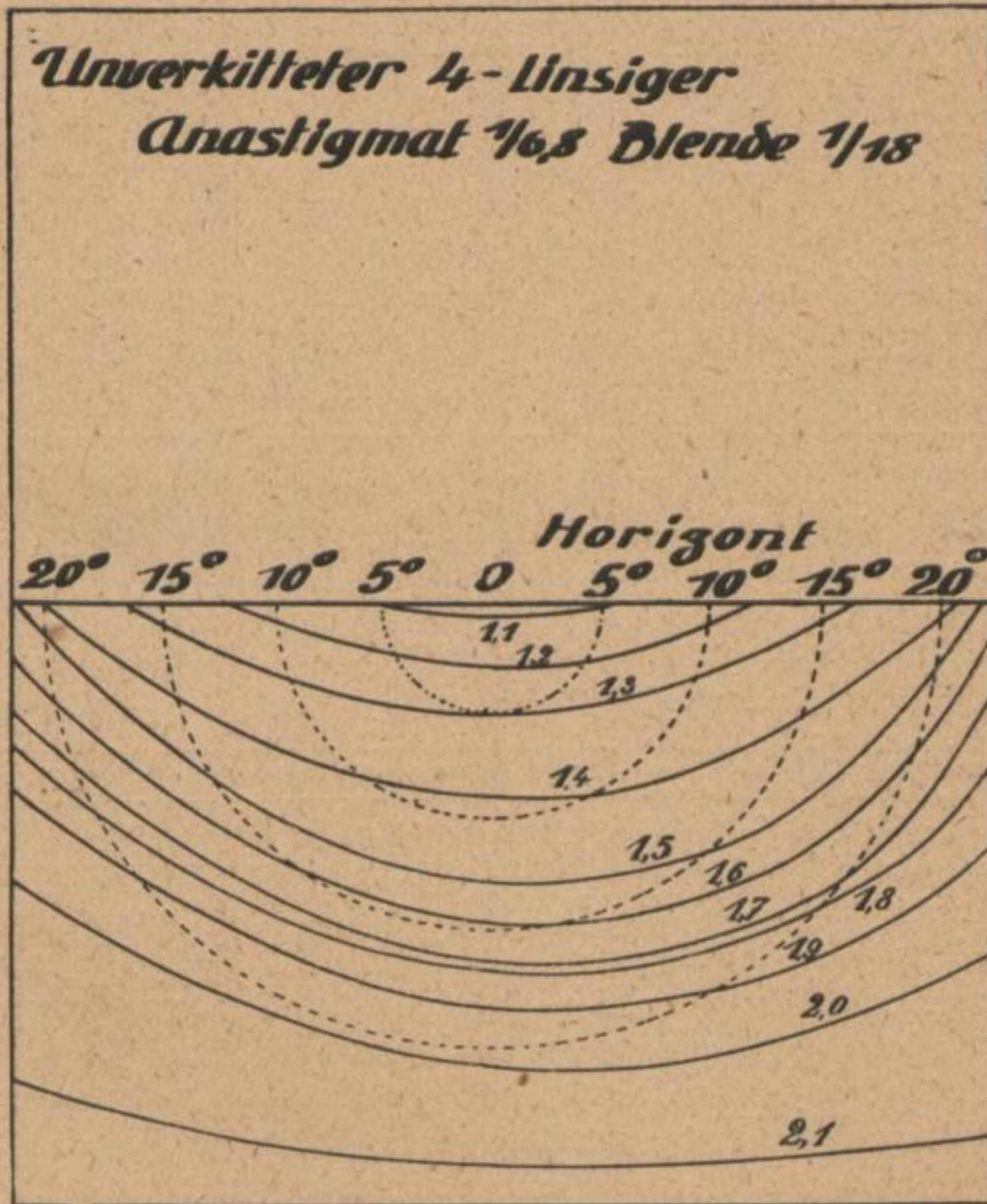


Abb. 26.

Bei kleinen Blenden tritt (besonders bei mehrlinsigen Objektiven) eine Vignettierung der Reflexbilder durch die Blende ein. Die Mitte des Bildes erhält bedeutend mehr Reflexlicht als die Ränder. Bei manchen Objektiven sind die entstehenden Zerstreungsbilder der Blende so ausgeprägt, daß ein scharfer Abfall der Helligkeit von der Mitte zum Rand entsteht. In der Abb. 26 ist die Lichtverteilung in solch einem Falle dargestellt.

Tabelle 6.
Brillanz der Objektive.
Kugelquadrant als leuchtende Fläche.

Bildwinkel	0°	10°	20°	30°
Landschaftslinse				
1/6,8 ohne Fassung	2,3	2,5	2,6	2,8
mit Vorderblende 1/12	2,0	2,1	2,0	1,9
Doppelanastigmat 1/6,8 verkittet				
Blende 1/6,8	2,0	2,1	2,2	2,3
Blende 1/18	1,9	2,0	2,3	2,7
Triplet (Cooklinse) 1/6,8				
Blende 1/6,8	1,6	1,7	1,8	1,9
Blende 1/18	1,5	1,8	2,0	2,1
Unverkitt. Anastigmat 1/6,8				
Blende 1/6,8	1,3	1,4	1,6	1,8
Blende 1/18	1,1	1,3	1,8	2,2
Blende 1/6,8, mit Filter	1,2	1,3	1,5	1,6
Landschaftslinse 1/6,8				
sauber	2,3	2,5	2,6	2,8
mit großem Fingerfleck	1,6	2,4	2,6	2,7
bestaubt	1,6	2,0	2,2	2,2
mit schwachem Beschlag	1,5	1,7	2,0	2,2
mit starkem Beschlag	1,2	1,0	1,7	1,7

Die Objektivkonstruktionen sind aus der Tabelle 4 ersichtlich.

Störungen durch Reflexe vom Kamerabalgen und der Linsenfassung

Eine weitere Ursache von Störungen besteht im Licht, das von den Fassungen des Objektivs und vom Balgen der Kamera reflektiert wird und, genau wie oben beschrieben, eine Verschleierung der Platte bzw. Einschränkung des Objektumfanges verursacht. Auch hier wurden mehrere typische Fälle mit Hilfe der oben beschriebenen leuchtenden Hemisphäre bzw. Kugelquadranten durchgemessen. Es hat sich, selbst in sehr ungünstigen Fällen, herausgestellt, daß das von der mattschwarz lackierten Fassung und von den Blendenrändern reflektierte Licht etwa $\frac{1}{80}$ der Helligkeit des Kugelquadranten nicht übersteigt. In den meisten Fällen geht es nicht über $\frac{1}{100}$ dieser Helligkeit, tritt also zum Vorschein in der Hauptsache beim Gebrauch der Einzellinsen, deren Brillanz an sich sehr groß ist. Das von den Fassungen zerstreute Licht äußert sich auf den Rändern des Bildes stärker als in der Mitte; da im letzteren Falle die zylindrischen Fassungen nur stark perspektivisch verkürzt sichtbar und dementsprechend wenig wirksam sind. So erklärt sich die in der Tab. 6 enthaltene Anomalie bei der Landschaftslinse. Während bei allen untersuchten Objektiven die Verschleierung des Bildes nach dem Rand zu abnahm, stieg sie bei der Landschaftslinse in ausgesprochener Weise.

Das vom konischen Balgen einer 9×12 -Klappkamera reflektierte Licht ist sehr schwach. Die dadurch verursachte Beleuchtung der Platte betrug in den untersuchten Fällen etwa $\frac{1}{300}$ der Helligkeit des Kugelquadranten. Es braucht also nur bei Einzellinsen in Betracht gezogen zu werden, da es bei zusammengesetzten Objektiven im Vergleich zur Stärke des von den Linsen zerstreuten Lichtes gering ist. Anders ist die Sachlage bei sogenannten Stiefelbalgen und Kastenkameras.

Ausnutzbarer Objektumfang (A. O. U.) Das Reflexlicht und die damit verbundene Verringerung der Brillanz des Objektivs wirkt auf das bei der Aufnahme entstehende Bild genau in der Weise, wie das Luftlicht. Nur muß man berücksichtigen, daß, während das Luftlicht mit der Entfernung des Objekts von dem Standpunkt der photographischen Kamera wächst, das Reflexlicht eine von Fall zu Fall verschiedene Verteilung auf der Platte aufweist, die in der Hauptsache von der Lage der hellsten Stelle im Objekt abhängig ist. Beide Störungsursachen haben jedenfalls die Wirkung, daß, entsprechend den Ausführungen der Seite 19, die Schatten des Bildes mit einem Lichtschleier bedeckt werden und daß die Schattendetails verschwinden. Damit ist aber eine Verringerung des Objektumfanges verbunden. Man kann den durch das Luftlicht und das Reflexlicht vom Objektiv und Balgen verringerten Objektumfang als „ausnutzbaren Objektumfang“ (A.O.U.) bezeichnen. Für die Größe des A.O.U. sind die in den Tabellen 2, 4, 5, 6 mitgeteilten Zahlen unter Berücksichtigung der Besonderheiten des einzelnen Falles maßgebend.

Kapitel 4. Photometrische Eigenschaften von verschiedenen Objektarten.

Die oben mitgeteilten Messungen und Feststellungen sind mit dem Zwecke ausgeführt worden, die für die Beurteilung einer photographischen Aufnahme nötigen zahlenmäßigen Angaben über das „Naturobjekt“ zu erhalten.

Man muß hierbei zwei Aufgaben unterscheiden: Einerseits können die photometrischen Bedingungen ermittelt werden, denen ein „Durchschnittsobjekt“, also ein Objekt, das der größeren Anzahl der praktisch vorkommenden photographischen Aufnahmen entspricht, genügen muß.

Andererseits kann man die Grenzfälle untersuchen und feststellen, welche photometrischen Eigenschaften solche Objekte haben, deren photographische Wiedergabe besonders schwierig ist, und welche Möglichkeiten überhaupt für solche Wiedergabe vorhanden sind.

Normalobjekt Es ist zweifelhaft, welche von diesen beiden Objektarten als „Normalobjekt“ anzusehen ist, d. h. als ein Objekt, das zur Beurteilung eines bestimmten photographischen Verfahrens (z. B.

zur Prüfung einer Plattensorte) heranzuziehen ist. Die Lösung dieser Frage ist nicht einfach und wird wohl eine Auffassungssache bleiben. Die Ansicht des Verfassers geht dahin, daß zur Beurteilung der Empfindlichkeit der Platte das Durchschnittsobjekt heranzuziehen ist, während zur Beurteilung der sonstigen Eigenschaften (Detailwiedergabe, Gradation usw.) ein passender Grenzfall oder Spezialfall berücksichtigt werden muß, da für Wiedergabe des „Durchschnittsobjekts“ fast jede Platte ohne Ausnahme genügen wird.

Spezialfälle von photographischen Aufnahmen

kommen z. B. in Frage:

Als solche Spezialfälle

Porträtaufnahmen.

Der wahre Objektumfang ist sehr groß, wenn man die beschatteten Teile der Kleidung usw. mit in Betracht zieht. Da die Aufnahmen fast immer bei Atelierbeleuchtung stattfinden, wobei von oben und von der Seite der Himmel als reflexgebende Fläche wirkt, so müssen Vorsichtsmaßregeln getroffen werden, um die Einschränkung des ausnutzbaren Objektumfanges (A. O. U.) zu vermeiden. Es werden deshalb Vorbauten (erweiterte Sonnenblenden) vor dem Objektiv angewandt, um das falsche Licht von oben möglichst abzublenden. Die Einschränkung der Zahl der Flächen beim Objektiv unter sechs ist beim heutigen Stand der Technik nicht durchzuführen, da dann die optischen Konstruktionen entweder zu lichtschwach oder zu ungenügend in bezug auf Schärfe des Bildes werden.

Das Luftlicht spielt bei Porträtaufnahmen naturgemäß gar keine Rolle, da die Entfernungen zu kurz sind.

Der subjektiv empfundene Objektumfang (S. O. U.) ist oft sehr groß. Schon in der Kleidung der aufzunehmenden Person kommen Unterschiede von über 2,0 vor (helle Damenblusen, dunkle Samtröcke). Bei Aufnahmen im Zimmer erhöht oft der dunkle Hintergrund sogar diesen an sich hohen Wert.

Innenaufnahmen von Räumen, Aufnahmen von Maschinen u. dgl.

Der S. O. U. ist außerordentlich groß und beträgt etwa 3,0 bis 4,0, wenn schwarz lackierte Teile nebst glänzenden Beschlägen vorkommen.

Der A. O. U. ist noch größer, da weder die mangelnde Brillanz des Objektivs noch das Luftlicht irgendwie beschränkend auftreten.

Reproduktionen von Zeichnungen und Gemälden.

Der wahre Objektumfang ist nicht hoch und erreicht im Grenzfall die auf der Seite 11 angegebenen Albedowerte (bei Photographien ca. 0,8 — 1,2, bei Gemälden ca. 1,0 — 1,5). Bei ungünstiger

Beleuchtung (wenn das von der Oberfläche des Originals regelmäßig gespiegelte Licht das photographische Objektiv erreicht, vgl. Seite 11) bleibt der A. O. U. ganz bedeutend unterhalb dieser Werte.

Der A. O. U. wird durch mangelnde Brillanz des Objektivs manchmal eingeschränkt, jedenfalls kann die Wiedergabe dadurch in Mitleidenschaft gezogen werden, daß das zu reproduzierende Original sich in heller Umgebung befindet (z. B. auf einem hellen Reißbrett befestigt ist). Eine starke Beschränkung des A. O. U. verursachen oft die verglasten Bilderrahmen, in denen sich andere Gegenstände des Aufnahmeraumes spiegeln.

Der S. O. U. kommt nicht in Betracht, da bei der Reproduktion fast immer eine möglichst naturgetreue Wiedergabe des Originals verlangt wird.

Gerichtliche Aufnahmen.

Der wahre Objektumfang ist oft außerordentlich klein (0,1 und darunter). Die Brillanz des Objektivs spielt selten eine Rolle, das Luftlicht kommt niemals in Frage.

Der S. O. U. ist unwichtig, da es fast immer darauf ankommt, den S. O. U. zu überschreiten und solche Einzelheiten wiederzugeben, die vom menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden können.

Senkrechte Fliegeraufnahmen.

Der wahre Objektumfang ist in der Hauptsache durch das Luftlicht begrenzt und erreicht nur in Ausnahmefällen höhere Werte als 1,0.

Bei den meisten praktischen Aufnahmen vom Flugzeug aus ist der ausnutzbare Objektumfang nicht höher als 0,6.¹⁾ Die Brillanz der Objektivs kommt bei Fliegeraufnahmen kaum jemals in Betracht, da der Himmel niemals zur Wirkung gelangt und nur die mittlere Bodenflächenhelligkeit berücksichtigt werden muß. Diese trägt aber nur in Ausnahmefällen so viel, daß sie den Einfluß des Luftlichtes überwiegen kann. Die zumeist angewandten sechsflächigen Objektivs haben eine spezifische Brillanz von etwa 1,5 (vgl. Seite 37), also einen Wert, den die Klarheit der Luft bei größeren Höhen des Flugzeuges nur selten erreichen wird.

Der subjektiv empfundene Objektumfang kommt überhaupt nicht in Frage. Es handelt sich vielmehr darum, den gesamten ausnutzbaren Objektumfang möglichst detailreich auf der Aufnahme wiederzugeben.

Ballonaufnahmen und schräge Flugzeugaufnahmen.

Der W. O. U. kann bei guter Sicht ziemlich große Werte erreichen (bis etwa 1,5).

1) Nach privaten Angaben von Prof. Luther.

Begrenzend wirkt hier beim Hintergrund das Luftlicht, beim Vordergrund dagegen die mangelnde Brillanz des Objektivs, die ihre Ursache darin hat, daß hier im Gegensatz zu senkrechten Flugzeugaufnahmen der Himmel als reflexgebende Fläche eine Rolle spielt (vgl. hierzu Abb 25 und 26). Die Aufnahme muß imstande sein, einen Objektumfang bis zu 1,5 wiederzugeben.

Auch hier kommt nicht der S. O. U., sondern nur der ausnutzbare Objektumfang in Frage.

Landschaften mit Vordergrund und Aufnahmen im Freien.

Der wahre Objektumfang kann außerordentlich hohe Werte erreichen, falls dunkle beschattete Gegenstände im Vordergrund sich befinden. Werte bis zu 3,0 sind durchaus keine Seltenheit, wenn man die Wolken am Himmel als zum Bilde gehörend ansieht.

Der A. O. U. ist von der Art des Objektivs und der Stärke des Luftlichtes abhängig. Diese beiden Ursachen bewirken eine Verringerung des A. O. U. auf etwa 1,0 bis 2,0, je nachdem ob sonnenbeschienene Gegenstände auf dem Bilde erscheinen oder nicht. Der Wert von 1,7 kann als Durchschnittswert für A. O. U. bei Landschaften mit Vordergrund angenommen werden.

Der S. O. U. ist dagegen immer durch Blendungserscheinungen begrenzt, da die große Himmelsfläche störend auf das Auge einwirkt. Ist keine Sonnenbeleuchtung vorhanden und kommen keine großen zusammenhängenden dunklen Flächen vor, so kann man als Durchschnittswert für den S. O. U. etwa 1,0 bis 1,5 annehmen. Sonnenbeleuchtung erhöht den S. O. U. je nach der Tages- und Jahreszeit um etwa 0,2 bis 0,6, beschattete dunkle Flächen verursachen eine weitere Erhöhung um etwa 1,5, so daß auf diese Weise Werte bis 3,0 entstehen, die sich weiter erhöhen, falls Personen in weißer Kleidung auf dem Bilde vorkommen.

Offene Landschaften.

Der wahre Objektumfang ist selbstverständlich, wie bei allen räumlich ausgedehnten Gegenständen, außerordentlich groß.

Der A. O. U. ist dagegen sehr stark durch das Luftlicht und mangelnde Objektivbrillanz eingeschränkt und sinkt meist etwa auf 1,0, wenn die Wolken am Himmel als Teil des Bildes in Frage kommen. Braucht man auf die Wolken keine Rücksicht zu nehmen, so sinkt der A. O. U. auf etwa 0,5 bis 0,7.

Der S. O. U. bleibt selten unter diesen Werten. Obwohl die Blendung stark einschränkend wirkt, wird trotzdem die Größe des A. O. U. fast immer erreicht.

Die über die verschiedene Art und Größe des Objektumfanges mitgeteilten Zahlen können in der folgenden Weise graphisch veranschaulicht werden.

Man kann die ganze Skala der Gesichtsempfindungen als Ordinate so angeordnet denken, daß alle dem Auge zugänglichen Helligkeiten von der geringsten bis zur blendenden Lichtstärke vertreten sind, und daß die Abstufung der einzelnen Helligkeiten gleichmäßig ist. Dies würde bedeuten, daß sämtliche vom Auge im Grenzfalle unterscheidbaren 660 Helligkeitsstufen (vgl. Seite 18) in einer Linie verteilt sind. Diese den Unterschiedsschwellen entsprechenden Helligkeitsstufen kann man in größere Gruppen einteilen, die den allgemein bekannten Begriffen: Tiefe Schatten, Schatten, Mitteltöne, Lichter, Spitzlichter,

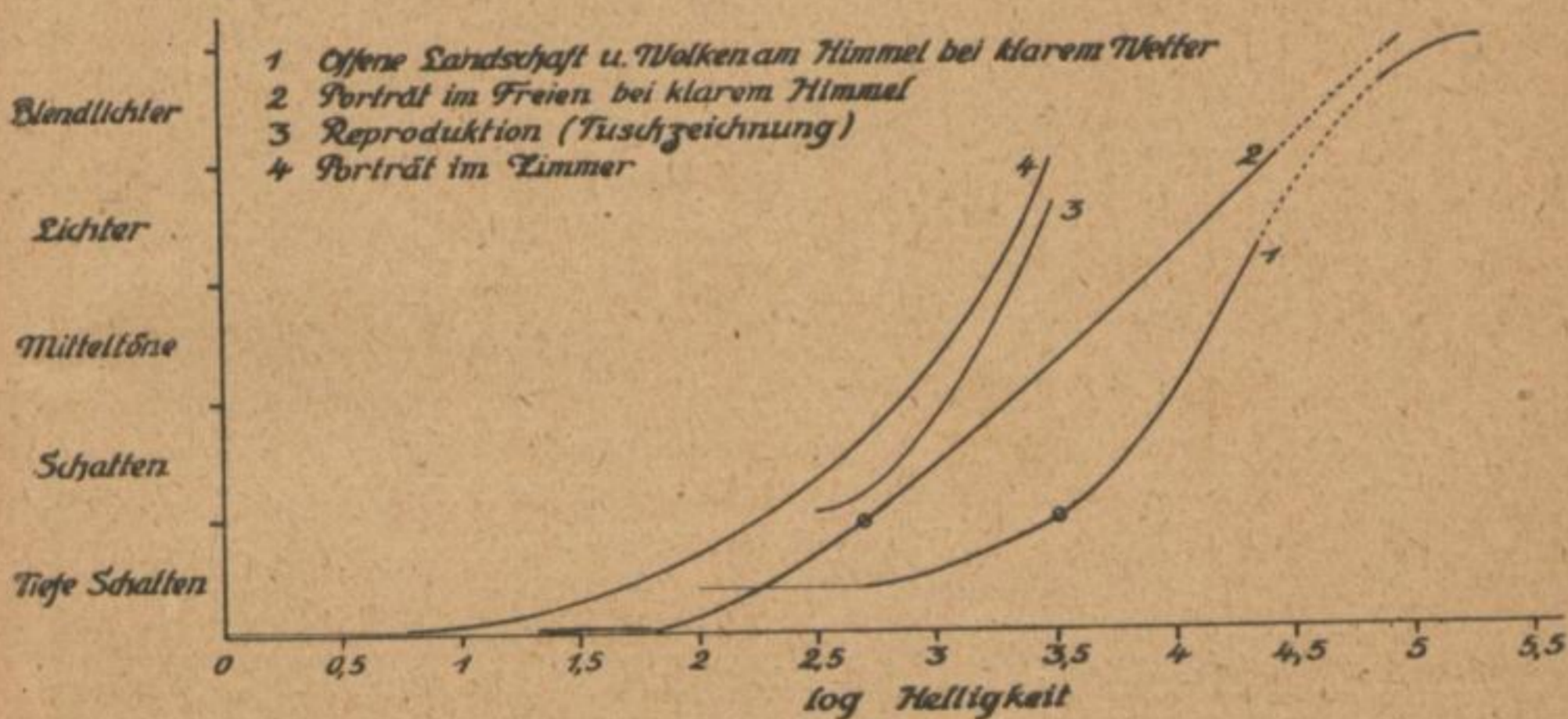


Abb. 27.

blendende Lichter entsprechen. Hierbei wird vorausgesetzt, daß das Auge sich am Orte der photographischen Kamera befindet und die ganze Skala auf einmal überblickt, so daß dementsprechend die Einteilung der Helligkeiten in diese Gruppen den Ausführungen der Seite 10 entspricht.

Auf der Abszisse sollen die tatsächlich photometrisch gemessenen Helligkeiten aufgetragen werden. Nun kann man ein Objekt in Form einer Kurve darstellen, die angibt, welche Helligkeiten in dem speziellen Falle als Lichter, Mitteltöne, Schatten usw. empfunden werden. Die Länge dieser Kurve, längs der Abszisse gemessen, entspricht dem subjektiven Objektumfange. Es ist demnach nicht notwendig, daß alle Empfindungsqualitäten vom tiefsten Dunkel bis zum blendenden Licht wirklich vorhanden sind. Ist es nicht der Fall, so wird die Kurve nur einen Teil der Ordinatenausdehnung einnehmen.

