

Bildtechnologie I

Sensitometrie, Densitometrie

Einteilung der Entwickler

- Negativ-Entwickler (Kleinbild, Grossformat ...)
 - Feinkorn-Entwickler
 - *High Definition*-Entwickler (Schärfe)
 - *High Energy*-Entwickler (Empfindlichkeit, Kontrast, Geschwindigkeit)
- Positiv-Entwickler (Papier ...)
- Spezial-Entwickler (Strich, Umkehr, Einbad ...)

Charakterisierung von photographischem Material

- Empfindlichkeit *charakteristische Kurve*
- Kontrast *Sensitometrie*
- Dichte- und
Belichtungsumfang *Tonwertreproduktion*

- Auflösung *Detailreproduktion*
- Körnigkeit

- Farbwiedergabe *spektrale Sensibilisierung*

→ Sensitometrie

Photographie oder Reproduktion => Herstellen eines Bildes

In der Kunst nennt man die verschiedenen Helligkeiten "**Töne**" oder "**Werte**". Wichtig ist nun wie diese abgestuft sind, d.h. (sofern es sich um eine bildmässige Vorlage handelt) die Umsetzung der Helligkeiten der Vorlage => in die Helligkeiten des Bildes => Reproduktion der Tonskala

Reproduktion der Helligkeiten:

- a) objektive Untersuchung (physikalische Messung, Sensitometrie)
- b) subjektive Untersuchung (psychophysikalische Messung), der Vergleich Objekt (=Szene) <=> Bild geschieht durch menschliche Beurteilung, d.h. der Sehvorgang, Bedingungen während des Beobachtens sind wichtig.

zu a) objektive Tonreproduktion: => Zusammenhang zwischen der Charakteristik der Originalszene und der Reproduktion finden, indem man die Tonskala in messbaren Einheiten vergleicht.

Photographie oder Reproduktion => Herstellen eines Bildes

Darstellung üblicherweise graphisch, Helligkeitswerte des Originals vs. Helligkeitswerte der Reproduktion. Aus verschiedenen Gründen nimmt man hierbei einen logarithmischen Masstab => man erhält die **Arbeitskurve**, **charakteristische Kurve** eines Photomaterials (Abbildungsmaterial).

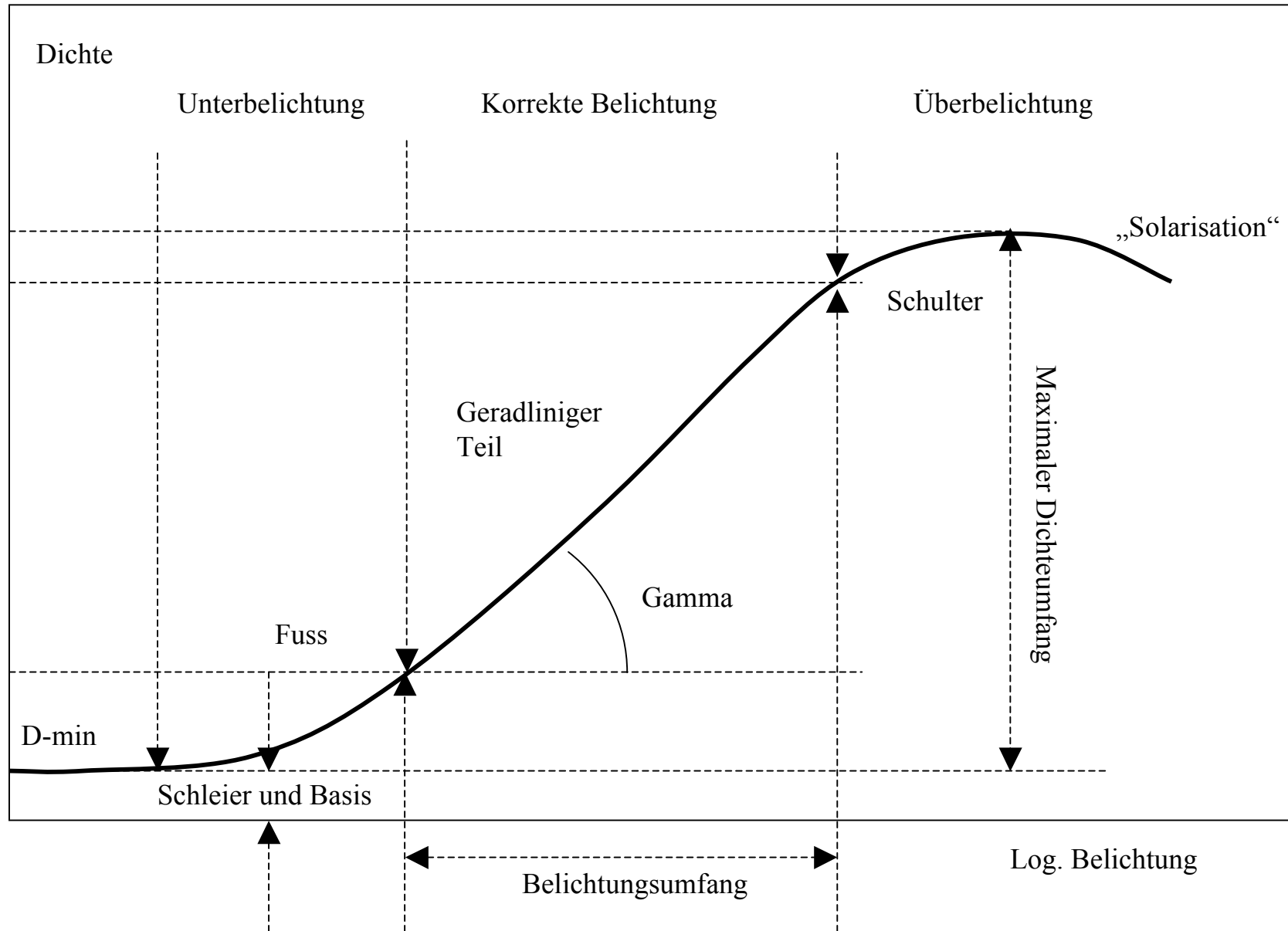
Die dargestellte Kurve ist typisch für "normales" Photomaterial. Funktioneller Zusammenhang erlaubt eine Beurteilung, wie exakt Tonwerte umgesetzt werden.

Ideal: **1 : 1** Umsetzung, d.h. gerade Linie mit 45° Steigung.

In Wirklichkeit: "ganz helle", resp. "ganz dunkle" Teile des Originals werden in der Photographie nur schlecht oder gar nicht mehr getrennt: Die Tonskala ist zusammengestaucht. Die "mittleren" Helligkeiten werden gut. Wird die Kurve steiler: verstärkte Trennung der Helligkeiten

Photographisches Material ist lichtempfindlich (genauer: strahlungsempfindlich). Die Techniken, die sich mit der Empfindlichkeit, resp. dem Zusammenhang zwischen der Menge Licht auf einer lichtempf. Schicht und dem resultierenden photographischen Effekt befasst, nennt man **Sensitometrie**.

charakteristische Kurve



Fragen aus der Praxis

- Welches sind die relevanten Helligkeiten in einem Motiv?
- Wie kann ich die Helligkeiten messen?
- Welchen Helligkeitsumfang kann ein Filmmaterial wiedergeben?
- Wird die Wiedergabe verfälscht?



BAHAY
24

9 AV

W 13 ST

WAY

ONE WAY

HOG PIT
BB
BQNYC

Hellste Stelle im Motiv

Dunkelste Stelle im Motiv



Neutral Grau



Dunkelste Stelle im Motiv

Hellste Stelle im Motiv



Neutral Grau



Dunkelste Stelle im Motiv

Hellste Stelle im Motiv



Neutral Grau

Graukeil

Resultat der Belichtungsmessung
18% Grau



Möglicher Motivkontrast

Exposure Value = Absolute Lichtmenge, unabhängig von Zeit,
Blende oder Filmempfindlichkeit

$\pm 1EV = \pm 1$ Blendenstufe oder ± 1 Zeitstufe oder ± 1 Empfindlichkeitsstufe

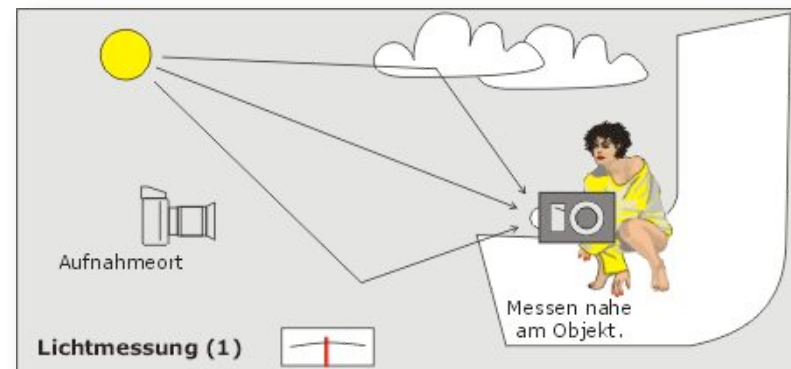
Belichtungsmessung

- Um die korrekte Belichtung zu ermitteln wird ein Belichtungsmesser benötigt.
- Der Belichtungsmesser misst die reflektierte Lichtmenge und gibt für eine bestimmte Filmempfindlichkeit eine korrekte Zeit/Blendenkombination an.
- Man unterscheidet zwischen Licht- und Objektmessung.



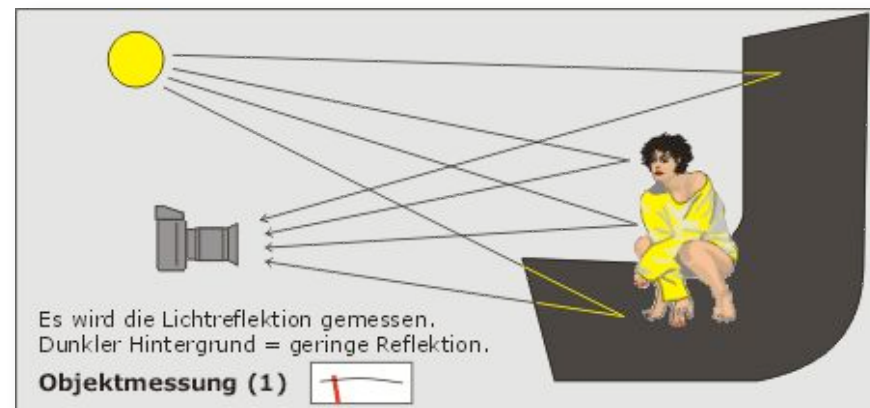
Lichtmessung

- Bei der Lichtmessung wird ermittelt wie viel Licht auf das Motiv geworfen wird. Die Messrichtung ist vom Objekt weg (zur Kamera, Aufnahmeposition) gewandt.
- Der Belichtungsmesser wird für diese Messmethode mit einer Streulichtscheibe (Diffusorkalotte) versehen.
- Vorteil dieser Licht-Messmethode ist, dass Einflüsse durch helle oder dunkle Objektbestandteile keinen Einfluss auf das Messergebnis haben.



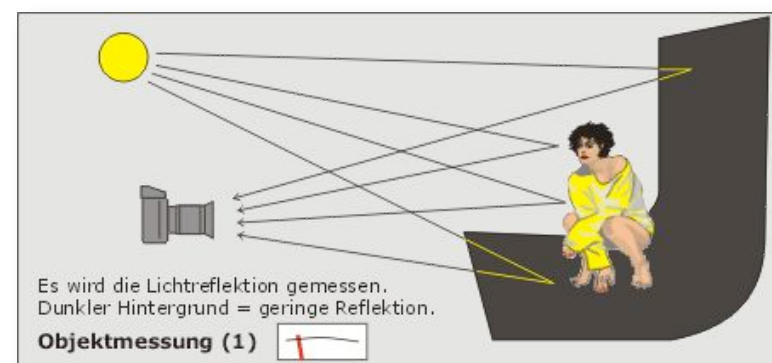
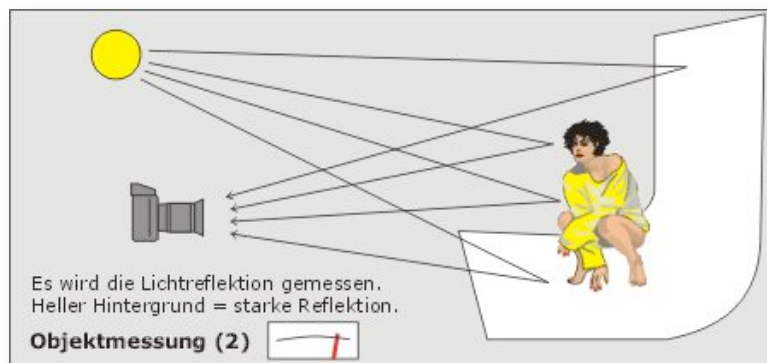
Objektmessung

- Bei der Objektmessung wird aus der Aufnahmeposition in die Richtung des Objektes (des Motivs) gemessen. Somit wird die Lichtreflektion der anvisierten Objekte erfasst. Dies kann mit einem separaten Belichtungsmesser geschehen oder mittels den in Kameras eingebauten Messsystemen.

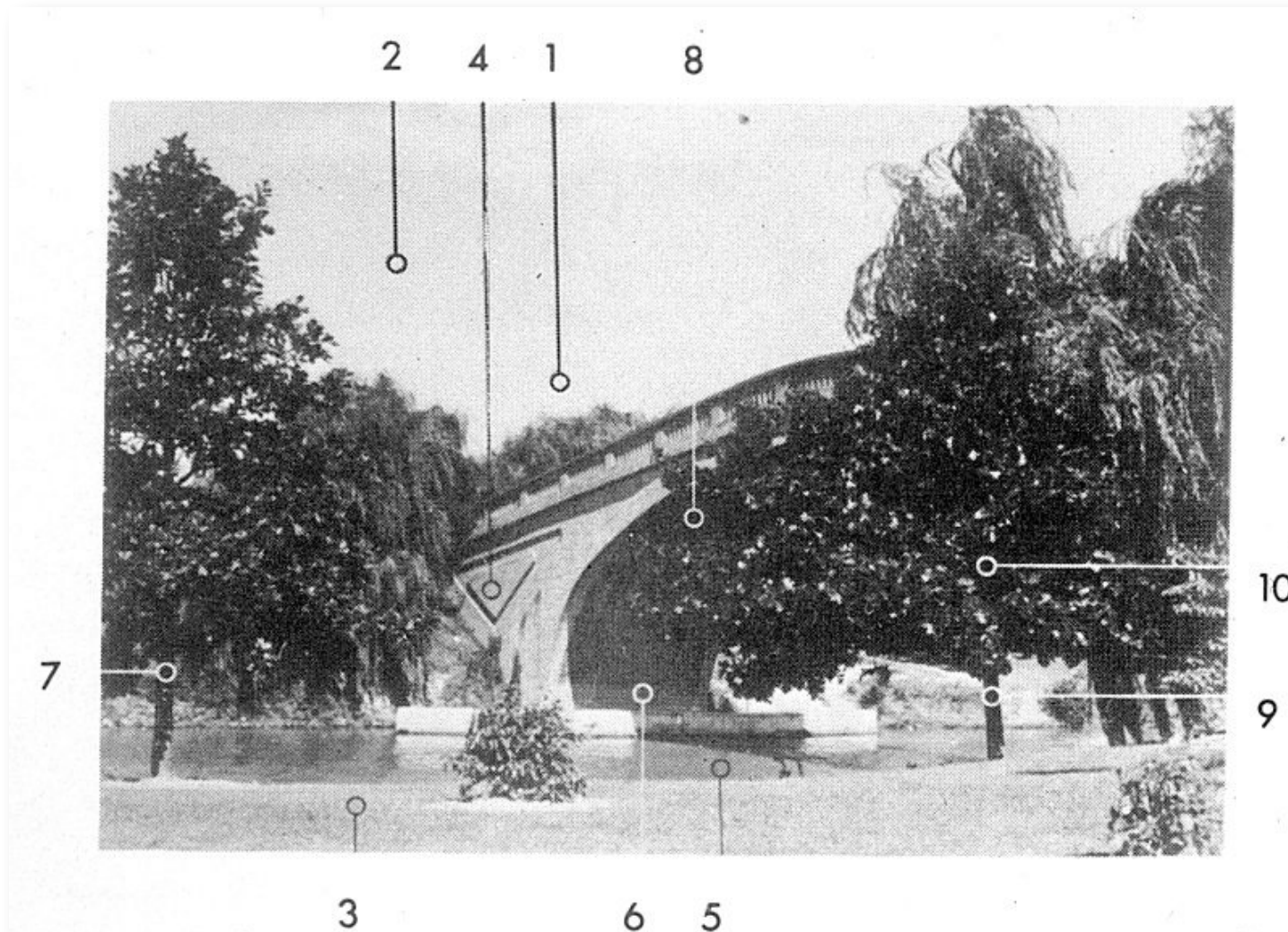


Objektmessung

- Die Objektmessung ist stark vom Objekt und dem Hintergrund abhängig.
- Ein Belichtungsmesser kann keine Farben oder Objekteigenschaften erkennen! Ein Belichtungsmesser geht immer von einem durchschnittlichen Motiv aus.



Motivkontrast



Belichtungsmessung

- Der Belichtungsmesser kann nur Helligkeiten messen, nicht Motive erkennen!
 - Ein normales Motiv (Landschaft, Portrait, ..) reflektiert 18% des Lichtes. Der Belichtungsmesser ist auf diesen Wert geeicht.
 - Bei Schnee oder Kohle wird der Belichtungsmesser falsche Resultate liefern, da solche Motive nicht dem „normalen“ Bild entsprechen und der mittlere Reflexionswert nicht 18 % beträgt. => Hier ist eine manuelle Korrektur notwendig (gezieltes Über- oder Unterbelichten)!

Belichtungsmessung



D



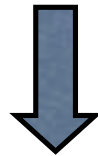
n

Belichtungsmessung

Empfindlichkeit z. B. 400 ASA



Lichtmenge



Geeignete
Zeit
und
Blende

Belichtungsmessung

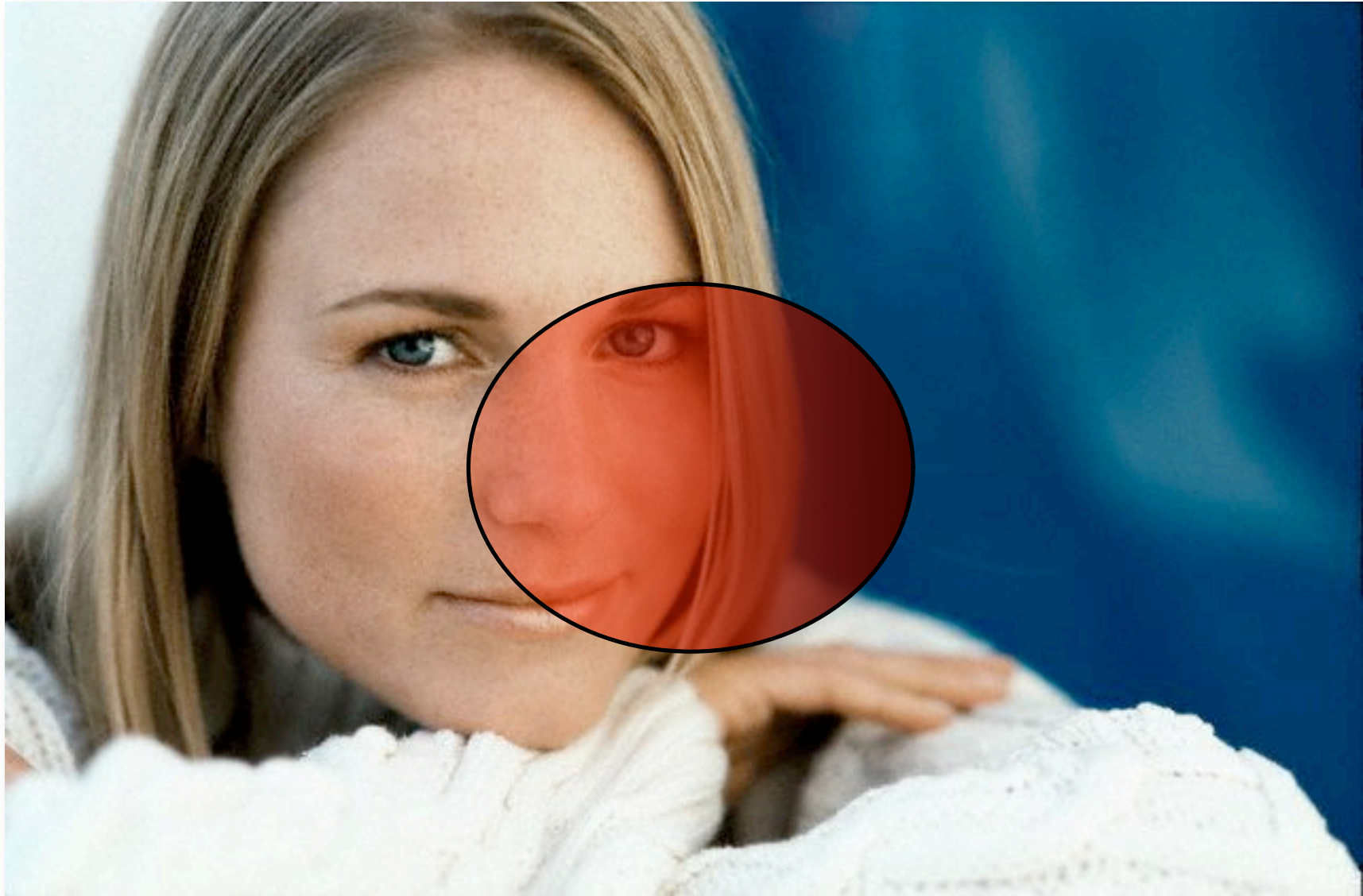
- Wo im Bild wird gemessen:
 - **Integralmessung** = Mittelwert des ganzen Bildes
 - **Mittenbetont** = Bildmitte wird stärker gewichtet
 - **Spot** = Nur an einem kleinen Ort (Spot) im Bild
 - **Matrix** = An mehreren, selektiven Stellen und daraus Mittelwertbildung



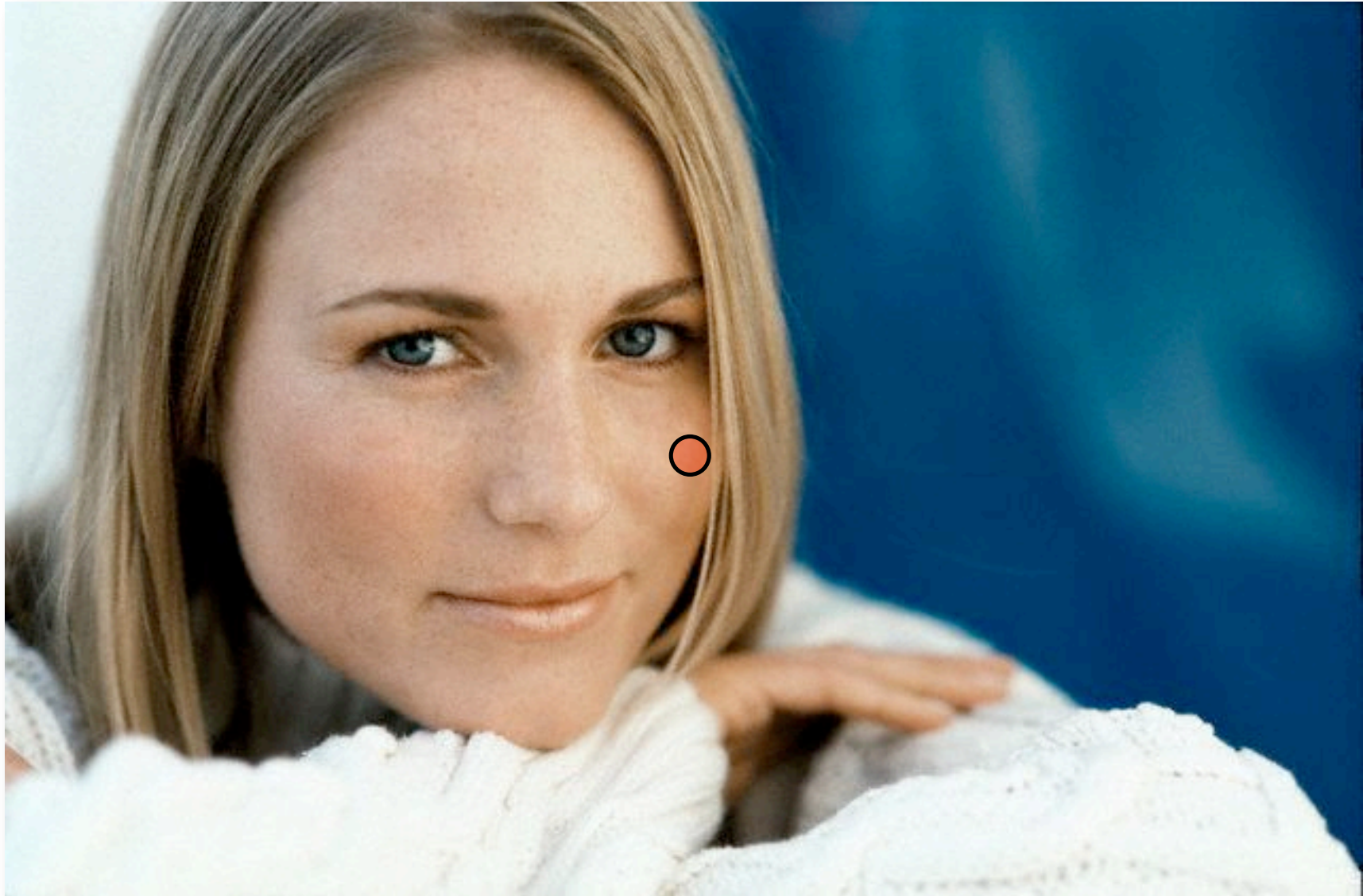
Integralmessung



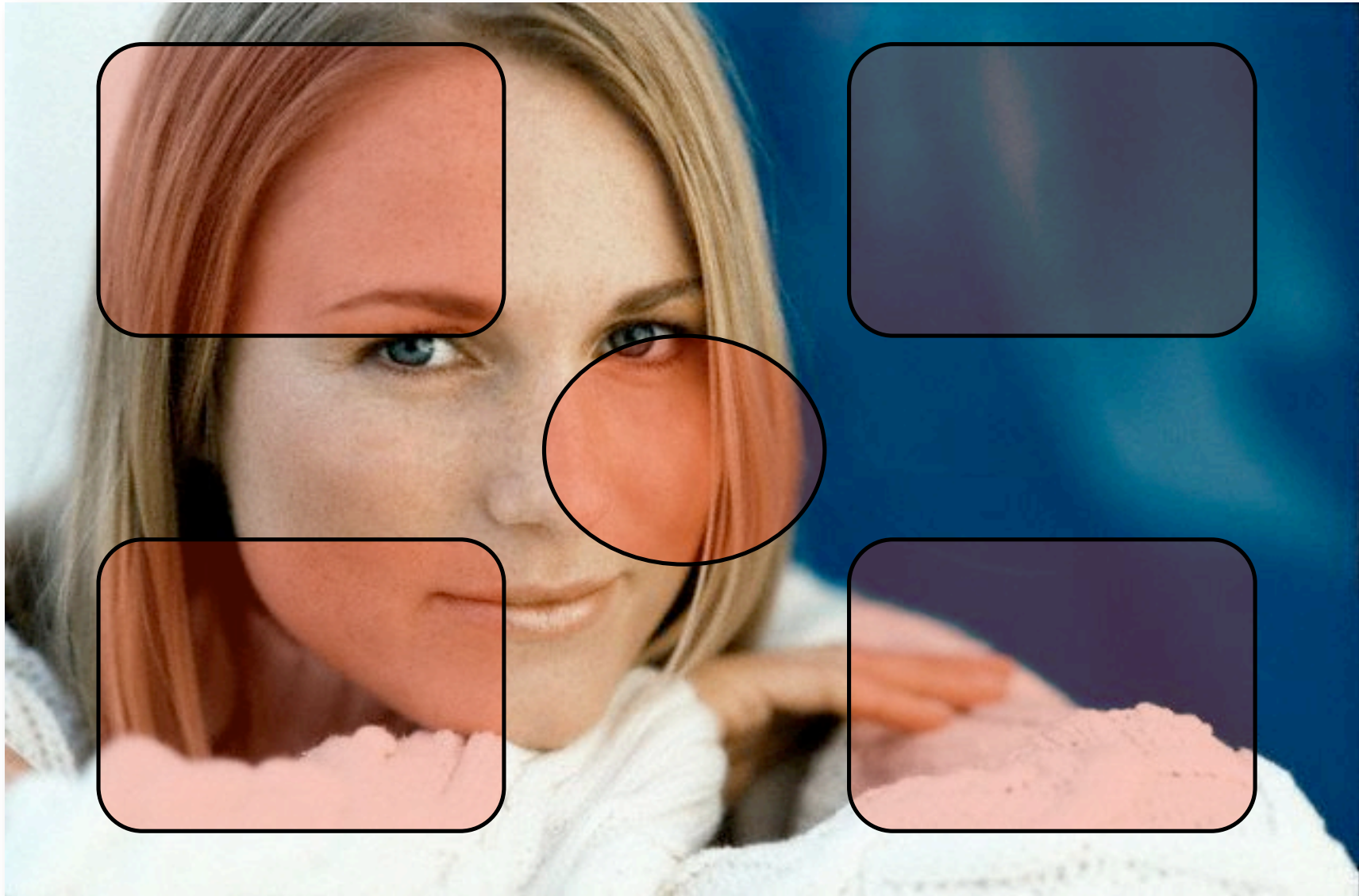
Mittenbetonte Messung



Spotmessung



Mehrfeld- oder Matrixmessung



Ausmessen des Motivkontrastes

- Ideal mit **Spotbelichtungsmesser** => Zeigt direkt EV an
- Mit eingebautem, mittenbetontem Belichtungsmesser umhergehen um Details zu messen