Man kann nun die so erhaltene Kurve über den Betrag des subjektiven Objektumfanges verlängern, bis der wahre Objektumfang erreicht ist. Da hierbei jedoch die Empfindungsqualität nicht verändert werden kann, so darf diese Verlängerung nur in der Richtung der Ordinate erfolgen. Sie ist in Abb. 27 mit dünnggezogener Linie gezeichnet. Schließlich kann man auf der so erhaltenen Kurve des wahren Objektumfanges die Ausdehnung des ausnutzbaren Objektumfanges angeben. Die Grenze des A. O. U. nach unten ist durch eine bestimmte Helligkeit gegeben, die auch in tiefsten Schatten des Objekts vorhanden ist und die durch das Luftlicht und Reflexlicht verursacht wird. Nach oben ist der A. O. U. durch die Begrenzung des W. O. U. beschränkt. In der Abb. 27 ist die Grenze des A. O. U. an den einzelnen Kurven durch kleine Kreise bezeichnet.

Selbstverständlich hängt die „Tonkurve“ (wie die auf die beschriebene Weise erhaltene Kurve bezeichnet werden soll) gänzlich von den jeweiligen Eigenschaften des Naturobjekts, der Witterung und der Objektivbauart ab. Hier können nur einige Objekte als typische praktische Beispiele aus der unendlichen Mannigfaltigkeit herausgegriffen werden. Der A. O. U. ist in der Abb. 27 für den Fall der Verwendung eines dreilinsigen unverkitteten Objektivs (spezif. Brillanz = 1,5) dargestellt. Die gestrichelten Stellen der Abb. 27, Kurve 1 und 2, bedeuten, daß Helligkeiten entsprechender Größe in den gewählten Objekten nicht vorhanden waren.

Durchschnittsobjekt Zur Ermittlung der Eigenschaften des Durchschnittsobjekts wurde eine sehr große Reihe (etwa 300 Stück) von photographischen Aufnahmen in bezug auf den Aufbau der Helligkeitsskala, die Tonabstufung und den Objektumfang analysiert und auf Grund der gewonnenen Anschauung die nachfolgenden Feststellungen getroffen.

Als Durchschnittsobjekt soll ein solches in der Art der Abb. 28 angesehen werden. Es fehlen hier sonnenbeschienene weiße Flächen, die den Wert des subjektiv empfundenen Objektumfanges (S. O. U.) stark erhöhen würden. Ebenso fehlen auch außergewöhnlich stark beschattete Einschnitte, Höhlen usw., die den S. O. U. wohl kaum erhöhen würden, da sie nur als schwarze detaillose Flächen erscheinen, aber dagegen den Wert des wahren Objektumfanges außerordentlich stark beeinflussen würden. Der S. O. U. unterscheidet sich bei der gewählten typischen Aufnahme wenig von dem (logarithmischen) Verhältnis der Albedos der hellsten bzw. dunkelsten Fläche, da die Beschattung in den Hauptteilen des Objekts keinen allzu großen Einfluß auf die Flächenhelle hat. Man kann für den S. O. U. bei dieser Aufnahme

unter Ausschaltung des Himmels den Wert 1,2 annehmen. Die Berücksichtigung des Himmels als Teil des Bildes würde den S. O. U. auf 1,8 erhöhen. Das Luftlicht ist hier ohne Bedeutung, da bei den hier maßgebenden kleinen Entfernungen zwischen Objekt und Kamera bei normal klarer Witterung die Sicht (etwa 2,4, vgl. Seite 20) weit höher als der S. O. U. ist. Im Mittel ist also S. O. U. = 1,5.

Die Forderung, die somit an das photographische Verfahren bei der Aufnahme des „Durchschnittsobjekts“ zu stellen ist, besteht



Abb. 28.

darin, daß innerhalb des festgestellten Objektumfanges von 1,5 sämtliche Helligkeitsabstufungen der Wirklichkeit entsprechend in der Kopie (Papierbild) wiedergegeben werden. Wie bereits auf Seite 7 angegeben, müßten zu diesem Zwecke in den hellsten Stellen des Objekts Details von 5⁰/₀ (Dt. = 0,02), in den Mitteltönen solche von 10⁰/₀ (Dt. = 0,04), in den dunkeln Stellen von 25⁰/₀ (Dt. = 0,1) im späteren Bilde erscheinen. In den nächsten Kapiteln soll gezeigt werden, inwieweit diese Forderungen praktisch zu erfüllen sind.

Photographische Aufnahme.

Kapitel 5. Charakteristische Kurve und Detailkurve.

Die Forderungen, denen eine photographische Aufnahme zu genügen hat, sind zum Schlusse des vorigen Kapitels in der Weise präzisiert, daß ein Helligkeitsunterschied von 1 : 30 ($\lg 30 = 1,5$) naturgetreu wiedergegeben werden muß, und daß in den hellsten Stellen dabei Details von 5 % (Dt. = 0,02), in den dunkelsten Stellen noch solche von 25 % (Dt. = 0,1) gut sichtbar bleiben. Sind diese Forderungen erfüllt, so ist eine wahrheitsgemäße Wiedergabe des Eindrucks, den das Durchschnittsobjekt im Auge hinterlassen hat, im großen und ganzen verbürgt bis auf Abweichungen, über die weiter unten gesprochen werden wird.

Es soll nun untersucht werden, inwieweit diese Bedingungen erfüllt werden können. Da bekanntlich bei allen monochromen photographischen Aufnahmen zwischen dem Objekt und der fertigen Kopie eine Zwischenstufe — das Negativ — besteht, so müßten zunächst die Beziehungen zwischen einem Objekt und dem bei der Aufnahme entstehenden Negativ festgestellt werden. Aus praktischen Gründen soll aber zunächst angenommen werden, daß das Negativverfahren imstande ist, sämtliche im Objekt vorhandenen Helligkeitsunterschiede („Details“) naturgetreu wiederzugeben, selbstverständlich in der Weise, daß größeren Helligkeiten größere Schwärzungen entsprechen.

Herstellung einer Helligkeitsskala Als Objekt soll zur Vereinfachung der Bedingungen eine aufeinanderfolgende Reihe von Helligkeiten genommen werden, die eine gleichmäßige Abstufung innerhalb weiter Grenzen zeigt. Da nach dem Weber-Fechnerschen Gesetz (vgl. S. 3) logarithmisch abgestufte Helligkeiten dem Auge als gleichmäßig abgestuft erscheinen, und da diese Abstufung zudem den großen Vorteil besitzt, daß auf kurzer Strecke eine sehr große Mannigfaltigkeit von Helligkeiten zum Versuch herangezogen werden kann, werden in der Sensitometrie fast ausschließlich so angeordnete Helligkeiten als Normalobjekt bei den Untersuchungen angewandt. Die Herstellung solcher Reihen von Helligkeiten kann auf verschiedenartige Weise erfolgen. Die bekannteste Art ist die Verwendung eines rotierenden mit sektorartigen Ausschnitten versehenen Rades, hinter dem das zu untersuchende lichtempfindliche Material aufgestellt wird. Ähnliche Sektorenräder wurden bereits im Jahre 1865 von E. Mach¹⁾ gebraucht, im

1) Eder, Handb. d. Photogr. I, 3, S. 164.



Jahre 1890 wurden sie von Hurter und Driffield¹⁾ zu ihren grundlegenden Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen der Belichtung und der dabei entstehenden Schwärzung verwandt. Auch Scheiner²⁾ hat dieselbe Vorrichtung im Jahre 1894 als Grundlage für sein Verfahren zur Feststellung der Lichtempfindlichkeit benutzt.

Eine weitere Möglichkeit, eine gesetzmäßig abgestufte Reihe von Belichtungen herzustellen, bieten die sogenannten Lochphotometer, die zuerst Taylor im Jahre 1869 verwendet hat. In letzter Zeit wurden sie nach einer längeren Pause wieder zur Prüfung des photographischen Materials (besonders von Scheffer³⁾) angewendet. Sie bieten den Vorteil von großen gleichmäßig beleuchteten Feldern, die zu Messungen sehr geeignet sind.

Vor einigen Jahren wurde vom Verfasser⁴⁾ eine Methode zur Herstellung von neutralgrauen Keilen für sensitometrische und photometrische Zwecke beschrieben. Ein seit Jahren abgeändertes und vereinfachtes Verfahren ist im Anhang 2 dieser Arbeit der Öffentlichkeit übergeben.

Die Verwendung von Keilen als Mittel zur Herstellung einer Reihe von aufeinanderfolgenden Helligkeiten bietet eine große Anzahl von Vorteilen. Hier kommt vor allem in Betracht, daß die Verteilung der Helligkeiten beim Keil in der Weise erfolgt, daß in

einer Richtung des rechtwinkligen Koordinatennetzes die Helligkeit sich überhaupt nicht ändert, während in der anderen Richtung eine logarithmische Aufeinanderfolge von Helligkeiten vorhanden ist. Wird solch ein Keil auf eine lichtempfindliche Platte gelegt und belichtet, so entsteht eine der Keilrichtung entgegenlaufende Folge von Schwärzungen.

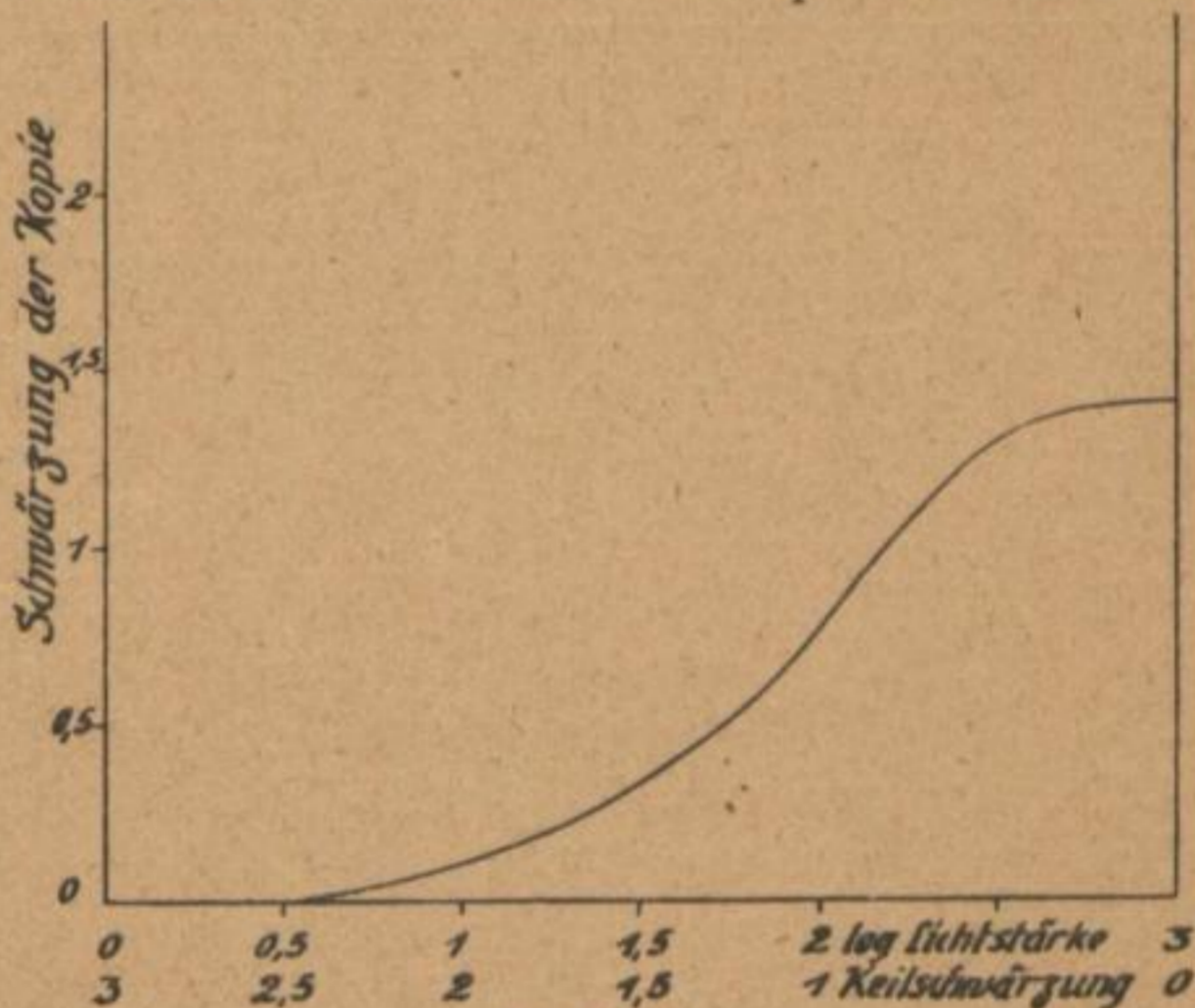


Abb. 29.

1) Hurter und Driffield, Journ. of chem. Industry, Mai 1890. Eine originalgetreue Zusammenstellung der klassischen Arbeiten von Hurter & Driffield ist kürzlich unter dem Titel: „Photographic Researches of Hurter and Driffield, edited by Ferguson, London 1920“ erschienen.

2) Scheiner, Z. f. Instrumentenk. 14, 201, 1894.

3) Scheffer, Eders Jahrb. f. Photogr. 24, 97, 1910.

4) Goldberg, Z. f. wiss. Photogr. 10, 238, 1911.

Wenn man mit einem passenden Photometer die den einzelnen Stellen des Keiles entsprechenden Schwärzungen der Kopie feststellt und diese Schwärzungen¹⁾ als Ordinaten in einem Koordinatennetz aufträgt, während die negativen Schwärzungen der betreffenden Keilstellen als Abszissen dienen, so kann man eine Kurve ziehen, die die Abhängigkeit der entstehenden Schwärzung, von der angewandten Belichtung darstellt und (nach dem Vorgange von Hurter und Driffield) als „charakteristische Kurve“ bezeichnet wird. In der Abb. 29 ist ein Beispiel für solch eine Kurve (Zelloidinpapier) dargestellt. Diese Kurve war bis jetzt die einzige und einzigartige Möglichkeit zur Darstellung von verschiedenen Eigenschaften des photographischen Materials (Platten, Papier, Entwickler) und ist demgemäß von grundlegender Bedeutung für die photographische Wissenschaft.

Detailwiedergabe und charakteristische Kurve

Für die hier gestellte Aufgabe ist vor allem der Zusammenhang zwischen der Wiedergabe von Details und der Gestalt der Kurve wichtig. Auf diesen Zusammenhang hat Precht²⁾ im Jahre 1903 hingewiesen. Genau wurde er vom Verfasser³⁾ im Jahre 1911 untersucht, wobei u. a. auch die im folgenden beschriebenen Untersuchungsmethoden festgelegt wurden. Vor einiger Zeit wurde eine dieser Methoden von Hnatek (scheinbar unbeeinflusst, da die Ursprungsquelle nicht genannt wurde) in seiner Studie über Detailwiedergabe von photographischen Platten verwandt (vgl. Zeitschr. f. wissensch. Photogr. 16, 323, 1917).

Zweifellos ist die Güte der Detailwiedergabe von der Neigung der charakteristischen Kurve an der betreffenden Stelle abhängig. Als „Detail“ wurde im Kapitel I dieser Arbeit ein Sprung in der Helligkeit an irgendeiner Objektstelle definiert (vgl. Seite 2). Es ist klar, daß jedem Sprung in der Helligkeit des Objekts auch ein Sprung in der Schwärzung des photographischen Negativs entspricht. Da als Wert für die Unterschiedschwelle des Auges, d. h. für den geringsten noch sichtbaren Sprung in der Helligkeit, bei günstigen Bedingungen 1% der Helligkeit (im logarithmischen Maß $Dt. = 0,004$) angesehen wird (vgl. Seite 3), so wird an solchen Stellen der charakteristischen Kurve, wo diesem Sprung der Objekthelligkeit ein gleich großer Sprung in der Schwärzung der Aufnahme entspricht, die Unterschiedschwelle auch beim Betrachten der Aufnahme erreicht. Dieses bedeutet, daß alle im Objekt sichtbaren Details auch in der Aufnahme (gleich günstige Betrachtungsbedingungen vorausgesetzt) auftreten müssen.

1) Unter der Bezeichnung „Schwärzung“ wird in der Photographie allgemein der dekadische Logarithmus der Undurchlässigkeit der betreffenden Plattenstelle verstanden.

2) Precht, Z. f. wiss. Photogr. 1, 267, 1903.

3) Goldberg, Z. f. wiss. Photogr. 9, 313, 1911.

Opacität

Ist der dem eben sichtbaren Objektdetail entsprechende Schwärzungsunterschied kleiner als 0,004, so verschwinden in der Aufnahme die feinsten im Objekt sichtbaren Details, und alle Helligkeitsabstufungen werden geringer. Das Bild wird dabei „flauer“. Entspricht dagegen ein Sprung in Schwärzung von 0,004 (in bekannten logarithmischen Dichteinheiten) einem Unterschiede von z. B. $Dt. = 0,002$ in der Helligkeit der betreffenden Objektstellen, so werden in der Aufnahme auch solche Feinheiten dem Auge zugänglich, die im Objekt nicht gesehen werden können, da deren Zahlenwert unter $Dt. = 0,004$ liegt und somit den Wert der Unterschiedsschwelle nicht erreicht. Man kann die durch die Aufnahme erzielte Verbesserung bzw. Verschlechterung der Detailsichtbarkeit durch das Verhältnis $\frac{\Delta S}{\Delta \log H}$ der Werte eines (logarithmischen) Helligkeitssprunges und der entsprechenden Schwärzungszunahme darstellen.

Da jeder Sprung im Grenzfall als Differential angesehen werden kann, so kann man durch den Differentialquotienten $\frac{dS}{d \log H}$ die Güte der Detailwiedergabe definieren. Ist dieser Quotient gleich 1, so werden unter sonst gleichen Verhältnissen sämtliche im Objekt vorhandenen Einzelheiten auch in der Kopie auftreten bzw. dem Auge sichtbar sein. Ist der Quotient größer oder kleiner als 1, so wird die Sichtbarkeit eines Details vergrößert bzw. verkleinert. Da der Differentialquotient $\frac{dS}{d \log H} = \operatorname{tg} \alpha = n$ ist, wo α der Winkel der charakteristischen Kurve gegen die Abszisse und n die Steilheit der Kurve bedeutet, so kann man sagen, daß die Güte der Detailwiedergabe der Kurvensteilheit an der betreffenden Stelle proportional ist. Hiermit ist der wichtige Zusammenhang zwischen Gestalt der Kurve und der Güte der Detailwiedergabe festgelegt.

Gestalt der charakteristischen Kurve bei naturgetreuer Aufnahme Aus den obigen Ausführungen geht hervor, daß eine naturgetreue photographische Wiedergabe dann vorliegt, wenn die charakteristische Kurve sowohl des Negativs wie auch des Positivs die Gestalt einer geraden Linie hat, die unter 45° Neigung zur Abszisse verläuft, also die Steilheit $n = 1$ hat ($n = \operatorname{tg} 45^\circ = 1$).¹⁾ Dann sind alle im Objekt sichtbaren Einzelheiten und Abstufungen (unter gleich günstigen Betrachtungsbedingungen) auch in der Aufnahme sichtbar.

Man kann auf die genaue Erfüllung dieser Bedingung verzichten, wenn nur die Bedingung erfüllt ist, daß der Differentialquotient $\frac{dS_p}{d \log H} = 1$

1) Diese Tatsache haben bereits Hurter & Driffield besonders hervorgehoben.

ist, wo S_P die Schwärzung im Positiv und H die Helligkeit der entsprechenden Stelle im Objekt bedeutet.

Bezeichnen wir nämlich die Steilheit der Positiv- und der Negativkurve mit n_P bzw. n_N und die Schwärzung im Negativ mit S_N , so gelten die Beziehungen

$$\frac{d S_N}{d \log H} = n_N; \quad \frac{d S_P}{d S_N} = n_P; \quad n_N \cdot n_P = \frac{d S_N \cdot d S_P}{d \log H \cdot d S_N} = \frac{d S_P}{d \log H} = 1.$$

Die naturgetreue Wiedergabe eines Gegenstandes ist also gewährleistet, wenn für jede Objektstelle die Bedingung $n_N \cdot n_P = 1$ erfüllt ist. Daraus geht hervor, daß, falls die Neigung der Negativkurve an einer bestimmten Stelle unter 1 beträgt, sie im Positiv für dieselbe Stelle größer als 1 sein muß und umgekehrt.

Die Bedingungen, denen eine normale Aufnahme zu genügen hat, wurden zum Schluß des vorigen Kapitels so definiert, daß innerhalb des Helligkeitsverhältnisses von 1,5 alle im Objekt vom Auge gesehenen wichtigen Einzelheiten auf der Aufnahme ebenfalls erscheinen müssen. Sieht man in erster Linie von den Eigenschaften des Negativmaterials ab, so bedingt dies nach den obigen Ausführungen beim Positiv eine unter 45° zur Abszisse verlaufende charakteristische Kurve innerhalb des Schwärzungsbereiches 0—1,5.

Als Positivverfahren, die für allgemeine Zwecke Verwendung finden, kommen in Betracht: Zelloidinpapier, Albuminpapier, Chlorsilbergelatinepapier, Bromsilberpapier, Gaslichtpapier, Pigmentpapier, Diapositivplatten. Um Unterlagen für die weiteren Untersuchungen zu gewinnen, wurden mit jedem dieser Verfahren Versuche angestellt. Zur Ermittlung der charakteristischen Kurve der Papiere wurde, wie es bei den Platten üblich ist, ein Keil darauf kopiert und das bei normaler Entwicklung, wie sie für das betreffende Fabrikat vorgeschrieben ist, entstehende Bild des Keiles mit Hilfe eines Schwärzungsmessers durchphotometriert. Zur Kontrolle der Entwicklungszeit wurde auf ein zuvor abgedecktes Stück desselben Papiers außer dem Keil noch ein passendes Landschaftsnegativ kopiert und dann das gemeinsame Bild so lange entwickelt, als das Bild zur richtigen Durchentwicklung verlangte.

Papier - Schwärzungsmesser Die gewöhnlichen Schwärzungsmesser sind zur Photometrierung von durchsichtigen Schichten, also Negativen und Diapositiven eingerichtet. Vor einigen Jahren beschrieb Kieser¹⁾ die Verwendung eines Martensschen Schwärzungsmessers auch für Papier. In nachfolgendem ist eine ähnliche Vorrichtung beschrieben, die insofern von der Kieserschen abweicht, als nur eine Linse zur Abbildung der zu messenden Papierstellen verwendet wird und die

1) Kieser, Eders Jahrbuch 27, 105, 1913.

Abbildung nicht auf den unteren Öffnungen des Photometerkopfes erfolgt, sondern in dem Gesichtsfeld des Okulars, also auf dem Zwillingsprisma. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß man auf diese Weise imstande ist, kleine Teile des Bildes zur Ausmessung zu bringen und daß der zur Messung gelangende Teil der Keilkopie scharf im Gesichtsfeld abgebildet ist und bequem eingestellt werden kann.

In einer Hülse (Abb. 30) wurde der Kopf eines Martensschen Schwärzungsmessers *m* befestigt. In den beiden Blechgehäusen *g, g*

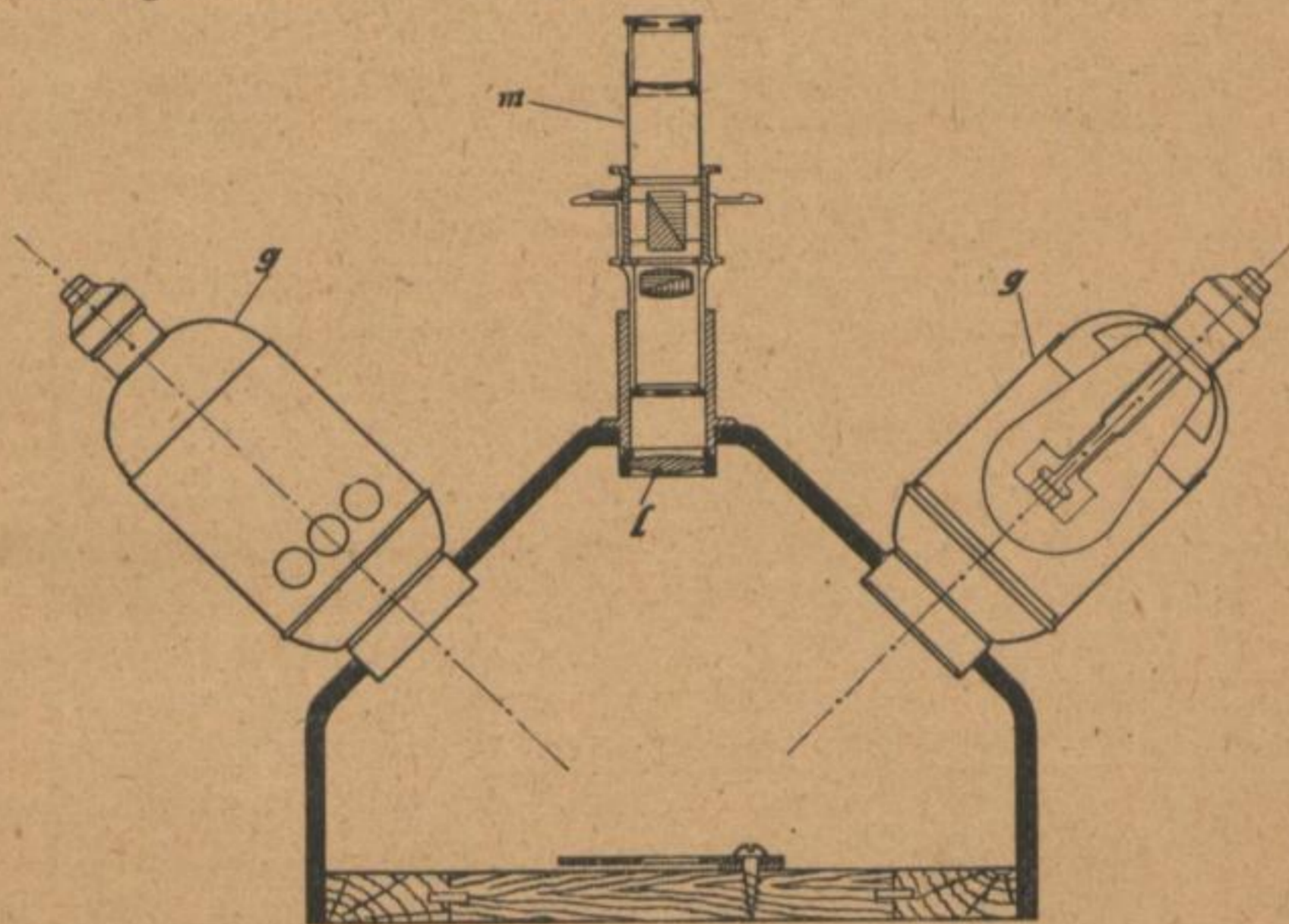


Abb. 30.

befanden sich zwei 100kerzige mattierte Glühlampen, die den auf der Grundplatte der Vorrichtung liegenden Versuchsstreifen unter 45° von beiden Seiten beleuchteten. Mit Hilfe der Linse *l* wurden im Gesichtsfeld des Photometers die Bilder des Versuchsstreifens und eines unbelichteten ausfixierten Vergleichsstückes derselben Papiersorte entworfen. Die Schwärzung des Versuchsstreifens wurde, wie üblich, an der Teilung des Photometerkopfes abgelesen. Auf der Grundplatte des Apparates war außerdem eine Millimeterteilung angebracht, um die zur Messung gelangende Stelle des Versuchsstreifens ablesen zu können.

Charakteristische Kurve von Positiven Die in der Abb. 31 dargestellten charakteristischen Kurven der verschiedenen Positivverfahren zeigen nun, daß kein einziges Verfahren den oben angegebenen Bedingungen genügt. Das einzige Kopierverfahren, das eine einigermaßen gerade Linie als charakteristische Kurve aufweist, ist der Pigmentdruck. Aber

auch hier ist die Bedingung nicht erfüllt, daß die Linie unter 45° zur Abszisse verlaufen muß. Die geringere Steilheit der Kurve bedeutet, daß die in der Natur vorhandenen Lichtabstufungen sämtlich in abgeschwächtem Grad durch den Pigmentdruck wiedergegeben werden. Alle anderen Kopierverfahren zeigen in gewählten Beispielen eine Kurve, die in ihrem mittleren Teil unter 30° bis 65° gegen die Abszisse gerichtet ist, während im unteren und oberen Teil eine geringere bis 0° allmählich sinkende Steilheit vorhanden ist. Dies bedeutet, daß im mittleren Teil der Kurve die Lichtabstufungen der Natur ziemlich getreu

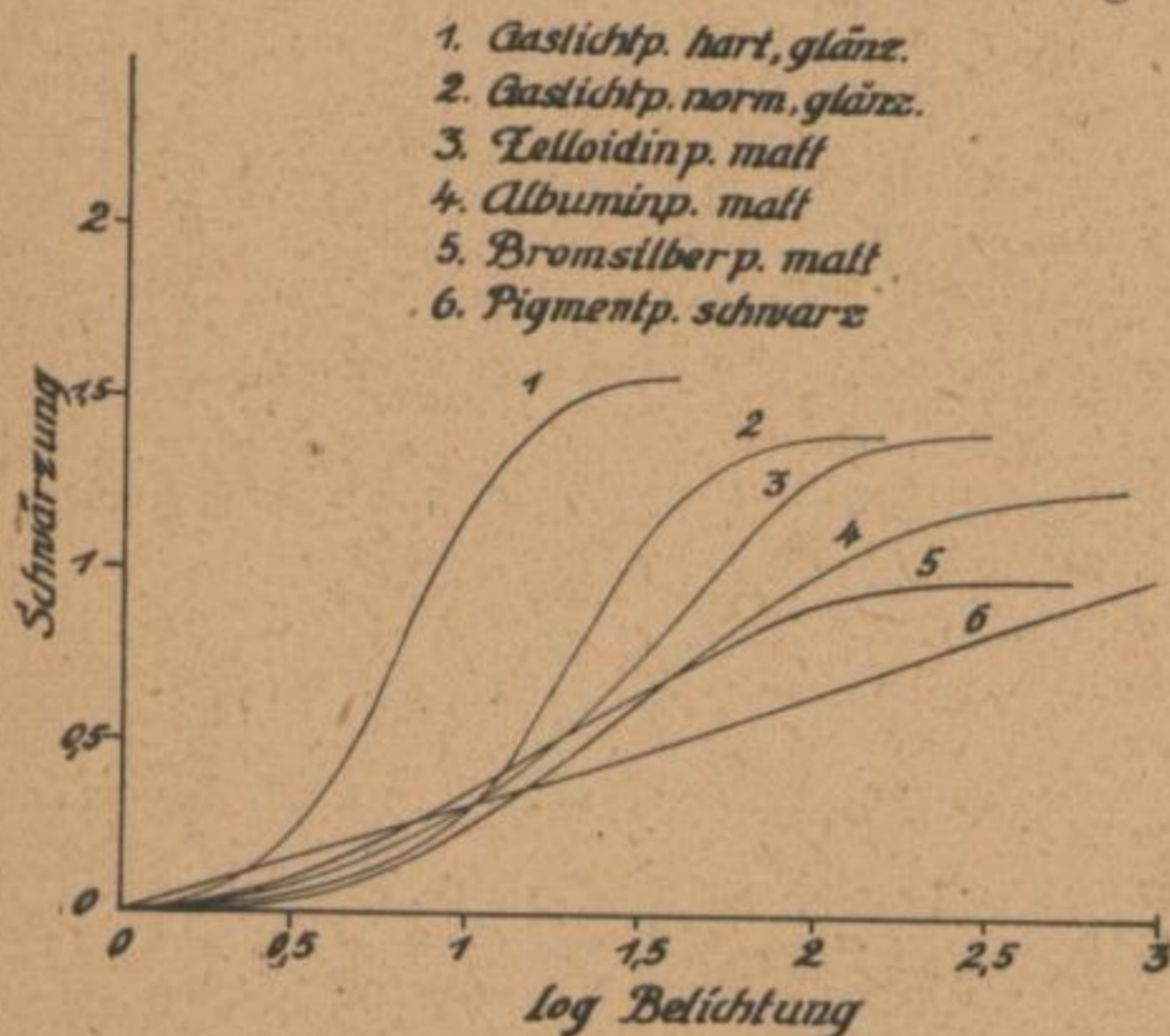


Abb. 31.

wiedergegeben werden, soweit Auskopierpapier in Frage kommt, während das Gaslichtpapier die vorhandenen Lichtgegensätze übertrieben zeigt. Im unteren und oberen Teil der Kurve (entsprechend den Lichtern und den Schatten) sinkt die Güte der Wiedergabe von Abstufungen und damit auch die Detailwiedergabe bis auf Null herab, wobei die Schwärzung von 1,5 überhaupt nicht erreicht wird. Daraus folgt, daß die zu

Beginn des Kapitels aufgestellten Forderungen praktisch nicht zu erfüllen sind, und es bleibt nichts anderes übrig, als zu untersuchen, inwieweit die Forderung der naturgetreuen Wiedergabe der Details eingeschränkt werden kann, ohne daß die Photographie hierdurch erheblich leidet.

Anforderungen bei der photographischen Wiedergabe von Details Es muß nun in Betracht gezogen werden, daß eine Photographie nicht etwa dann als gut empfunden wird, wenn sie die Natur so wiedergibt, wie das Auge in dem Moment die Gegenstände gesehen hat, sondern wenn die Verteilung von Licht und Schatten als angenehm empfunden wird. Da die Aufgabe der vorliegenden Untersuchungen die zahlenmäßige Feststellung der Bedingungen ist, die bei dem Aufbau des photographischen Bildes zu erfüllen sind, so muß vorerst festgelegt werden, welche Eigenschaften eine als gut anerkannte Aufnahme besitzen muß. Diese Festlegung kann nicht auf Grund eines einzelnen Bildes erfolgen, da die Verteilung von Licht und Schatten außer-

ordentlich stark von der Art des Objekts abhängig ist. Es wurde daher an der Hand von einigen hundert möglichst verschiedener Aufnahmen festzustellen versucht, unter welchen Umständen ein Bild als gut bzw. schlecht angesehen werden muß. Um diese Feststellungen nicht allzu subjektiv ausfallen zu lassen, wurden außer dem Verfasser mehrere andere Personen zu den Begutachtungen herangezogen.

Auf Grund dieser großen Reihe statistischer Ermittlungen über die Bildwirkung kann der folgende Grundsatz aufgestellt werden. Weiße detaillose Stellen, die einen Gesichtswinkel von mehr als etwa $\frac{1}{2}^{\circ}$ einnehmen, verschlechtern die Bildwirkung in der Photographie außerordentlich stark, da sie psychologisch nur als eine eingetretene „Blendung“ gedeutet werden können und beim Betrachten von Papierbildern bei mittlerer Beleuchtung in der Tat keine Blendung eintreten kann. Dieser Gegensatz zwischen der physiologischen Wirkung und der psychologischen Empfindung wird immer als unangenehm empfunden. Dagegen wirken bei der photographischen Wiedergabe Einzelheiten in den hellsten Stellen des Naturobjekts immer angenehm, wenn sie gut durchgebildet und nicht übertrieben sind.

Der Himmel ist die einzige weiße Fläche, die, wenn sie auch ganz detaillos ist, nicht als störend sich im Bilde bemerkbar macht. Diese Ausnahme erklärt sich dadurch, daß man gewöhnt ist, wolkenlosen (also detaillosen) Himmel in der Natur zu sehen. Trotzdem wird die Bildwirkung durch nachträgliches Einkopieren von Wolken in die Aufnahme oft vorteilhaft erhöht. Größere dunkle Flächen im Bilde wirken dagegen im allgemeinen nicht unangenehm, falls sie nicht dominierend auftreten, da der Mensch an den Verlust von Einzelheiten in den beschatteten Teilen der Gegenstände gewöhnt ist. Ohne dieses ästhetische Gesetz erkannt zu haben, richtet sich jeder künstlerisch empfindende Maler danach. So wird man in Gemälden niemals große weiße Flächen ohne Einzelheiten finden, dagegen nehmen oft dunkle Stellen einen großen Umfang in Gemälden ein (vgl. z. B. die Gemälde von Rembrandt). Die Aufgabe der Photographie besteht also nicht darin, aus dem meist außerordentlich großen wahren Umfang der Lichtabstufungen im Objekt diejenigen Teile wiederzugeben, die vom Auge empfunden werden können (von der hellsten Stelle bis zur untersten Reizschwelle, die durch die vorhandene Beleuchtung bestimmt ist, vgl. Kap. 4), sie besteht vielmehr in der Wiedergabe eines möglichst großen Teils des subjektiven Objektumfangs, wobei die hellsten Stellen besonders berücksichtigt werden müssen, soweit sie eine größere Fläche einnehmen. Während also bei der direkten Betrachtung eines Naturausschnittes mit dem Auge vor allem die Schatten detailreich sein müssen, um einen angenehmen Eindruck zu erwecken, und während die Lichter infolge der Blendung ohne un-

angenehme Störung des Gesichtsempfindens auch detaillos gesehen werden können, handelt es sich in der Photographie vor allem darum, umgekehrt die Lichter detailreich zu gestalten, evtl. sogar auf Kosten der Schatteneinzelheiten. Zu dieser Hauptforderung tritt noch die Notwendigkeit einer bestimmten Verteilung von Halbtönen, also des Übergangs von Licht zu Schatten. Eine Aufnahme, die sehr detailreiche helle Stellen aufweist, befriedigt nicht, wenn diese Stellen ohne Halbtonverbindung neben räumlich stark ausgedehnten dunklen Partien auftreten. Solche Kontraste kommen bei unterbelichteten Bildern vor, die man als „hart“ bezeichnet. Besonders oft entstehen derartige Bilder bei Innenaufnahmen. Nur bei Photographien, die den Eindruck einer Beleuchtung durch Mondschein erwecken sollen, ist eine solche Verteilung von Licht und Schatten erlaubt, daß die hellsten sehr detailreichen Stellen neben ganz dunklen detaillosen Schatten auftreten, da diese Bildwirkung der wahren Mondbeleuchtung entspricht.

Kurve der Detailwiedergabe In der erwähnten Arbeit des Verfassers¹⁾ wurde bereits gezeigt, daß für das Studium der Detailwiedergabe an Stelle der ursprünglichen charakteristischen Kurve besonders zweckentsprechend deren Ableitung zu verwenden ist. Die so ermittelte Differentialkurve stellt die Abhängigkeit der Steilheit der charakteristischen Kurve von der an der jeweiligen Stelle zur Verwendung gelangten Belichtung dar. Als Abszissen werden die Logarithmen der Belichtungen, als Ordinaten die entsprechenden Tangenten der charakteristischen Kurve, die gleichzeitig als Ausdruck für Steilheit der Kurve und die Güte der Detailwiedergabe zu betrachten sind, aufgetragen. Da festgestellt ist, daß bei der Steilheit = 1 unter sonst gleichen Verhältnissen sämtliche im Objekt vorhandenen Einzelheiten auch in der Kopie dem Auge sichtbar sein müssen, und da als Unterschiedsschwelle des Auges 1% der Helligkeit des Objekts gelten (Dt. = 0,004, vgl. Seite 3), so kann man also neben der Skala der Steilheit noch eine weitere Skala angeben, aus der die Güte der Detailwiedergabe zu ersehen ist. In der Abb. 32 ist eine Differentialkurve neben der zugehörigen (gestrichelt gezeichneten) charakteristischen Kurve dargestellt. Letztere ist der Abb. 29 entnommen.

Die Darstellung der charakteristischen Kurve in Form der Differentialkurve oder kurz „Detailkurve“ hat einen wichtigen praktischen Vorteil. Mit den Worten: „unter sonst gleichen Verhältnissen treten bei der Kurvensteilheit = 1 alle im Objekt sichtbaren Details auch in der Kopie auf“ (Seite 53) ist eine wichtige Einschränkung der theoretisch unbedingt richtigen Feststellungen, die in obigen Sätzen

1) Z. f. wiss. Photogr. 9, 313, 1911.

enthalten sind, gemacht worden. Bei der praktischen Durchführung der Versuche stellt sich nämlich regelmäßig heraus, daß ein gewisser Detailverlust auch dann eintritt, wenn die Neigung der Kurve gleich 1 oder sogar größer als 1 ist. Wodurch dieser Detailverlust sich erklärt, konnte bis jetzt nicht einwandfrei festgestellt werden. In der erwähnten Arbeit des Verfassers wurde auf diesen Umstand hingewiesen, und es sind bestimmte Vermutungen über die Ursachen ausgesprochen. Hnatek¹⁾ hat die Feststellungen bestätigt, ohne einen Versuch einer Erklärung gemacht zu haben.

Wahrscheinlich hängt der Detailverlust mit der Verteilung des Silberkorns in der Schicht, mit dem sogenannten Auflösungsvermögen

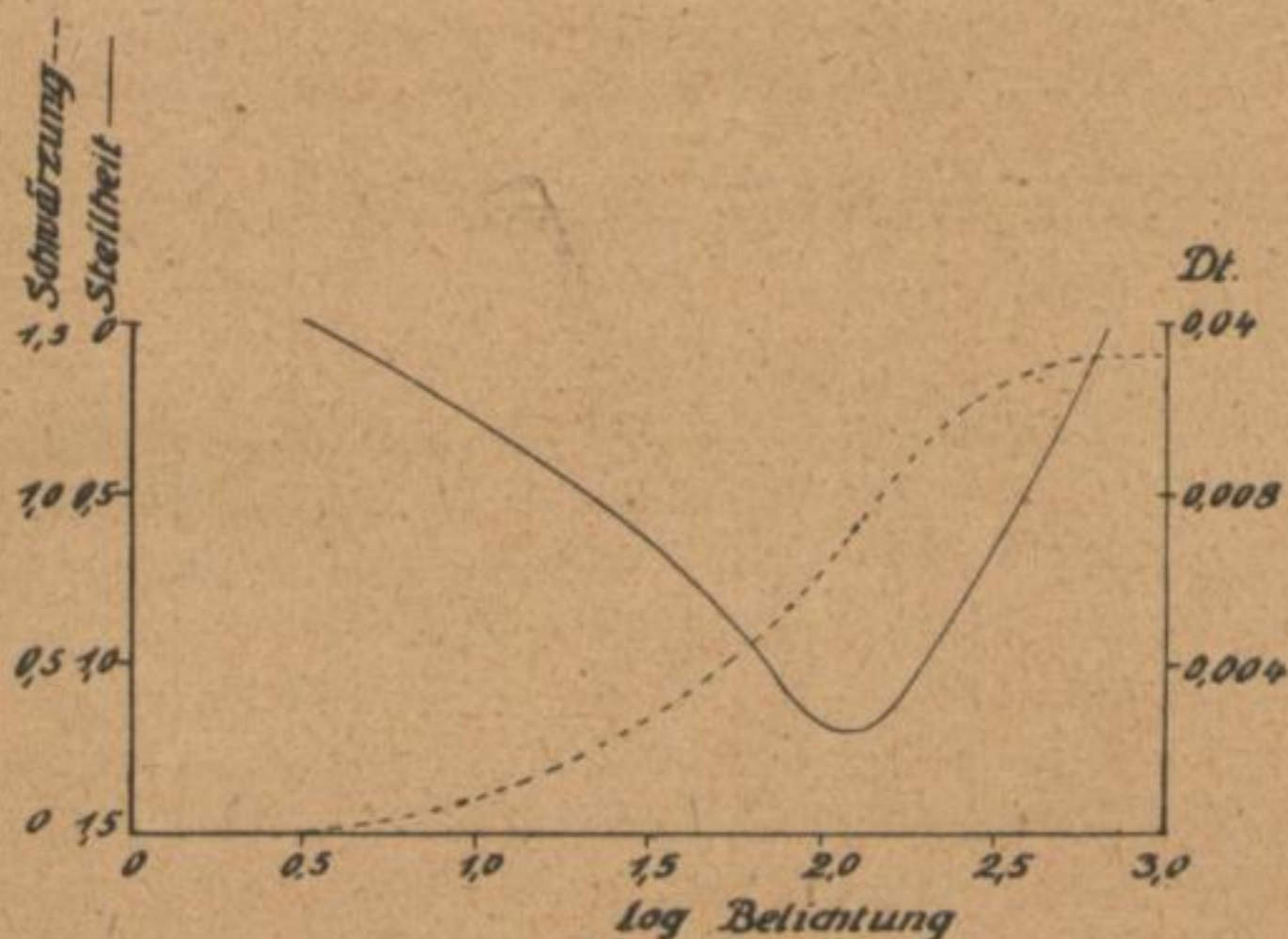


Abb. 32.

der lichtempfindlichen Schicht, mit dem Papierkorn und anderen Umständen zusammen. Man muß deshalb als Maß für die Detailwiedergabe nicht den Differentialquotienten $\frac{dS}{d \log H}$, sondern den Ausdruck $K \cdot \frac{dS}{d \log H}$, wo K eine der betreffenden Schicht eigentümliche Konstante ist, annehmen. Da aber für die Größe K keine zahlenmäßigen Unterlagen vorhanden sind, so kann man aus der Gestalt der charakteristischen Kurve nicht ohne weiteres positive Schlüsse über die Wiedergabe der Details ziehen.

Hinzu kommt noch eine weitere Schwierigkeit. An den Stellen der Kurve, die für die Bildwirkung einer photographischen Aufnahme

1) l. c.

nach allem in vorherigen Kapiteln dieser Arbeit Gesagten als besonders wichtig zu gelten haben, und zwar in den Lichtern und den Schatten, verläuft die Kurve fast ausnahmslos ganz flach gegen die Abszisse (vgl. Abb. 31). Die wahre Gestalt der Kurve und deren Steilheit ist dann sehr schwierig zu ermitteln, und kleine Versuchsfehler geben Anlaß zu ganz falschen Schlüssen. An diesen Stellen der Kurve ist also die Steilheit sehr gering und nähert sich der Null. Der die Güte

der Detailwiedergabe darstellende Differentialquotient der Kurve $\frac{dS}{d \log H}$ erhält einen sehr geringen Wert, da der Wert des einem bestimmten Helligkeitssprung entsprechenden Schwärzungssprunges sehr klein wird.

Die Ableitung der charakteristischen Kurve ergibt somit keine eindeutige Darstellung der Detailwiedergabe, und es mußte daher zu einem anderen Verfahren der Ermittlung der „Detailkurve“ gegriffen werden, das unmittelbar verwertbare Ergebnisse liefert und zudem den Vorzug besitzt, technisch leicht durchführbar zu sein.