Ausmessen des Motivkontrastes



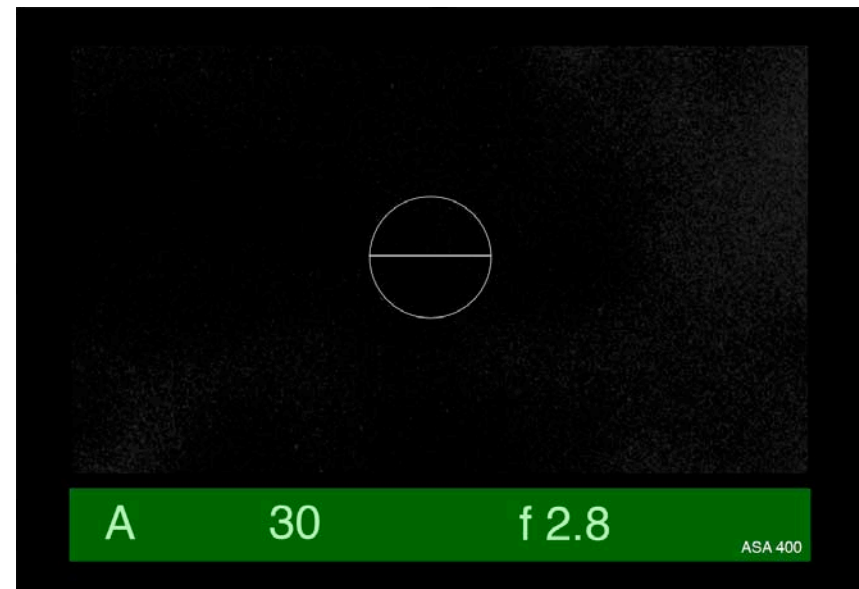
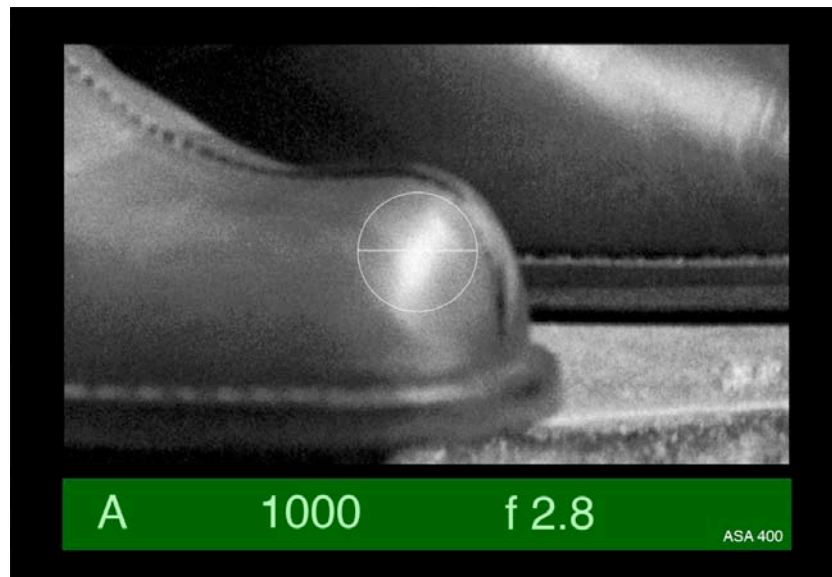
A

250

f 2.8

ASA 400

Ausmessen des Motivkontrastes



Motivkontrast \Rightarrow 1/30 f 2.8 bis zu 1/1000 f2.8 \Rightarrow 5 EV

Motiv als Schwärzung

- Ziel des fotografischen Prozesses ist es, den **Tonwertumfang** des Originals **auf dem Film zu speichern**.
- Problem das Filmmaterial hat eine beschränkten darstellbaren Tonwertumfang:
 - Negativfilmmaterial = 10 - 12 EV
 - Positivfilmmaterial (Dia) = 5 - 6 EV
 - Fotopapier = ~ 5 EV

Photographie oder Reproduktion => Herstellen eines Bildes

Darstellung üblicherweise graphisch, Helligkeitswerte des Originals vs. Helligkeitswerte der Reproduktion. Aus verschiedenen Gründen nimmt man hierbei einen logarithmischen Masstab => man erhält die **Arbeitskurve**, **charakteristische Kurve** eines Photomaterials (Abbildungsmaterial).

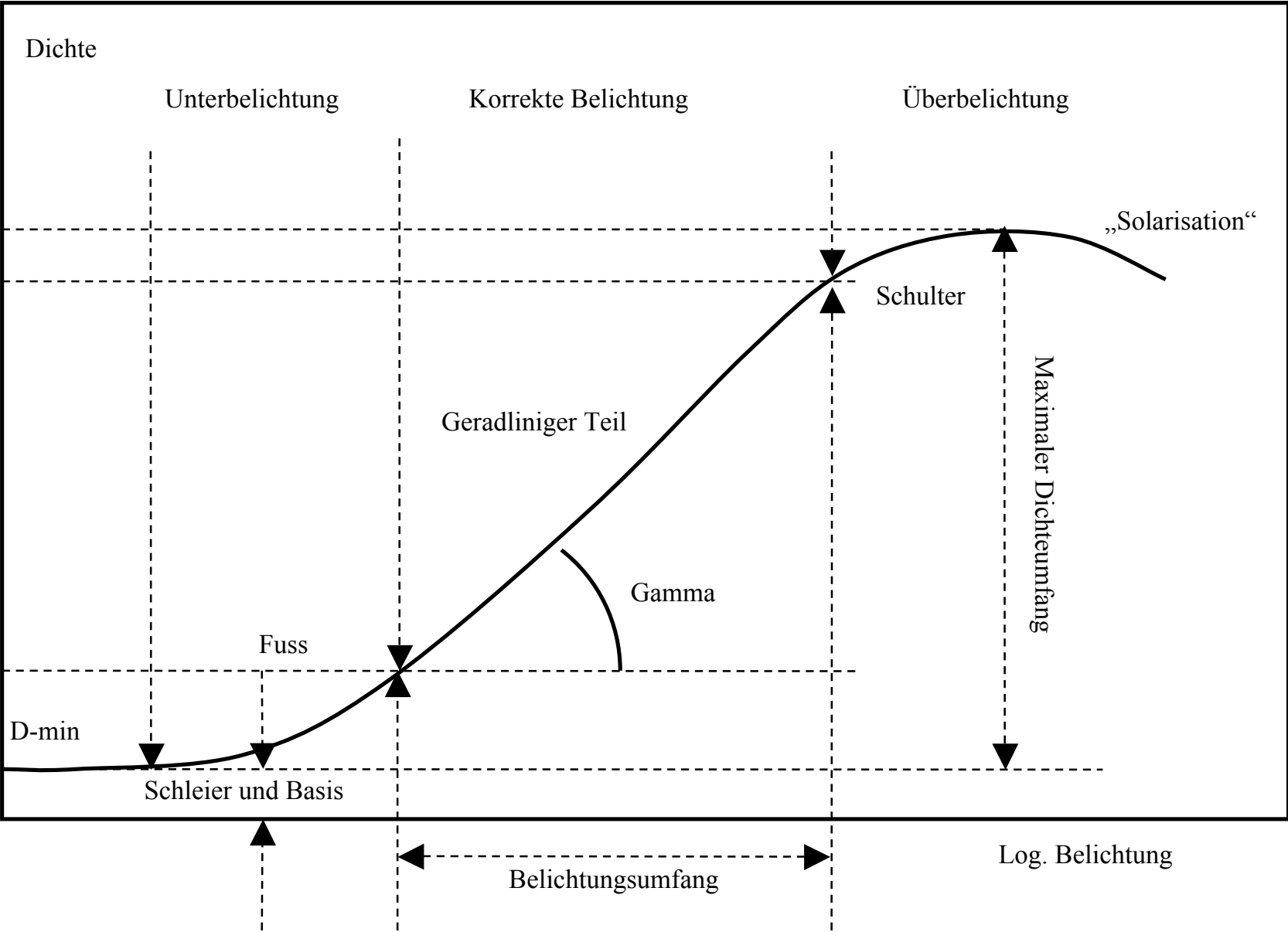
Die dargestellte Kurve ist typisch für "normales" Photomaterial. Funktioneller Zusammenhang erlaubt eine Beurteilung, wie exakt Tonwerte umgesetzt werden.

Ideal: **1 : 1** Umsetzung, d.h. gerade Linie mit 45° Steigung.

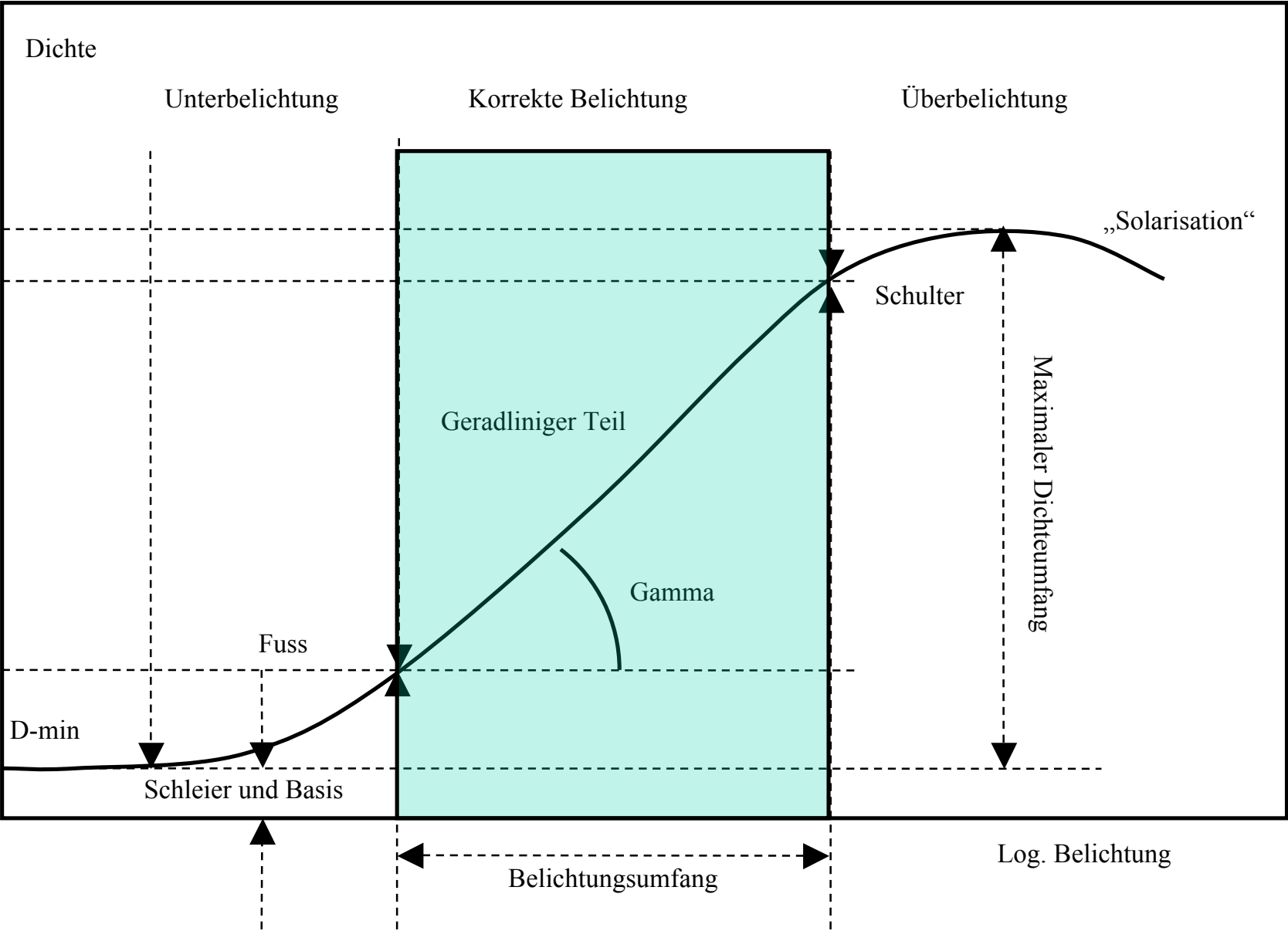
In Wirklichkeit: "ganz helle", resp. "ganz dunkle" Teile des Originals werden in der Photographie nur schlecht oder gar nicht mehr getrennt: Die Tonskala ist zusammengestaucht. Die "mittleren" Helligkeiten werden gut. Wird die Kurve steiler: verstärkte Trennung der Helligkeiten

Photographisches Material ist lichtempfindlich (genauer: strahlungsempfindlich). Die Techniken, die sich mit der Empfindlichkeit, resp. dem Zusammenhang zwischen der Menge Licht auf einer lichtempf. Schicht und dem resultierenden photographischen Effekt befasst, nennt man **Sensitometrie**.

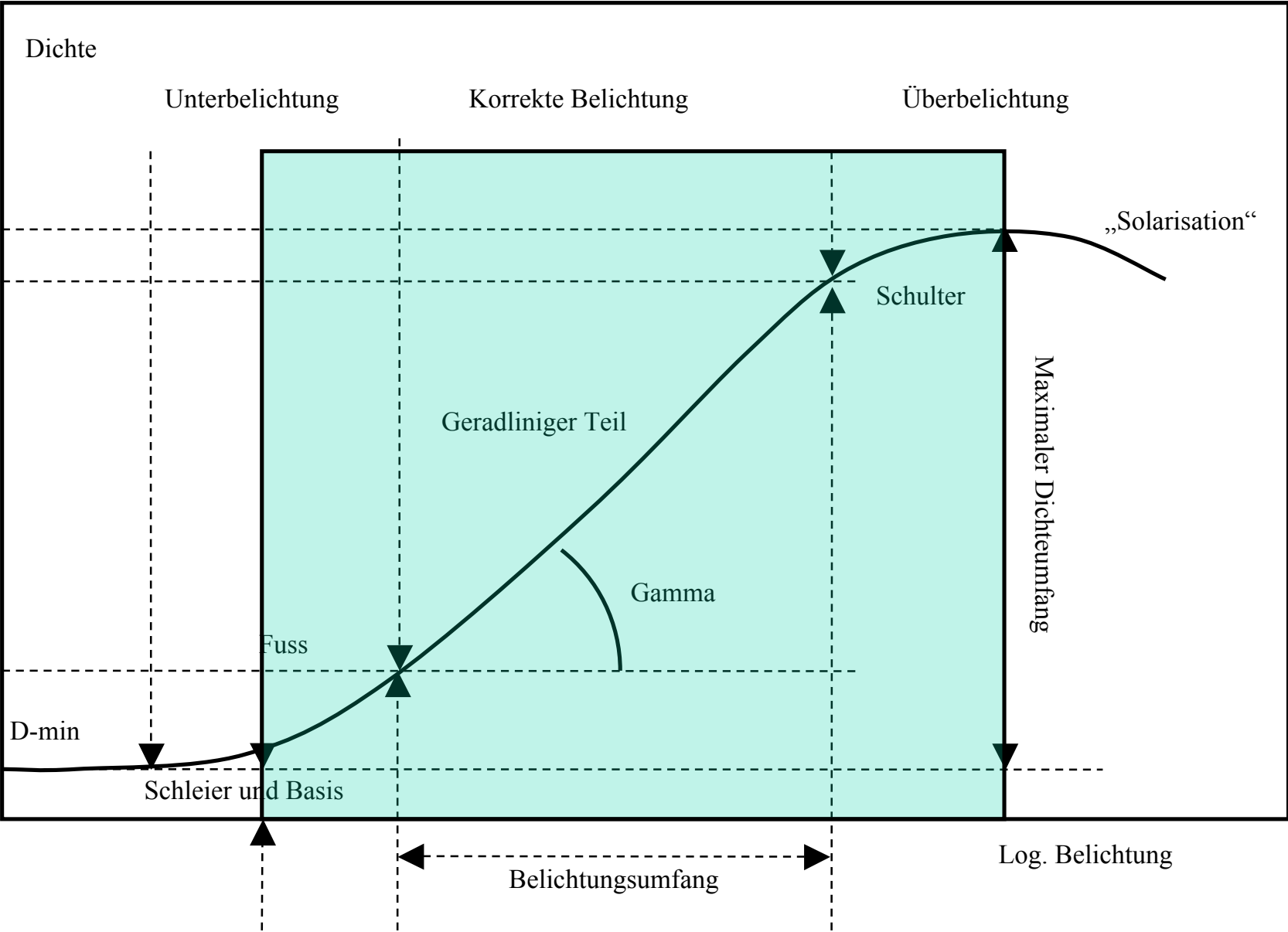
Charakteristische Kurve



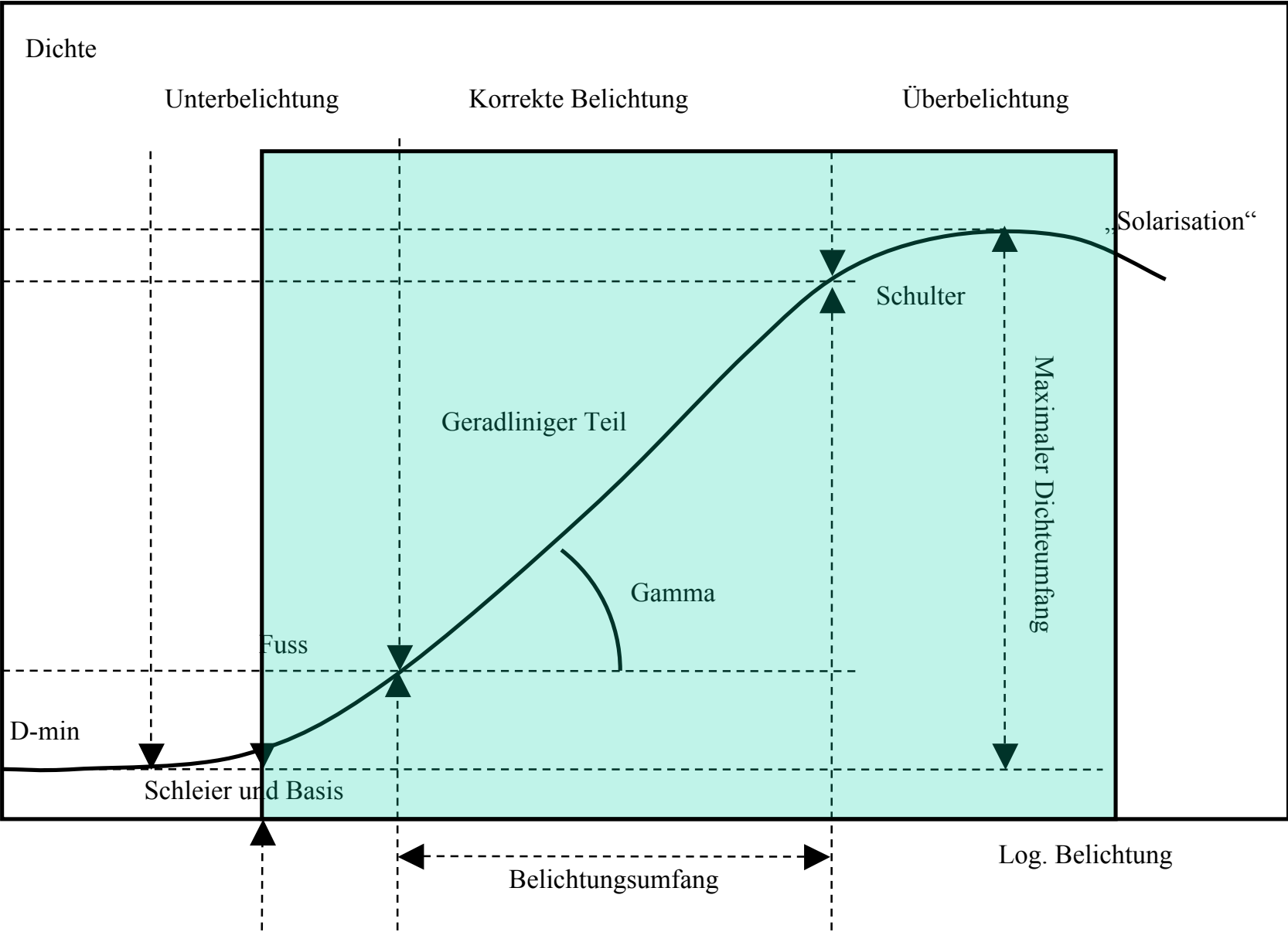
Charakteristische Kurve



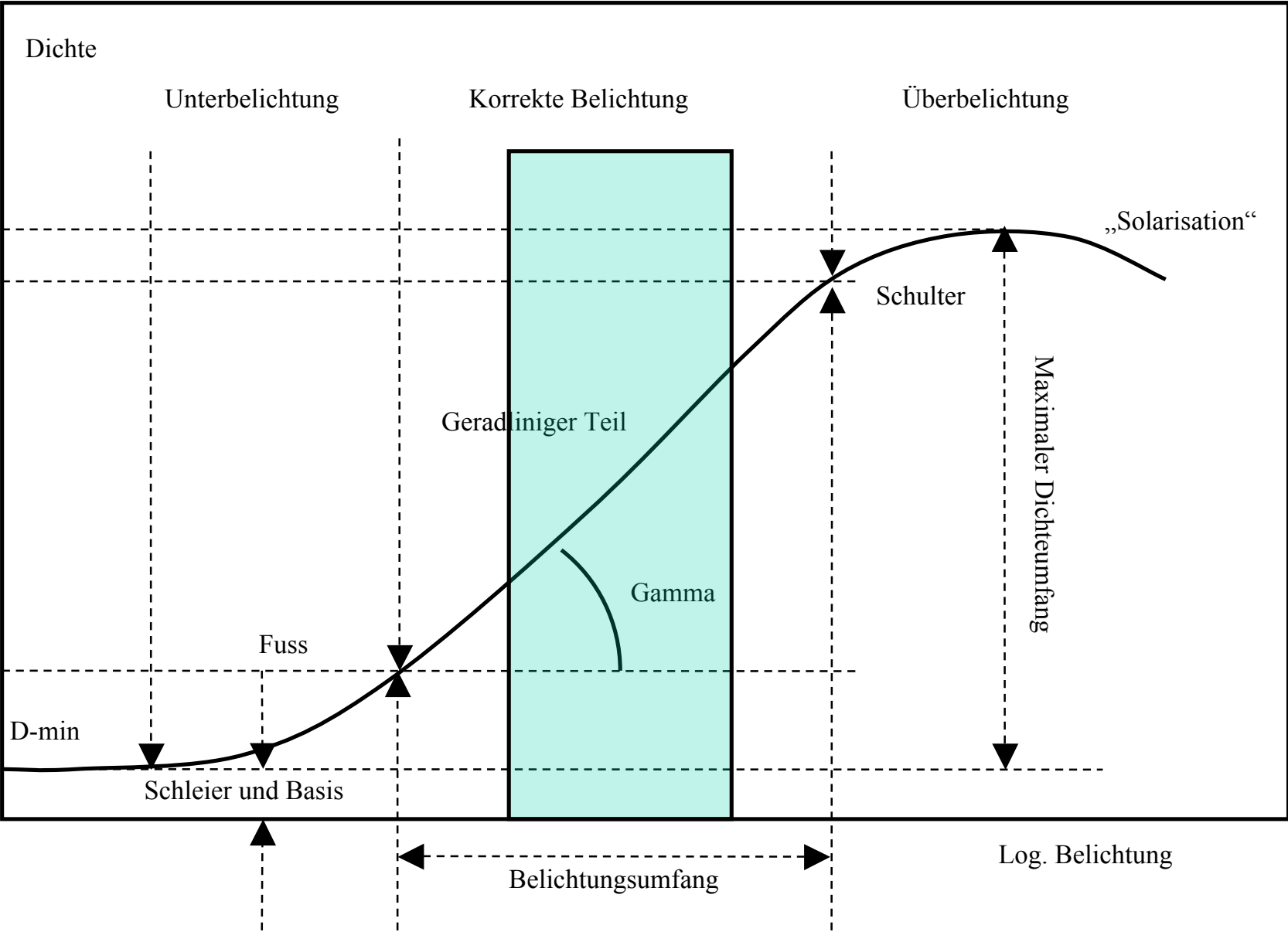
Charakteristische Kurve



Charakteristische Kurve



Charakteristische Kurve





Schneeaufnahme



- Objektmessung mit Spot: Schnee reflektiert bedeutend mehr Licht als das neutrale Grau
- Lösung: Hier muss auf eine **Graukarte** angemessen werden, oder um **2 - 3 Blenden überbelichtet** werden.



Schneeaufnahme II



- **Spotmessung**
Wird durch den Schnee zu einem falschen Resultat führen!
- Lösung: Hier muss auf eine **Graukarte** angemessen werden, oder um **2 - 3 Blenden** überbelichtet werden.
- Alternativ: Anmessen auf einen Schattenbereich => **Neutrales Grau im Bild finden**



Dunkle Umgebung



- **Spotmessung auf das Gesicht**
Das wird zu einem guten Resultat führen, da Haut sehr gut einem 18% Grauwert entspricht.



Portrait im Schnee



- **Spotmessung auf das Gesicht**
Das wird zu einem guten Resultat führen, da Haut sehr gut einem 18% Grauwert entspricht.