Detailplatte Es wurde bereits hervorgehoben, daß in der Ableitungskurve Abb. 32 als Abszissenachse eine Skala der logarithmisch steigenden Belichtungen (Graukeil), als Ordinatenachse eine Skala von steigenden Helligkeitssprüngen (Details) gegeben ist. Die Kurve gibt dann für jede Belichtung das kleinste in der Photographie dem Auge sichtbare Objektdetail an. Man kann nun mit Hilfe der folgenden Vorrichtung, die wir mit der Bezeichnung „Detailplatte“ versehen, das gewünschte Ergebnis erzielen, ohne erst die charakteristische Kurve und deren Ableitung zu ermitteln. Ein stetig verlaufender (Abb. 35) oder stufenförmiger Graukeil mit einem Schwärzungsverlauf in wagerechter Richtung wird als primäre Belichtungsskala angenommen. Dieser Skala wird eine zweite Skala (Abb. 36) superponiert, deren Schwärzungsverlauf in senkrechter Richtung liegt und die räumlich voneinander getrennte Stellen steigender Schwärzung aufweist (z. B. in Form eines Netzes von Linien, Buchstaben, Quadraten oder sonstiger Zeichen). Die beiden Skalen können gleichzeitig oder nacheinander¹⁾ zur Einwirkung auf das lichtempfindliche Material gebracht werden. Beide Arten der Einwirkung sind theoretisch fast gleichbedeutend. Durch den Einfluß der zweiten Skala werden bei jeder Stufe des ersten Keils einzelne Stellen länger belichtet als die dazwischenliegenden. Es bilden sich auf diese Weise Sprünge in der Belichtung aus, deren Wert von der Schwärzung des zweiten Keils abhängt und die somit genau

1) Im letzteren Falle muß eine von der Abb. 34 abweichende Anordnung der zweiten Skala zur Anwendung gelangen.

zahlenmäßig definierte Details sind. Die beiden superponierten Keile sind in der Abb. 37 (soweit die Reproduktionsmöglichkeiten es gestatten) dargestellt. Die so gewonnene Platte stellt in gewählten Grenzen sämtliche Abstufungen dar, die in der Natur möglich sind, so daß diese Detailplatte jedem einfarbigen Naturobjekt entspricht mit dem Unterschied, daß in der Detailplatte jede Helligkeitsabstufung nur einmal vorkommt, und daß sämtliche Abstufungen regel- und gesetzmäßig auf der Platte verteilt sind, während ein Naturobjekt im allgemeinen eine regellose Nebeneinanderreihung von Helligkeitsstufen zeigt.

Betrachtet man solch eine Detailplatte direkt mit dem Auge, so sind in den dunklen wie in den hellen Stellen der Platte nur bestimmte, der praktischen Unterschiedsschwelle des Auges (s. S. 4) für die betreffende Beleuchtung entsprechende Details zu sehen. Die Begrenzung der hierbei sichtbaren Details bildet die Königsche Kurve der Unterschiedsschwellen, die (allerdings für einen weit größeren Bereich und eine andere Skala) in der Abb. 1 (Seite 4) dargestellt ist.¹⁾

Detailkurve Wird solch eine Detailplatte auf irgendein lichtempfindliches Material (Platte oder Papier) kopiert, so entsteht ein Bild (Abb. 36), das (in gewählten Grenzen) sämtliche durch die betreffende Platte oder Papier wiedergegebenen Helligkeits - Abstufungen direkt zahlenmäßig ablesbar zeigt, so daß unmittelbar auf der Kopie eine Kurve (Detailkurve) gezogen werden kann, die jeden Aufschluß über die Detailwiedergabe gibt. Im Zusammenhang mit der Abb. 29 und 32 ist

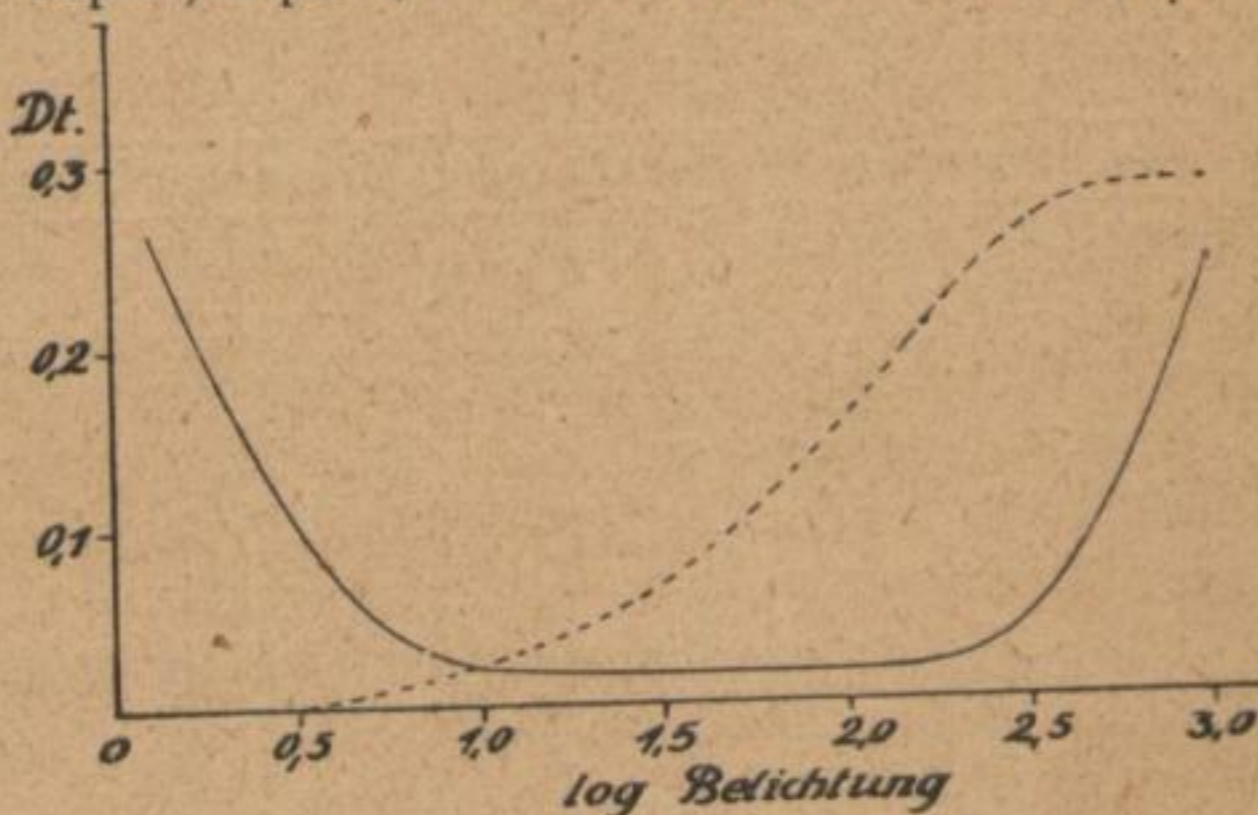


Abb. 33.

in der Abb. 33 solch eine Kurve für den gleichen Versuch dargestellt. Der Vergleich zeigt, daß die beiden Kurven im allgemeinen gleichartig verlaufen, daß aber die Werte der Abszissenskala ungleich sind. Somit kann man aus der charakteristischen Kurve nur eine gewisse Anschauung über die Güte der Detailwiedergabe, aber keine zahlenmäßigen Angaben gewinnen.

1) Ausführliche Untersuchungen über die Gestalt dieser Kurve werden durch Herrn Dr. Günther (laut persönlicher Mitteilung) demnächst veröffentlicht.

Kapitel 6. Sensitometrie des Positivs.

Mit Hilfe der beschriebenen Detailplatte wurde eine sehr große Reihe von Versuchen über die Detailwiedergabe verschiedener Papier- und Plattensorten ausgeführt.

Als erste Aufgabe wurden die Bedingungen zu ermitteln versucht, denen die Detailkurve einer Papierkopie genügen muß, wenn ein den normalen Ansprüchen entsprechendes Bild von einem Naturobjekt erzielt werden soll. Zu diesem Zwecke wurde eine Reihe von Papierkopien nach einem der Papiersorte angepaßten Negativ bei verschiedenen Herstellungsbedingungen (Entwicklungszeit, Kopierzeit usw.) ausgeführt. Auf ein freigehaltenes Feld der Kopie wurde gleichzeitig die Detailplatte aufkopiert und nach Fertigstellung der Kopie die Detailkurve daraufgezogen (vgl. Abb. 38). Aus dieser Reihe von Kopien wurden diejenigen herausgesucht, die das Negativ und somit auch das aufgenommene Objekt am besten wiedergaben, und auf diese Weise ermittelt, welchen Bedingungen die Detailkurve eines lichtempfindlichen Papiers genügen muß.

Das Ergebnis dieser mühevollen Arbeit (es wurden über 200 Kopien auf diese Weise untersucht) kann in folgendes zusammengefaßt werden:

Anforderungen für Detailwiedergabe in den Lichtern In den hellsten Stellen des Naturobjekts¹⁾ sind die Einzelheiten, wie bereits auf Seite 57 ausführlich dargestellt worden ist, besonders wichtig und müssen deshalb, wenn irgend möglich, ungeschmälert wiedergegeben werden. Die Kurven Abb. 31 zeigen nun, daß diese Bedingung nur beim Pigmentpapier einigermaßen erfüllt wird. Bei allen anderen Papieren muß man bis zu Schwärzungen von 0,2 heraufgehen, wenn man an der Einhaltung dieser Bedingung festhalten will. Dies bedeutet aber, daß rein-weiße Stellen in der positiven Kopie überhaupt fehlen, und daß die „Lichter“ verschleiert sind. Bei derartigen Papieren muß man zwischen der Güte der Detailwiedergabe und der Reinheit der hellsten Stellen einen Kompromiß schließen. Die auf statistischer Grundlage beruhenden Versuchsreihen haben ergeben, daß es im allgemeinen genügt, wenn an der hellsten Stelle des Bildes Details von 10% (Dt. = 0,04) wiedergegeben werden.²⁾ An dem Punkte der Kurve, wo solche Detailwiedergabe verbürgt ist, beginnt der für den praktischen Ge-

1) Wie bereits auf S. 50 hingewiesen, soll zunächst angenommen werden, daß das Negativ sämtliche Helligkeitswerte des Naturobjekts ohne jede Änderung wiedergibt.

2) Obwohl das Minimaldetail (S. 7) mit 5% angenommen worden ist, muß hier ein Kompromiß geschlossen werden und eine höhere Zahl als genügend angesehen werden.

brauch verwendbare Kurvenabschnitt. Die diesem Punkte entsprechende Lichtmenge ist ein Maß für die Lichtempfindlichkeit G des Papiers. Aus bildmäßigen Gründen ist es notwendig, daß die Schwärzung der Kopie in diesem Punkte nicht größer ist als etwa 0,1, da sonst die „Spitzlichter“ im Bilde belegt erscheinen. Übersteigt die Schwärzung diesen Wert, so muß man, falls die Reinheit der Spitzlichter wichtiger erscheint, mit den Anforderungen an die Detailwiedergabe in den hellen Stellen noch weiter zurückgehen und den Bildbeginn an eine Stelle der Kurve verlegen, die eine geringere Detailwiedergabe als der eben als erwünscht angegebene Wert von $Dt. = 0,04$ aufweist.

Anforderungen für Detailwiedergabe in den Schatten

In den tiefen Schatten braucht die Detailwiedergabe nach den Ausführungen in den früheren Kapiteln nicht unbedingt so zu sein, daß alle in der Natur dem Auge zugänglichen Einzelheiten auch in der Photographie auftreten. Somit könnte man sich hier sogar mit geringeren Details als 50% ($Dt. = 0,2$) begnügen (vgl. Seite 7). Aus Gründen, die mit den Eigenschaften des Negativs zusammenhängen (Seite 70, Anm. 1), kann man allerdings mit den Anforderungen an das Positivmaterial nicht so tief heruntergehen.

Die mit der Detailplatte und den auf dasselbe Papierstück aufkopierten Bildern angestellten Vergleichsversuche haben ergeben, daß eine gute Kopie in den tiefen Schatten noch Details von 25% ($Dt. = 0,1$) wiedergeben muß. Andererseits haben diese Versuche zu dem für die weiteren Überlegungen wichtigen Ergebnis geführt, daß in den tiefen Schatten einer Kopie durchaus nicht die höchsten auf der betreffenden Papiersorte erreichbaren Schwärzungen vorhanden sein müssen, sondern daß in den weitaus meisten Fällen die Schwärzung von 0,9 als tiefster Schatten zu gelten hat.

Der Grund für diese in der Sensitometrie bis jetzt trotz ihrer Wichtigkeit nicht beachtete Tatsache ist darin zu suchen, daß kleine Flächen mit Schwärzung 0,9 (besonders wenn sie neben hellen Stellen sich befinden) vom menschlichen Auge bereits als schwarz angesehen werden (vgl. Tabelle 1 Seite 11, Albedowerte für schwarzes Papier). Lange Versuchsreihen haben nun ergeben, daß man in der praktischen Photographie den Schwärzungswert von 0,9 nur überschreitet, wenn besondere Gründe vorliegen. Somit sind diese höheren Schwärzungen nur von sekundärer Bedeutung für den Aufbau des positiven photographischen Bildes.

Zusammenfassend kann man sagen, daß in den hellsten Stellen einer Kopie Objektdetails von der Größe ($Dt.$) = 0,04, in den Schatten solche von der Größe ($Dt.$) = 0,1 wiedergegeben werden müssen und daß dabei die Schwärzung der tiefsten Schatten den Wert von 0,9 mindestens erreichen muß.

10²⁰
35¹⁰

Maß für Gradation. Kopierumfang (K.U.) Der Unterschied in den (logarithmischen) Belichtungen, die den nach den letzten Ausführungen für die Lichter bzw. für die Schatten maßgebenden Kurvenpunkten entsprechen, ergibt ein Maß für den Kopierumfang (K. U.), d. h. für die „Härte“ bzw. die „Weichheit“ des betreffenden Positivmaterials.

In der Tabelle 7 (Seite 65) sind einige Zahlen für die wichtigsten Typen des Positivpapiere angegeben. Selbstverständlich dürfen diese Zahlen nicht als feststehend angesehen werden, da die Papiere in sehr verschiedenartiger und auch beim gleichen Fabrikat wechselnder Beschaffenheit auf den Markt kommen. Es wäre von Wichtigkeit, wenn ein Übereinkommen zwischen den Fabrikanten erzielt werden könnte, etwa in der Weise, daß Papiere mit einem Kopierumfang 1,0 — 1,3 als normal, solche mit einem kleineren bzw. größeren Umfang als hart bzw. weich arbeitend bezeichnet werden.

Tiefe Schatten In den Schatten soll nach früheren Darlegungen mindestens die Schwärzung = 0,9 erreicht werden. Ein großer Vorzug besteht jedoch, falls größere Schwärzungen erreichbar sind, und

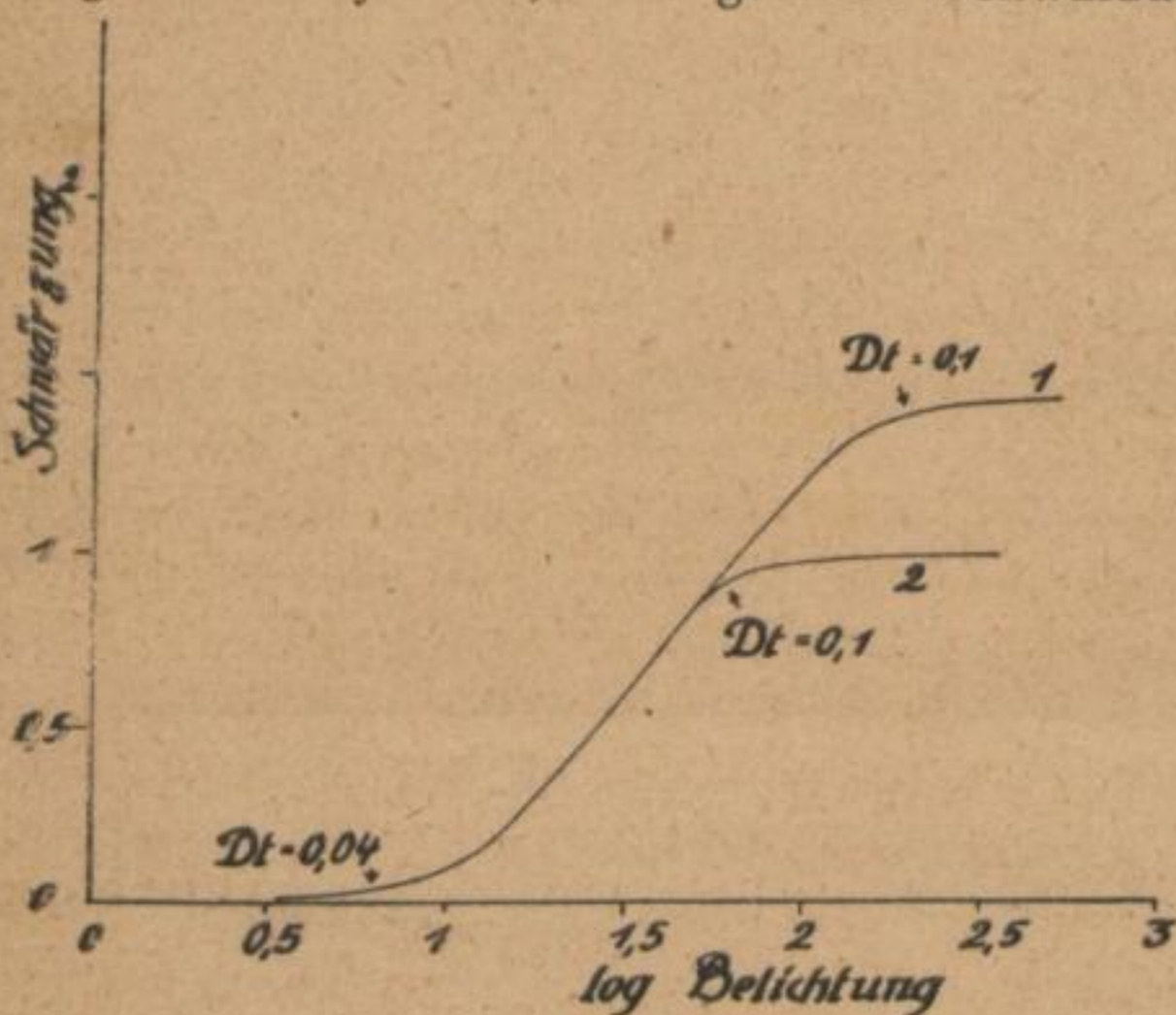


Abb. 34.

zwar ohne daß die Kurve hierbei erheblich an ihrer Steilheit verliert. In der Abb. 34 sind zwei Kurven dargestellt, die im unteren und mittleren Teile gleich verlaufen. Der Beginn des für die Bilderzeugung maßgebenden Teiles der Kurve liegt bei der Abszisse 0,8, da hier Details von $Dt. = 0,04$ wiedergegeben werden. Im oberen Teile verliert die Kurve 2 rasch an Steilheit und verläuft schon bei Schwärzung = 1,0 nahezu parallel zur Abszisse. Sie genügt aber den oben gestellten Bedingungen, da bei Schwärzung = 0,9 Details ($Dt.$) = 0,1 noch wiedergegeben werden. Die Kurve 1 zeigt aber an dieser Stelle eine noch recht gute Detailwiedergabe, steigt weiter an und biegt erst nach Erreichung des Schwärzungsgrades 1,4 nach der Richtung der Abszisse um. Nach obigen Darlegungen haben die beiden Papiersorten die gleichen Eigenschaften in bezug auf Empfindlichkeit ($G = 0,8$) und Gradation ($K. U. = 1,7 - 0,8 = 0,9$). Das Papier 2 ist aber nur

zwar ohne daß die Kurve hierbei erheblich an ihrer Steilheit verliert. In der Abb. 34 sind zwei Kurven dargestellt, die im unteren und mittleren Teile gleich verlaufen. Der Beginn des für die Bilderzeugung maßgebenden Teiles der Kurve liegt bei der Abszisse 0,8, da hier Details von $Dt. = 0,04$ wiedergegeben werden. Im oberen Teile verliert die Kurve 2 rasch an Steilheit und verläuft schon bei Schwärzung = 1,0 nahezu parallel zur Abszisse.



Abb. 35.

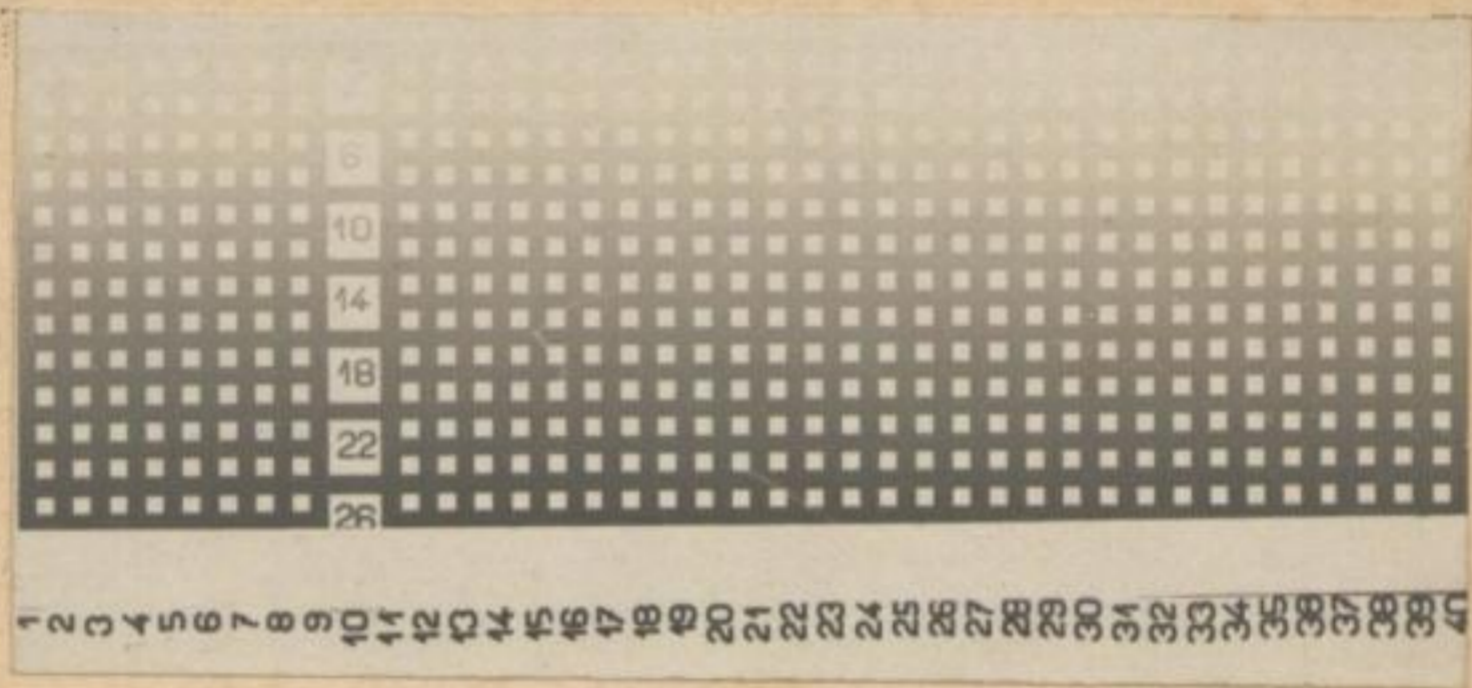


Abb. 36.



Abb. 37.

Goldberg, Der Aufbau des photographischen Bildes.



Abb. 38.

für Negative brauchbar, die einen dem festgestellten Kopierumfang entsprechenden Schwärzungsunterschied von 0,9 zwischen Lichtern und Schatten aufweisen, während das Papier 1 noch bei einem Negativumfang bis zu 1,5 (Schwärzungsunterschied Lichter — Schatten = 1,5, vgl. nächstes Kapitel) annehmbare Kopien ergeben würde, da erst bei einer Belichtung von 2,3 die Tiefen „zuwachsen“ und damit detaillos werden. Diese Feststellungen können, wie bereits oben dargelegt, nicht aus der charakteristischen Kurve allein gemacht werden, sondern nur auf Grund eines Versuchs mit der „Detailplatte“. Die so ermittelten Werte sind an den betreffenden Stellen der Kurven eingetragen.

Anpassungsfähigkeit von Positivverfahren Die gesamte für die Bild-erzeugung verwendbare Skala des Papiers 1 ist dementsprechend bedeutend größer als der nach den obigen Darlegungen festgestellte Kopierumfang. Sie beträgt 1,5, während der K. U. nur 0,9 aufweist. Der Unterschied zwischen den beiden Werten kann nach den obigen Überlegungen als Maß für die „Anpassungsfähigkeit“ des Papiers angegeben werden. Dieser neue Begriff besagt, inwiefern ein Papier für Negative verschiedener Weichheit bzw. Härte gebraucht werden kann, ohne daß dabei unbrauchbare Kopien entstehen. In der nachfolgenden Tabelle 7 sind Beispiele für den Kopierumfang und die Werte für Anpassungsfähigkeit von einzelnen Papiersorten angegeben. Diese Zahlen sollen nicht als Normalwert für die betreffenden Papierarten betrachtet werden, da, wie bereits gesagt, die unter gleichem Namen im Handel befindlichen Papiersorten sehr ungleich sind.

Tabelle 7.
Kopierumfang und Anpassungsfähigkeit von verschiedenen Papiersorten.

	Kopier- umfang	Anpassungs- fähigkeit
Pigmentpapier, schwarz	2,2	0,8
Mattalbumin, Platintonung	1,7	0,5
Zelloidinpapier, glänzend	1,2	0,7
Zelloidinpapier, matt	1,3	0,5
Bromsilberpapier, matt	1,5	0,4
Bromsilberpapier, halbmatt	1,4	0,4
Gaslichtpapier, weicharbeitend halbmatt	1,3	0,8
Gaslichtpapier, normal glänzend	0,9	0,4
Gaslichtpapier, hartarbeitend glänzend .	0,7	0,4

Kurvenform und Papiereigenschaften Die nach obigen Methoden ermittelte Zahl für den Kopierumfang ist ein Maß für die durchschnittliche Abstufung des Bildes, und es ist möglich, daß trotz

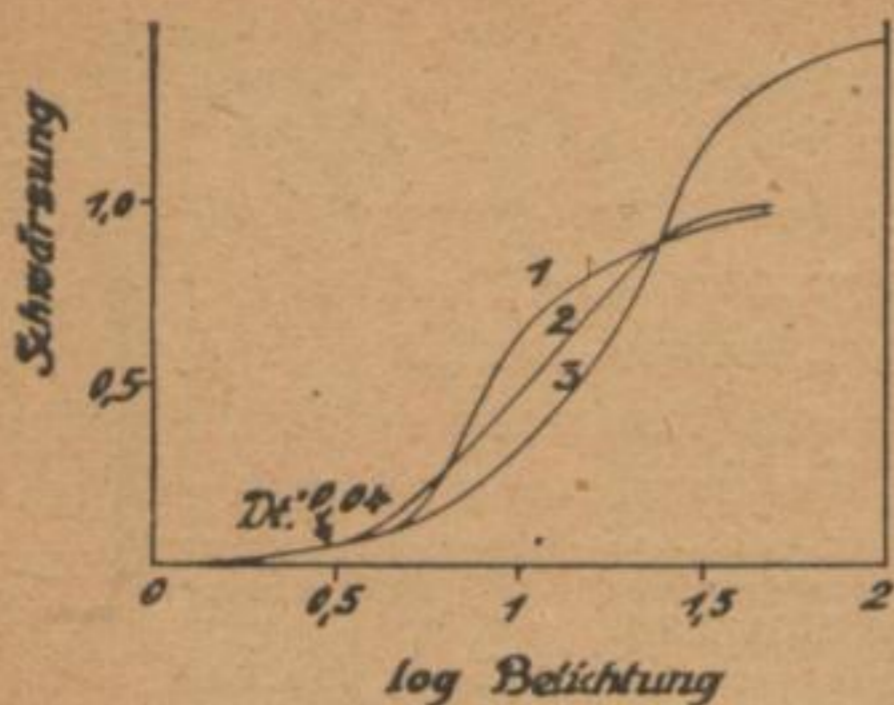


Abb. 39.

gleicher Zahl für den K. U. zwei Papiere recht verschiedene Lichtabstufungen in den einzelnen Abschnitten der charakteristischen Kurve haben. In der Abb. 39 sind drei Kurven dargestellt, von denen die Kurve 1 übertriebene Wiedergabe der Details in den hellen Stellen aufweist, während die dunklen Stellen verhältnismäßig detaillos sind. Umgekehrt zeigt die Kurve 3 die Abstufungen bei einem Papier mit schlecht abgestuften Lichtern, aber gut detaillierten dunklen Stellen.

Die Kurve 2 gibt schließlich die Halbtöne in den Lichtern wie in den Schatten gleich gut wieder. Das Papier 1 würde harte Weißen und zugewachsene „rußige“ Schatten in den Kopien zeigen, während das Papier 3 kreidige Lichter, aber gut durchgezeichnete Schatten aufweist.

Im allgemeinen kann man sagen, daß eine Kurve, die die geradlinige Kurve 2 zwischen den beiden für den Kopierumfang maßgebenden Punkten kreuzt, wie es bei der Kurve 1 der Fall ist, eine im Vergleich mit Kurve 2 trotz gleicher Gradationszahl härter arbeitende Emulsion verkörpert, während bei einer Kurve des Typus 3, die nur in den beiden Endpunkten der Kurve 2 entspricht, eine weicher arbeitende Emulsion gegeben ist.

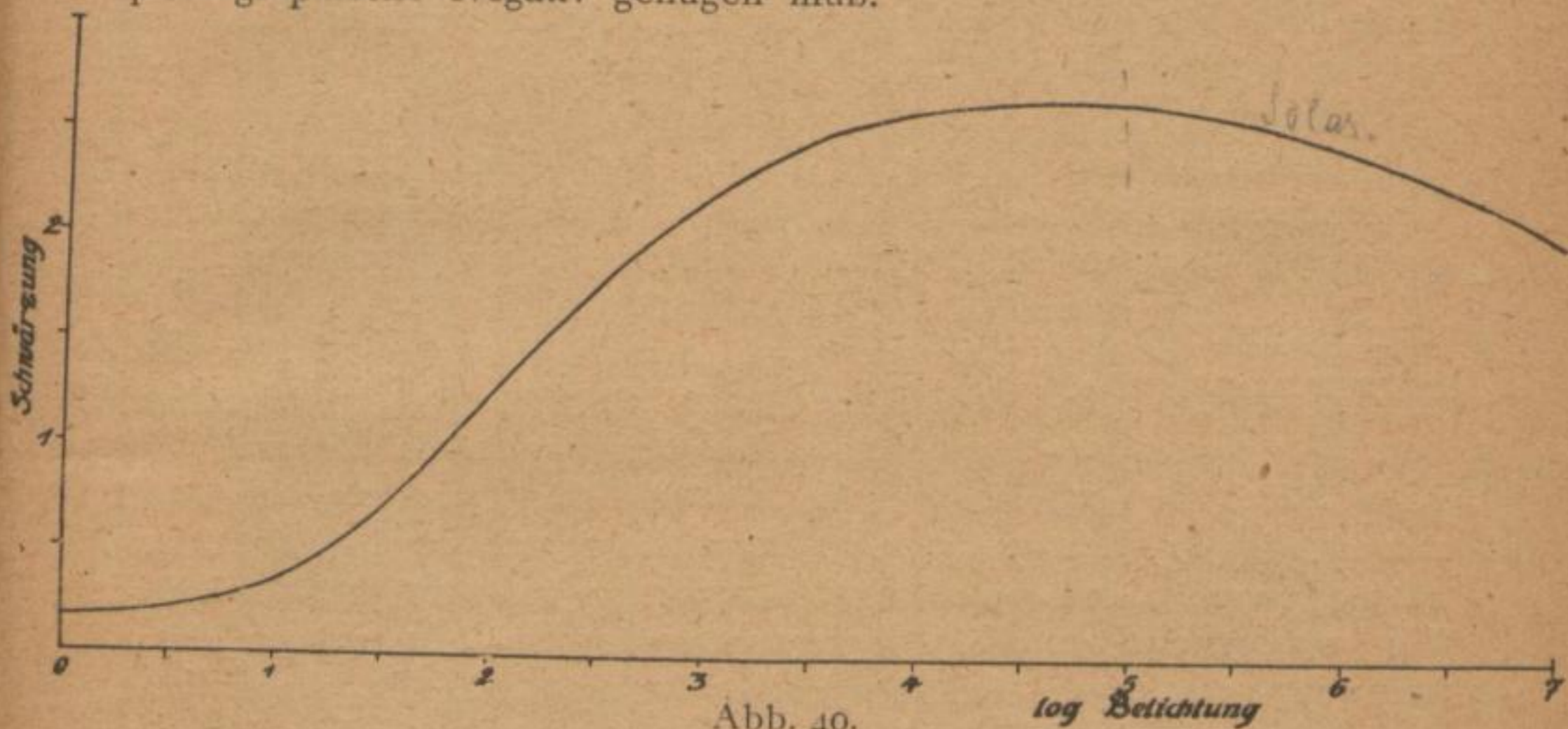
Kapitel 7. Sensitometrie des Negativs.

Bisher wurde angenommen, daß das Zwischenglied zwischen dem Naturobjekt und dem photographischen Bild — das Negativ — sämtliche im Objekt vorhandenen Abstufungen naturgetreu wiedergibt. In der Tat ist es nicht der Fall. Genau wie beim photographischen Papier kann man bei der empfindlichen Platte mit Hilfe der charakteristischen Kurve und der Detailkurve feststellen, wie verschieden bei den einzelnen Plattensorten bzw. Emulsionen die Abstufungen in den Lichtern, Mitteltönen und Schatten wiedergegeben werden.

Die Gestalt der charakteristischen Kurve ist bei Platten im großen und ganzen dieselbe wie bei den Papieren. Da aber die Platte nur in der Durchsicht gemessen und verwendet wird, so fällt bei höheren Schwärzungen die beim Papier immer vorhandene Beschränkung durch das Oberflächenlicht weg, so daß die Maximalschwärzung lediglich durch die Menge des beim Entwickeln abgeschiedenen Silberkornes bedingt wird. Diese Menge steigt bei Erhöhung der Belichtungszeit zuerst stärker, dann immer langsamer an und verringert sich nach

Schwärzung

Erreichung einer je nach der Art der Emulsion verschiedenen Belichtung wieder. Diese unter dem Namen „Solarisation“ bekannte Erscheinung tritt aber erst bei außergewöhnlich großen Belichtungen ein. Somit hat die charakteristische Kurve einer Platte die typische Gestalt der Abb. 40; je nach Plattensorte und Entwicklungsart kommen die verschiedensten Abweichungen vor. Somit müssen auch hier, wie es beim Papier der Fall war, an Hand der in den früheren Kapiteln ermittelten Grundlagen des Zustandekommens einer photographischen Aufnahme die Bedingungen diskutiert werden, denen das normale photographische Negativ genügen muß.



Grenzen des praktisch verwendbaren Kurvenabschnittes bei Negativen Da wir im vorigen Kapitel festgestellt haben, daß die photographische Kopie in den Schatten des Bildes Details von der Größe $Dt. = 0,1$ wiedergeben muß, so ist durch diese Angabe zugleich gesagt, daß die den Objektschatten entsprechenden hellsten Stellen des Negativs praktisch nur insofern in Betracht kommen, als deren Schwärzung den Wert von $0,1$ übersteigt, da geringere Schwärzungen beim Herstellen der Kopie wirkungslos sind. Da es sich hier um ein „Detail“ im Negativ, also einen Sprung in der Schwärzung handelt, so kommt nicht die absolute Schwärzung von $0,1$, sondern die gegen den „Schleier“ des Negativs um $0,1$ erhöhte Schwärzung in Betracht. Unter „Schleier“ wird in diesem Falle die Schwärzung der vom Objektlicht unbeeinflusst gebliebenen Stelle des Negativs verstanden. Dieser Schleier kann durch Emulsionseigenschaften, Dunkelkammerbeleuchtung bei der Fabrikation, Lagerung, Entwickler usw. verursacht werden, ist also von den Umständen der Aufnahme (Reflexlicht vom Objektiv, Kamerabälgen, Luftnebel usw.) unabhängig.

Negativumfang Die Stelle der Plattenkurve, wo eine Schwärzung von 0,1 gegen den Schleier erreicht ist, muß als Fußpunkt des Kurvenabschnittes, der für praktische Zwecke normalerweise brauchbar ist, genommen werden. Der obere Punkt ist durch die im vorigen Kapitel erörterten Eigenschaften der Kopierpapiere gegeben. Dort wurde nämlich festgestellt, daß für jede Papiersorte ein bestimmter „Kopierumfang“ ermittelt werden kann, der als Maß des Helligkeitsintervalls dient, das vom Papier bewältigt werden kann. Dieser Kopierumfang ergibt somit direkt das Maß für den Schwärzungsunterschied zwischen der hellsten und der dunkelsten Stelle eines Negativs, das auf dem betreffenden Papier mit Vorteil kopiert werden darf. Bei Übertragung auf das Negativ würde man den „Kopierumfang“ als „Negativumfang“ bezeichnen.

Diese Überlegungen zeigen, daß der Begriff des „Normalnegativs“ schlechterdings nicht zu ermitteln ist, solange die Papiersorte nicht festgestellt ist, die beim Kopierprozeß zur Verwendung gelangen soll.

Normalnegativ Man muß nun irgendeine Papiersorte als „Normalpapier“ festlegen und aus deren Gradationszahl den Negativumfang des „Normalnegativs“ ermitteln. Welches Papier als „normal“ zu gelten hat, ist nicht eindeutig feststellbar. Der Amateur verwendet zumeist das Zelloidinpapier, der Porträtphotograph vielfach das Mattalbuminpapier. Der Amateur zieht härtere, der Fachphotograph weichere Kopien vor. Somit bleibt diese Feststellung rein subjektiver Natur. Immerhin wird man dem durchschnittlichen K. U. für die meisten Anwendungen der Photographie den Wert von 1,2 geben können, wenn man berücksichtigt, daß das Zelloidinpapier und die weicharbeitende Sorte des Gaslichtpapiers von den meisten Photographen als geeignetstes Kopiermaterial angesehen werden.

Durch diese Feststellung ist der obere Punkt in der charakteristischen Kurve des „normalen“ Negativs gegeben. Er liegt $0,1 + 1,2 = 1,3$ Schwärzungseinheiten über dem Negativschleier. Damit ist gleichzeitig gesagt, daß bei normalen guten Negativen der Unterschied zwischen den hellsten und den dunkelsten Stellen (zwischen den tiefen Schatten und den Spitzlichtern) ungefähr 1,3 Schwärzungseinheiten betragen muß (vgl. Abb. 41, Seite 70).

Um diese Feststellung auf einem anderen rein empirischen Wege zu prüfen, wurde eine sehr große Sammlung von Negativen verschiedenster Art einer Reihe von Personen, die eine gute Erfahrung im Photographieren besitzen mit dem Ersuchen vorgelegt, die ihrer unbeeinflussten Meinung nach „normalen“ Negative herauszusuchen und die übrigen in Klassen „flau, weich, hart“ einzuteilen. Daraufhin wurden mit Hilfe des Schwärzungsmessers die Negative in der Weise durch-

messen, daß die Deckung in den klarsten Stellen, die aber trotzdem Details aufwiesen, und die Schwärzung in den gedeckten Stellen ermittelt wurde. Bei Landschaften wurde hierbei der Himmel außer acht gelassen, da die Erfahrung lehrt, daß infolge besonderer Verhältnisse bei Landschaftsaufnahmen der Himmel meist so stark in Negativen gedeckt ist, daß die Details in den Wolken nicht durchkopieren und somit außer Betracht zu lassen sind (vgl. Seite 57). Das Ergebnis dieser statistischen Untersuchung, die sich auf über 600 Negative erstreckte, ist in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 8.
Negativumfang bei verschiedenen Negativarten.

Bezeichnung des Negativs	Negativumfang			Mittel
	Beobachter			
	I	II	III	
flau	<0,7	—	<0,6	<0,65
weich	0,8	1,1	0,8	0,9
normal	1,1	1,2	1,2	1,2
kräftig	1,35	1,25	1,5	1,4
hart	>1,6	>1,7	—	>1,65

Die auf diesem statistischen Wege ermittelte Zahl für den „Umfang“ eines „Normalnegativs“ paßt sich recht gut dem vorhin auf einem rein spekulativen Wege festgelegten Wert 1,2 an und bestätigt die im vorigen Kapitel angestellten Überlegungen über die Gradation des Kopierpapiers.

Abweichungen vom geradlinigen Verlauf der Schwärzungskurve Der zwischen beiden durch die Schwärzungswerte 0,1 und 1,3 (über dem Schleier) festgelegten Punkten liegende Abschnitt der charakteristischen Kurve kann die verschiedenartigste Gestalt je nach Art der Emulsion und der Behandlung der Platte haben. Genau wie es beim Papier der Fall war, hängt auch bei der Trockenplatte die Wiedergabe der Helligkeitswerte im Objekt von der Neigung der charakteristischen Kurve ab, so daß alle im Kapitel 5 entwickelten Formeln sinngemäß auch beim Negativ Verwendung finden. Durch die Formel für naturgetreue Wiedergabe $n_N \cdot n_P = 1$, wo n_N die Steilheit der Negativkurve und n_P die der Positivkurve bedeutet, wurde bereits gezeigt, daß die Wiedergabe der Objektstufungen durch die endgültige Photographie ebenso von den Eigenschaften des Positiv- wie des Negativmaterials abhängt. Die anderen im vorigen Kapitel angestellten Überlegungen über die Bedeutung des geradlinigen Verlaufs der Kurve für gleichmäßige Wiedergabe der Einzelheiten in Lichtern und Schatten behalten auch für das Negativmaterial ihre Gültigkeit.

Vorteile der konvexen Gestalt der Schwärzungskurve.

Bei der Auswahl der für praktische Bedürfnisse brauchbaren Negativkurve muß auf die Wechselwirkung zwischen Positiv und Negativ eingegangen werden. Es wurde in Kapitel 5 (Seite 57) bereits ausgeführt, daß bei der bildmäßigen Auffassung eines Naturausschnittes vor allem die Abstufungen in den Lichtern von Bedeutung sind, während auf die Details in den Schatten eher verzichtet werden kann, ohne daß der Eindruck vom Bild erheblich leidet. Da die Photographie in den allermeisten Fällen auf die naturgetreue Wiedergabe der Helligkeitswerte der Natur verzichten muß, weil eine solche nicht möglich ist, und auf die Wiedergabe

des bildmäßigen Eindrucks beschränkt werden muß (Seite 56), so ist somit vor allem auf die Güte der Lichter zu achten, auch wenn die Schatten darunter leiden.¹⁾

Eine Bevorzugung der Lichter wird erreicht, wenn in solchen Fällen, wo eine naturgetreue Wiedergabe durch das Negativ im ganzen nicht erreichbar ist, eine Kurve gewählt wird, deren Steilheit bei den höheren Schwärzungen eine stärkere als in dem

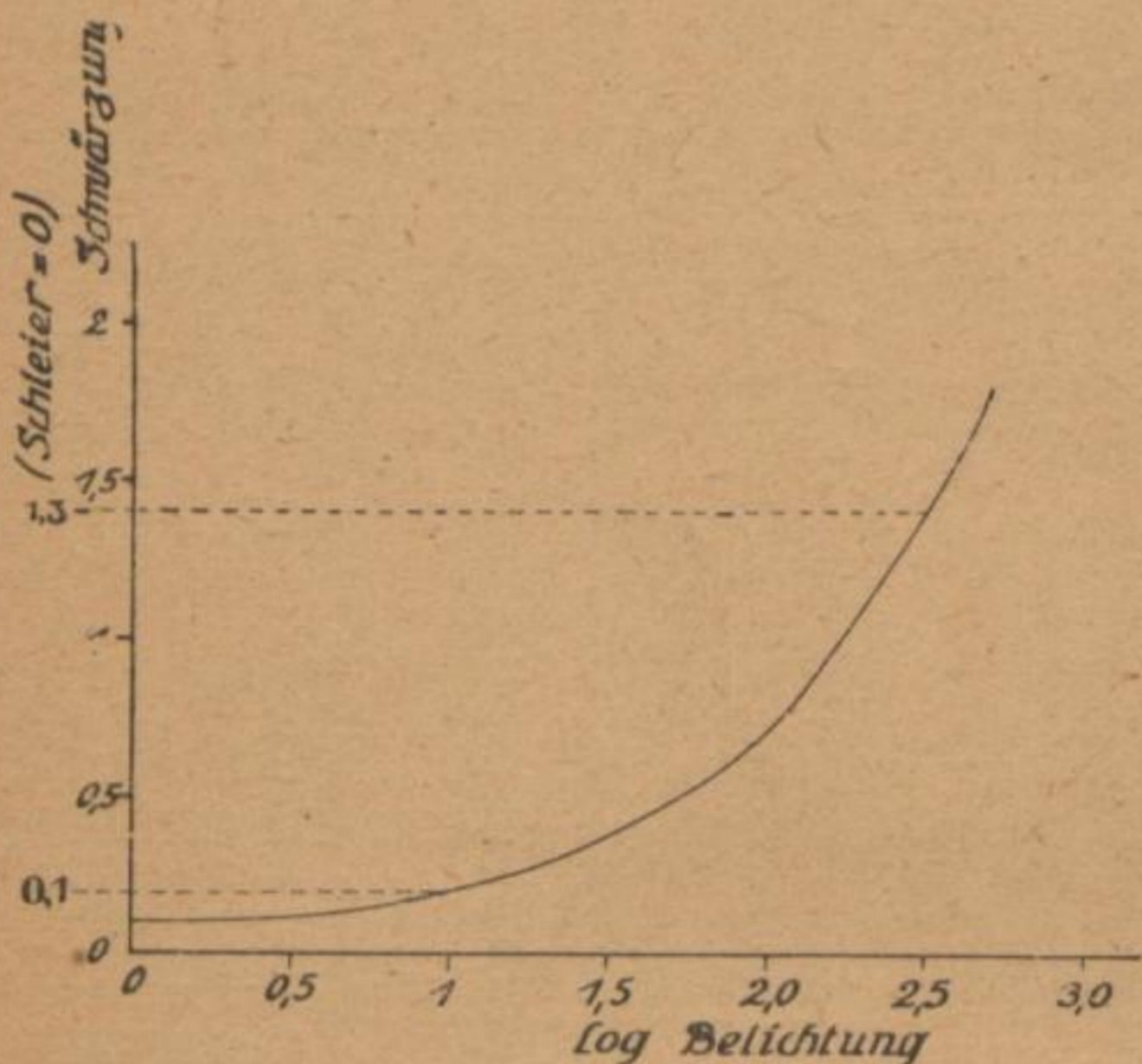


Abb. 41.

geringer geschwärzten unteren Abschnitt ist. Solch eine Kurve weicht selbstverständlich von der geraden Linie ab und besitzt eine gegen die Abszissenachse konvexe Gestalt (Abb. 41).