Portrait im Studio



- **Spotmessung auf das Gesicht**
Das wird **nicht** zu einem guten Resultat führen, da diese dunkle Haut nicht dem 18% Grauwert entspricht.
- Lösung: Auf Graukarte messen, oder **kontrolliert unterbelichten**



Helle Haut



- Spotmessung auf das Gesicht
Das wird nicht zu einem guten Resultat führen, da diese sehr helle Haut nicht dem 18% Grauwert entspricht.
- Lösung: Auf Graukarte messen, oder kontrolliert überbelichten

Merkmale

- Achten Sie auf die korrekte Messung der Belichtungszeit
- Vor allem bei mittenbetonten oder Spotmessungen muss darauf geachtet werden, dass keine Spitzlichter im Messfeld sind
- Im Zweifelsfalle anmessen der Haut, von Strassenbelag oder einer Graureferenz

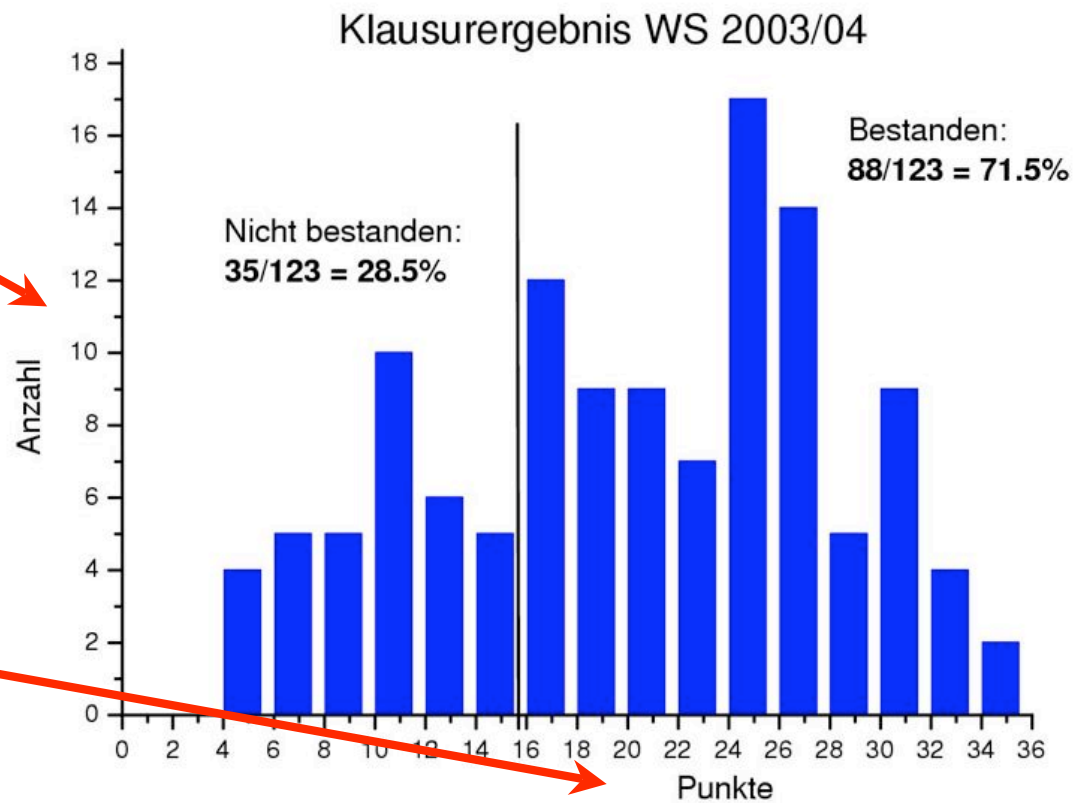
Belichtungsmessung im digitalen Zeitalter

- Ein Sensor misst Helligkeiten für jeden Bildpunkt
- Unmittelbare Anzeige der „Messungen“
- => Sensor ist Belichtungsmesser
- Visualisierung der Belichtungsmessung:
- DAS HISTOGRAMM

Histogramm

Häufigkeit

Wert



Histogramm bei Bildern

Gesamtheit



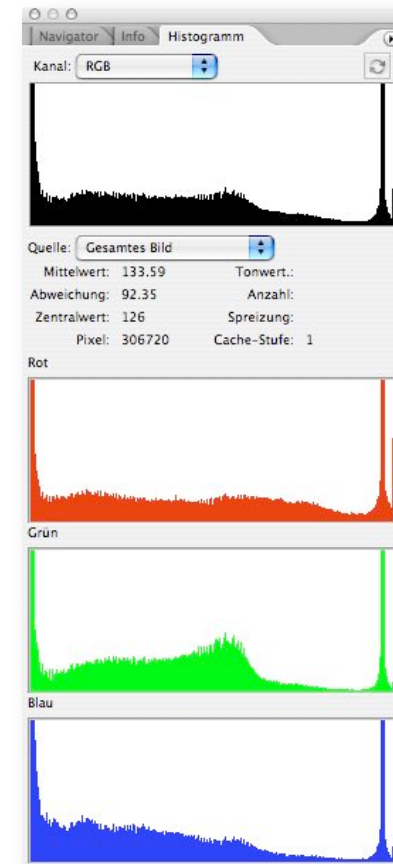
Rotkanal



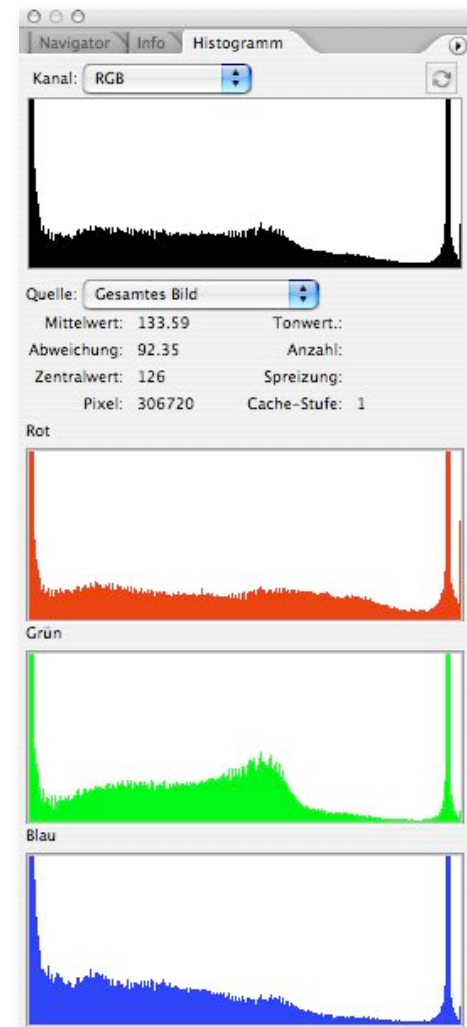
Grünkanal



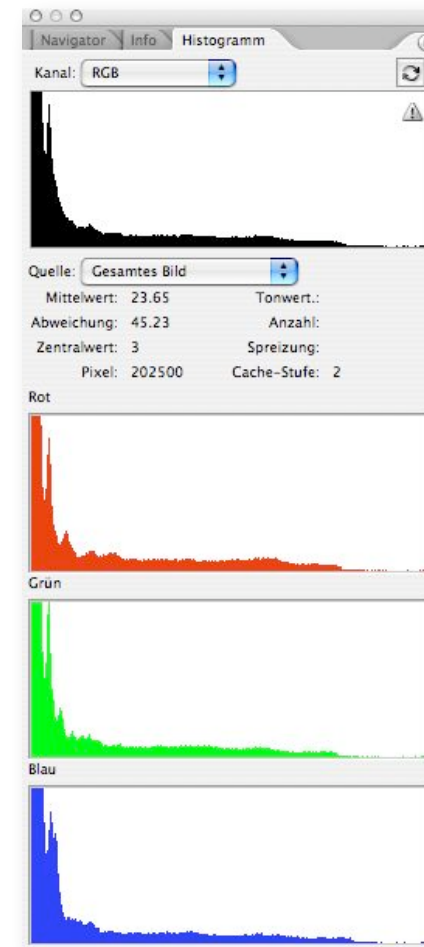
Blaukanal



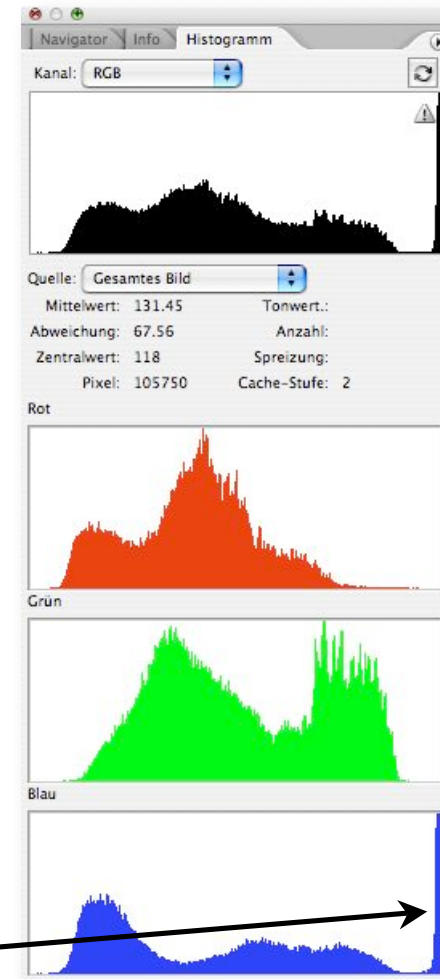
Beispiele



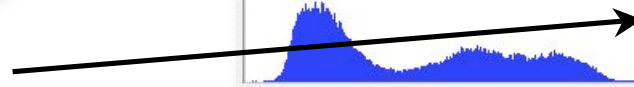
Beispiele



Beispiele



Sättigung (Clipping)



Densitometrie

Die Densitometrie ist die quantitative Messung der Farbdichte (Volltondichte), das heisst der Farbmenge pro Flächeneinheit. Dabei werden Tonwerte, aber keine Farbtöne bestimmt.



Lichtabsorptionsmessung

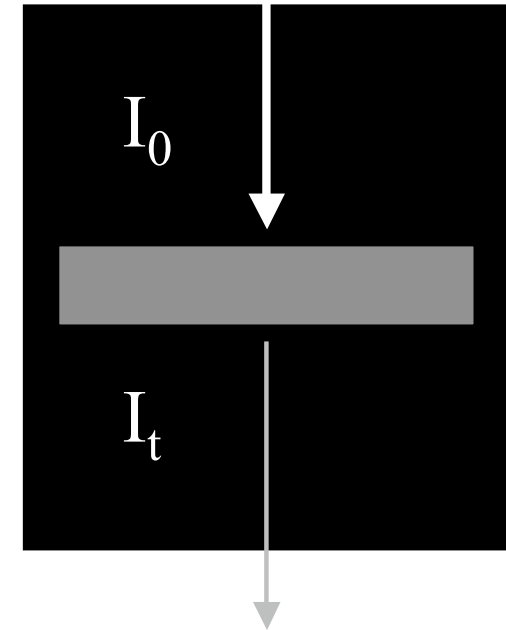
Mass für die Schwärzung? Licht wird im Film absorbiert => **Transmission T**

$$T = \frac{I_t}{I_0} = \frac{\text{durchgelassenes Licht}}{\text{Total auffallendes Licht}}, 0 \leq T \leq 1$$

Bei Papieren ähnlich: Reflexion R, das Konzept der Reflexion ist jedoch wesentlich komplizierter, da $R = f(\text{Einfallswinkel, Materialeigenschaften})$

In der photographischen Praxis (Filme, Filter...) wird anstatt des Transmissionswertes die **optische Dichte OD** verwendet. Dies ist der Logarithmus (Basis 10) der inversen Transmission (oder Reflexion)

$$D = \log \left(\frac{I_0}{I_t} \right) = \log \left(\frac{1}{T} \right) = -\log(T)$$



Der Gebrauch der logarithmischen Werte ist aus verschiedenen Gründen unerlässlich

a) Absorption von Licht ist eine Funktion der Dicke **d** der absorbierenden Schicht:

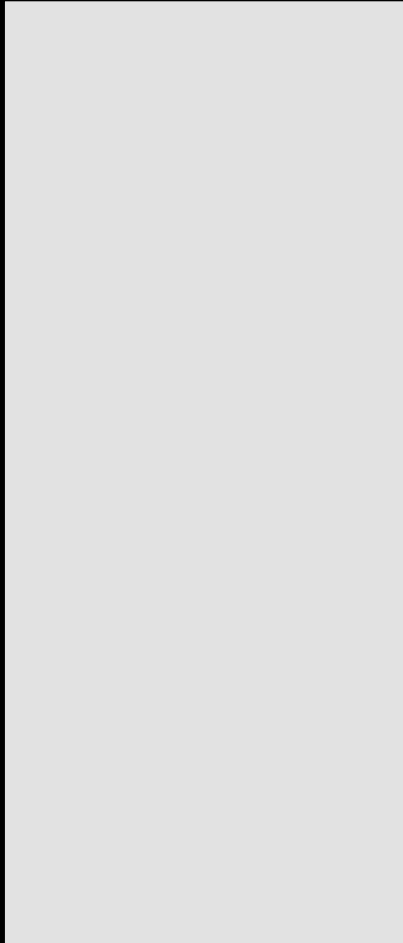
$$\mathbf{OD} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{d} \quad (! \text{ gilt nur bei einer einzigen Wellenlänge})$$

Wenn die Konzentration **c** des absorbierenden Mediums geändert wird (z.B. Farbstoffe in Farbfilter, Farbfilmern, Silbermenge in s/w-Filmern...), dann ändert sich auch die optische Dichte:

$$\mathbf{OD} = \mathbf{k}' \cdot \mathbf{c} \cdot \mathbf{d}, \quad (\text{Beer-Lambertsches Gesetz})$$

b) Der Gebrauch von logarithmischen Einheiten hängt mit den Eigenschaften des menschlichen Sehvorgangs zusammen.

Eine Abstufung von Grautönen, die geometrisch abgestuft sind (in Transmission), also z.B. 1, 0.5, 0.25, 0.125, ... erscheint dem Auge als eine mehr oder weniger gleichmässige Tonskala (Weber-Fechner'sche Beziehung). Die optische Dichte (logarithmisch) ist also ein recht gutes Mass für die Helligkeitsempfindung



Sensitometrie

Sensitometrie umfasst alle Techniken, die die Empfindlichkeit einer photographischen Schicht und die Charakteristik der Kurve bestimmt. Man braucht dazu 2 Instrumente:

- **Sensitometer**

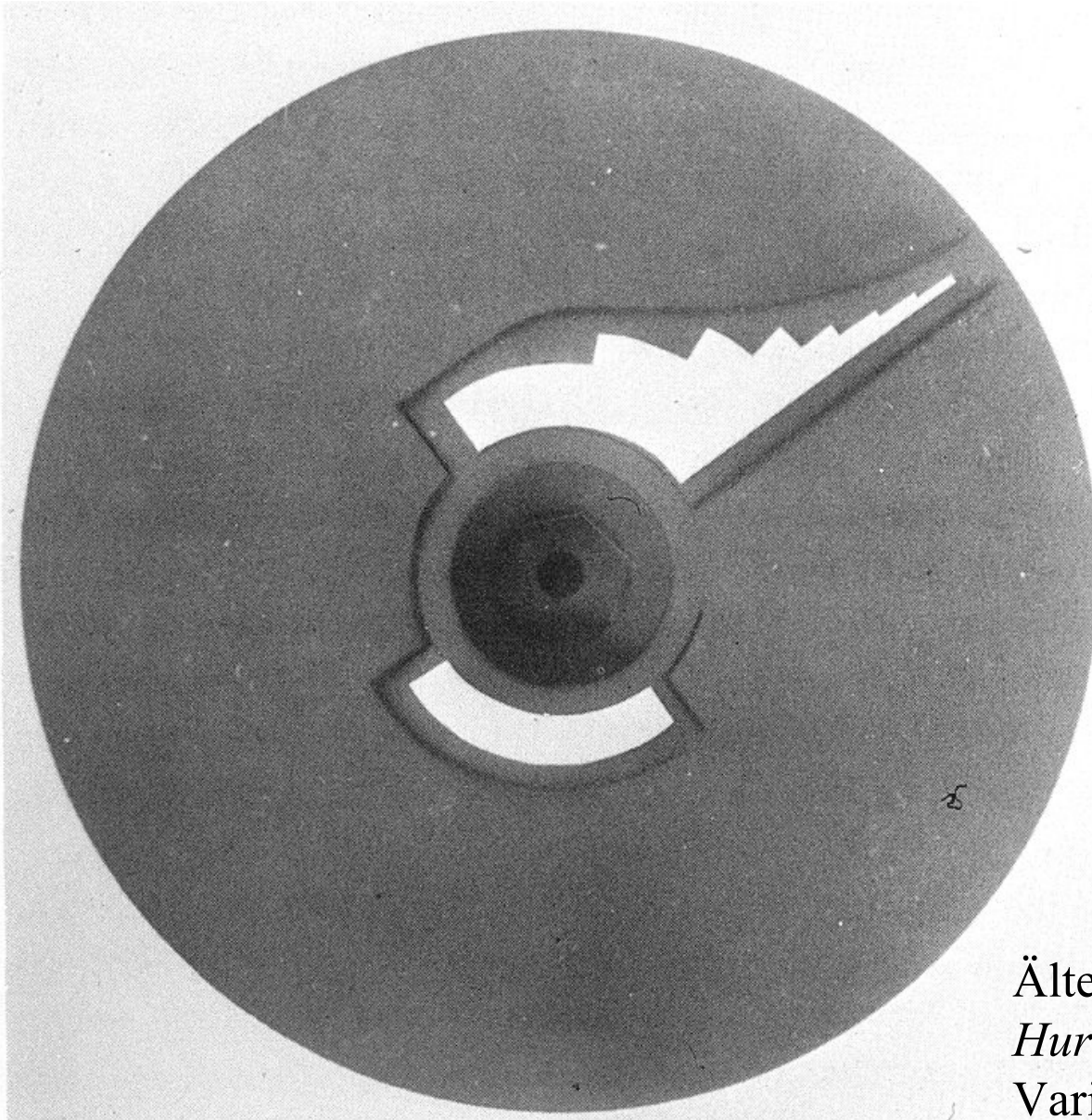
- **Densitometer**

Sensitometer: Gerät, mit denen man photographische Materialien unter definierten und reproduzierbaren Bedingungen belichten kann

Densitometer: Gerät, mit dem man die optische Dichte der Schicht bestimmt.

Schematisch besteht Sensitometer aus: Lichtquelle, Verschluss, Filter, Belichtungsmodulator.

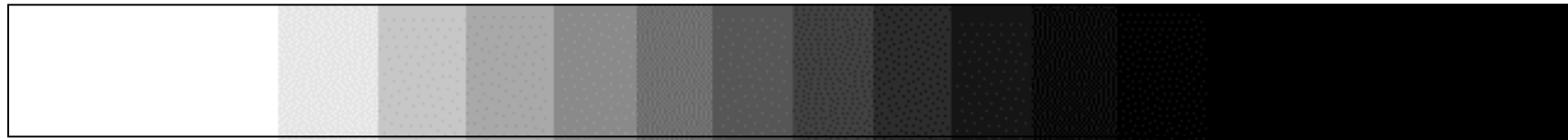
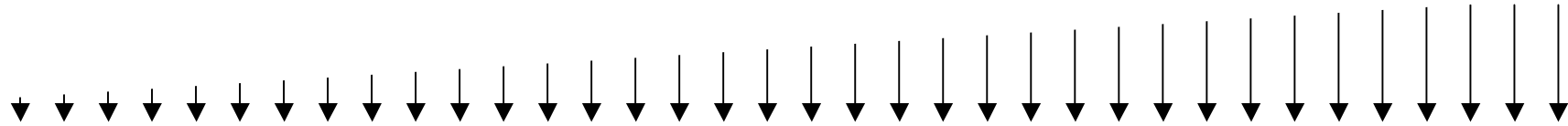
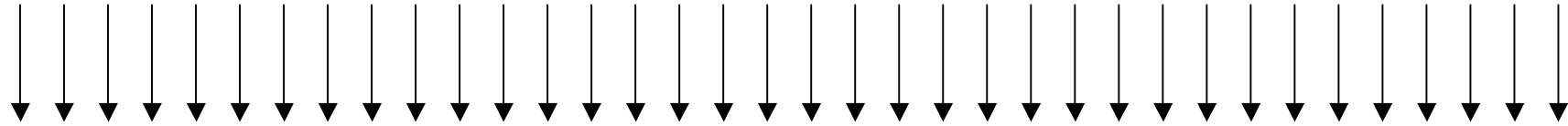
Sensitometer



Älterer Zeitmodulator nach
Hurter + Driffield
Variable Zeit - gleiche Intensität

Sensitometer

Graukeil

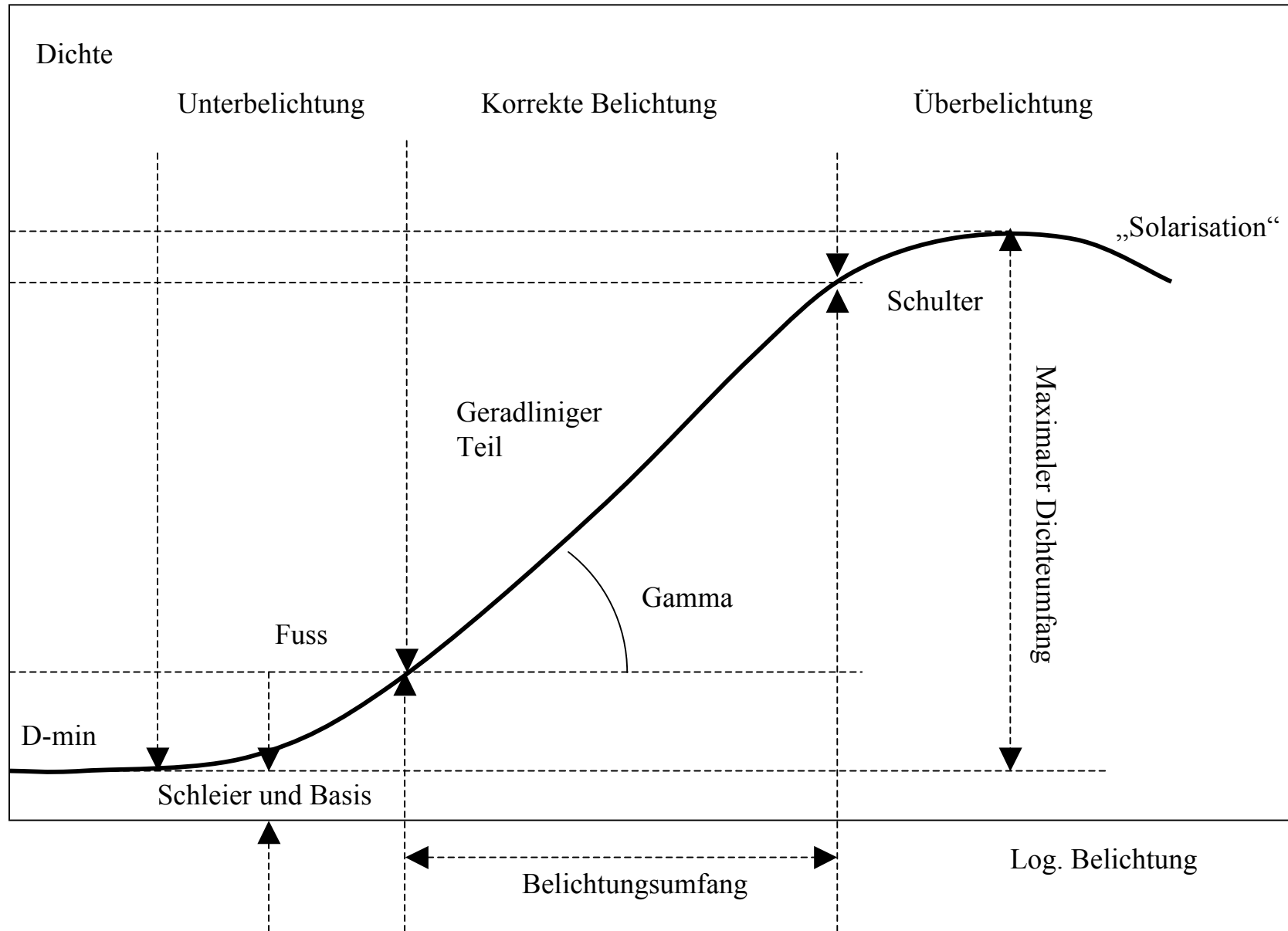


Negativ nach standardisierter Verarbeitung

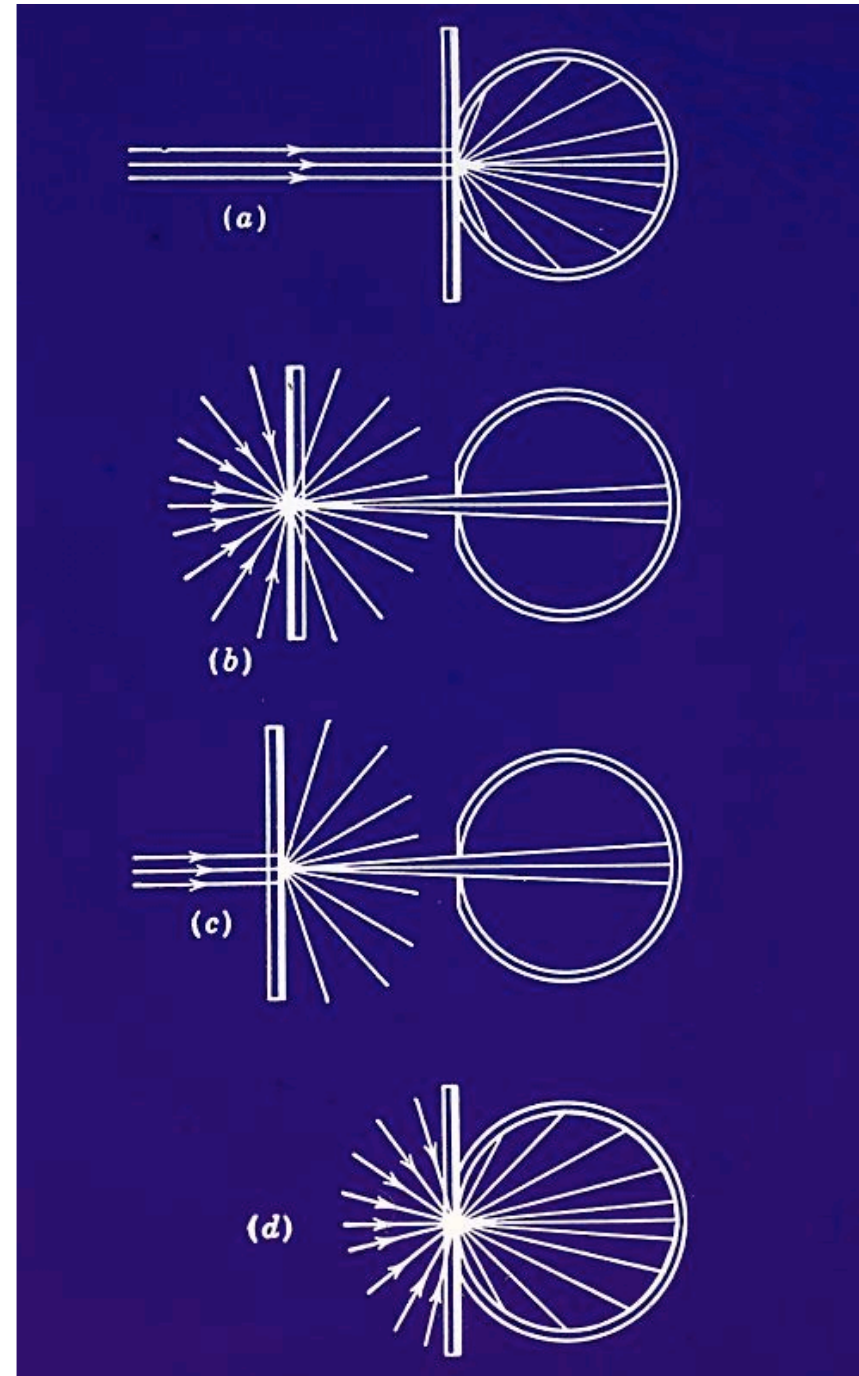
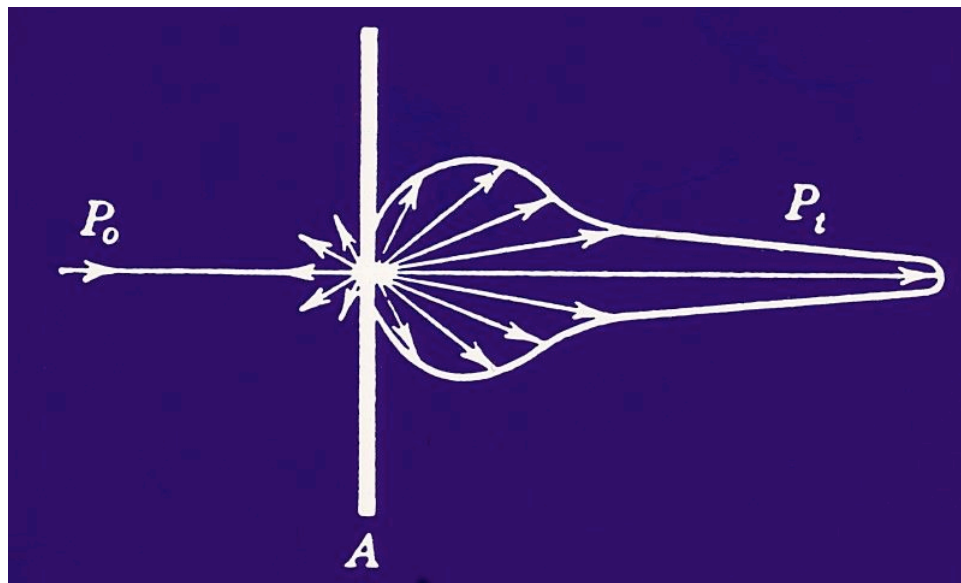
Intensitätsmodulator

Gleiche Zeit - unterschiedliche Intensität, entspricht der photographischen Praxis