In der Regel soll also die Steilheit der charakteristischen Kurve einer Trockenplatte vom Fußpunkt an gerechnet zunehmen. Praktisch ist diese Regel nur bis zu einer gewissen Höhe der Belichtung durch-

1) Eine gewisse Korrektur der Abstufungen der Schatten kann dadurch erzielt werden, daß man beim Kopierpapier die Anforderungen an die Detailwiedergabe in den dunklen Stellen nicht zu niedrig ansetzt. Dies ist auch geschehen, indem wir als Minimalforderung die Wiedergabe von Details $Dt. = 0,1$ gefordert haben (Seite 63), obwohl man sich nach den Darlegungen im Kapitel 1 (Seite 7) mit einer geringeren Detailwiedergabe in den tiefen Schatten begnügen könnte.

zuföhren, da alle Trockenplattenemulsionen die Eigenschaft besitzen, bei höheren Belichtungen zu solarisieren und hiermit an Steilheit der Kurve einzubüßen. Bei solchen Aufnahmen, wo größere Helligkeitskontraste (z. B. Porträt-, Innenaufnahmen, Schneelandschaften) vorkommen, spielt dieses Abflachen der Kurve eine große Rolle und in diesen Fällen werden solche Plattensorten den Vorzug verdienen, die am wenigsten zum Solarisieren neigen. Der Ausdruck „gut durchgearbeitete Spitzlichter“, der gern von Praktikern gewählt wird, bedeutet, in wissenschaftliche Sprache übersetzt, eine Schwärzungskurve, die auch bei höheren Belichtungen ihre Steilheit behält (vgl. Seite 74).

Kapitel 8. Anpassung der Gestalt der Schwärzungskurve an die Helligkeitsverteilung im Naturobjekt.

Nachdem die Lichtverhältnisse im Naturobjekt, die Eigenschaften des Negativs und Positivs und der Zusammenhang zwischen diesen beiden Stufen der photographischen Aufnahme klargelegt worden sind, bleibt als letztes Glied in der Kette Objekt — Negativ — positives Bild

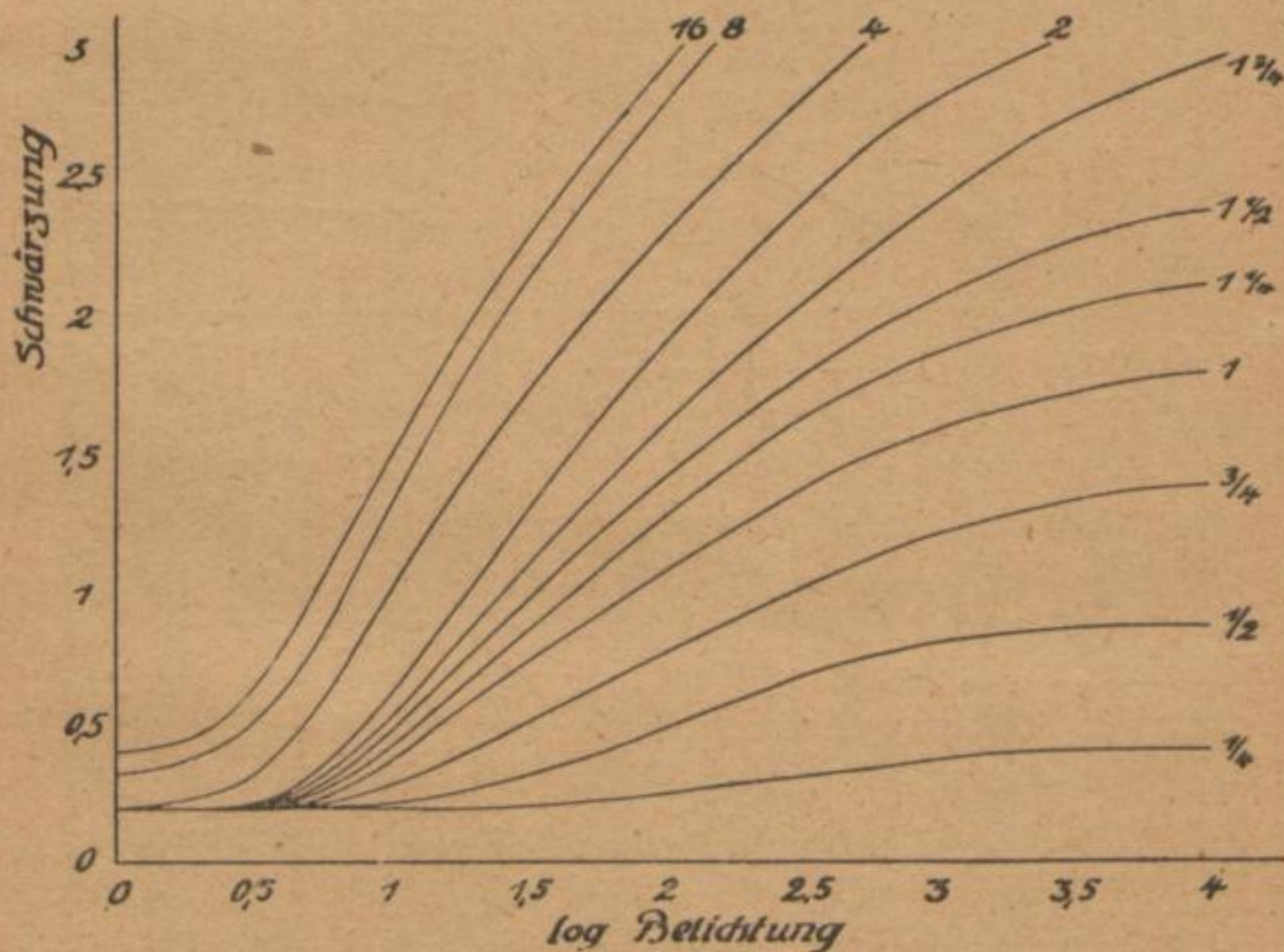


Abb. 42.

der Zusammenhang zwischen dem Objekt und dem zugehörigen Negativ zur Erörterung. Dieser Zusammenhang wird durch die Gestalt der Schwärzungskurve, insbesondere durch deren Steilheit, ausgedrückt. Es bleibt also zu untersuchen, in welcher Weise die charakteristische Kurve einerseits den photometrischen Eigenschaften des Objekts, ander-

seits den im vorigen Kapitel festgelegten Bedingungen angepaßt werden kann. Diese Anpassungsmöglichkeit ist dadurch gegeben, daß die Gestalt der Schwärzungskurve bei zunehmender Entwicklungszeit sich ändert, und zwar immer so, daß an allen Stellen der Kurve deren Steilheit, wenn auch nicht in der gleichen Weise, zunimmt. Außerdem hängt die Kurve bei einer gegebenen Plattensorte noch von der Art und der Zusammensetzung des Entwicklers ab. Somit kann für jede Plattensorte und jeden Entwickler eine Schar von Schwärzungskurven ermittelt werden, aus denen eine gewählt werden muß, die für den betreffenden Fall paßt. Als Beispiel ist eine solche Kurvenschar für eine normale Landschaftsplatte, die von Amateuren viel gebraucht wird und den als normal anzusehenden Metolhydrochinon-

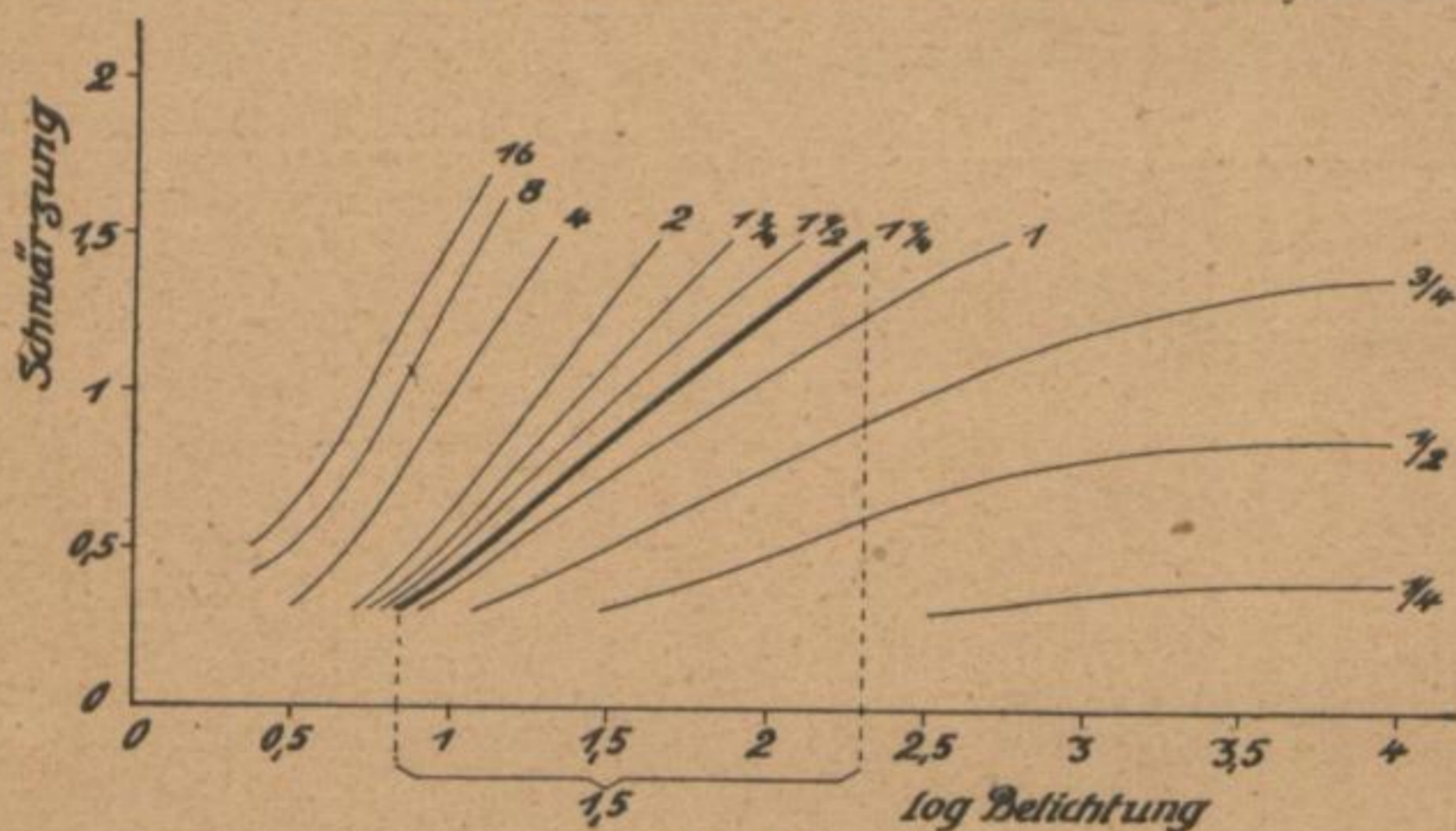


Abb. 43.

Entwickler in der „Agfa“-Zusammensetzung in der Abb. 42 entworfen.¹⁾ Da auf Grund der Darlegungen des vorigen Kapitels nur der Schwärzungsbereich zwischen den Schwärzungen 0,1 und 1,3 über dem Schleier für „Normalnegative“ in Frage kommt, so ist diese Zone in der Abb. 43 für sich herausgehoben.

Bei jeder charakteristischen Kurve von Negativen wird das zur Aufnahme gelangende Naturobjekt durch die Abszissenachse dargestellt. Wir brauchen auf der Abszissenskala nur die Ausdehnungen der im Objekt vorhandenen Helligkeiten zu bezeichnen und die den dunkelsten und den hellsten Stellen des Objektes entsprechenden Ordinaten zu ziehen, um aus der ganzen Schar der Schwärzungskurven eine eindeutig zu bestimmen, die allein allen an das Negativ zu stellenden Bedingungen genügt.

1) Die Zahlen an den Kurven der Abb. 42 bis 46 bedeuten Entwicklungszeiten in Minuten.

Somit steht fest, daß für jedes Objekt eine besondere Negativkurve als richtig angesehen werden muß, oder mit anderen Worten, daß die Entwicklungszeit den Eigentümlichkeiten des Objektes angepaßt werden muß.

Schwärzungskurve beim Normalobjekt Im ersten Buch wurde versucht, aus der unendlichen Mannigfaltigkeit der Objekte solche herauszusuchen, die als typisch für eine bestimmte Klasse von Aufnahmen anerkannt werden können, und es wurde dabei festgestellt, daß als „Normalobjekt“ im Sinne der Amateuraufnahmen ein solches mit einem Umfang von 1,5 angesehen werden kann, s. S. 49. Sucht man aus der Schar der Kurven der Abb. 42 eine Kurve, die sich dem Objektumfang 1,5 anpaßt, heraus und bestimmt die Lichtmenge, die zur Erzielung der Minimalschwärzung von 0,1 notwendig ist, so ergibt der logarithmische Wert dieser Lichtmenge ein Maß für die Lichtempfindlichkeit der betreffenden Plattensorte (vgl. Abb. 43).

Anpassung der Schwärzungskurve an Objekte mit anormalem Umfang Während fast bei jeder photographischen Trockenplatte eine Kurve gefunden werden kann, die dem normalen Objekt so angepaßt ist, daß alle Bedingungen erfüllt werden, treten bei Objekten mit besonders kleinem oder großem Helligkeitsumfange oft Schwierigkeiten ein, da die Mannigfaltigkeit der Kurvenschar nicht ausreicht.

Wahl der Kurve bei Objekten mit kleinem Umfang In der Abb. 44 ist eine den verschiedenen Entwicklungszeiten entsprechende Kurvenschar dargestellt, wobei nur die Abschnitte ausgezogen wurden, die einem

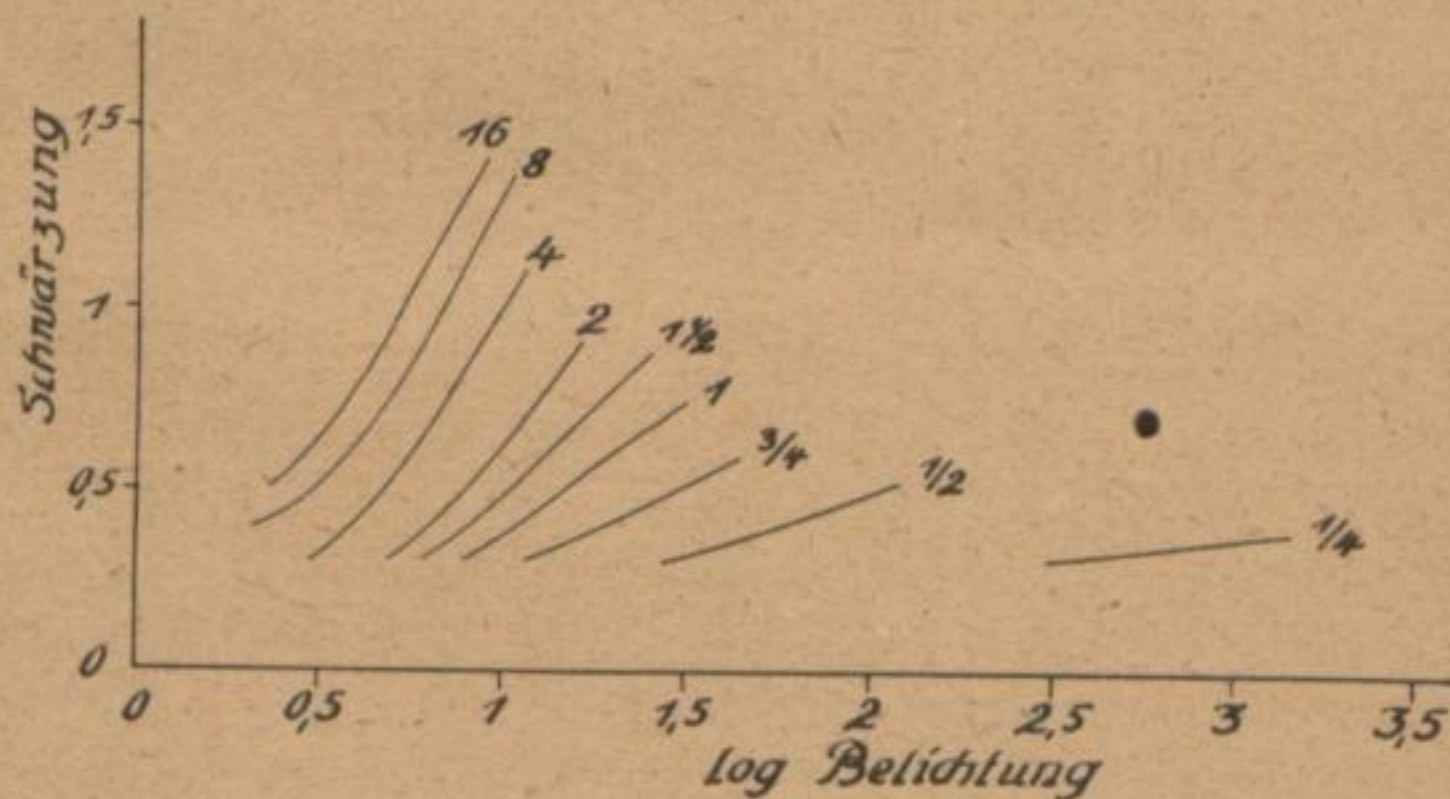


Abb. 44.

Objektumfange von 0,6 entsprechen. Solch kleiner Objektumfang kommt oft bei offenen Landschaften, Fliegeraufnahmen usw. vor, s. S. 45. Man erkennt, daß auch bei der praktisch außerordentlich langen Entwicklungs-

zeit von 16 Minuten (normale Zusammensetzung des Entwicklers), die einen übermäßigen Schleier verursacht, die Steilheit der Kurve nicht ausreicht, um den gestellten Bedingungen in bezug auf Schwärzung der Lichter zu genügen.

Es ergibt sich somit eine „dünne“ Platte, die einen zu geringen Negativumfang besitzt, und es bleibt nichts anderes übrig, als zum Kopieren ein Papier mit kleinem Kopierumfang zu verwenden, der dem erzielten Negativumfang angepaßt ist, z. B. die hartarbeitenden Gaslichtpapiere. Eine weitere Möglichkeit ist in der Verstärkung des Negativs gegeben, die den Wert des Negativumfangs beträchtlich erhöht. In extremen Fällen wird man beide Verfahren kombinieren, also zuerst verstärken und außerdem auf hartarbeitendes Papier kopieren.

Wahl der Kurve bei Objekten mit großem Umfang Größer sind die Schwierigkeiten bei Objekten mit ausgedehntem Umfang (Porträt im Zimmer usw.). Auch hier muß man zwischen den einzelnen Kurven,

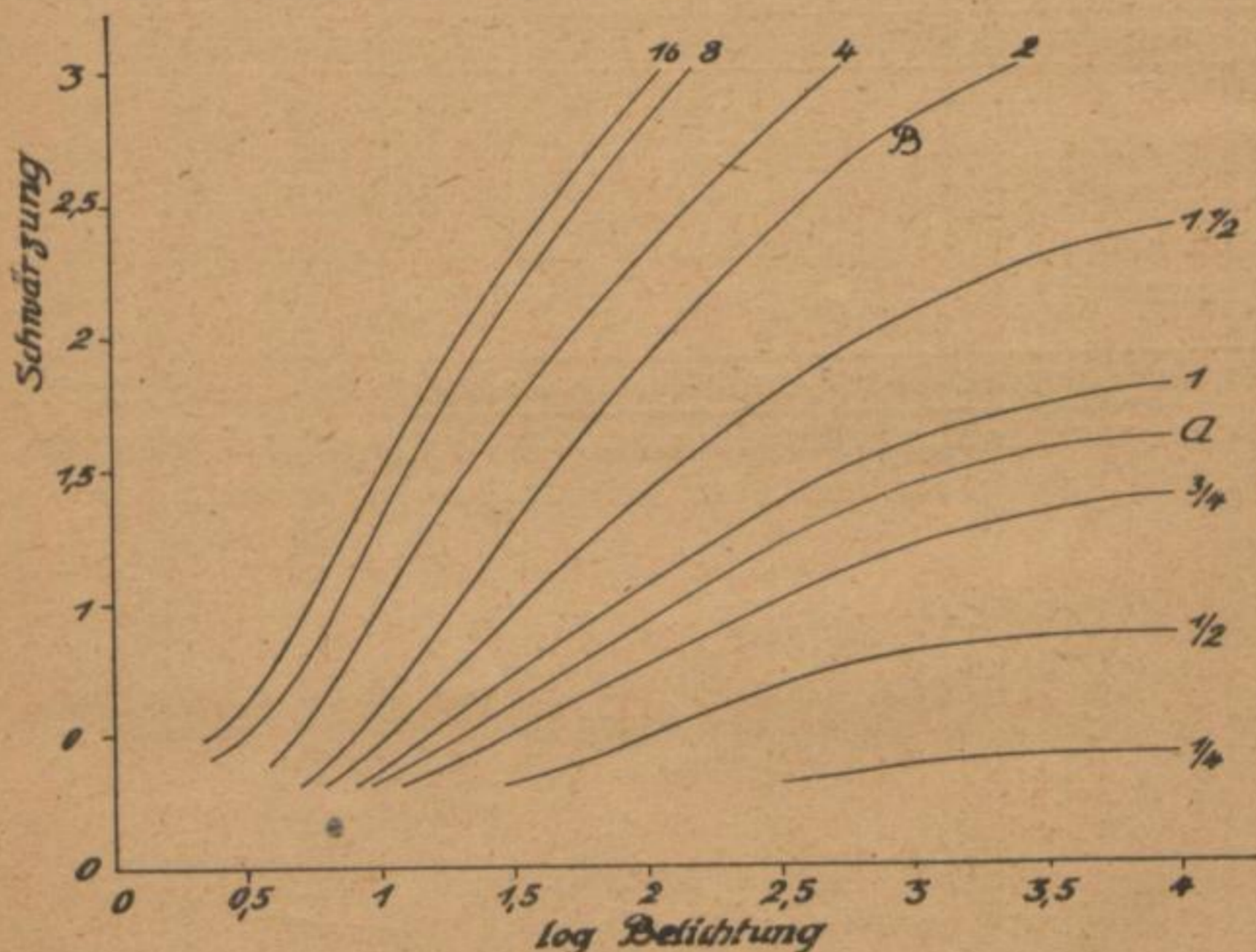


Abb. 45.

die den verschiedenen Entwicklungszeiten entsprechen, wählen. Fast immer wird man aber dabei finden, daß die Kurvenform bei kurzen Entwicklungen, die hier allein in Frage kommen, eine sehr ungünstige Gestalt erhält, wenn man nicht besondere Vorsichtsmaßregeln beim Entwickeln anwendet. In der Abb. 45 ist eine Kurvenschar für einen Objektumfang von 3,0 hervorgehoben. Die einzige in Frage kommende

Kurve *A* verläuft bei den Schwärzungswerten über 1,0 so flach gegen die Abszisse, daß eine einigermaßen naturgetreue Wiedergabe von Details und Abstufungen in den Lichtern nicht zu erzielen ist. Dabei muß doch gerade auf diese Stellen des Bildes besonderer Wert gelegt werden.

Ist eine Beeinflussung der Kurve durch besondere Entwicklungsart nicht möglich, so ist man gezwungen, zum Kurventypus *B* Abb. 45 überzugehen (abgesehen von einem Kompromiß zwischen den Kurven *A* und *B*). Die Kurve *B* ergibt einen bedeutend größeren Negativumfang als der geforderte Wert von 1,2, besitzt aber gut durchgearbeitete Abstufungen auch in den Lichtern. Das Negativ hat somit ganz dünne Schatten und sehr stark geschwärzte Lichter, entspricht also dem Typus des „harten“ Negativs, von dem nur mit Schwierigkeit eine annehmbare Papierkopie hergestellt werden kann. Solch ein übermäßig kontrastreiches Negativ kann nur auf Papieren kopiert werden, die einen hohen Kopierumfang oder zum mindesten eine besonders ausgeprägte Anpassungsfähigkeit besitzen, wie es bei den Auskopierpapieren, insbesondere beim Pigmentdruck der Fall ist.

Gestalt der Schwärzungskurve bei Überbelichtungen

Überbelichtungen kann man bei normalem und kleinem Objektumfange bis zu einem gewissen Grade ausgleichen, indem man das Negativ, wie bei normaler Belichtung, bis zur Erreichung einer passenden Kurve entwickelt. Auf diese Weise erzielt man oft fast gleich gute Abstufungen wie bei Normalbelichtungen (Abb. 46).¹⁾ Der mit solcher Behandlungsweise verbundene Fehler besteht, wie aus der Abbildung ersichtlich, in dem verhältnismäßig starken Schleier, der zwar auf die Abstufungen und die Güte der endgültigen Papierkopie keinen Einfluß hat, aber einerseits jede Kontrolle des Entwicklungsganges ausschließt, andererseits die Kopierdauer stark verlängert.

Bei Objekten mit großem Objektumfang schadet die Überbelichtung wenig, solange nicht die Lichter des Objekts in die konkav gegen die Abszisse verlaufenden Abschnitte der Kurve hineinlangen. Man muß hierbei durch Abkürzung der Entwicklungszeit und passende Zusammensetzung des Entwicklers dafür sorgen, daß die Erfüllung der Bedingungen für ein brauchbares Negativ ermöglicht wird. Oft bietet eine starke Überbelichtung und sogar eine damit verbundene Detaillosigkeit der hellsten Stellen des Objekts die einzige Möglichkeit, einen

1) In der Abb. 46 ist in der Kurve *C* eine fünffache, in der Kurve *D* eine zehnfache ausgeglichene Überbelichtung gegenüber der Normalkurve *N* dargestellt (aus den Kurven der Abb. 42 entnommen). Die Kurve *C* weist einen Schleier von 0,8, die Kurve *D* von 1,5 auf.

großen Objektumfang einigermaßen harmonisch darzustellen. Man muß z. B. regelmäßig bei Aufnahmen von Landschaften mit dunklem Vordergrund, Torwegen, Innenaufnahmen gegen das Fenster usw. auf die Wiedergabe von Wolken verzichten, da sonst überhaupt keine Möglichkeit vorhanden ist, ein harmonisches Bild zu erhalten.

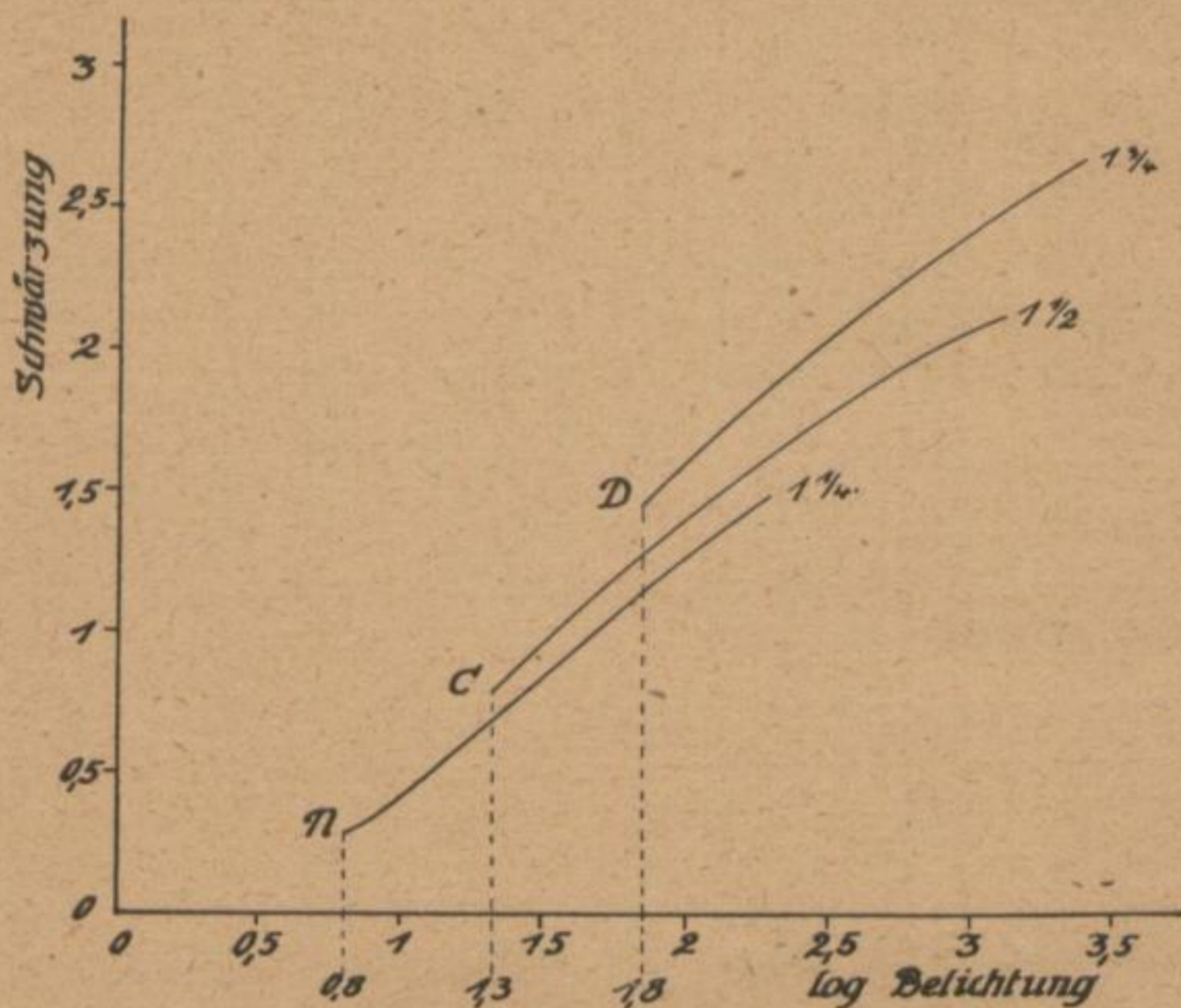


Abb. 46.

Schlußbemerkung Die obigen Darlegungen haben gezeigt, in welcher Weise die im Laufe der vorliegenden Untersuchungen gewonnenen Zahlen auf ein tatsächliches Beispiel anzuwenden sind. Bei der unendlichen Mannigfaltigkeit der praktischen Aufnahmen konnten dabei nur einige wenige Grenzfälle durchgenommen werden, die die Lösung der zu Beginn der Arbeit gestellten Aufgabe veranschaulichen sollten. Es wird noch einer großen Reihe von Untersuchungen bedürfen, um die vielen nur andeutungsweise berührten Probleme bis auf die letzten Konsequenzen hin durchzuarbeiten.

Anhang 1.

Vergleichsphotometer.

In der Photometrie kommt oft die Aufgabe vor, Flächenhellen von zwei verschieden gelegenen, z. T. weit entfernten Flächen miteinander zu vergleichen, so z. B. bei Bestimmung von Beleuchtungen in geschlossenen Räumen (Vergleich mit der Helligkeit des Himmels), bei Messung der Sicht usw. Diese Aufgabe wurde bis jetzt meistens in der Weise gelöst, daß ein Straßenphotometer oder sonst ein tragbares mit einer Vergleichslichtquelle versehenes Photometer nacheinander auf diese beiden Flächen gerichtet wurde. Die so getrennt voneinander ermittelten Flächenhellen wurden miteinander in Beziehung gebracht. Voraussetzung hierbei ist, daß zwischen den Versuchen die Helligkeit der beiden Flächen sich nicht ändert. Erschwerend bei der Durchführung der Versuche außerhalb des Laboratoriums ist die räumliche Ausdehnung der bis jetzt konstruierten tragbaren Photometer mit Normallichtquelle.

Vor einigen Jahren wurde ein Vergleichsphotometer von Wiener konstruiert und von Herxheimer beschrieben¹⁾, das den unmittelbaren Vergleich der Helligkeiten von zwei beliebigen Himmelsstellen gestattete. Dieses Instrument bestand in der Hauptsache aus zwei gleichen Fernrohren, die so drehbar angeordnet waren, daß die Anvisierung in jeder gewünschten Richtung möglich war. Durch ein gemeinsames Okular konnten die beiden anvisierten Stellen ohne sichtbare Trennungslinie nebeneinander betrachtet werden. Die meßbare Schwächung des einen Vergleichsfeldes wurde durch Einschaltung einer Küvette mit neutralgrauer Flüssigkeit, die nach Angaben des Verfassers zusammengesetzt war (vgl. Seite 83 dieser Arbeit) erzielt.

Vor kurzer Zeit hat Leonh. Weber²⁾ ein Relativphotometer beschrieben, das ähnlichen Zwecken dient. Auf Einschaltung von optischen Systemen in den Strahlengang wurde verzichtet, als eine Vergleichsfläche wurde eine Milchglaskugel genommen, die meßbare Schwächung wurde durch eine regulierbare Blende erzielt. Der Nachteil dieser Anordnung besteht in der stark beschränkten Skala der Helligkeiten.

Im Verlaufe der im Hauptteil beschriebenen Arbeit stellte sich die Notwendigkeit heraus, ein Photometer zu besitzen, das folgenden Forderungen entspricht:

1) Z. f. Instrumentenk. 32, 55, 1912.

2) Refer. Z. f. Instrum. 38, 123, 1918.

1. Die Brennweite des Fernrohrobjektivs muß in weitesten Grenzen verändert werden können;
2. die Ausdehnung des Instrumentes soll möglichst gering sein, die Transportfähigkeit sehr groß;
3. die meßbare Schwächung des einen Feldes soll in sehr weiten Grenzen ausführbar sein;
4. die Ausführung der Messungen soll sehr schnell nacheinander erfolgen können.

Im folgenden soll ein Photometer beschrieben werden, das allen diesen Forderungen genügt. Es besteht aus einem Vergleichsokularkopf, der auf jeden Fernrohrtubus aufgeschraubt werden kann. Bei den Versuchen des Verfassers wurden Fernrohre mit Brennweiten zwischen 10 und 85 cm gebraucht. Der Okularkopf ist im Schnitt in der Abb. 47, in der Ansicht in der Abb. 48 dargestellt. Das in der Fassung *s* drehbare und verstellbare Hauptrohr hat einen seitlichen Ansatztubus *t*, der mit einem rechtwinkligen Prisma *p* an seinem Ende versehen ist. Dieses Prisma ist nach allen Richtungen drehbar angeordnet. An der Kreuzungsstelle der optischen Achse des Fernrohrs und des seitlichen Tubus ist ein kleiner Lummer-Brodhuns-Würfel *w* auf einem kleinen Schlitten so angeordnet, daß er durch einen einfachen Griff aus seiner Lage entfernt und durch eine ebenso dicke Glasplatte ersetzt werden kann. Ist dies der Fall, so kann man das Fernrohr auf die gewünschte Stelle des Objekts einstellen. Klappt man die Vergleichswürfel *w* wieder ein, so bleibt nur die mittlere 1 qmm große Stelle des Gesichtsfeldes sichtbar, im übrigen sieht man jetzt durch das kleine Objektiv *o* und das Prisma *p* die stark verkleinerte Vergleichsfläche *f* (z. B. die Himmelsfläche). Der außen mit Teilung versehene Ring *r* enthält einen als Schwächungsvorrichtung dienenden Keil *k* (s. Abb. 51). Beim Drehen des Ringes *r* wird die Helligkeit des Vergleichsfeldes gleichmäßig und allmählich verdunkelt. Der Meßbereich betrug bei dem vom Verfasser angewandten Instrument 1:10000, kann aber durch passende Wahl des Keiles entsprechend vergrößert oder verkleinert werden. Auf die Verwendung eines Gegenkeiles zum Ausgleich der Verschiedenheit in der Beleuchtung des Vergleichsfeldes, die durch Verwendung eines Keiles scheinbar hervorgerufen wird, konnte verzichtet werden, da der Keil dicht am Objektiv *o* angeordnet war und die Verschiedenheit in der Beleuchtung der Objektivöffnung im Gesichtsfeld nicht bemerkbar macht.

Das Instrument zeichnet sich durch große Kompendiosität und durch die Möglichkeit überaus rascher Versuchsausführung aus. Bei einem Fernrohrobjektiv mit einer Brennweite von 15 cm ist die Gesamtlänge nur 21 cm, die Breite 10 cm, das Gewicht 500 g. Der-

selbe Okularkopf kann an jedes Fernrohr bis zu den größten Brennweiten angeschraubt werden.

Als Keil wurde eine besondere Form der in der Photometrie vielfach verwendeten Goldbergkeile benutzt (vgl. Anhang 2), und zwar ein Kreiskeil, bei dem die Richtung, in der die Abnahme der Schwärzung

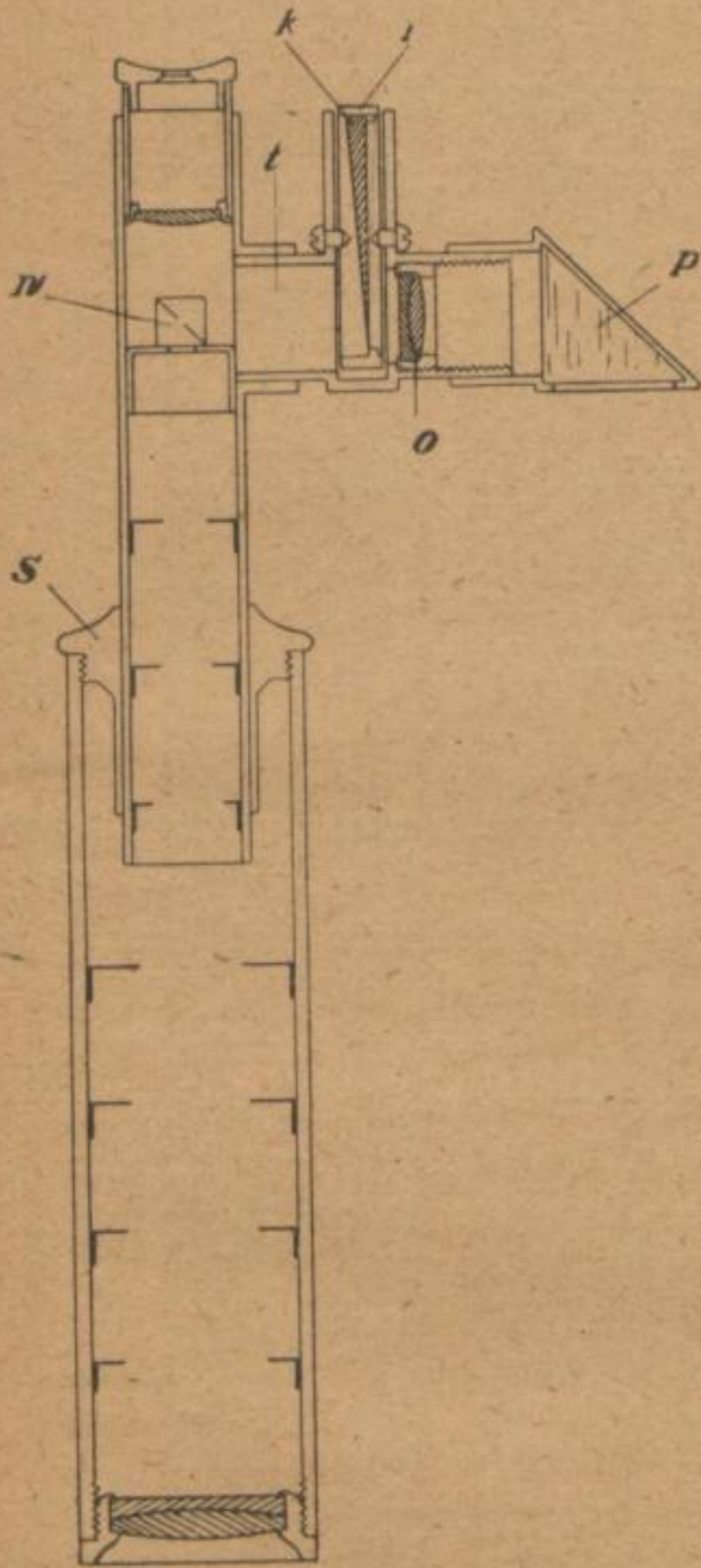


Abb. 47.



Abb. 48.

stattfindet, auf dem Umfange eines Kreises liegt, während in der radialen Richtung die Schwärzung jeweilig gleichmäßig ist (Abb. 51). Diese Form der Keile hat große konstruktive Vorzüge, da sie die Anwendung von Schlittenführungen entbehrlich macht, eine große Ausdehnung der Meßfläche bei sehr geringen Dimensionen bietet und die Ablesung, sowie die Handhabung der Meßvorrichtung erleichtert.

Anhang 2.

Über Herstellung neutralgrauer Keile für photometrische Zwecke.

Vor einigen Jahren wurde vom Verfasser¹⁾ ein Verfahren zur Herstellung von Keilen und Filtern für Meßzwecke beschrieben. Die nach diesem Verfahren hergestellten Keile haben inzwischen eine vielseitige Verwendung durch eine Reihe von Fachgenossen gefunden. Eine größere Reihe von Untersuchungsmethoden ist erst durch dieses Hilfsmittel ermöglicht worden.²⁾

Da während der verflossenen Zeit eine Reihe von Vereinfachungen und Verbesserungen in der Methode erzielt worden sind, so seien sie hier kurz beschrieben.

Das Verfahren bestand in der Hauptsache darin, daß zwei Glasplatten aufeinandergelegt wurden (Abb. 49) und an einer Seite durch ein dünnes Zwischenstück *E* (etwa 1 mm dicke Glasplatte) voneinander getrennt wurden, so daß ein keilförmiger Zwischenraum entstand. Die untere Platte (Grundplatte) *A* wurde vorher mit einer dünnen Zelluloid-schicht versehen. In den keilförmigen Zwischenraum wurde daraufhin eine 10prozentige mit feinkörnigem Ruß versetzte Gelatinelösung hineingegossen, die sich in den kapillaren Zwischenraum sofort einzog. Nach dem Erstarren der Gelatine wurde die obere Platte (Keilplatte) *D*

1) Goldberg, Z. f. wiss. Photogr. 10, 238, 1911.

2) Goldberg, Eders Jahrbuch 1910, S. 226. — Renwick, Phot. Journ. 1911, S. 411. — Ferguson, Phot. Journ. 1911, S. 405. — Goldberg, Luther, Weigert, Z. f. wiss. Photogr. — Clerc, Brit. Journ. of Phot. 1912, S. 215. — Watkins, Phot. Journ. 1912, S. 206. — Callier, Phot. Journ. 1913, S. 242. — Ferguson, Brit. Journ. of Phot. 1914, S. 27. — Renwick, Phot. Journ. 1914, S. 163. — Ewest, Phot. Journ. 1914, S. 99. — Goldberg, Z. f. Reprod. 1916, Heft 11. — v. Hübl, Physik. Ztschr. 18, 270, 1917. — v. Hübl, Phot. Korr. 1918, S. 73. — Eder und Hecht, Phot. Korr. 1919, S. 244. — v. Hübl, Z. f. Reprod. 21, 74, 1919. — v. Hübl, Phot. Korr. 1919, S. 363. — Langer, Phot. Rundsch 1919, S. 209. — Goldberg, Phot. Korr. 1917, S. 82. — Hecht, Sitzungsber. d. Wiener Akad. d. Wiss., November 1918. — Higson, Phot. Journal 1921, S. 73.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß Eder und Hecht es vorgezogen haben, das in der gesamten Fachwelt unter dem Namen Goldbergkeil bekannte Hilfsmittel mit ihren eigenen Namen zu bezeichnen.

nebst der gesamten keilförmigen Gelatineschicht und dem anhaftenden Zelluloid abgehoben, da dieses letztere an der Gelatine bedeutend stärker klebt, als am Glase. Um ein gleichmäßiges Trocknen zu ermöglichen, mußte die Zelluloidschicht weg gelöst werden, wonach der Keil fertig zum Trocknen war.

Es hat sich herausgestellt, daß diese letztere Prozedur die komplizierteste und schwierigste von der ganzen Keilherstellung war. Das Weglösen von Zelluloid kann infolge seiner kolloidalen Eigenschaften nur durch mehrfaches Überspülen mit Amylacetat geschehen; da die gequollene Gelatineschicht sowie das gelöste Zelluloid in außerordentlichem Maße staubanziehend sind, so war die Erzielung reiner Schichten mit Schwierigkeiten verbunden.

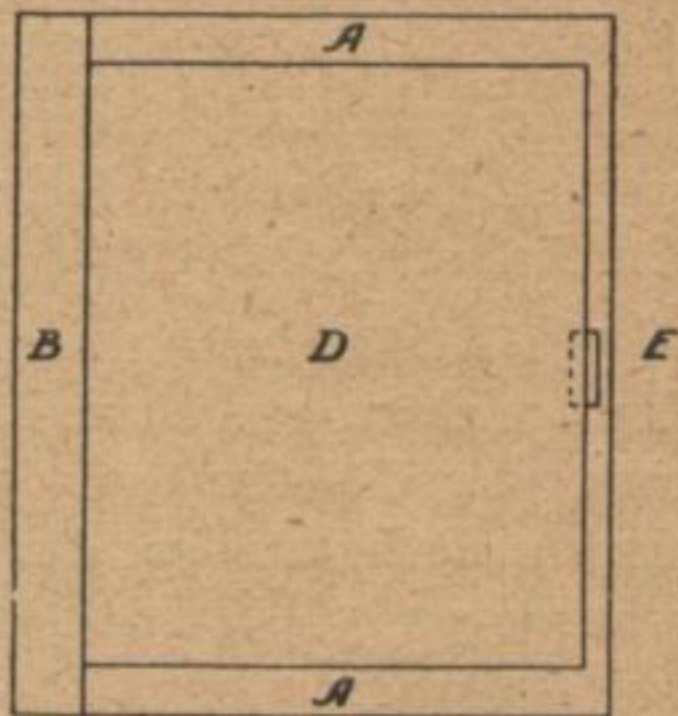
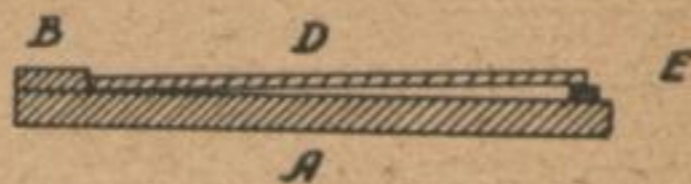


Abb. 49.