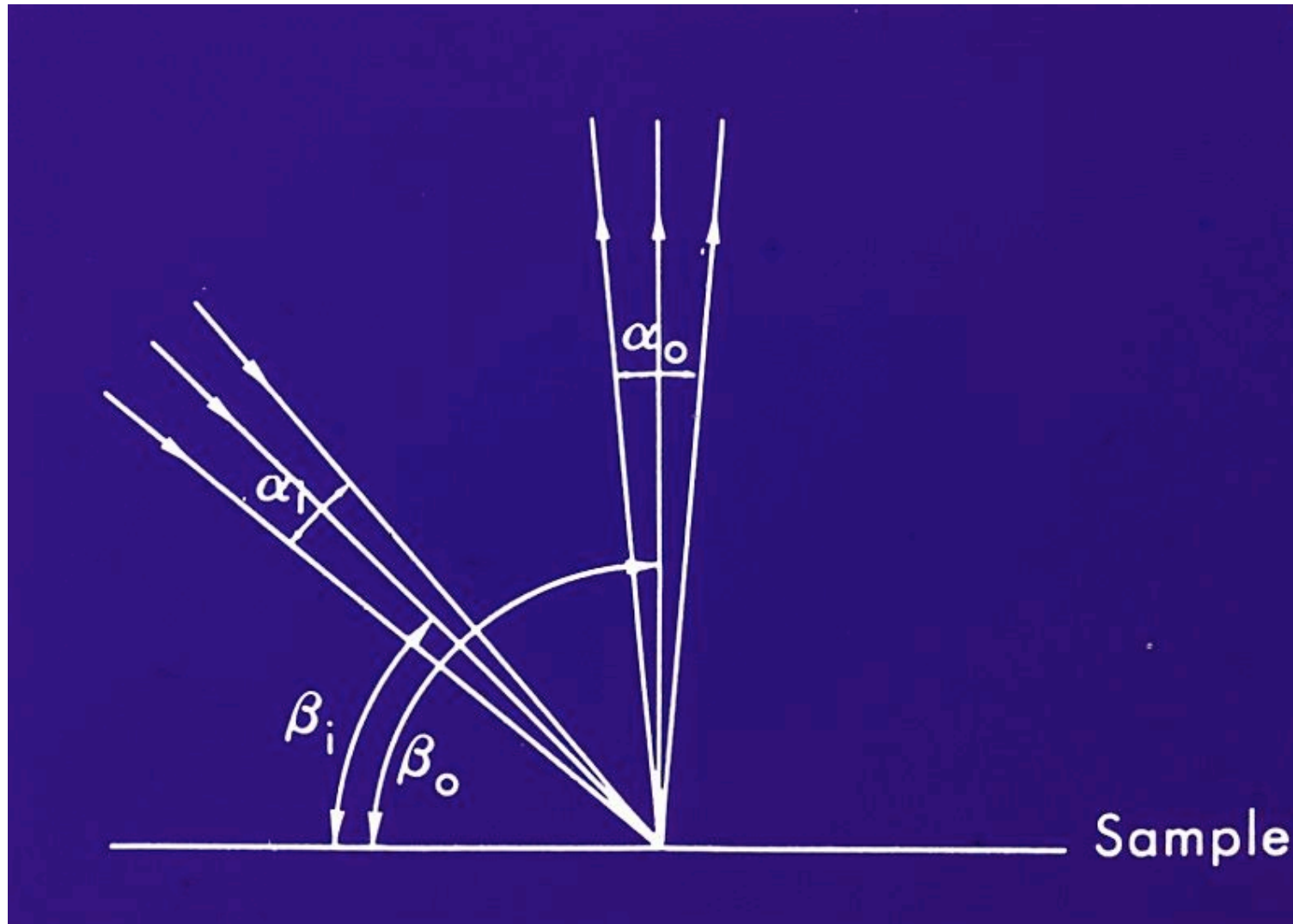
charakteristische Kurve



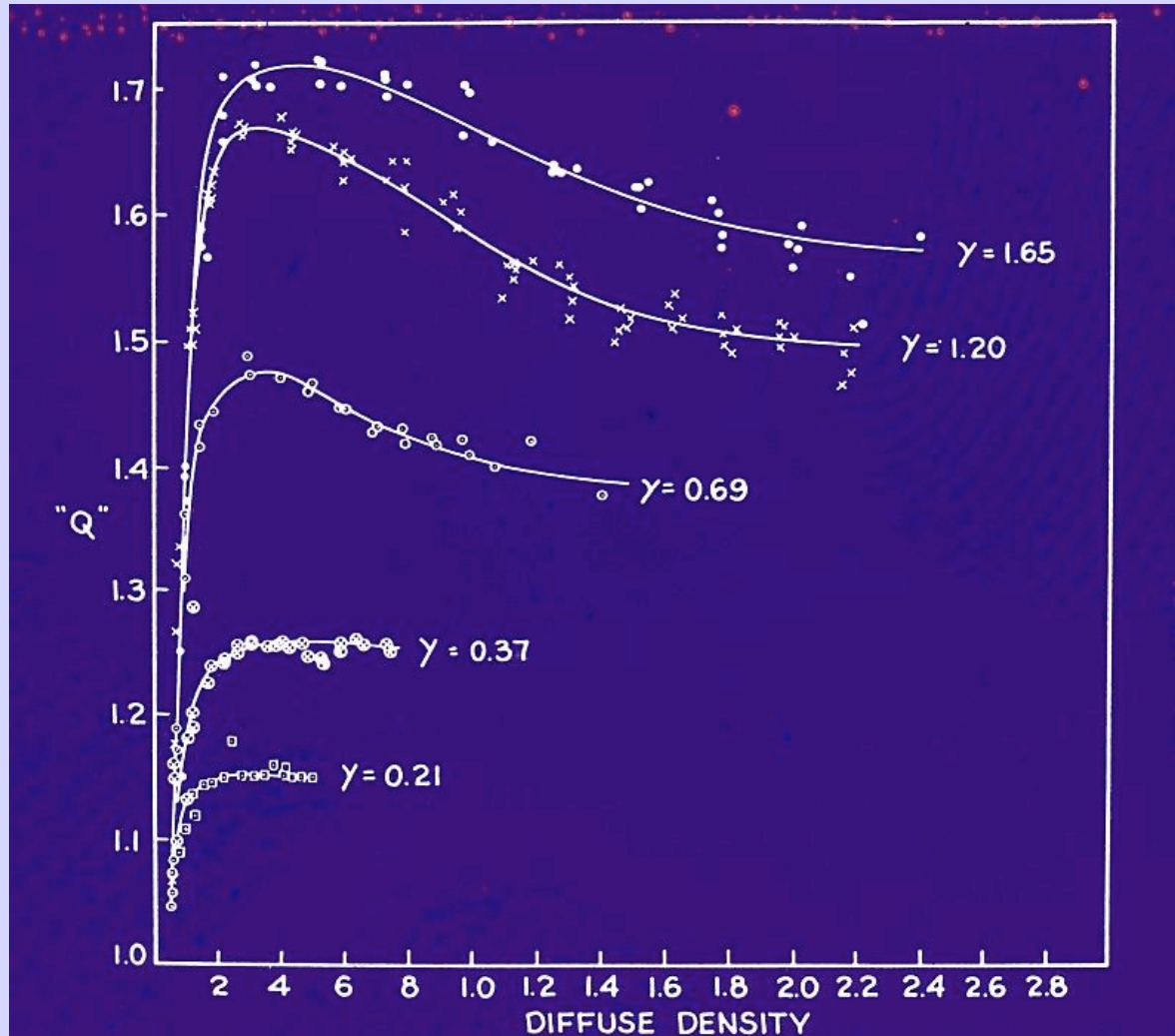
- Messung der Transparenz von Silberfilm: Streuung in der Schicht
- Diverse Methoden der Messgeometrie: gerichtet vs. diffus



Messung der Reflexion ebenfalls definierte Messgeometrie
(in der Photographie üblich sogenannte $0/45^\circ$)



Callier-Effekt



Grund: Callier-Effekt, die opt. Dichte bei gerichtetem Licht ist höher als bei ungerichtetem Licht (Callier-koeffizient Q).

NB bei Farbfilmern ist Calliereffekt ≈ 1

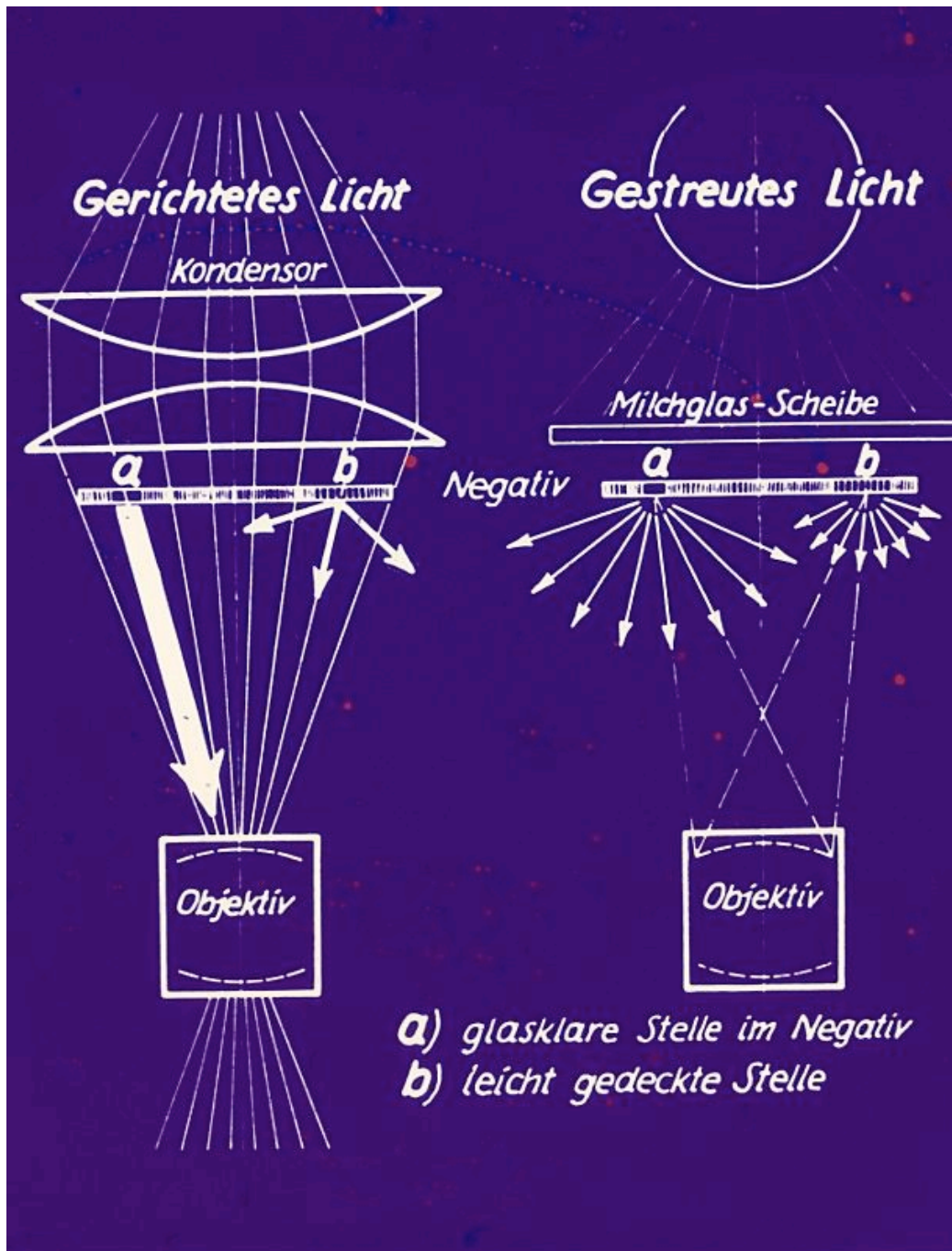
Callier-Effekt

Wichtig: beim
Vergrößerungsgerät

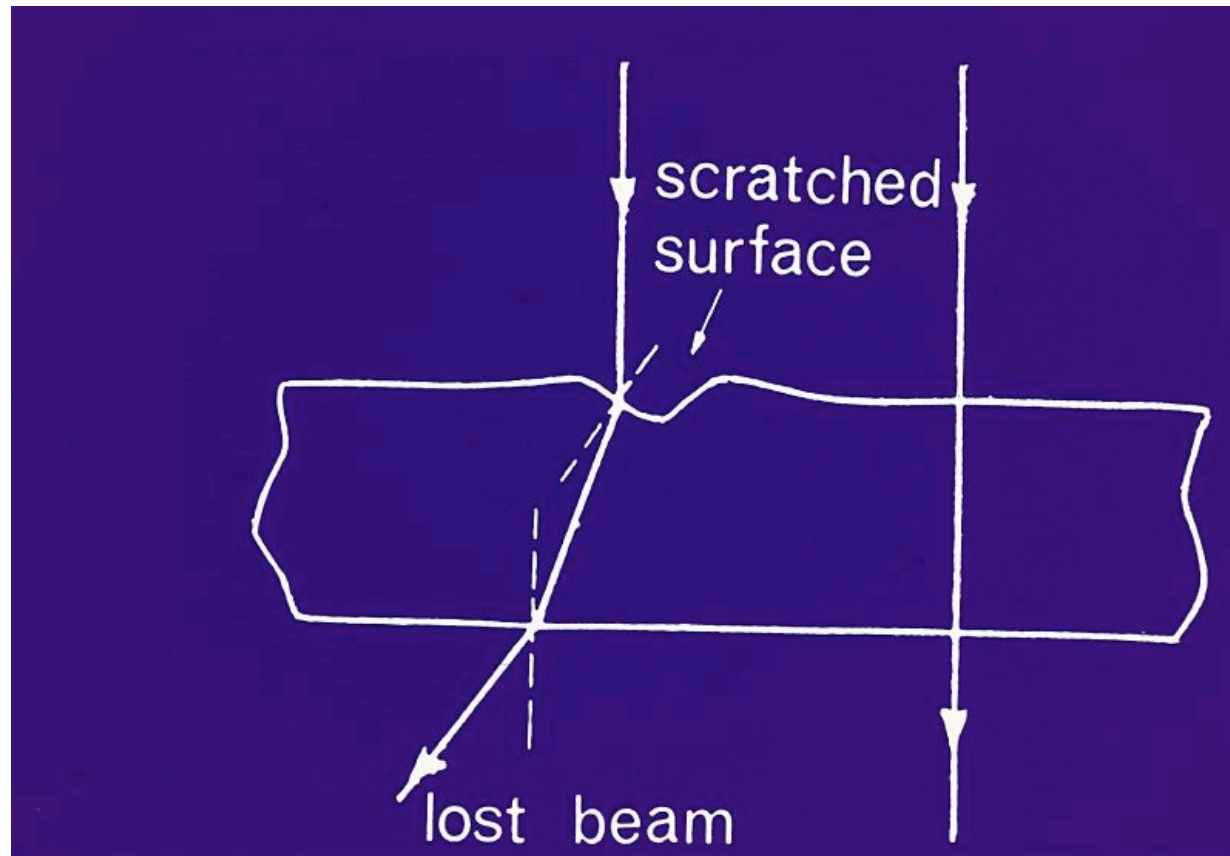
bei s/w prinzipiell 2
Beleuchtungsarten

diffus und gerichtet (Kondensor).

Unterschiedliche Wirkung wegen
Callier-Effekt, bei gerichtetem
Licht hat s/w-Negativ scheinbar
höheren Kontrast, ergibt
"brillantere" und schärfere Bilder



Callier-Effekt



... bei gerichtetem Licht hat s/w-Negativ scheinbar höheren Kontrast, ergibt "brillantere" und schärfere Bilder, aber auch jeder Kratzer ist sichtbar

Exposition

Fundamentale Charakteristik für den photographischen Film ist die **Additivität** der Strahlung, d.h. die Strahlung wird akkumuliert. Dies im Gegensatz etwa zu unserem Auge, wir können die Strahlung nicht akkumulieren.

Der photographische Effekt hängt ab von der **Menge des eingestrahlten Lichts**

Die Menge Licht die auf Schicht fällt heisst **Exposition** und ist definiert:

$$H = I \times t = \text{Lux} \times \text{Sekunden} \quad (I = \text{Beleuchtungsstärke, Einheit Lux, lx})$$

Das photographische Resultat ist nun proportional zur Exposition. Eine Exposition mit hoher Intensität und kurzer Zeit ergibt das gleiche Resultat wie niedere Intensität bei langer Zeit => **Reziprozität**

Man muss schon an dieser Stelle darauf hinweisen, dass das Reziprozitätsgesetz nur eine mehr oder bessere Annäherung an die Praxis ist. Bei genauer Messung zeigen sich Abweichungen.

Charakteristische Kurve

Klassische Photographie: Licht auf dem Film schwärzt an dieser Stelle die Schicht. Andere Prozesse gehen anders: Farbfilm gibt Farbstoffe, Kunststoffe können polymerisieren und unlöslich werden, etc ... Unabhängig von der Art der Auswirkung wird das lichtempfindliche Verhalten durch die Beziehung zwischen **Belichtung (Exposition) H** und der **resultierenden Lichtabsorption (opt. Dichte)** der verarbeiteten Schicht beschrieben.

Der funktionelle Zusammenhang ist viel zu kompliziert, daher eine experimentelle Bestimmung notwendig der Funktion:

$D = f(\log H)$: charakteristische Kurve, Arbeitskurve, H-D-Kurve.

Diese Kurve erlaubt verschiedene Parameter zu definieren: am wichtigsten

Empfindlichkeit, Kontrast, Schleier, Fuss, Schulter

Definition hängt nicht nur von Art des Materials ab, vor allem von der Applikation

Empfindlichkeit und Kontrast

Empfindlichkeit generell so definiert durch einen Parameter, der durch die **minimale Exposition** beschrieben wird, die ein **befriedigendes** Bild ergibt ! Es hängt also direkt von der Exposition ab, d.h.: welche Exposition braucht es um eine bestimmte **opt. Dichte** zu erhalten. Beziehung Exposition zu Dichtebereich auf dem Negativ. Die Wahl dieser opt. Dichte hängt von der Art der Anwendung ab!

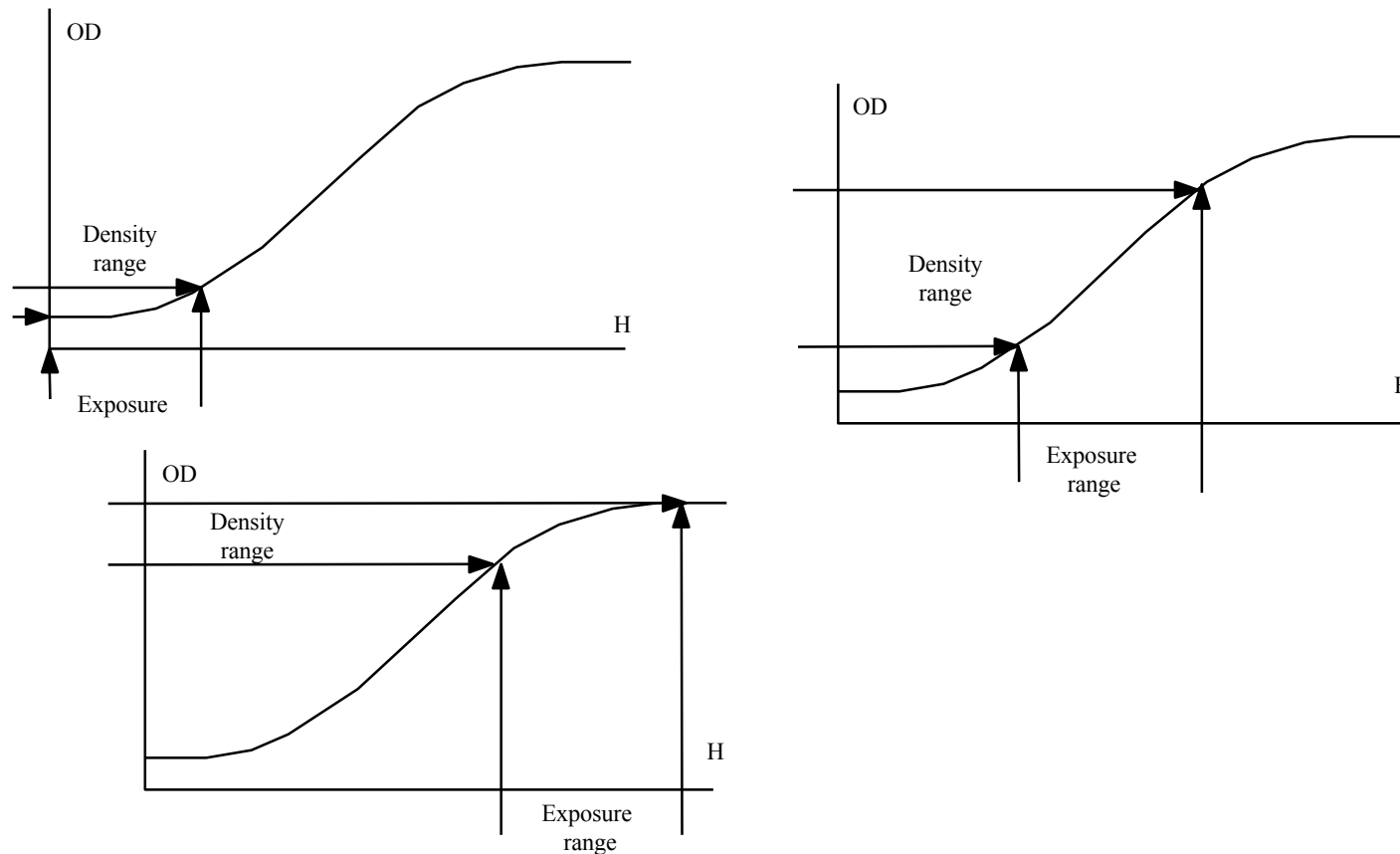
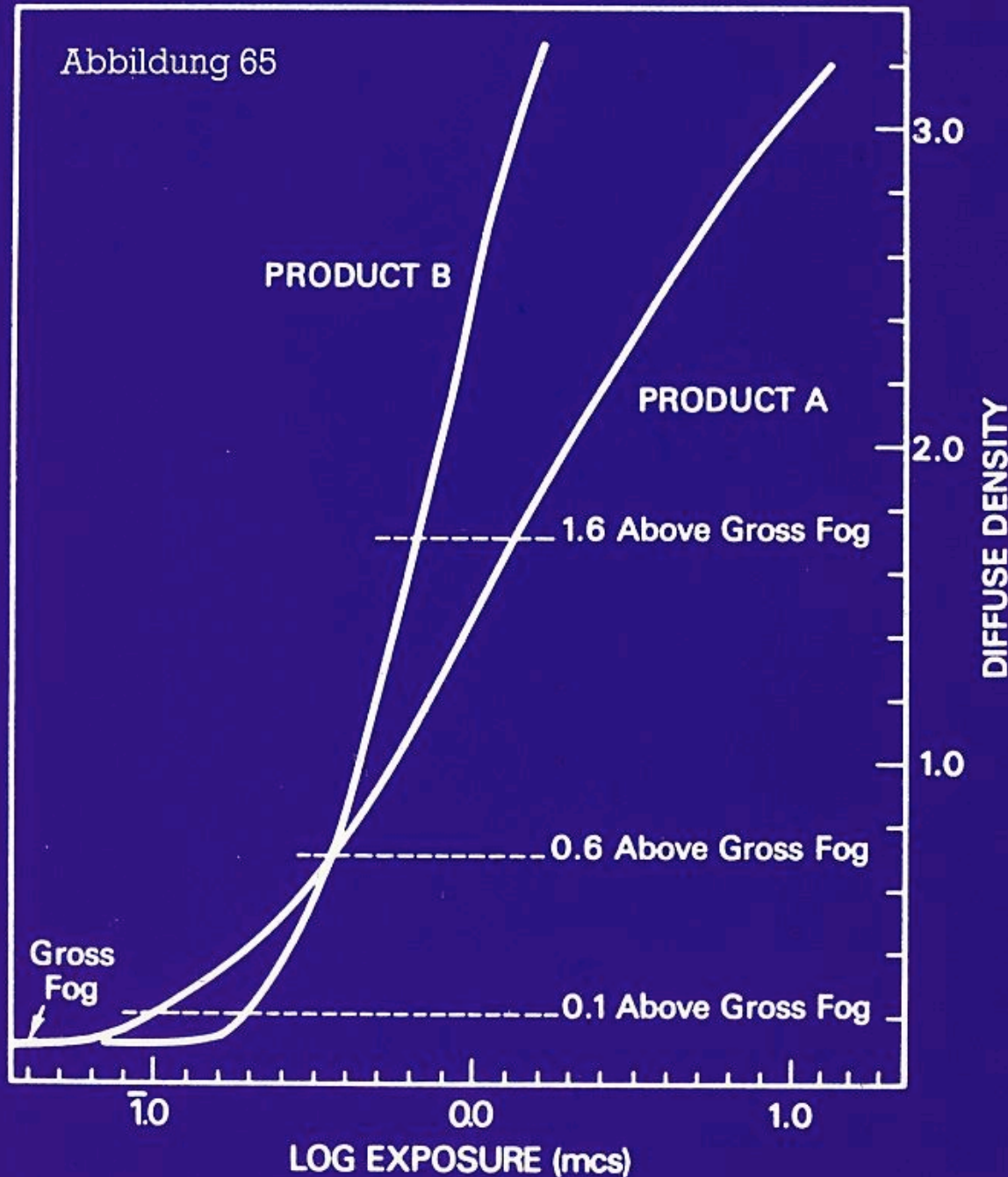


Abbildung 65



Die Wahl dieser opt. Dichte hängt von der Art der Anwendung ab!

Vergleich zweier verschiedener Materialien

bei $D = 0.6$: gleiche Empfindlichkeit

bei $D = 0.1$ oder 1.6 : ungleiche Empfindlichkeit !

$D=0.1$: **A** 4x empf. als **B**

$D=1.6$: **B** 2x empf. als **A**

In Praxis gibt es Normen durch

DIN (Deutsches Institut für Normung)

ASA (American Standardization Association)

ISO (International Standardization Organisation)

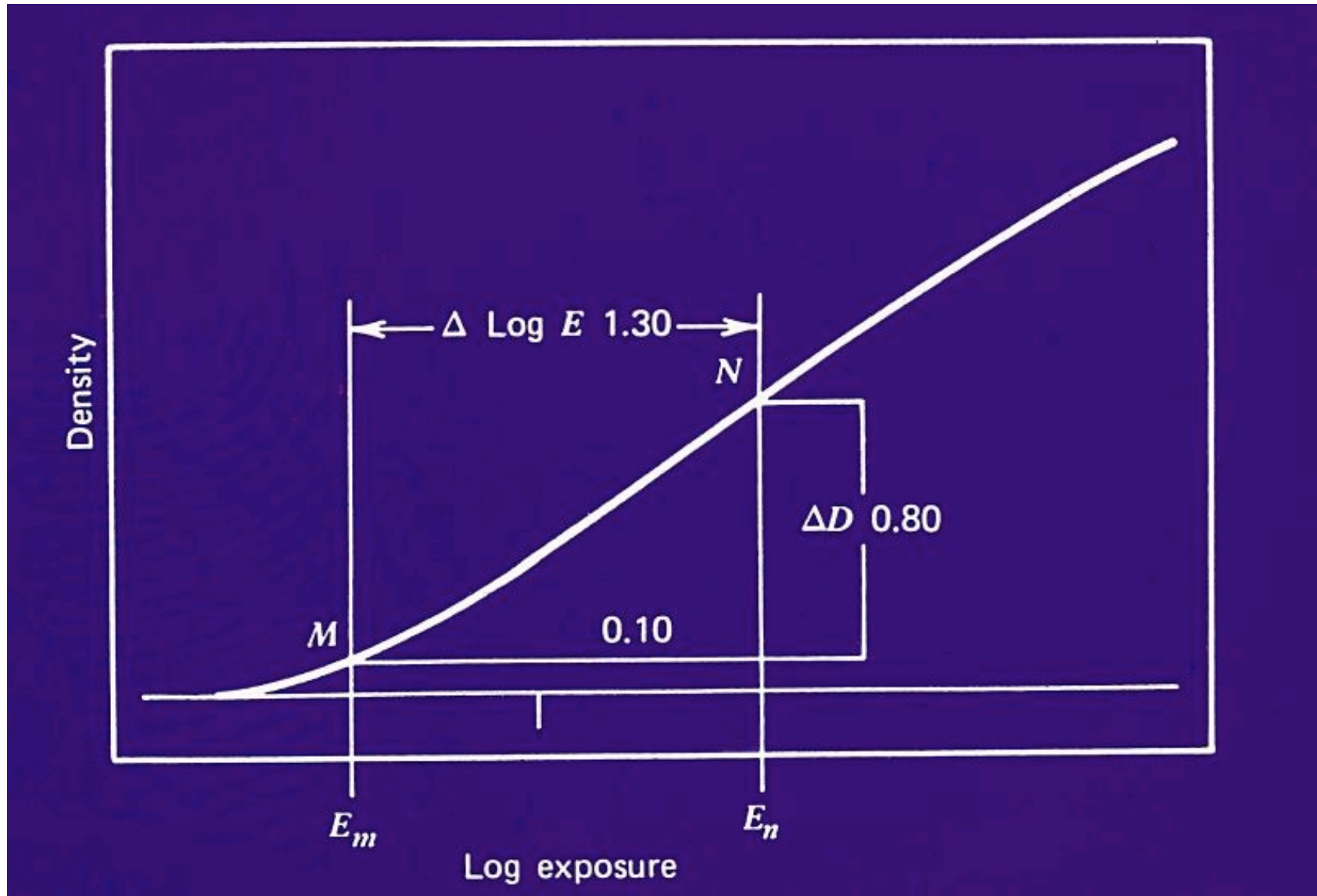
Empfindlichkeit S steigt, wenn Exposition H (die nötig ist) kleiner wird

$$S = \frac{k}{H}$$

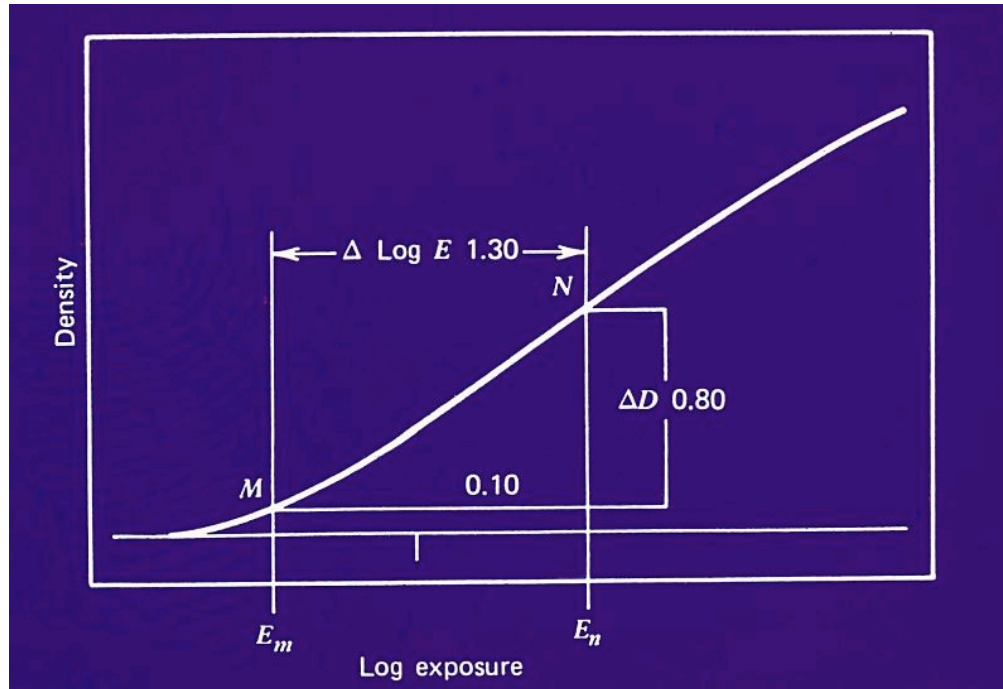
k : Konstante um „schöne“ Zahlen zu erhalten

Wie bestimmt man nun das H ?

Empfindlichkeitsbestimmung von s/w Negativmaterial



Empfindlichkeitsbestimmung



Man wählt Punkt **M** mit 0.1 über Schleier, trägt 1.3log Einheiten (1:20) ab. Es wird nun dieses Negativ genommen, wo

$$\Delta D = 0.8 \pm 0.05$$

(mittlerer Gradient 0.62) ist.

Man betrachte die Exposition beim Punkt **M**: E_m , damit wird die Empfindlichkeit S definiert als:

$$S = 0.8 / E_m \quad (E \text{ in lxs})$$

Empfindlichkeitsbestimmung

Die obige Art der Empfindlichkeitsmessung benötigt nur den Nachweis einer bestimmten opt. Dichte der Schicht. Man beachte jedoch: Diese Methode gilt nur für bildmässiges s/w-Material

Auch andere Kriterien (je nach Anwendung): z.B. gewisse Informationsmenge, gewisse Schärfe, Auflösung (werden jedoch wenig gebraucht). Andere Filme haben z.T. andere Empfindlichkeitsmessung : Umkehrfilme ("Diapositiv"), Vergrößerungspapiere, Luftbildmaterialien...

Man beachte immer: bei der bildmässigen Photographie muss die sensitometrische Empfindlichkeit beim praktischen Arbeiten korrekt belichtete Bilder ergeben. Da das nicht immer unter allen Bedingungen der Fall sein kann, muss man testen und ausprobieren.

Für photographisches Material gibt es heute 3 Systeme: ASA, DIN, **ISO**, die alle im Grunde genommen das gleiche sind

ASA, linear

$$S = \frac{0.8}{H_m}$$

DIN, logarithmisch

$$S^0 = 1 + 10 \log_{10} \frac{0.8}{H_m}$$

log ₁₀ H _m		ISO Empfindlichkeit	
Von	bis	ASA	DIN
6.35 - 10	6.44 - 10	3200	36°
6.45 - 10	6.54 - 10	2500	35°
6.55 - 10	6.64 - 10	2000	34°
6.65 - 10	6.74 - 10	1600	33°
6.75 - 10	6.84 - 10	1200	32°
6.85 - 10	6.94 - 10	1000	31°
6.95 - 10	7.04 - 10	800	30°
7.05 - 10	7.14 - 10	630	29°
7.15 - 10	7.24 - 10	500	28°
7.25 - 10	7.34 - 10	400	27°
7.35 - 10	7.44 - 10	320	26°
7.45 - 10	7.54 - 10	250	25°
7.55 - 10	7.64 - 10	200	24°
7.65 - 10	7.74 - 10	160	23°
7.75 - 10	7.84 - 10	125	22°

Am Film angeschrieben: ISO
(=Zusammenfassung von ASA und DIN)

ISO 25/15° = ASA 25 = 15 DIN,
ASA: linear, DIN: logarithmisch

ASA	6	12	25	32	40	50	64	80	100	200	400	800	1600	3200
DIN	9	12	15	16	17	18	19	20	21	24	27	30	33	36

Daumenregel für die Belichtung:

Sonnenlicht von vorne: $k = 16$, $t = 1 / \text{ASA}$ in sek

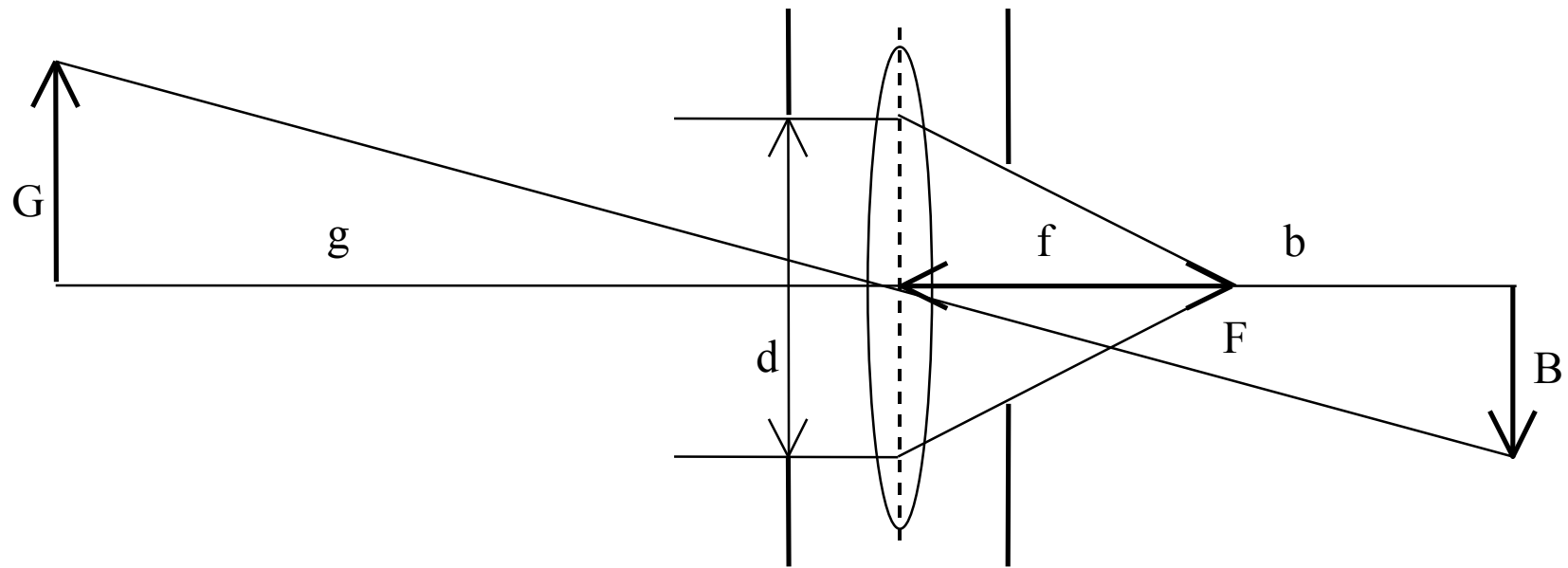
z.B.: 64 ASA : $t = 1/60$ s

Blende : Blendenzahl $k = d/f$

Mit Blende wird a) Helligkeit und b) Schärfentiefe reguliert

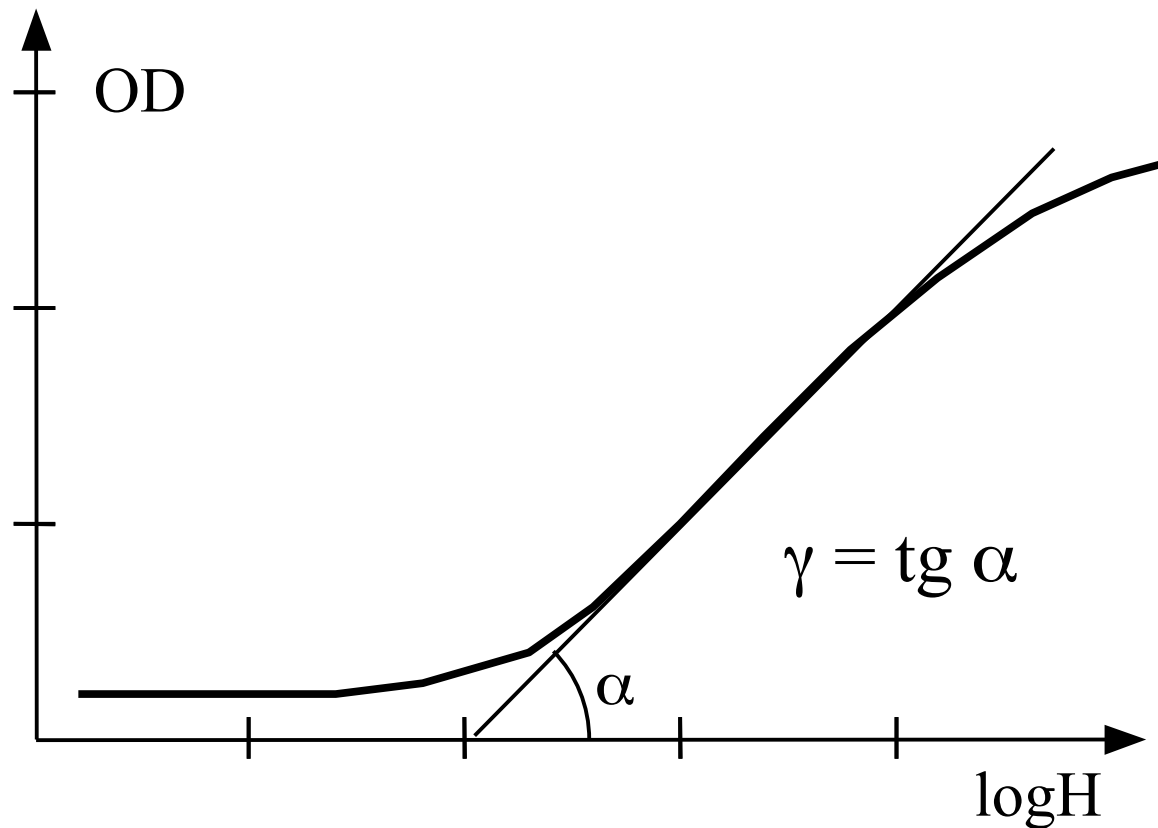
Blendenreihe: 1 Blendenstufe = Faktor 2, $\sqrt{2}$ -Abstufung

k	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8.0	11	16	22	32
t	1.0	2.0	4.0	8.0	16	32	64	128	256	512	1024

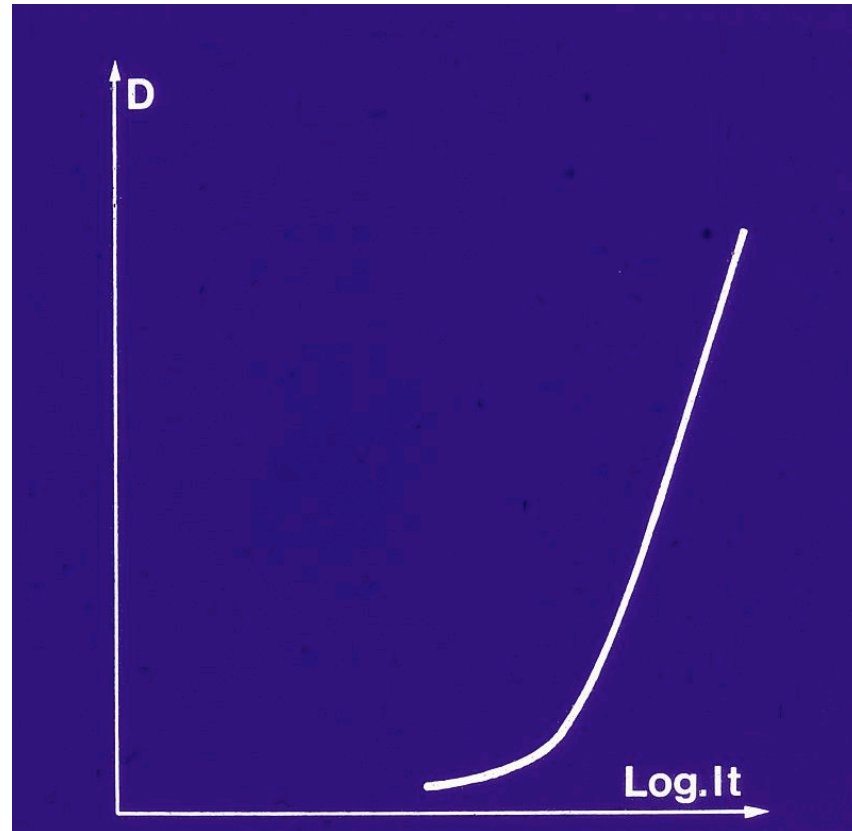


Empfindlichkeit und Kontrast

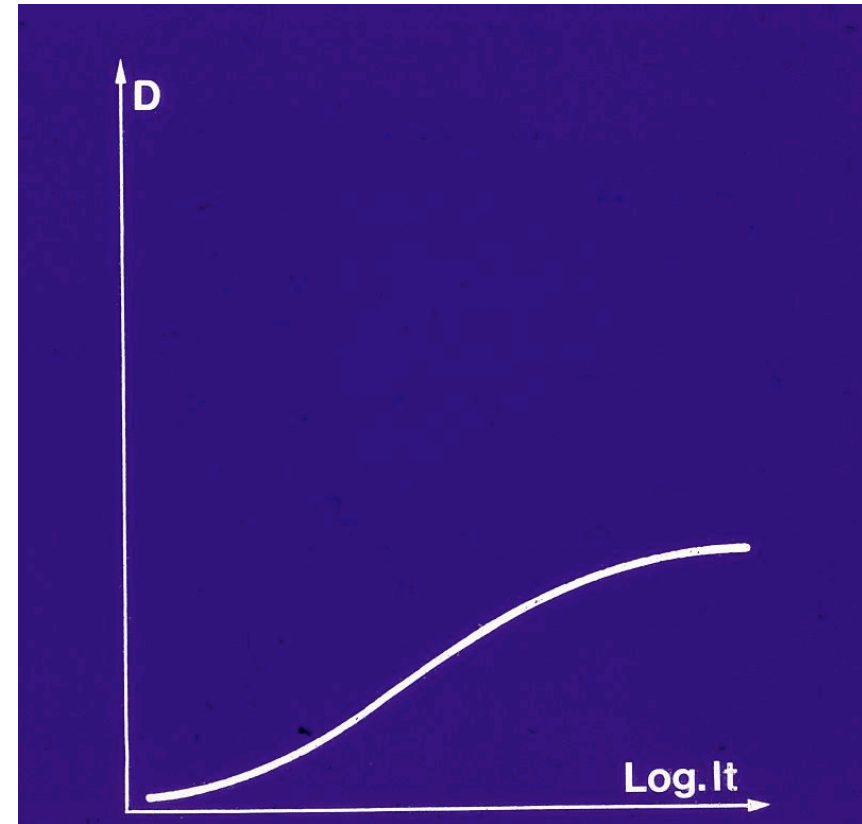
Kontrast ist ein Mass dafür wie sich die opt. Dichte des Filmmaterials mit der Belichtung ändert. Einfachstes Mass: Steigung in der charakteristischen Kurve im geradlinigen Teil



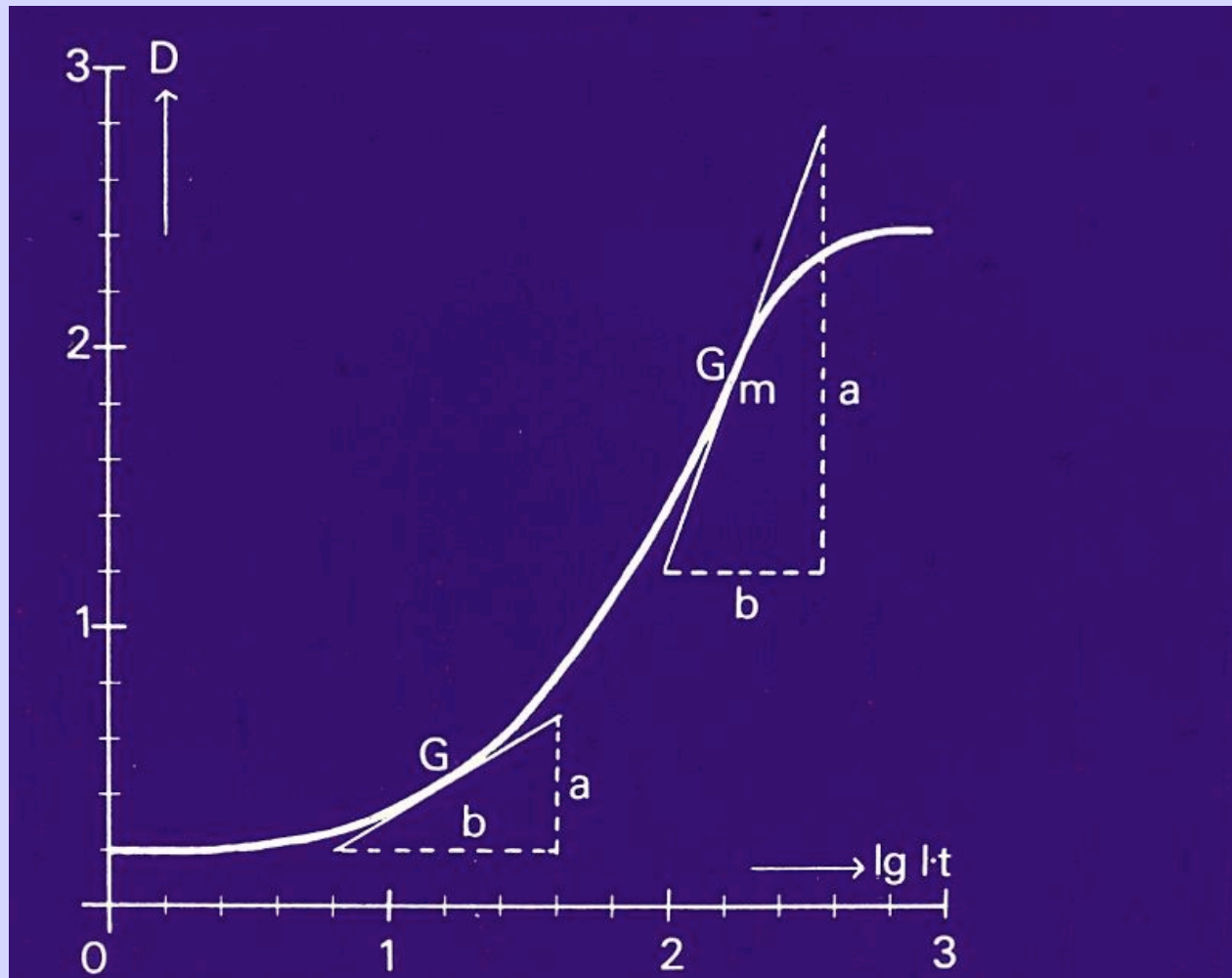
Hoher Kontrast



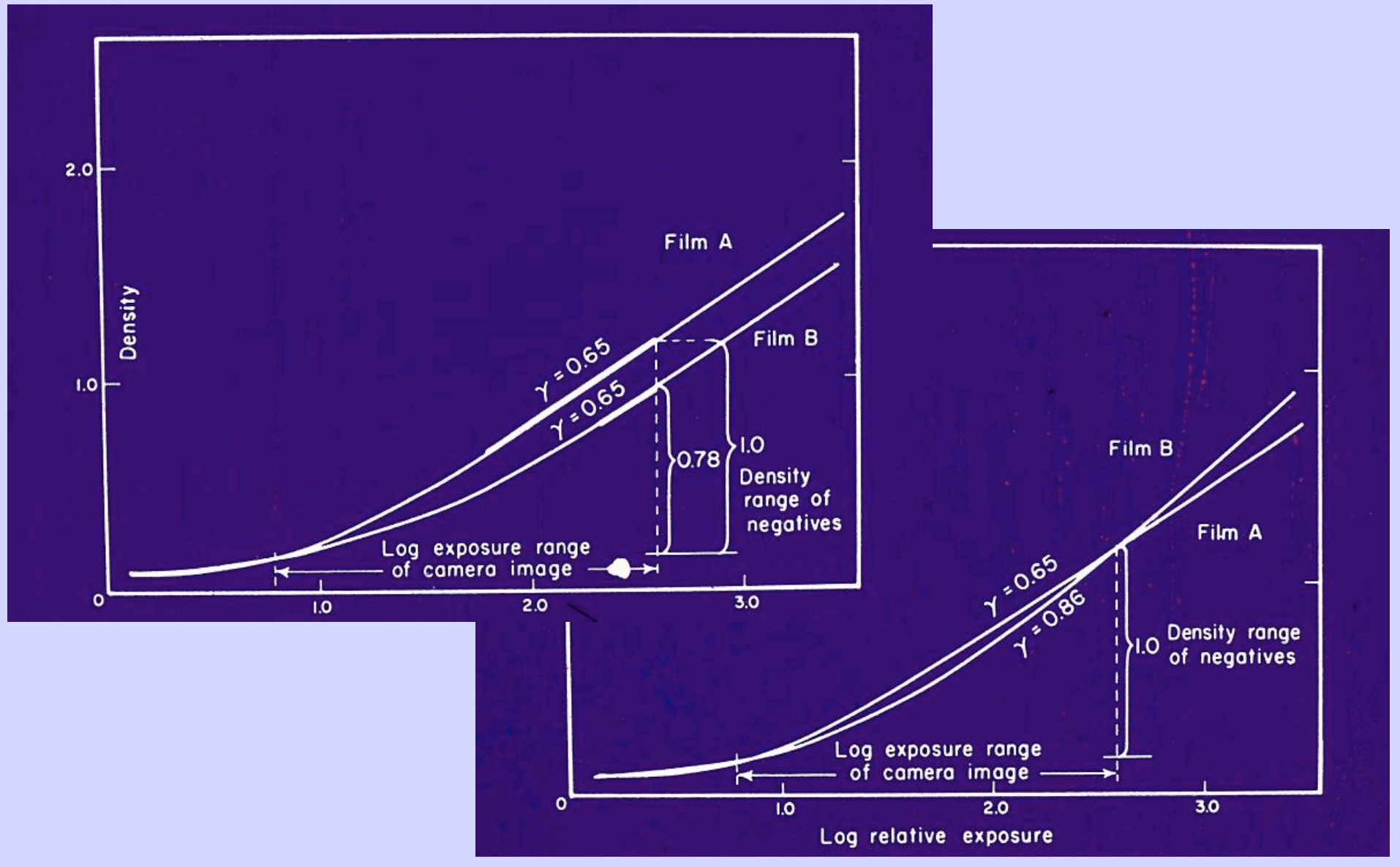
niedriger Kontrast

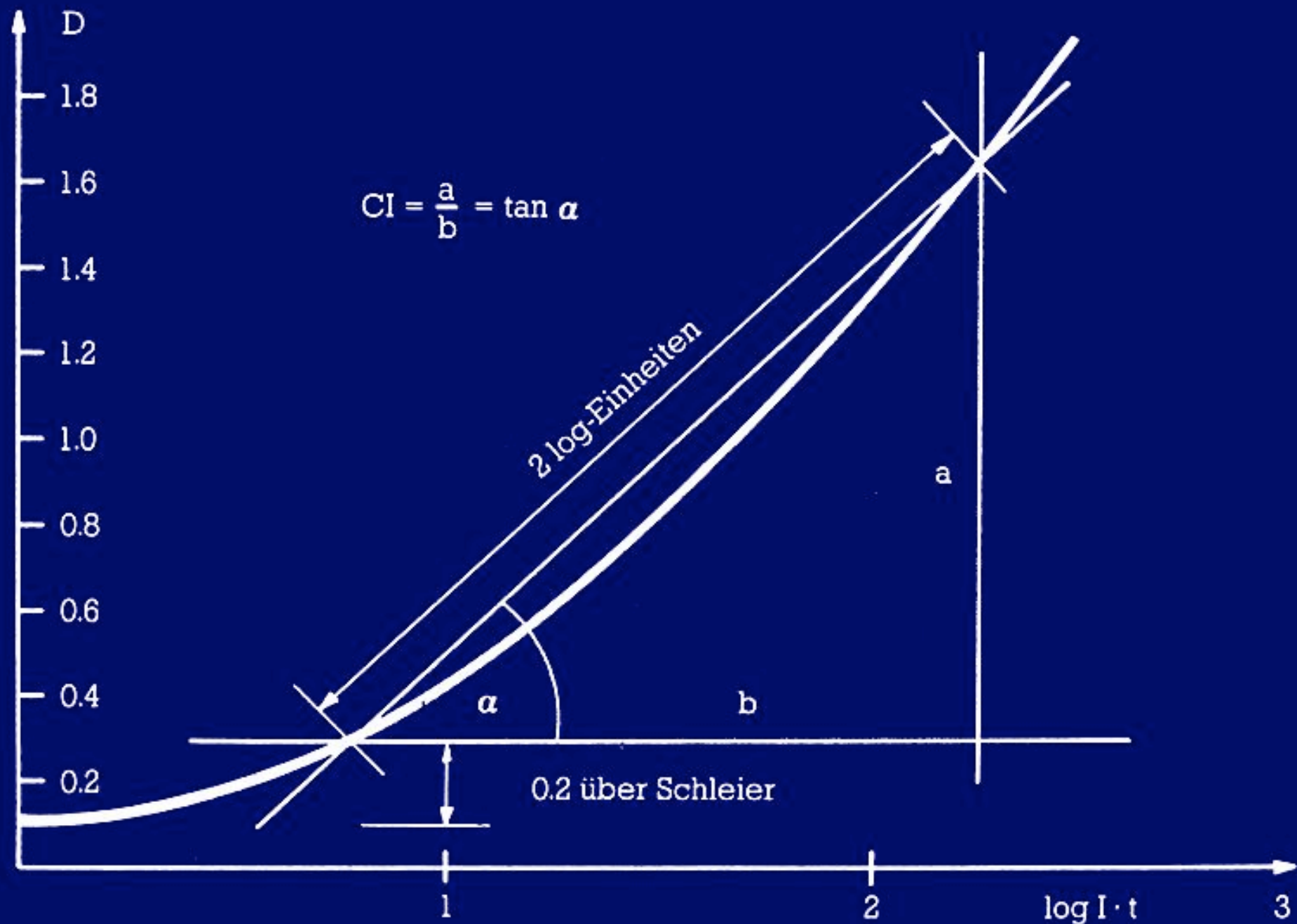


Diese einfache Definition ist in der Praxis nicht immer genügend, da die Arbeitskurve meist gekrümmt ist. Man arbeitet deshalb lieber mit der Sekante zwischen 2 Punkten. Die Geradlinigkeit der charakteristischen Kurve ist nicht immer anstrebenswert, für bildmässige Photographie ist eine krumme, etwas aufgewölbte Kurve besser. Für Reproduktionszwecke hingegen ist eine geradlinige Arbeitskurve wichtig !