Unterguß Es ist vor einiger Zeit gelungen, das Zelluloid durch eine dünne Schicht von Albumin zu ersetzen. Die Grundplatte wird vor dem Zusammenstellen der Gußform mit einer Albuminlösung übergossen und nach Ablauf der Lösung bei Zimmertemperatur getrocknet. Die Albuminlösung wird auf folgende Weise hergestellt. Das Eiweiß eines möglichst frischen Eies wird mit dem fünffachen Volumen destillierten Wassers vermischt stark geschüttelt, mit etwa 0,1% Thymol (oder etwa $\frac{1}{4}$ % Phenol) versetzt und etwa eine halbe Stunde im kochenden Wasserbad auf 100° erhitzt. Daraufhin wird die Eiweißlösung durch Watte filtriert und (soweit sie nicht bald verbraucht wird) in Ampullen eingeschmolzen. In diesem Zustande ist sie praktisch unbegrenzt haltbar, soweit frische Eier zur Verwendung kamen.

In der fertigen Mischung ist das Albumin als irreversibles Kolloid in Wasser gelöst, hat also trotz der langen Erwärmung nicht koaguliert. Trocknet jedoch solch eine Lösung ein, so bildet das Albumin eine im Wasser unlösliche Schicht. Diese Schicht hat die entgegengesetzten Eigenschaften wie Zelluloid, sie klebt also am Glas bedeutend stärker als an der Gelatine, erfüllt aber den Zweck der Zelluloid-Zwischenschicht, ohne deren Nachteile zu besitzen. Nach dem Abheben des Keiles kann er sofort getrocknet werden, da das Albumin an der Grundplatte haften bleibt, und der Trockenprozeß in keinerlei Weise beeinträchtigt wird. Die Dicke der Albuminschicht ist außerordentlich gering (unter $\frac{1}{1000}$ mm).

Gelatine Zur Anfertigung der Gelatinegallerte (20%) hat sich besonders die „Spezialgelatine für Filter“ der Farbwerke Meister, Lucius & Brüning in Höchst a. M. bewährt, die in einer 1/2 prozentigen Lösung von Phenol in Wasser aufgeweicht und gelöst wird; zur Filtration eignen sich die Faltenfilter 520^b 1/2 von Schleicher & Schüll. Die Gelatinegallerte kann zur längeren Aufbewahrung in Ampullen eingeschmolzen werden. Auf diese Weise wurden selbst nach einem Jahre noch gute Ergebnisse erzielt.

Einzelne Gelatinesendungen hatten die Eigenschaft, daß die fertigen Keilschichten am Glase sehr schlecht hafteten. In solchen Fällen setzt man der Gelatinelösung etwa 0,5% Glycerin oder (bei Verwendung von Anilinfarbstoffen, deren Ausbleichen oft durch Glycerin beschleunigt wird) etwa 5% Zucker zu.¹⁾

Farbstoff Als Farbstoff wurde in der ersten Veröffentlichung eine Suspension von Ruß in Wasser, und zwar das Lampblack (Aquarellfarbe) von Winsor & Newton empfohlen. Für viele Zwecke ist Ruß mit großem Vorteil durch feinverteiltes Silberkorn zu ersetzen, das außerordentlich gleichmäßige Absorption in allen Farben, selbst im benachbarten Ultraviolett, zeigt. Mit keinem anderen Farbstoff konnte man Schichten herstellen, die dieselbe Schwärzung sowohl bei subjektiver Messung mit dem Auge als auch bei photographischer Photometrie mit Chlorsilberpapier, das in der Hauptsache für Ultraviolett empfindlich ist, aufweisen. Das Silberkorn gewinnt man durch Entwickeln hochempfindlicher Platten mit Metolentwickler und Abschmelzen der gut fixierten und gewässerten Schicht bei möglichst niedriger Temperatur. Die mit Silberkorn versetzte Gelatine darf unter keinen Umständen längere Zeit im geschmolzenen Zustande aufbewahrt werden da sie Neigung zum Gelbwerden und Nachdunkeln hat. Insofern ist das Verwenden des Silberkorns als Farbstoff mit Schwierigkeiten verbunden.

Wie schon in der ersten Abhandlung hervorgehoben, haben die mit Ruß- (oder Silber-) Suspension hergestellten Keile den Nachteil, daß deren Lichtdurchlässigkeit im parallelen Lichte anders ist als im zerstreuten. Auf diese Erscheinung ist unbedingt zu achten, um schwerwiegende Fehler bei Verwendung der Keile zu Meßzwecken zu vermeiden. Es hat nicht an Versuchen gefehlt, Ruß und Silberkorn durch eine von trübenden festen Teilchen freie Lösung zu ersetzen.

1) Bei Herstellung von Keilen, die mit Kanadabalsam gekittet werden sollen, darf kein Glycerin, sondern nur Zucker verwendet werden.

Die hierfür in der früheren Abhandlung angegebene Mischung von Anilinfarben wurde durch folgende Lösung ersetzt:

Lösung 1.	Perltusche (Günther Wagner, Frankfurt a. M.)	15 ccm
	· Destilliertes Wasser	100 „
„ 2.	Diaminblauschwarz (Leopold Cassella & Co., Frankfurt a. M.)	0,75 g
	· Destilliertes Wasser	100 ccm

Die Vorratslösung besteht aus 3 Teilen der Lösung 1 und 4 Teilen der Lösung 2. Sie ist jahrelang haltbar und wird vor Gebrauch geschüttelt. 1 mm Schichtdicke dieser Vorratslösung hat eine Dichte von etwa 25 (in logarithmischen Einheiten).¹⁾

Trotzdem muß selbstverständlich von Fall zu Fall geprüft werden, ob die Lichteinheit und Farblosigkeit von Ruß bzw. Silberkorn oder die absolute Durchsichtigkeit des Anilinfarbstoffes schwerer ins Gewicht fällt.

Herstellung und Messung der Farblösung

Die gut geschüttelte Mischung der Farbflüssigkeit mit Gelatine soll man stehen lassen, bis alle Bläschen sich nach oben gesammelt haben, und durch Umgießen in ein anderes Gefäß von den Bläschen trennen. Wird Filtrieren vorgezogen, so darf es nur durch ganz lose Watte, keinesfalls durch Papier geschehen, da das Filtrierpapier stets einen Teil des Farbstoffes adsorbiert. Daraufhin wird die Dichte der Farbmischung mit einem Martensschen Schwärzungsmesser²⁾ gemessen. Zu diesem Zwecke eignen sich die in der Mikroskopie gebräuchlichen flachen Küvetten von 1 mm innerer Höhe. Hat die Farblösung eine höhere Dichte (in bekannten logarithmischen Einheiten) als etwa 3, so ist die Messung mit Schwierigkeiten verbunden. Dann wird eine flachere Küvette verwendet oder die Flüssigkeit meßbar mit Wasser verdünnt. Bei Verwendung von Ruß- oder Silbersuspension darf die Dichtemessung nur im diffusen Licht erfolgen.³⁾ Ergibt die Messung, daß die Farbmischung zu dicht ist, so muß sie mit Gelatinelösung bzw. Wasser verdünnt werden, bis die richtige Konzentration erreicht ist. Zur Berechnung der hierzu nötigen Gelatine- bzw. Wassermengen dient die folgende Formel:

Ist V die Dichte der vorhandenen Farbflüssigkeit (in bekannten logarithmischen Dichteeinheiten, bezogen auf 1 mm Schichtdicke),

1) v. Hübl hat vor einiger Zeit bei Ausübung des alten Keilgießverfahrens die Mischung von Perltusche, Toluidinblau und Karmin vorgeschlagen (vgl. Phot. Korr. 55, 73, 1918).

2) Martens, Phot. Korr. 38, 651, 1901.

3) Vgl. Callier, Z. f. wiss. Phot. 7, 257, 1909. — Goldberg, Phot. Korr. 54, Heft 9, 1917.

F die Dichte der gewünschten fertigen Gußgelatine (in denselben Dichteeinheiten),

so sind zu mischen:

2. F Teile der vorhandenen Farbflüssigkeit,

V Teile 20% Gelatine,

$V-2 \cdot F$ Teile Wasser.

Gießtechnik Beim Gießen der Keile hat sich eine von Herrn Callier in Gent angegebene Anwärm- und Kühlplatte (Abb. 50) außerordentlich bewährt. Sie besteht aus einer plangehobelten, innen hohlen und mit Rippen versehenen Platte aus Gußeisen, die mit einer Wasserleitung verbunden und auf einen flachen Gasbrenner gesetzt wird. Die mit Wasser gefüllte Platte wird angewärmt und dient als Unterlage für die Keilgußform. Nach dem Gießen des Keiles wird die Gasflamme abgedreht und kaltes Wasser durch die Rippenplatte durchgelassen, wodurch die ganze Vorrichtung zusammen mit dem gegossenen Keil schnell gekühlt wird.

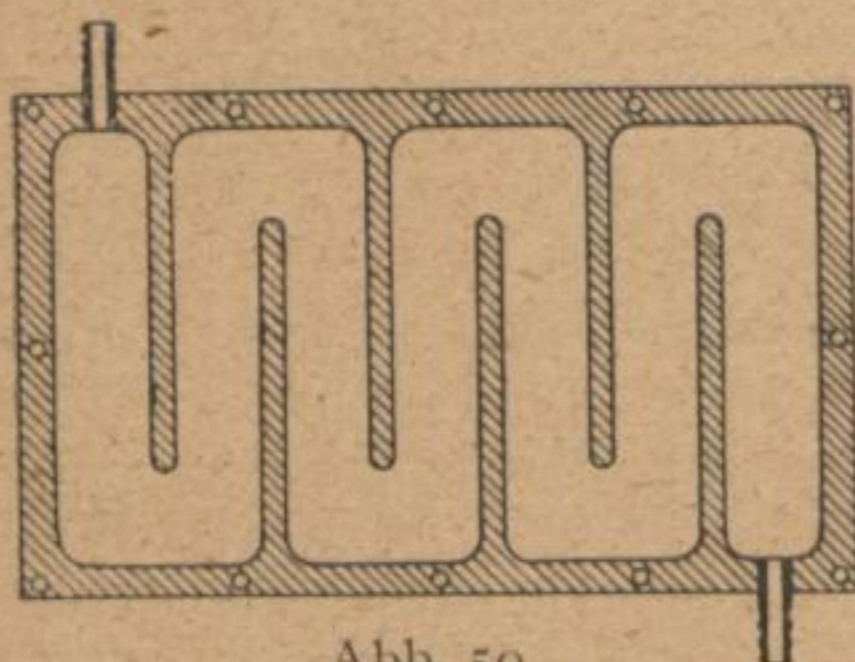


Abb. 50.

Kreiskeil Für manche Zwecke ist eine besondere Abart der Keile, die sogenannten Kreiskeile, mit großem Vorteil zu verwenden. Hier liegt der lineare Anstieg der Dichte nicht auf einer geraden Linie, sondern auf einem Kreise (Abb. 51). Bei solchen Kreiskeilen kann man auf gleicher Fläche eine dreifache Ausdehnung des Keiles unterbringen im Vergleich mit einem linearen Keil. Außerdem ist die Verstellung des Keiles sehr bequem, da er in einer kreisförmigen Kapsel untergebracht werden kann, während die gewöhnlichen Keile schlittenförmige Fassung haben müssen. Es ist bekannt, daß vom mechanischen Standpunkte die Kreisbewegung mit viel einfacheren Mitteln präzise hergestellt werden kann als eine Parallelbewegung. Mit solchen Kreiskeilen wurde der im Anhang 1 beschriebene Vergleichsphotometer ausgerüstet. Außerdem wurden derartige Keile für Lichtschwächung in astronomischen Fernrohren, für Kolorimeter und photographische Belichtungsmesser verwendet. Zur Herstellung derartiger Keile wird eine besondere Gußform verwendet, die eine Schraubenfläche darstellt und deren Anfertigung nur mit besonderen Hilfsmitteln möglich ist. Für besondere (vor allem kolorimetrische Zwecke) werden die Gußformen mit einer Schraubenfläche, deren Abwicklung keine Ge-

rade, sondern eine dem Zwecke angepaßte Kurve darstellt, gebraucht. Auf diese Weise kann man bei farbigen Keilen jede beliebige Tonabstufung erzielen.



Abb. 51.

Schlußbemerkung Abgesehen von diesen Änderungen bleibt das ganze Verfahren der Keilherstellung genau dem früher beschriebenen gleich. Sämtliche in der früheren Veröffentlichung angegebenen Vorsichtsmaßregeln sind zu beachten. Mehrfach wurde die Beobachtung gemacht, daß die Vorschrift — die untere Glasplatte (Grundplatte) größer als die obere (Keilplatte) zu machen — unbeachtet geblieben ist. Auch das Hervorquellen der überflüssigen Gelatinemasse über die Grenzen der oberen Platte und das Durchschneiden der Schicht an den Kanten nach dem vollständigen Erstarren ist zu beachten.

Für die Fachgenossen, die sich der Mühe der Keilherstellung nicht unterziehen wollen, sei noch bemerkt, daß Keile sämtlicher Arten und Größen, neutralgraue Planfolien und Flüssigkeiten, sowie alle anderen in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Apparate und Vorrichtungen von der Ica, Akt.-Ges., Dresden, bezogen werden können.

Ausführliches Handbuch der Photographie.

Von Hofrat Prof. Dr. Josef Maria Eder,
Direktor der Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt zu Wien.

Band I.

1. Teil: Geschichte der Photographie. 3. Auflage. Mit 148 Abbildungen und 12 Tafeln in Heliogravüre und Lichtdruck. 65,— Mk., gebunden 75,— Mk.
2. Teil: Photochemie (die chemischen Wirkungen des Lichtes). 3. Auflage. Mit 51 Abbildungen. 54,— Mk., gebunden 65,— Mk.
3. Teil: Die Photographie bei künstlichem Licht, Spektrumphotographie, Aktinometrie und die chemischen Wirkungen des farbigen Lichtes. 3. Auflage. Mit 409 Abbildungen und 10 Tafeln. 77,— Mk., gebunden 89,— Mk.
4. Teil: Die photographischen Objektive. 3. Auflage. Mit 272 Abbildungen. 38,50 Mk., gebunden 47,50 Mk.
- Heft 5: Die photographische Kamera und die Momentapparate. 2. Auflage. Mit 602 Abbildungen und 5 Tafeln. 24,— Mk.

Band II. (Vergriffen.)

Band III.

- Heft 9 — 11 zusammen: Die Photographie mit Bromsilber-Gelatine und Chlorsilber-Gelatine. 5. Auflage. Mit 256 Abbildungen. 69,— Mk., gebunden 82,50 Mk.

Band IV.

Heft 12 u. 13: vergriffen.

Band IV, 2. Teil: Das Pigmentverfahren, der Gummi-, Oel- und Bromöldruck und verwandte photographische Kopierverfahren mit Chromsalzen. 3. Auflage. Mit 46 Abbildungen.

43,— Mk., gebunden 51,50 Mk.

Band IV, 3. Teil: Die Heliogravüre und der heliographische Schnellpressentiefdruck. Im Druck.

Jeder Band und jedes Heft sind einzeln käuflich.

Lehrbücher.

Das ABC des Lichtbildners. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Miethe. Mit 38 Abbildungen und 4 Tafeln. Taschengröße. 3,80 Mk.

Ratgeber im Photographieren. Leichtfaßliches Lehrbuch für Liebhaberphotographen. Von L. David, Generalmajor a. D. 157.—165. Aufl. 469.—495. Tausend. Mit 100 Textabbildungen, 31 Tafeln und einer Belichtungstabelle. Taschengröße.

Kartonierte 7,90 Mk., gebunden 9,30 Mk.

Leitfaden der praktischen Photographie. Von G. Pizzighelli, neu bearbeitet von Chemiker P. Hanneke. 14. Auflage von „Anleitung zur Photographie“. 37.—39. Tausend. Mit 269 Abbildungen und 9 Kunstdrucktafeln. 20,60 Mk., gebunden 24,80 Mk.

Photographisches Praktikum. Lehrbuch der Photographie. Von L. David, Generalmajor a. D. 3. Auflage. Mit 275 Abbildungen, 8 Kunstdrucktafeln und 1 Dreifarbendruck. 59,— Mk., gebunden 67,— Mk.

Lehrbuch der praktischen Photographie. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Miethe und Professor O. Mente. 4. Auflage. Mit 137 Abbildungen.

Optik.

- Vorträge über photographische Optik.** Von Dozent H. Schmidt.
3. — 4. Auflage. Mit 81 Abbildungen und 2 Tafeln. 10,60 Mk., gebunden 14,— Mk.
- Die photographischen Objektive.** Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder.
3. Auflage. Mit 272 Abbildungen. 38,50 Mk., gebunden 47,50 Mk.
- Der Gebrauch der Blende in der Photographie.** Von Oberst H. Freiherr von Cles. Mit 37 Abbildungen. 4,50 Mk.

Chemie und Photochemie.

- Rezepte und Tabellen für Photographie und Reproduktionstechnik,** welche an der Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt zu Wien angewendet werden. Herausgegeben von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder. 9. Auflage. 19,70 Mk., gebunden 23,40 Mk.
- Vorträge über Chemie und Chemikalienkunde für Photographierende.** Von Dozent H. Schmidt. 3. — 4. Auflage. Mit einem Anhang über lateinische Bezeichnungen. 10,60 Mk., gebunden 14,— Mk.
- Photographische Chemie und Chemikalienkunde** mit Berücksichtigung der Bedürfnisse der graphischen Druckgewerbe. Von Prof. Dr. E. Valenta. 2. Auflage.
I. Teil: **Anorganische Chemie.** 62,40 Mk., gebunden 68,40 Mk.
II. Teil: **Organische Chemie.** Im Druck.
- Photochemie.** Von Dr. J. Plotnikow. Mit 15 Abbildungen. 20,50 Mk.
- Photochemie** (die chemischen Wirkungen des Lichtes). Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder. 3. Auflage. Mit 51 Abbildungen. 54,— Mk., gebunden 65,— Mk.
- Anleitung zur Verarbeitung photographischer Rückstände** sowie zur Erzeugung und Prüfung photographischer Gold-, Silber- und Platinsalze. Von Prof. A. Lainer. Mit 13 Abbildungen. 6,60 Mk.
- Sammeln und Verwerten edelmetallhaltiger, photographischer Abfälle** zwecks Verminderung der Kosten der photographischen Bilderzeugung. Von R. Rosenlecher. 2,40 Mk.

Negativverfahren.

- Vorträge über die photographischen Verfahren.** Von Dozent H. Schmidt.
2. Auflage. Mit 4 Tafeln. 7,60 Mk., gebunden 11,— Mk.
- Die Photographie mit Bromsilber-Gelatine und Chlorsilber-Gelatine.** Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder. 5. Auflage. Mit 256 Abbildungen. 69,— Mk., gebunden 82,50 Mk.
- Die Entwicklung der photographischen Bromsilber-Gelatineplatte bei zweifelhaft richtiger Exposition.** Von Dr. A. Freiherrn von Hübl.
4. Auflage. Mit 1 Tafel. 6,20 Mk., gebunden 9,20 Mk.
- Die Standentwicklung und ihre Abarten** für den Amateur- und Fachphotographen. Von Dozent H. Schmidt. 3. — 4. Auflage. Mit 29 Abbildungen. 8,60 Mk., gebunden 12,— Mk.
- Die Mißerfolge in der Photographie.** I. Teil: Negativverfahren. Von H. Müller. 6. — 7. Auflage. Mit 4 Abbildungen und 8 Tafeln. 10,20 Mk., gebunden 13,80 Mk.
- Die orthochromatische Photographie.** Von Dr. A. Freiherrn von Hübl.
Mit 16 Abbildungen und 10 Tafeln. 13,60 Mk., gebunden 17,20 Mk.
- Die richtige Belichtung.** Von Dr. J. Rheden. 11,50 Mk., gebunden 15,— Mk.

**Positivverfahren
nebst Diapositivverfahren und Vergrößern.**

- Vorträge über die photographischen Verfahren.** Von Dozent H. Schmidt.
2. Auflage. Mit 4 Tafeln. 7,60 Mk., gebunden 11,— Mk.
- Die Mißerfolge in der Photographie.** II. Teil: Positivverfahren. Von
H. Müller. 5.—6. Auflage. 10,20 Mk., gebunden 13,80 Mk.
- Das Arbeiten mit Gaslicht- und Bromsilberpapieren** einschließlich des
Postkartendrucks, sowie einer kurzen Anleitung zur Herstellung
vergrößerter Bilder. Von Chemiker P. Hanneke. 2. Auflage.
Mit 35 Abbildungen und Tafeln. 10,60 Mk., gebunden 14,40 Mk.
- Das Kopieren bei elektrischem Licht.** Von Dr. A. Freiherrn von Hübl.
2. Auflage. Mit 22 Abbildungen und 1 Tafel. 9,30 Mk.
- Neuzeitliche photographische Kopierverfahren.** Ozobromprozeß, Brom-
silberpigmentpapier, Pigmentgravüre, Oeldruck, Bromöldruck,
Katatype, Druckschriften-Kopierverfahren. Von Dr. E. Stenger.
3. Auflage. 15,20 Mk., gebunden 18,80 Mk.
- Das Pigmentverfahren, der Gummi-, Oel- und Bromöldruck und
verwandte photographische Kopierverfahren mit Chromsalzen.**
Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder. 3. Auflage. Mit 46 Abbildungen.
43,— Mk., gebunden 51,50 Mk.
- Das Bromöldruckverfahren und der Bromölumdruck.** Von Dr. E.
Mayer. 6.—7. Auflage. 12,80 Mk., gebunden 16,60 Mk.
- Die Selbstbereitung von Bromöldruckfarben.** Von E. Guttman.
2. Auflage. 2,80 Mk.
- Der Umdruck im Bromöldruckverfahren** (Handpressendruck). Von
E. Guttman. 2. Auflage. 3,50 Mk.
- Der Oeldruck.** Von Dr. F. Fuhrmann. Mit 11 Abbildungen und 4 Tafeln.
7,80 Mk.
- Der Gummidruck** und seine Anwendung in der künstlerischen Photo-
graphie. Eine kurzgefaßte Anleitung zur Ausführung des mehr-
fachen Gummidruckes. Von A. Meyer. Mit 4 Abbildungen und
4 Tafeln. 11,30 Mk.
- Der Platindruck.** Von Dr. A. Freiherrn von Hübl. 2. Auflage. Mit 7 Ab-
bildungen. 10,60 Mk.
- Die Ozotypie.** Ein Verfahren zur Herstellung von Pigmentkopien ohne
Uebertragung. Von Dr. A. Freiherrn von Hübl. 5,50 Mk.
- Die Diapositivverfahren.** Praktische Anleitung zur Herstellung von
Fenster-, Stereoskop- und Projektionsbildern usw. Von G. Mer-
cator. 3. Auflage. 7,20 Mk., gebunden 10,50 Mk.
- Handbuch des Vergrößerns** auf Papieren und Platten. Von Prof. Dr.
F. Stolze. Neu bearbeitet von P. Thieme. 4. Auflage. Im Druck.

Retusche und Kolorieren.

- Die photographische Retusche** mit besonderer Berücksichtigung der
modernen chemischen, mechanischen und optischen Hilfsmittel.
Nebst einer Anleitung zum Kolorieren von Photographien. Von
G. Mercator. 6.—7. Auflage.
- Anleitung zum Kolorieren** photographischer Bilder jeder Art mittels
Aquarell-, Lasur-, Oel-, Pastell- und anderen Farben. Von G. Mer-
cator. 3. Auflage. 8,60 Mk., gebunden 12,— Mk.

SLUB DRESDEN



3 0711464

Fragment of a white paper label on the right edge of the book cover.