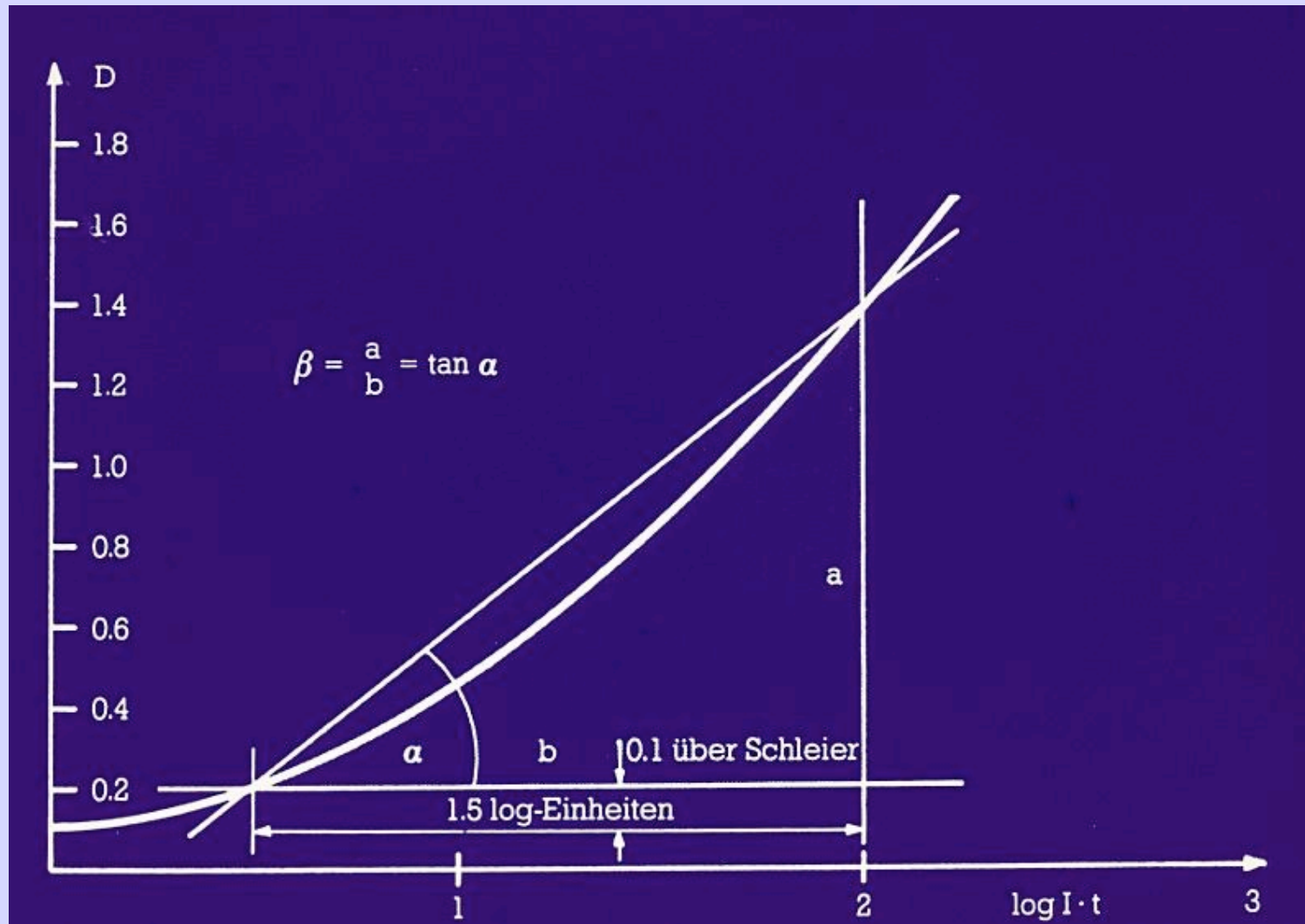
Beispiel: 2 Materialien mit A) gleichem γ (Steigung geradliniger Teil), resp. B) ungleichem γ und gleichem Kontrastbereich



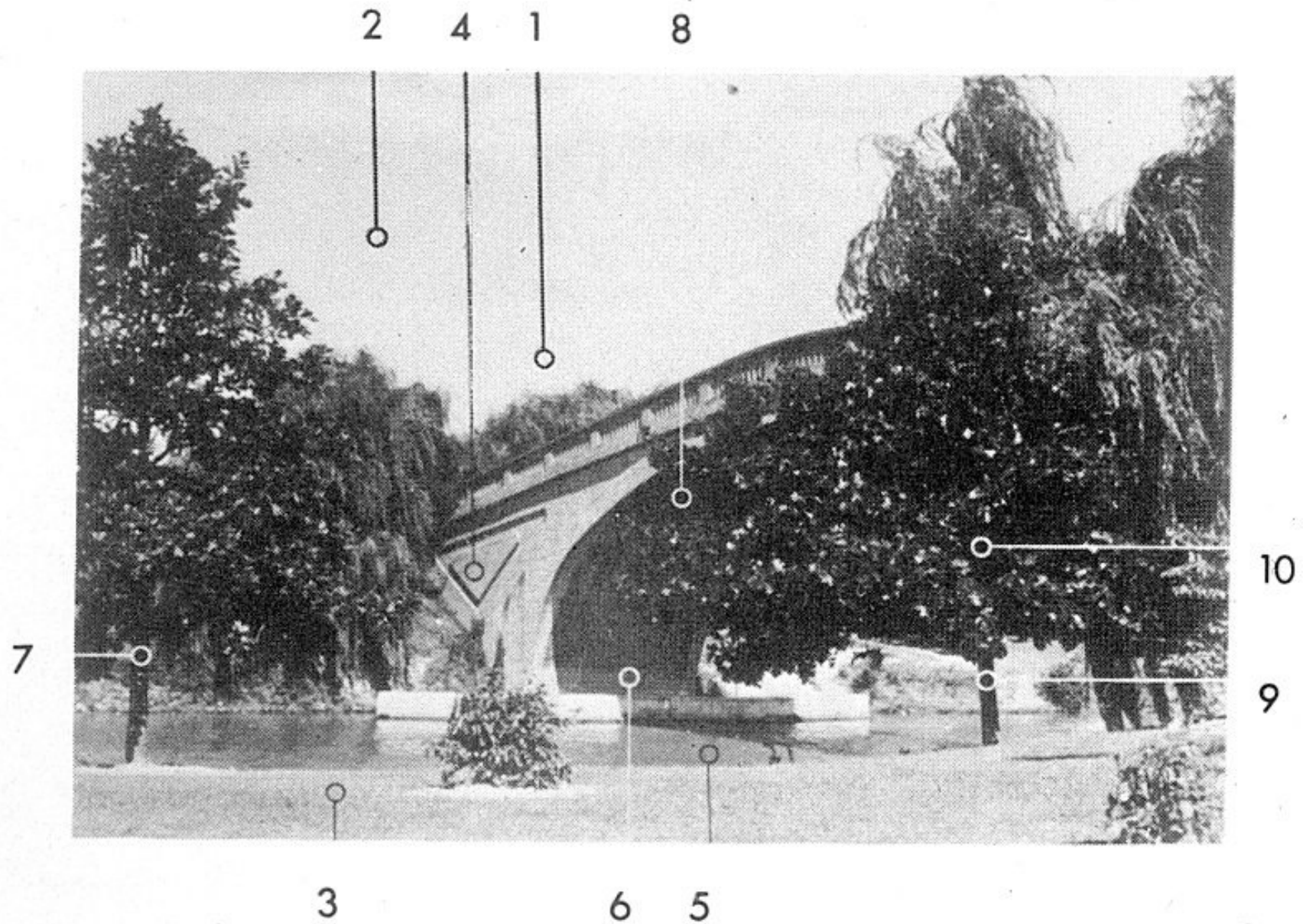


Kontrastindex β

Die Bestimmung des CI ist nicht ganz einfach. Deshalb findet man auch anderes Mass, der sogenannte β -Wert, der sich an die ISO Empfindlichkeit anlehnt!



Motivkontrast

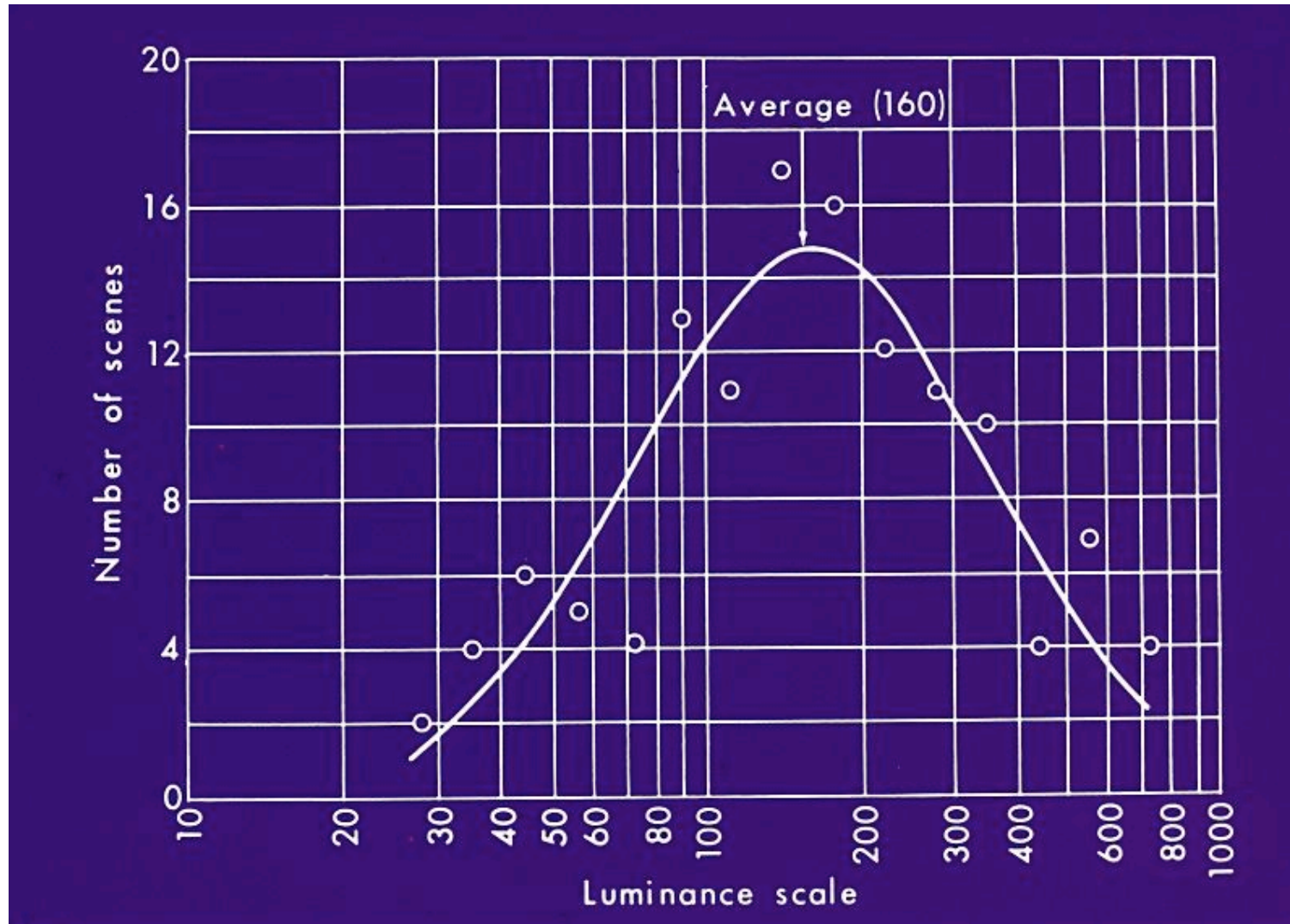


Motivkontrast bei typischer Aussenszene hier fast 1:200

Luminances in an Outdoor Scene

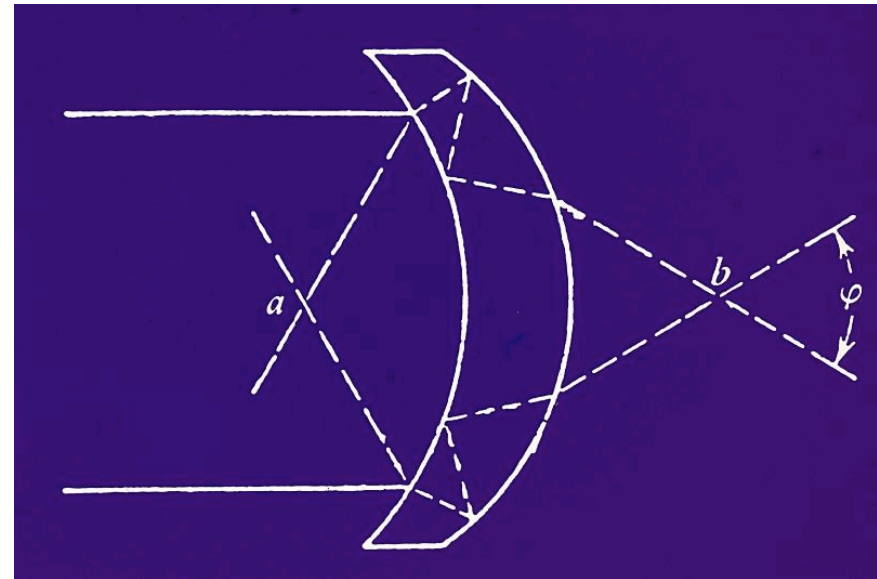
<i>Identification Number</i>	<i>Description</i>	<i>Luminance</i>	
		<i>Millilamberts</i>	<i>Candelas m⁻²</i>
1	White Cloud	3900	12400
2	Blue sky	1450	4600
3	Grass	1076	3420
4	Bridge in sun	860	2730
5	Water in sun	495	1580
6	Bridge in open shade	322	1030
7	Tree trunk on left	145	461
8	Bridge in heavy shade	108	335
9	Tree trunk on right	36	114
10	Shaded portion of tree	20	64

Aus vielen Messungen ergeben sich für bildmässige Aussenszenen Motivkontraste von 1:20 - 1:500, d.h. ein Belichtungsumfang (als logarithmische Einheit) von 1.3 - 2.7 oder wenn Extremfälle mitberücksichtigt werden: 1-3 (1:10 - 1:1000)



Diesen Helligkeitsumfang müsste ein Aufnahme­film also bewältigen. Charakteristische Kurve: bis jetzt nur als Eigenschaft von Filmmaterial behandelt. In der Kamera (oder bei Projektion) tritt jedoch immer **Streulicht** auf. Dieses kommt von

1. Optik, jede brechende Linse, Dreck, Staub (Vergütung)
2. Lichtempfindliche Schicht nicht schwarz, sondern grau, reflektiert Licht in Kamerakörper (wie bei Diaprojektion, beleuchtete Projektionswand erhellt Raum)
3. Kamerakörper auch nicht 100% schwarz
4. Optik: schräg auffallende Strahlen treffen auf Seitenwände



Streulicht => gleichmässige Überlagerung von Licht

Belichtungsstärke auf der Filmebene:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{Beleuchtung}} + E_{\text{Streulicht}}$$

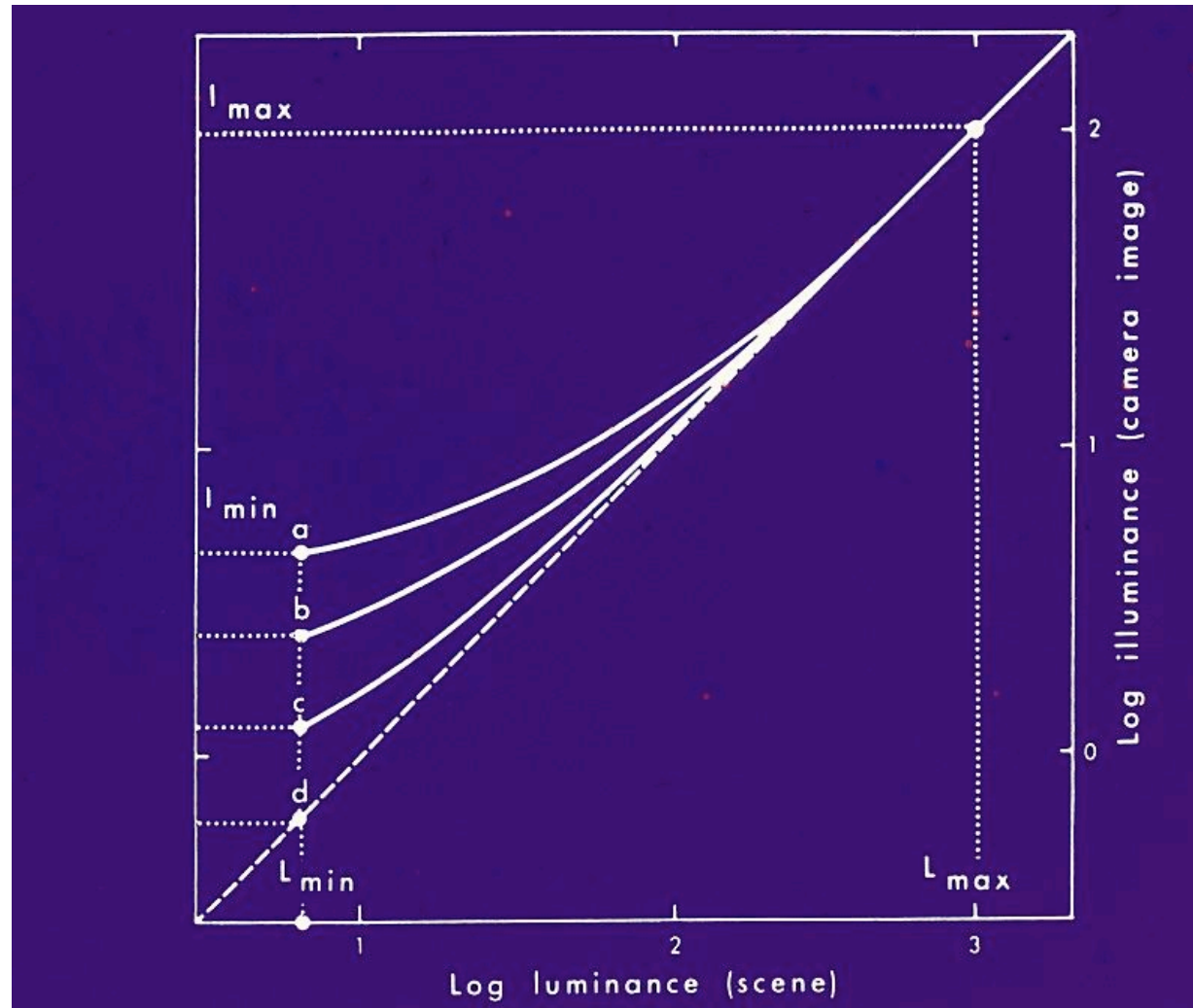
Dunkle Schattenstellen: E_s hat grossen Einfluss, da u.U. $E_s \geq E_{\text{Bel}}$

Helle Teile: E_s hat wenig Einfluss, da $E_s \ll E_{\text{Bel}}$

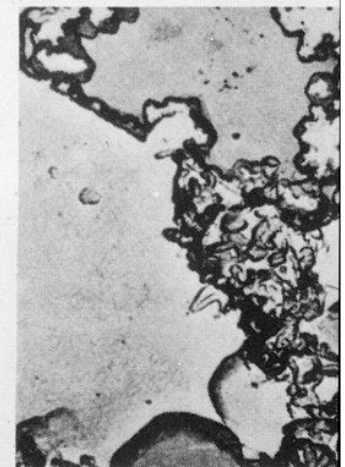
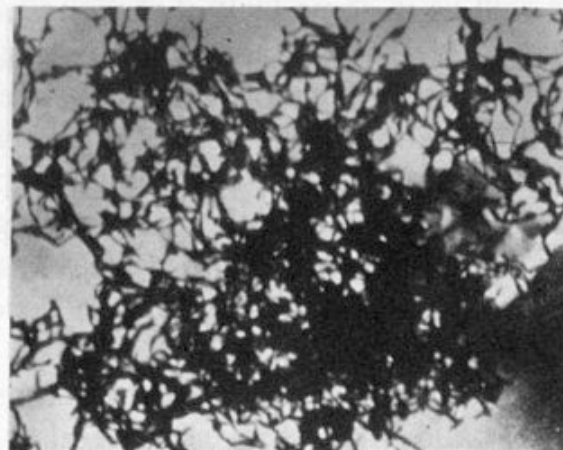
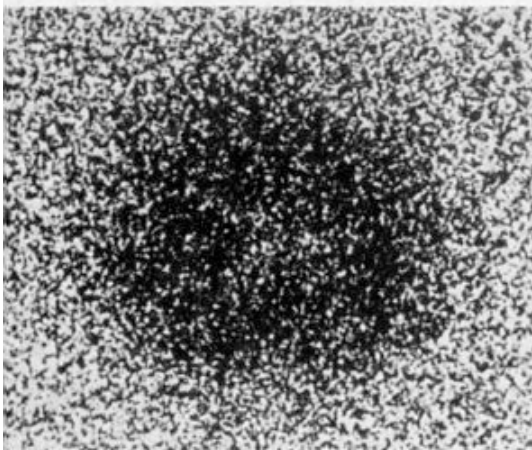
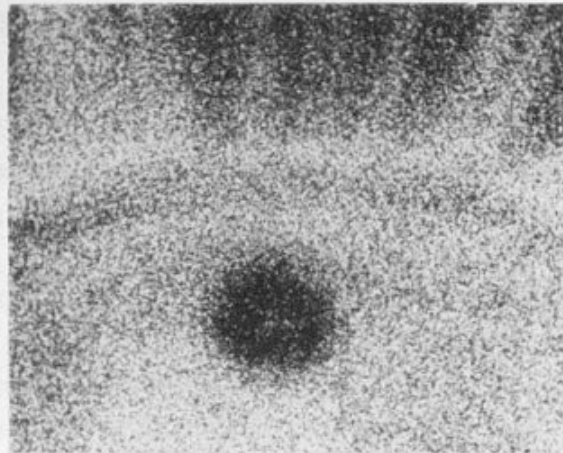
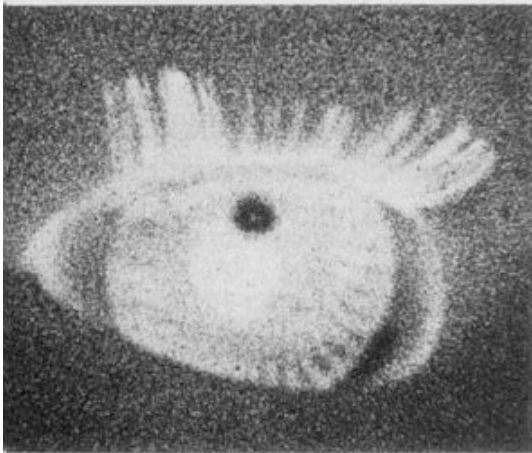
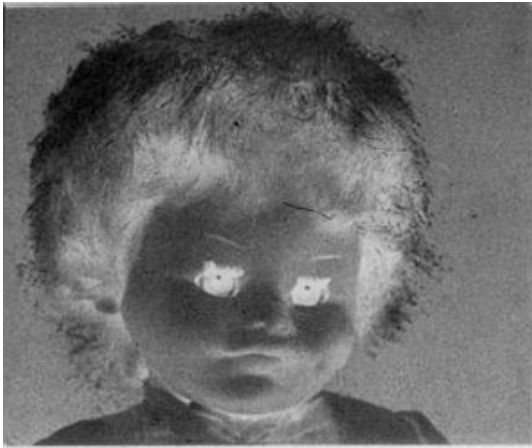
Man habe z.B. ein Motivkontrast von 1:200 (2.3). Bei einem Streulichtanteil von 1% heisst das, dass über das gesamte Bild eine diffuse Belichtung von 1% des Maximalanteils dabei ist. Für die hellste Stelle macht das kaum was aus, für die dunkelste Stelle heisst das, dass anstatt $1/200$ nun $1/200 + 1/100$ (1% von 1) = $1/66$ wirkt. Der Kontrast auf dem Bild ist nun nur noch 1:60 (1.8).

Wirkung: Verflachung der Schattenteile. 1% Streulicht ist für ein Kamerasystem schon sehr gut, üblicherweise rechnet man eher mit 2% (1:200 => 1:40 (1.6)). Ein Aufnahmeilm muss also nur diesen Umfang bewältigen.

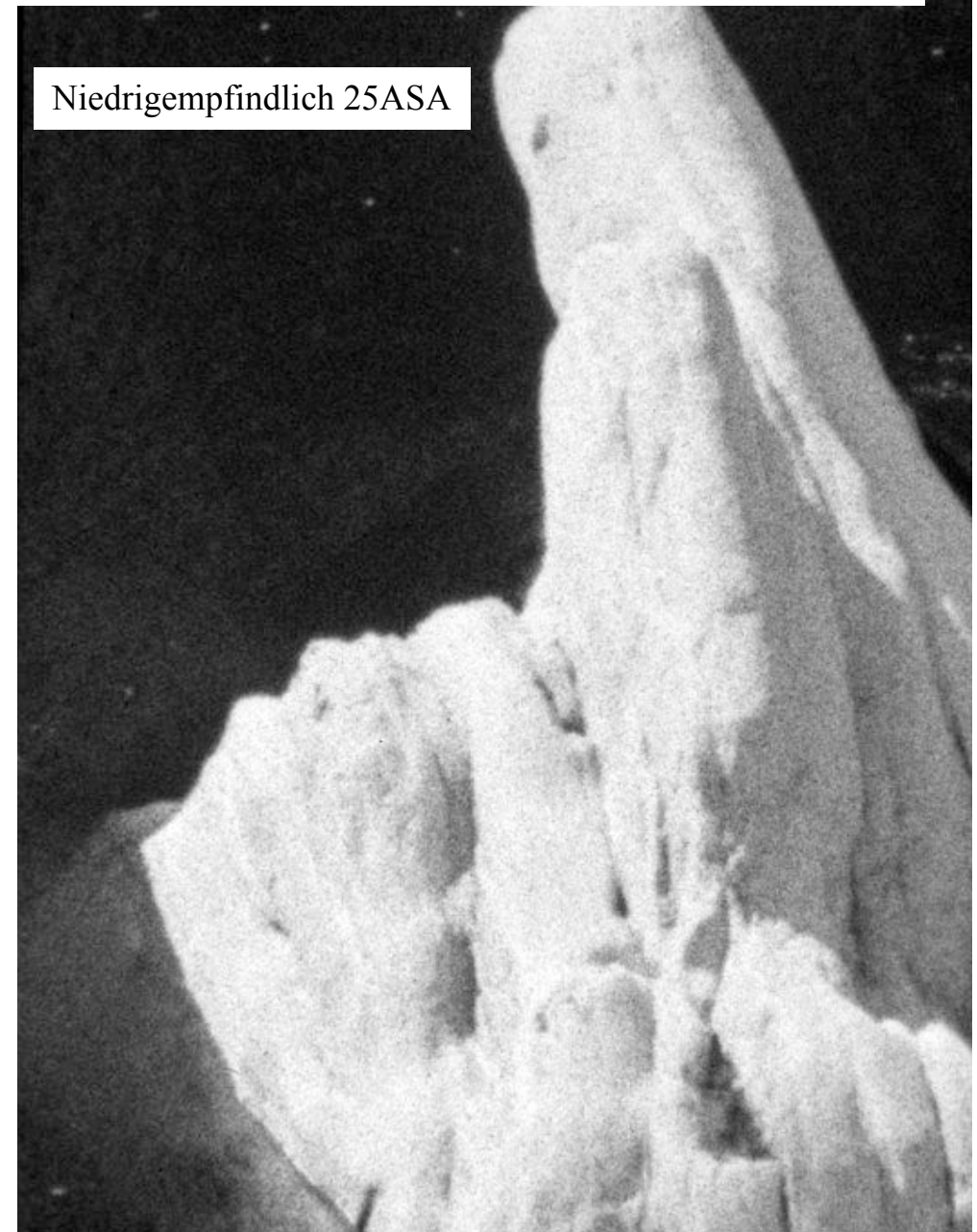
Die Wirkung von Streulicht ist eine Verflachung des Kontrastes, jedoch ungleichmässig, Schattendetails sind stärker betroffen. So hat Diapositivmaterial einen Kontrast > 1 wegen Streulicht, bei s/w Negativmaterial kann man das etwas ausgleichen, indem man den Kurvenfuss (Schatten!) aufwölbt!



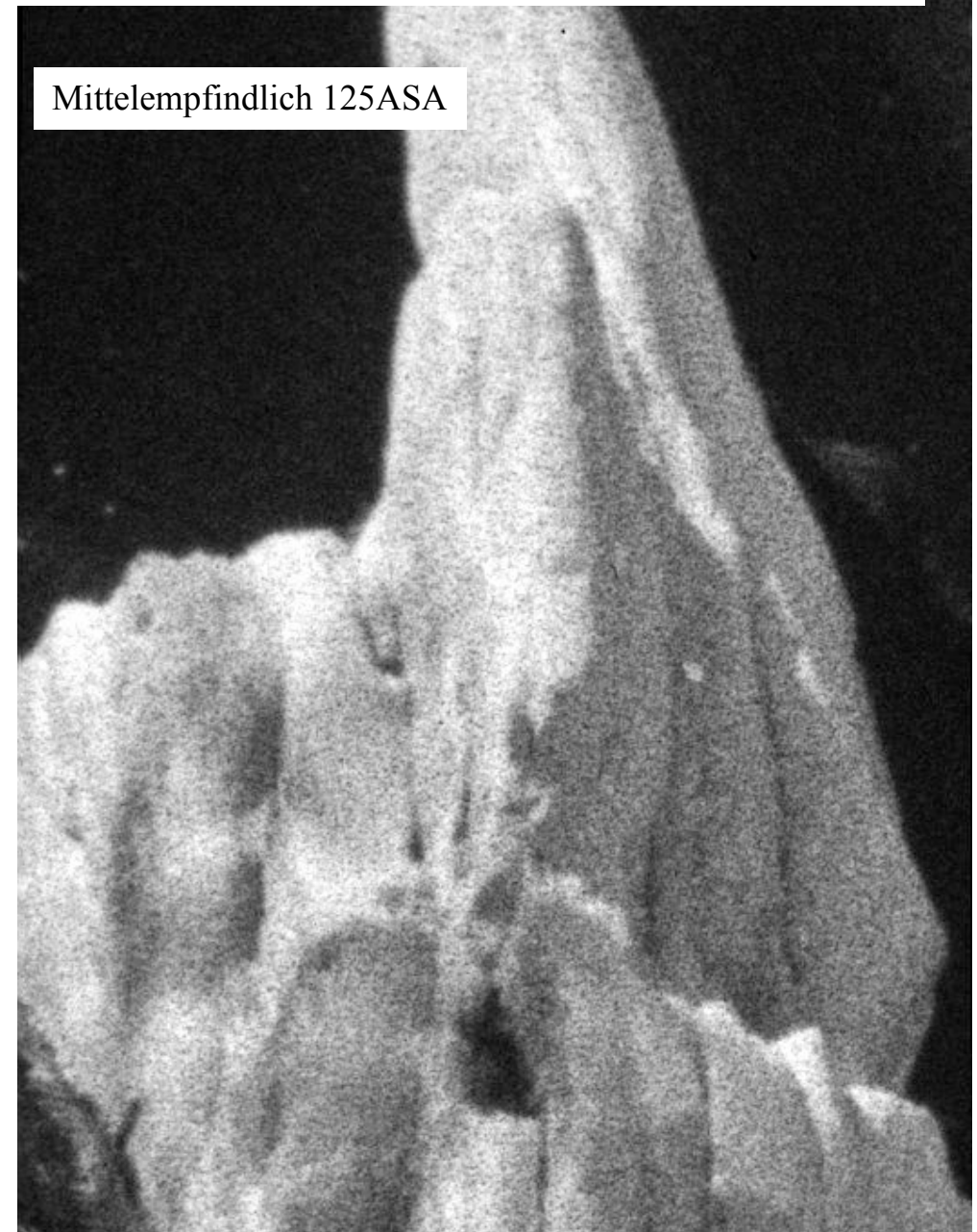
Körnigkeit
Korn
Auflösung



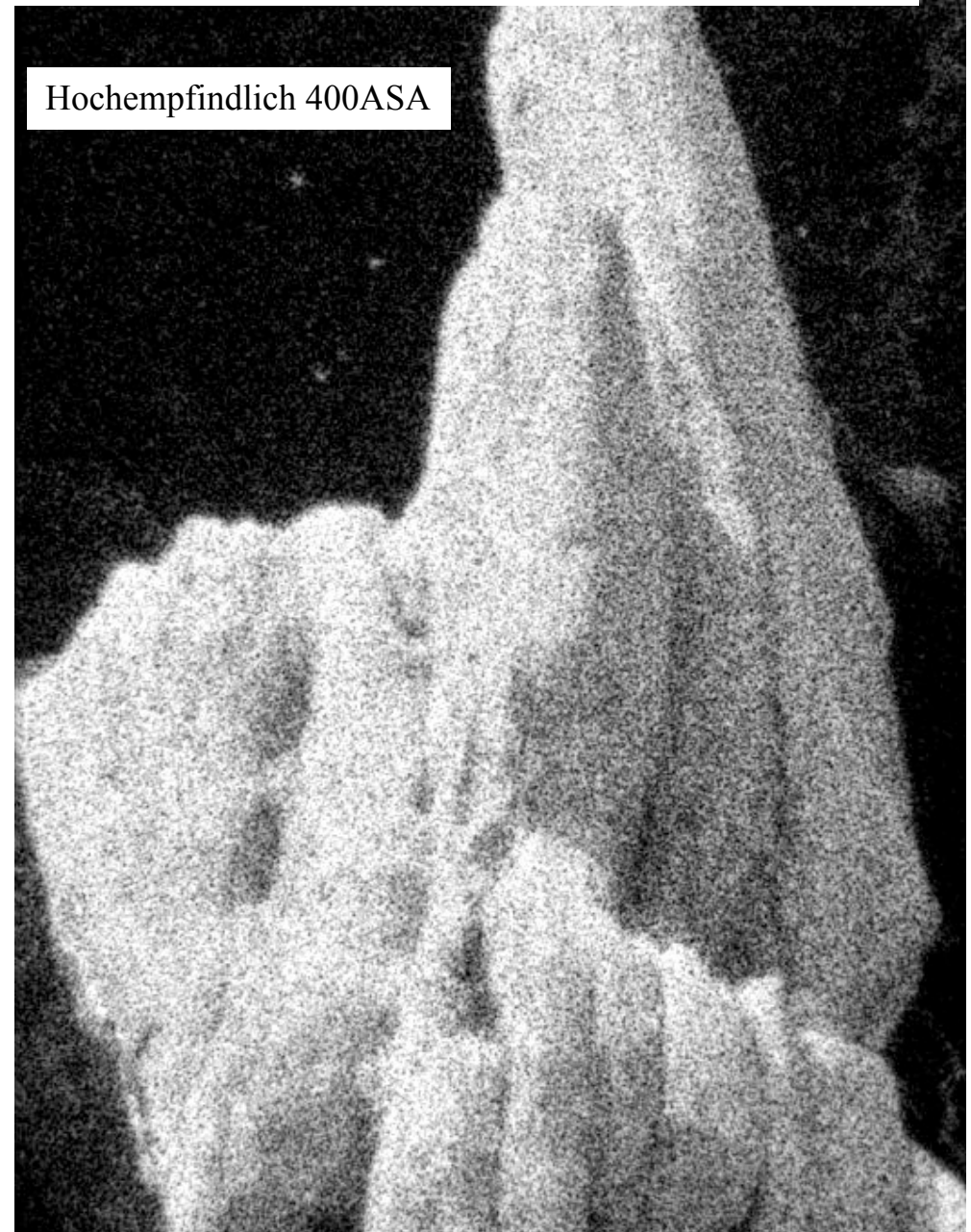
Korn wird im wesentlichen durch Filmempfindlichkeit bestimmt



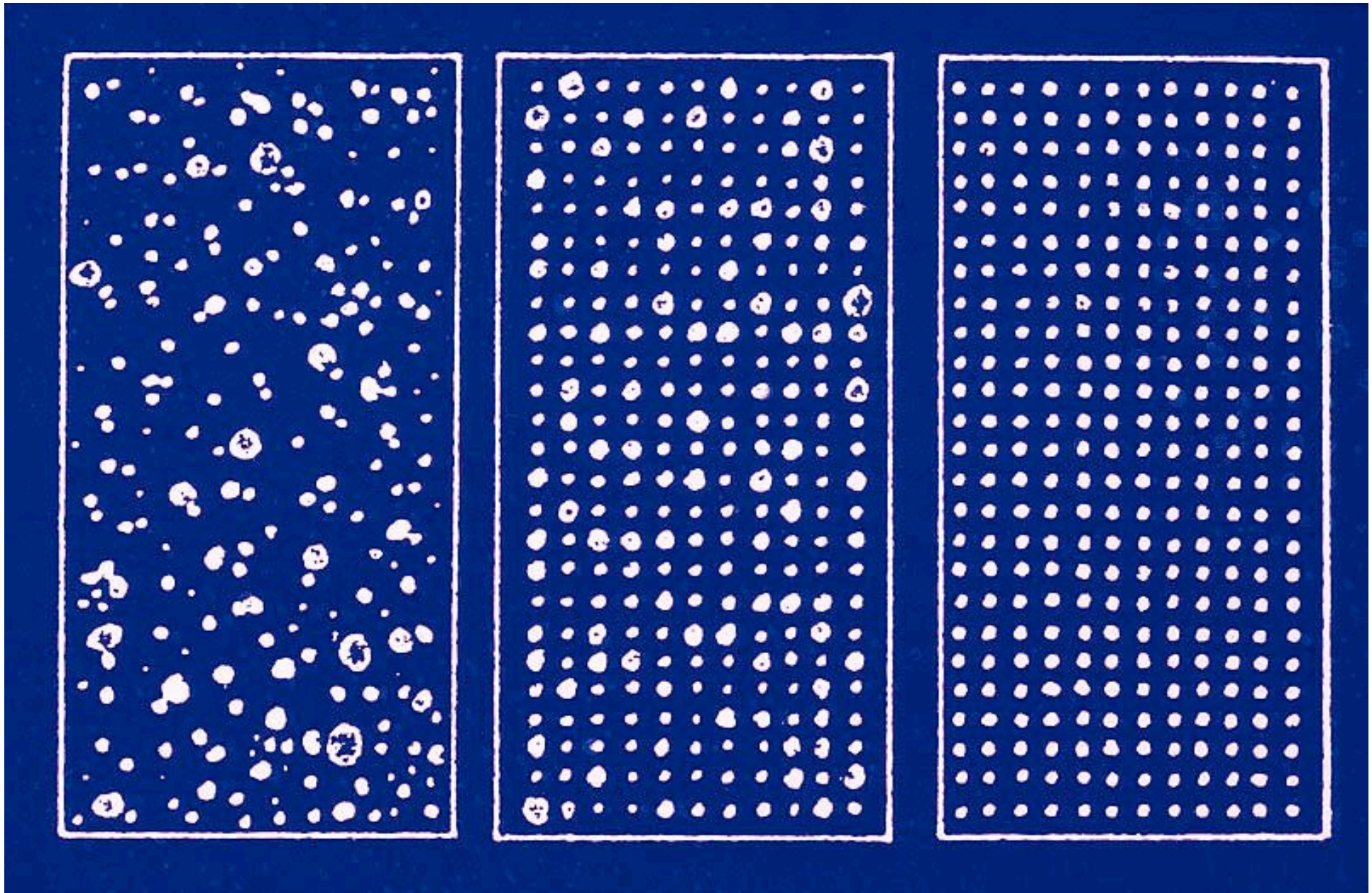
Korn wird im wesentlichen durch Filmempfindlichkeit bestimmt



Korn wird im wesentlichen durch Filmempfindlichkeit bestimmt



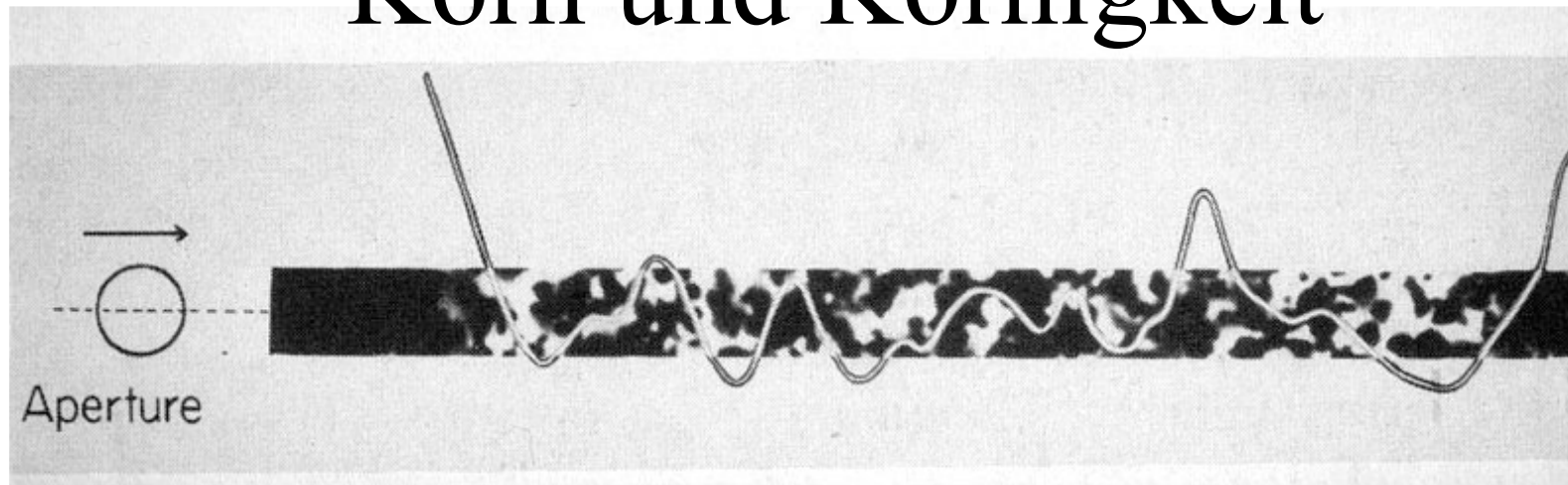
Merkmal der Körnigkeit: die Struktur ist "random", unregelmässig
(wirkt viel störender als periodischer Aufbau!)



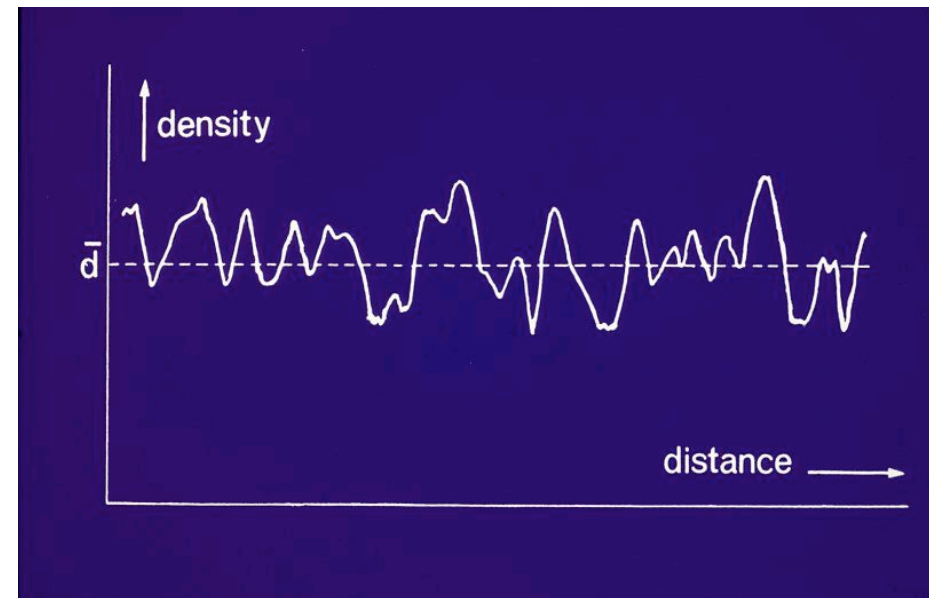
Wie kann man Korn quantitativ beschreiben

- Graineness
- Korn
- subjektiv
- **Granularity**
- **Körnigkeit**
- **objektiv**

Korn und Körnigkeit



Vorgehen: Eine gleichmässig belichtete Fläche mit Mikrodensitometer ausmessen. Mit kleiner Apertur ($\text{\O} 10\text{-}100\mu\text{m}$) die Fläche abscannen \Rightarrow das ergibt Variation in der optischen Dichte von Ort zu Ort, da die Anzahl der Körner pro Fläche ungleichmässig ist \Rightarrow gemessene Kurve

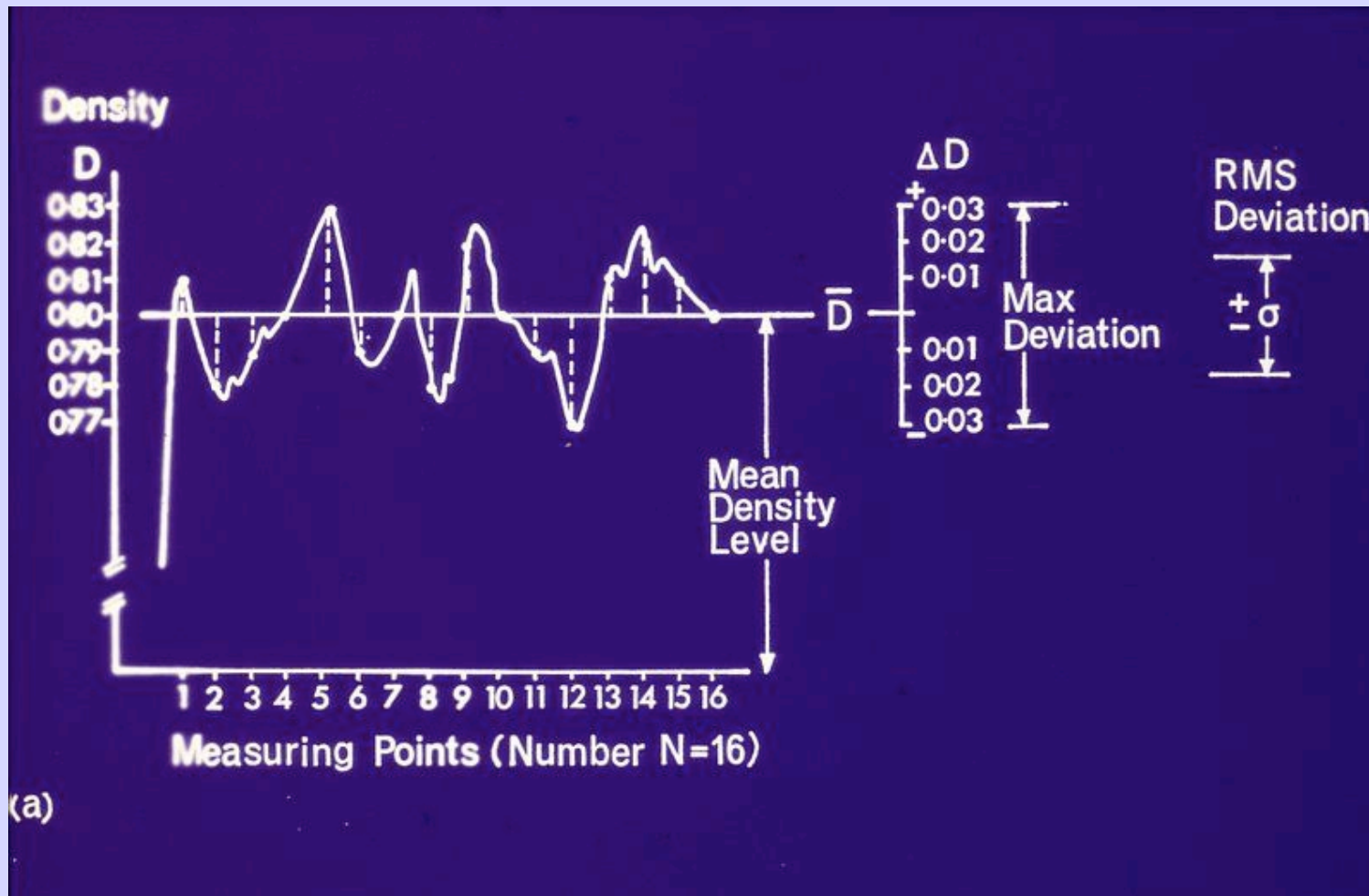


Diese Dichteschwankungen nun statistisch auswerten

Dichten an mehreren Stellen ablesen und Varianz (=Streuung) bestimmen

=> gewünschter Wert ist Standardabweichung = $\sqrt{\text{Streuung}}$

=> RMS (root mean square) -> **RMS-Granularity**



RMS-Körnigkeit

RMS-Werte und Körnigkeitsqualifikation

55-45	very coarse	sehr grob
42-33	coarse	grob
30-26	moderately coarse	mittelgrob
24-21	medium	mittel
20-16	fine	fein
15-11	very fine	sehr fein
10-5	extremely fine	extrem fein
< 5,5	micro fine	mikro fein

Kodak gibt für ihre Filme RMS-Werte (x1000) an, wobei:
a) $\emptyset = 48\mu\text{ m}$, b) OD = 1.0 gilt (Kodak RMS-Werte)

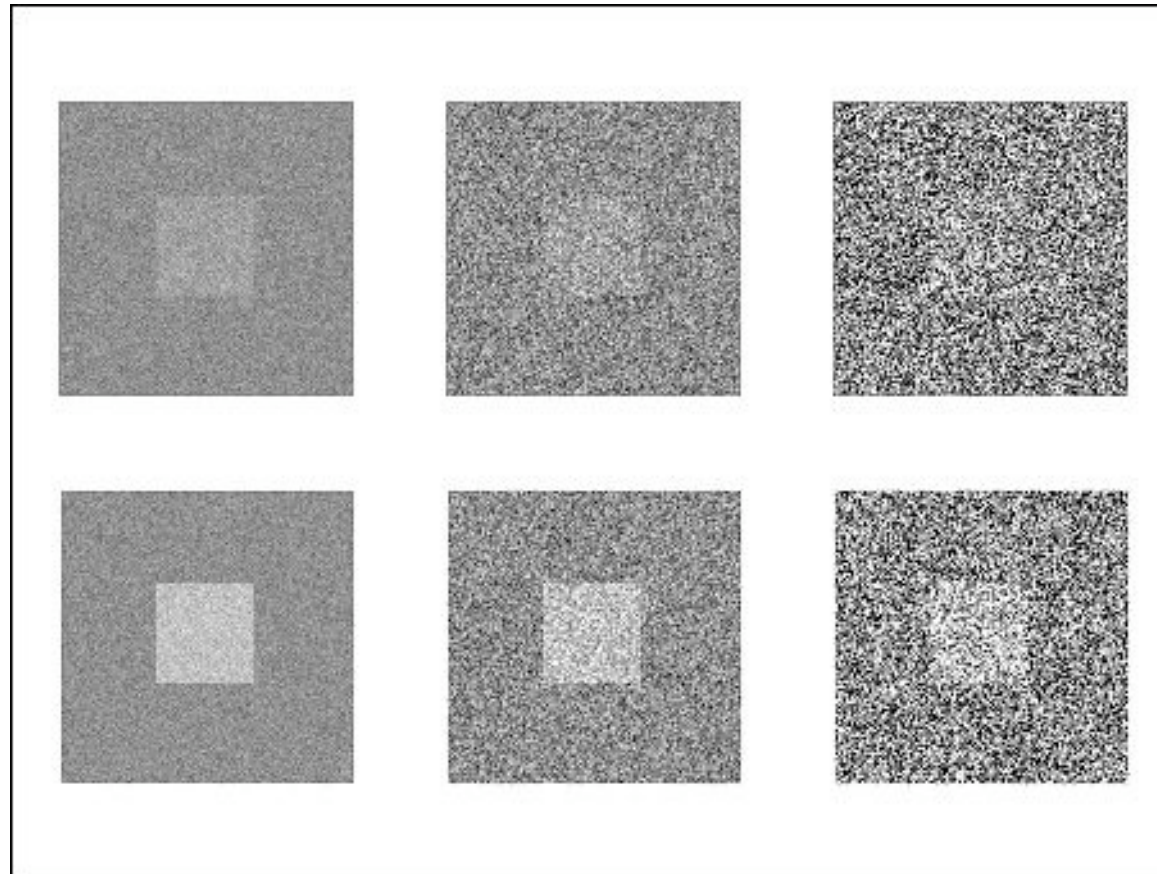


Das subjektive Mass für Körnigkeit, das **Korn** wird mittels der "**blending magnification**" bestimmt. Man geht so vor:

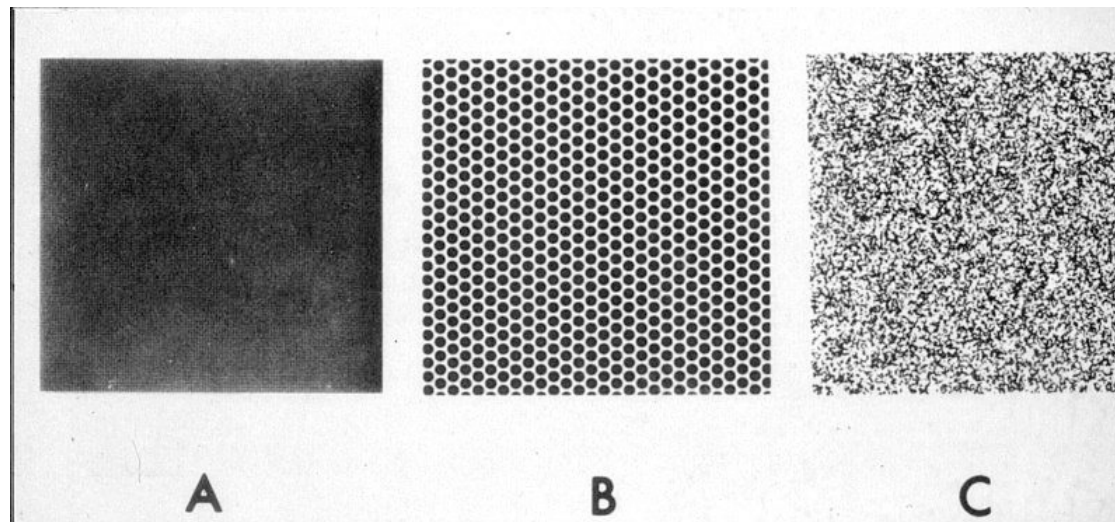
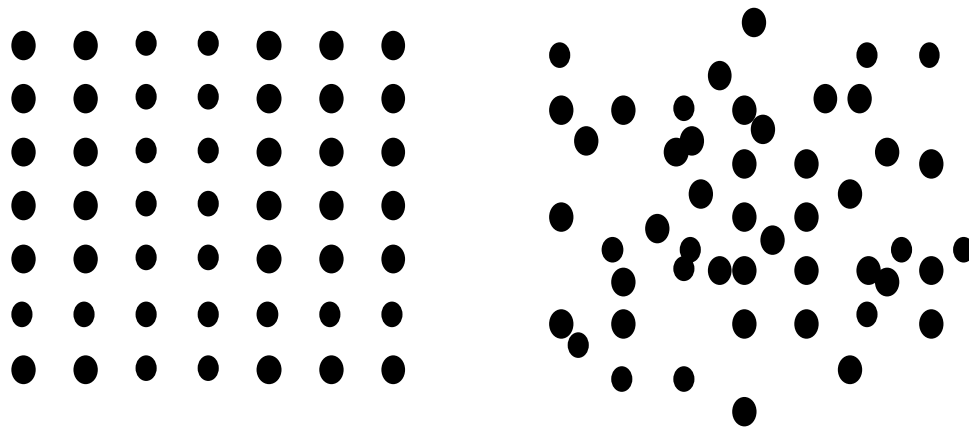
Ein Beobachter betrachtet den Film aus Distanz von 10 inch = 25cm mit unbewaffnetem Auge (Vergrößerung $M = 1$, per Definition). Dann wird Film vergrößert beobachtet und man muss die Vergrößerung M bestimmen, wo die Grenze zwischen Erscheinen von Homogenität und Nicht-Homogenität ist. Das **Korn** ist dann:

$$\text{Graininess} = 1000 / M_{\text{Limit}}$$

Körnigkeit und deren Messung spielt eine Rolle in der technischen Kommunikationstheorie, etc... => Anwendung auf Photographie, z.B. bei Informationsspeicherung / Signalaufzeichnung



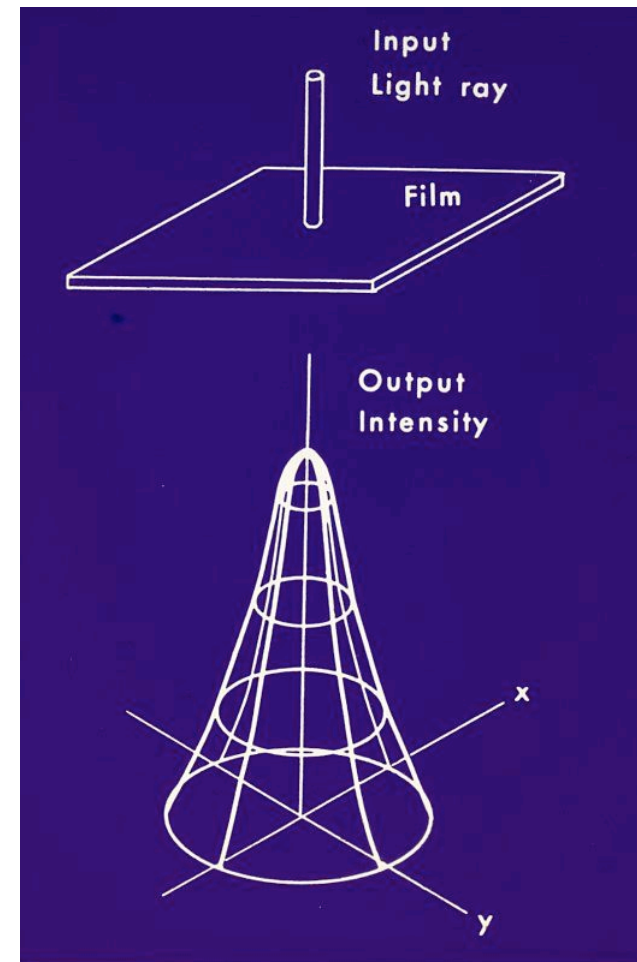
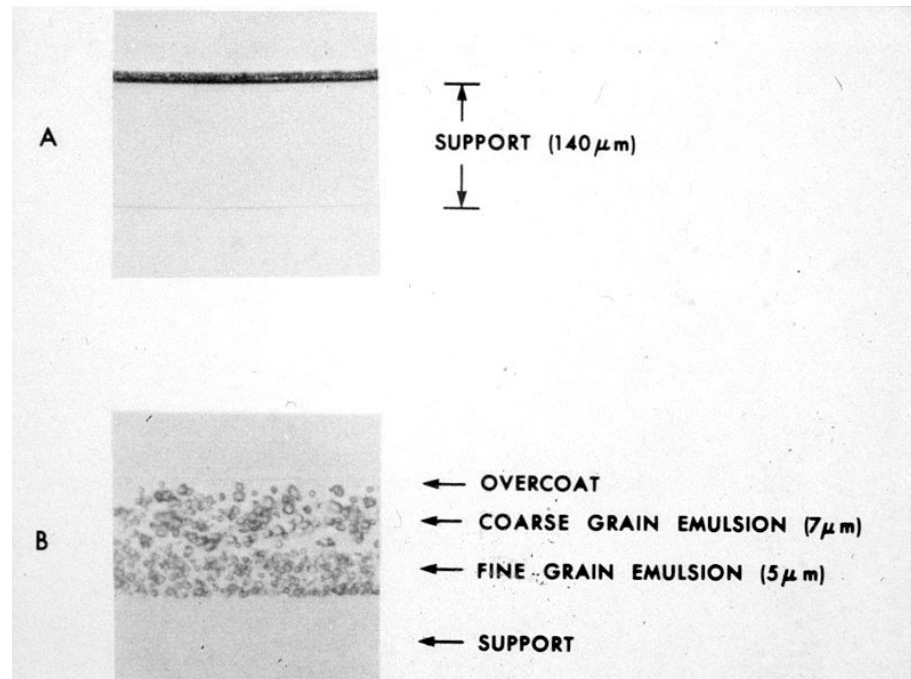
RMS-Werte allein genügen nicht zur Beschreibung der Körnigkeit. RMS-Werte enthalten keine Information über das Aussehen der Fluktuationen, d.h. es gibt z.B., keine Aussagen ob "regelmässig" oder "unregelmässig":



Auflösungsvermögen und *MTF*

Wie ja schon anfangs bei Kapitel Filmherstellung erwähnt:

Lichthofschicht, wegen Streuung von Licht im Emulsion => auch punktförmige Belichtung gibt kein Punkt, sondern eine **Verschmierung**



Auflösungsvermögen und *MTF*

Das bewirkt, dass durch die Streuung in der Schicht die Lichtverteilung anders wird, als wie das Licht auffällt. Ein Punkt wird nicht als Punkt, sondern als verschmierter Fleck abgebildet
=> Point Spread Function (PSF), resp. Spalt aufbelichten: Line Spread Function(LSF)

"Auflösung" kann je nach Form verschieden sein! Eine PSF zu messen ist schwierig, deshalb Line-SF oder Aufbelichten einer scharfen Kante (Messerkante, knife edge).

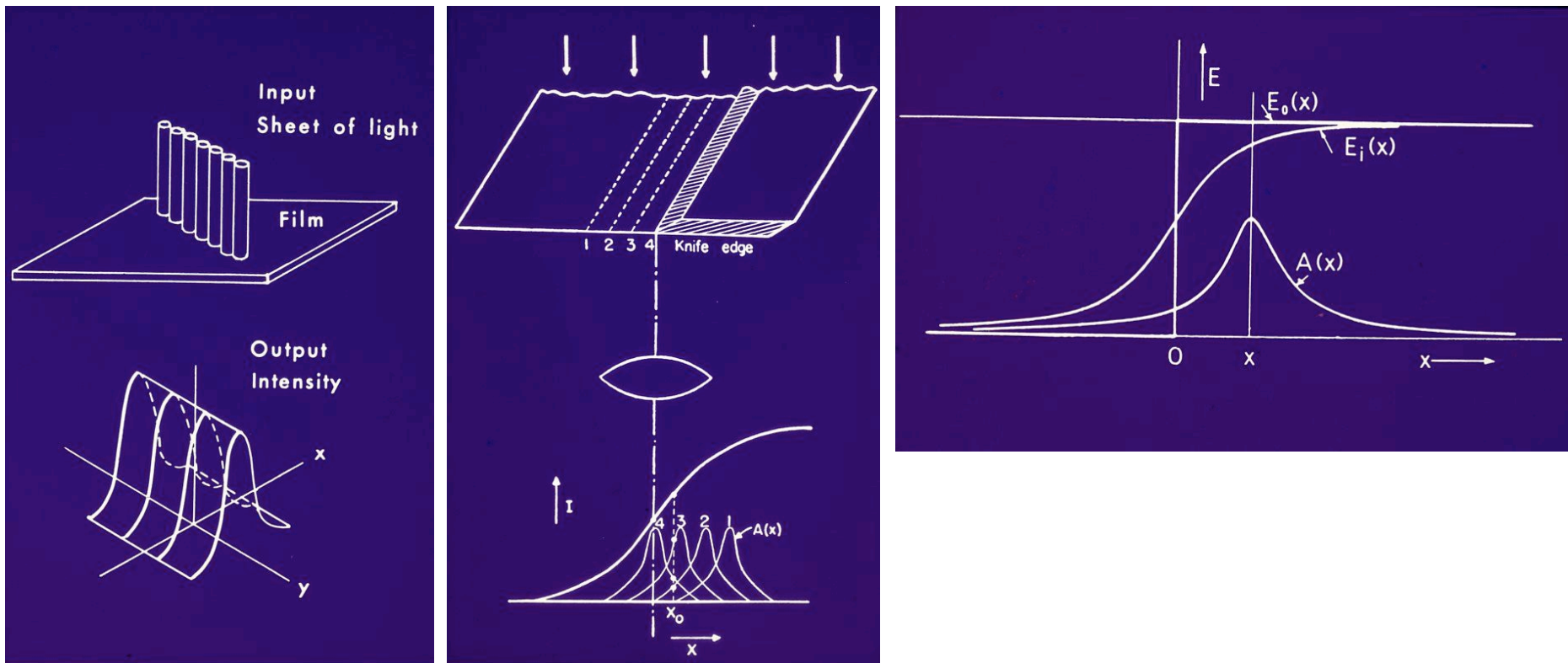


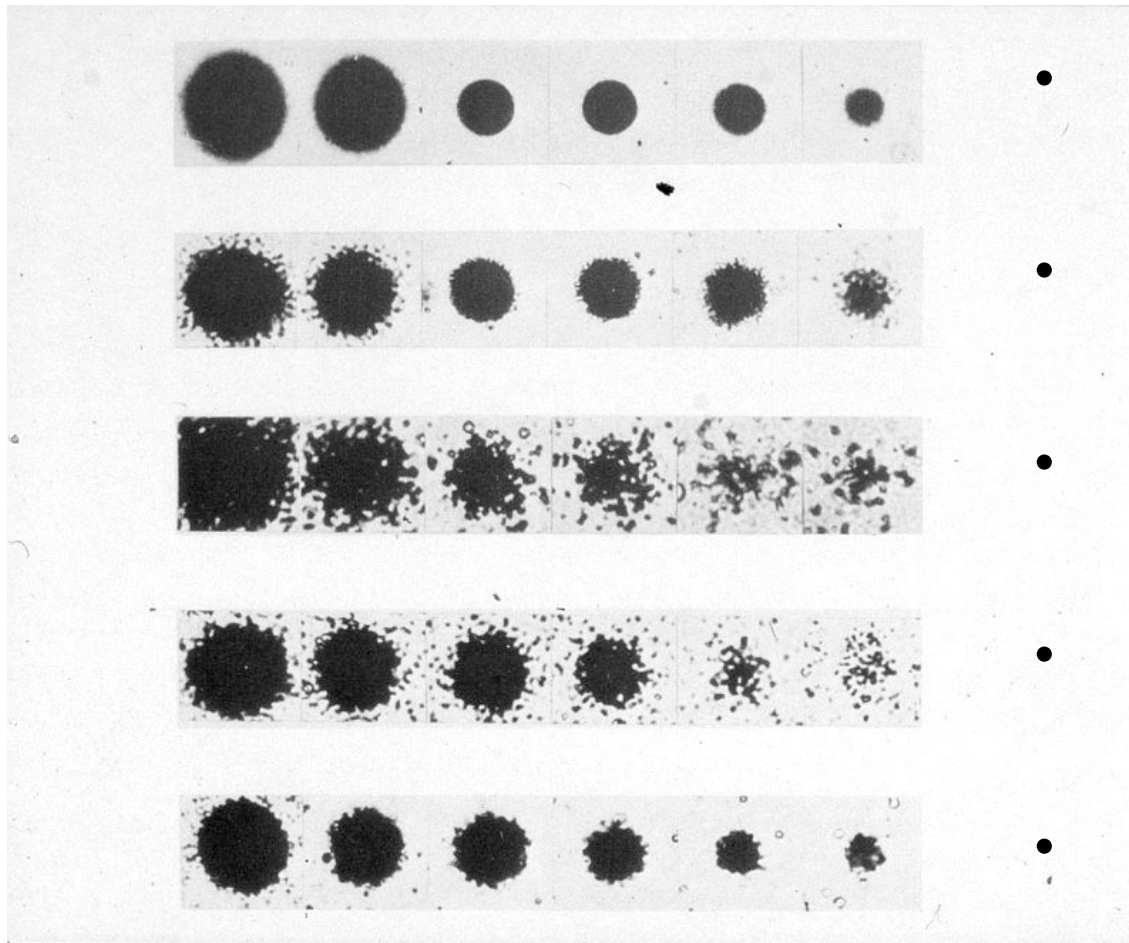
Bild = Summe von PSF's.

Daneben gibt es, wegen seitlicher Lichtstreuung, eine Verbreiterung bei Belichtung mit verschiedenen Expositionen auch wenn die Geometrie des aufbelichteten Objektes gleich bleibt

Beispiel

Mikrophotographie

verschiedene Filme, $\text{Ø}=11\mu$,
versch. Expositionen



- Halbtonduplikatfilm,
- Lithfilm,
- hochempf.Film,
- Mikroverfilmung,
- High-resolution plate

Zusammenfassend:

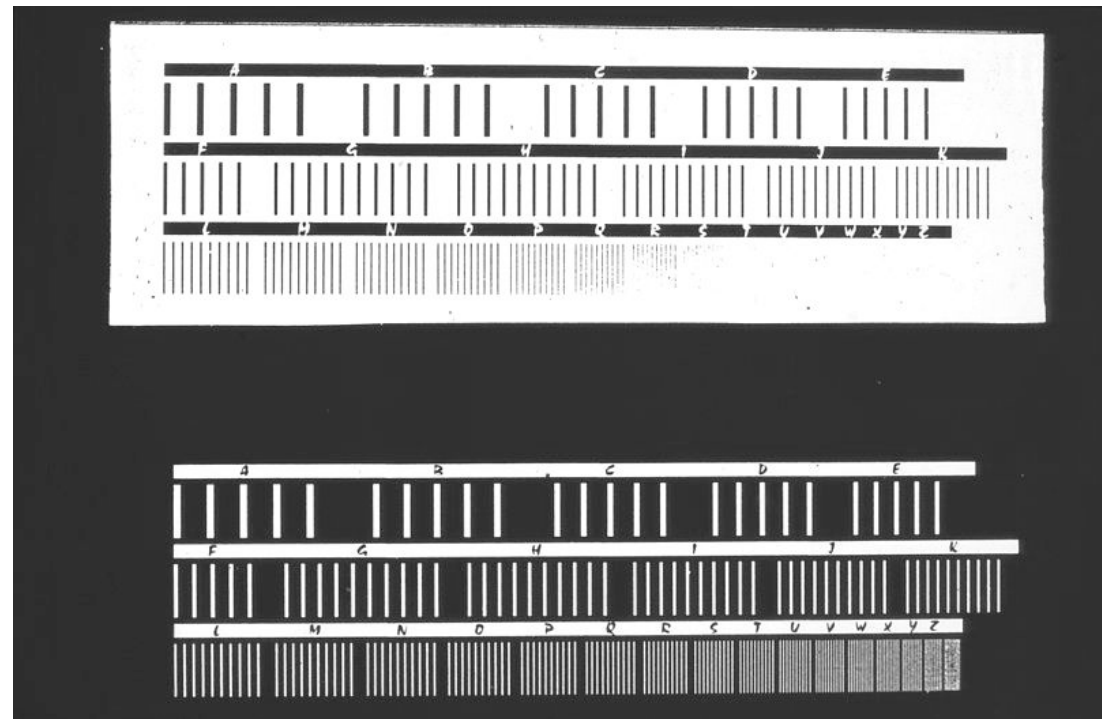
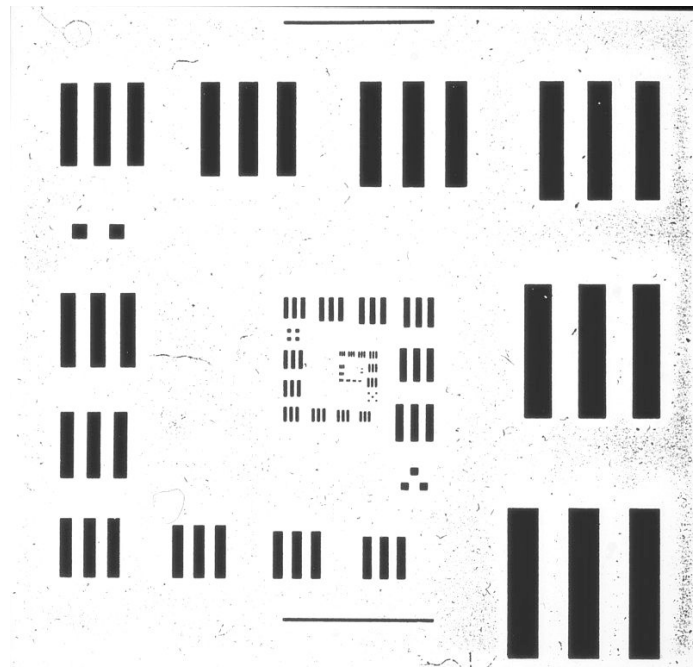
**Belichtung = Summe von PSF x Stärke des
"Lichtpunktes"**

Dies wird als *Konvolution* oder *Faltung*
bezeichnet.

MTF, Modulations Transfer Funktion / Auflösung

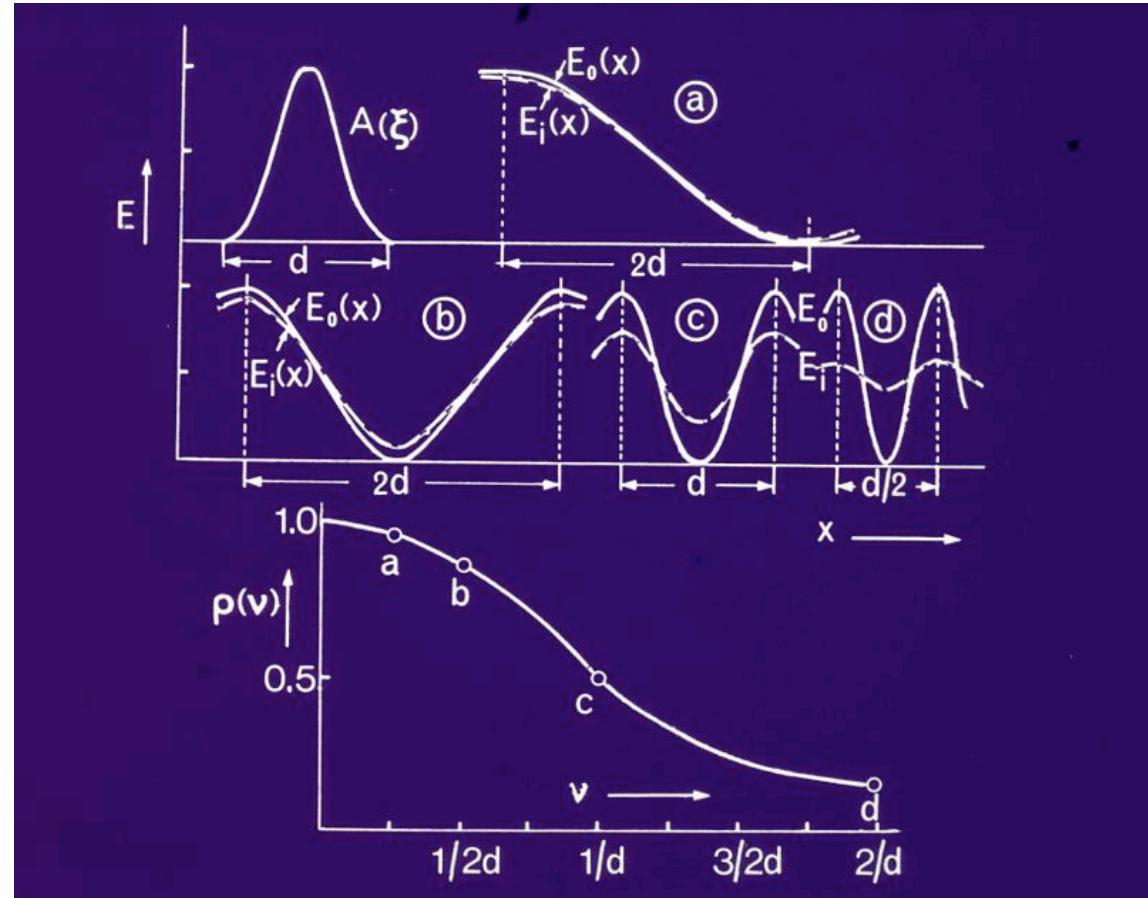
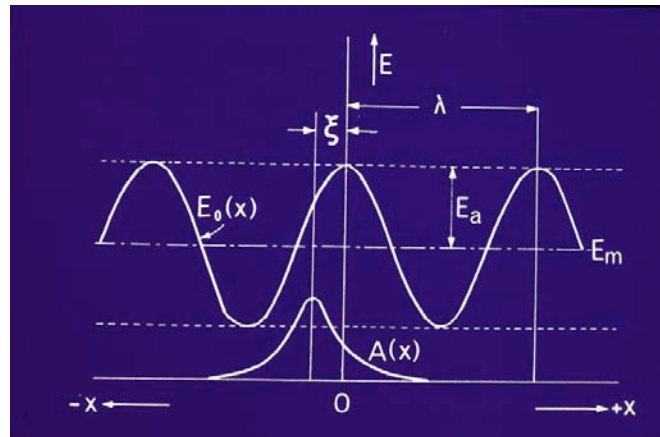
Analog wie bei der Körnigkeit, kann man für die Auflösung die Theorie der Informationsübertragung anwenden.

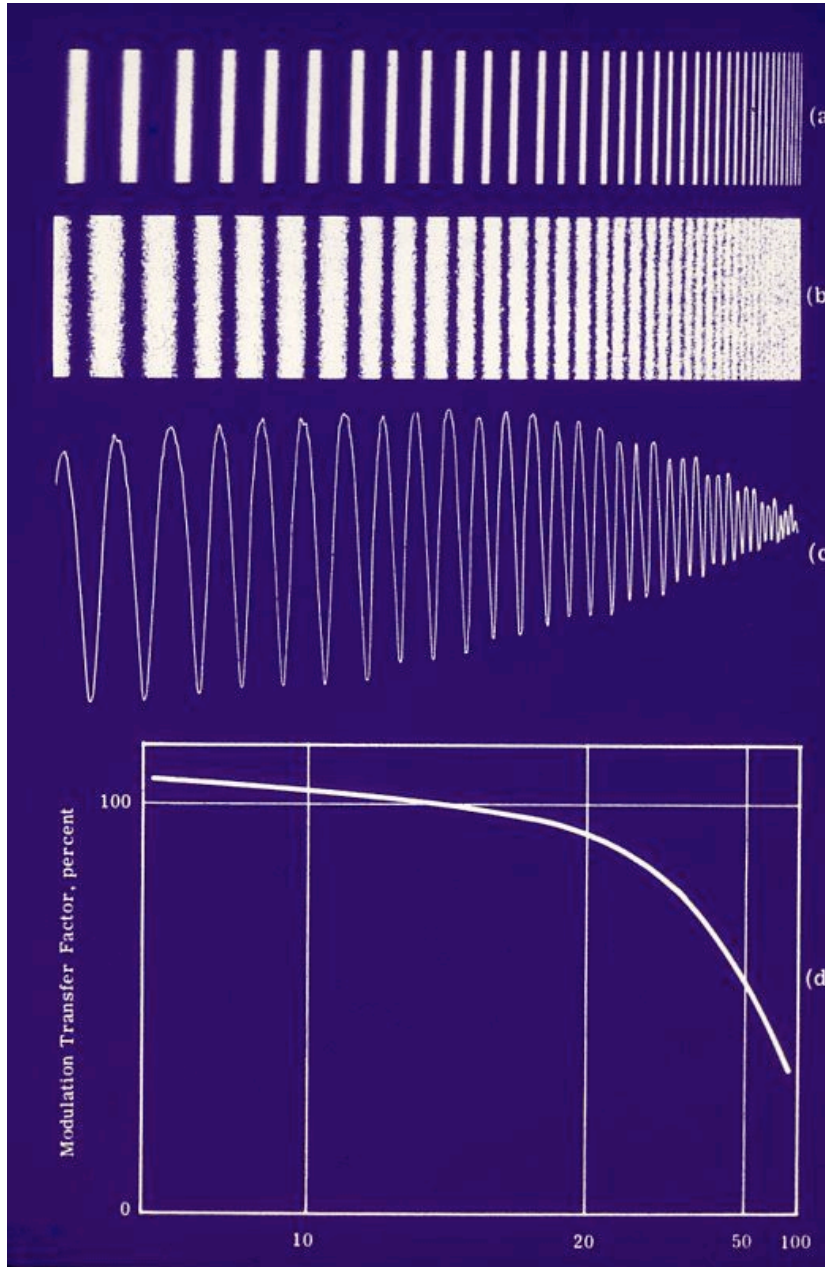
Relativ einfach sind Verfahren die auf Testtafeln basieren und wo die Auswertung visuell erfolgt. Hier hat man jedoch eine subjektive Komponente



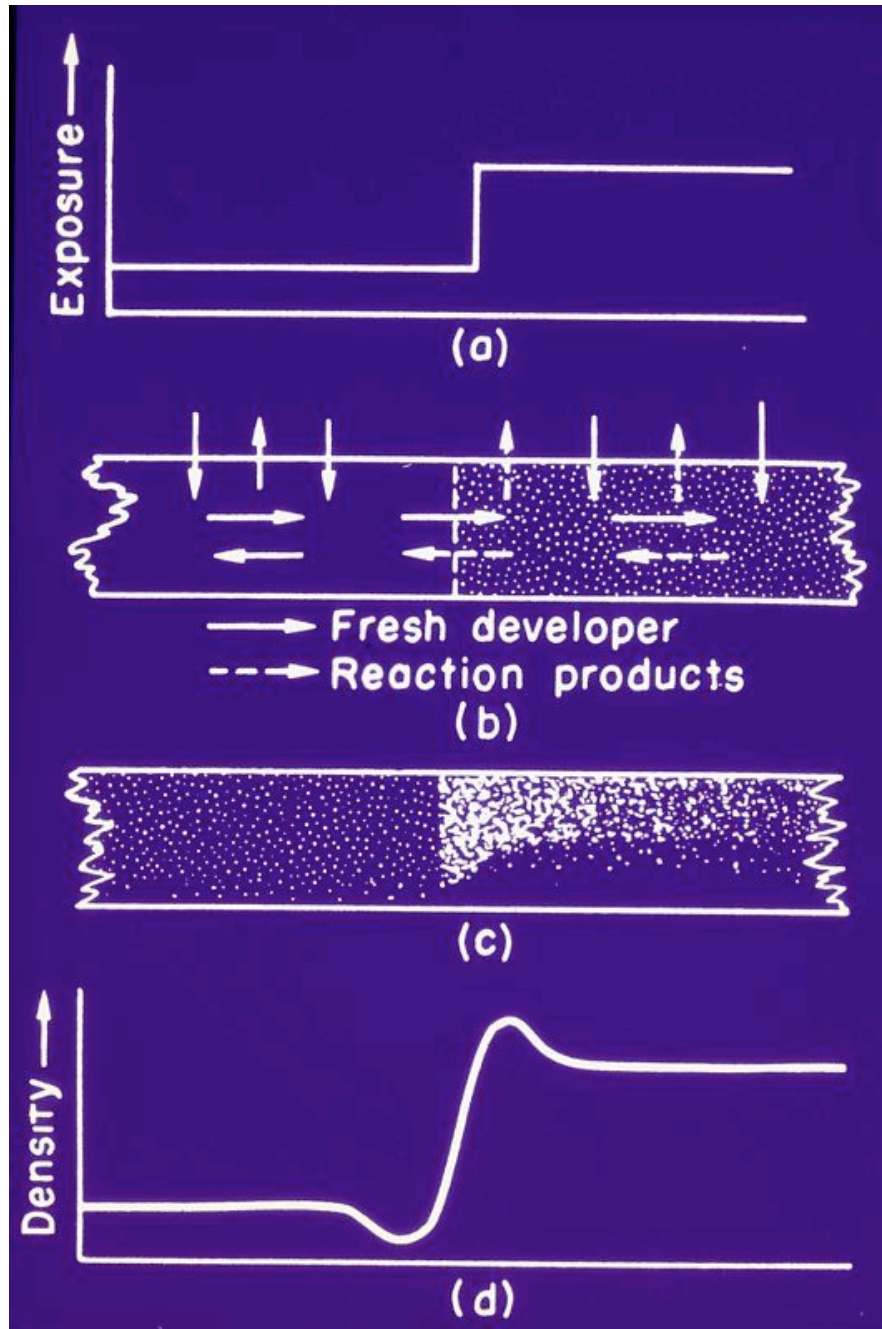
Links: Lichtverteilung sinusförmig, dazugehörige PSF

Verschiedene **Raumfrequenzen** => Kontrast (resp. Modulation) wird immer kleiner bei hohen Frequenzen. Auftragen Verhältnis **(Kontrast Eingabe)/(Kontrast gemessen)** = **Modulation**, ergibt die **MTF**. Grund für sinusförmige Verteilung: Eine sinusförmige Verteilung ergibt wieder ein sinusförmiges Signal, nur die Amplitude wird geringer. MTF ist ein Mass wie Information übertragen wird, wie gross, resp. wie klein Details sein können damit sie nicht verloren gehen.





Schematisch wie das am Film dann aussieht.



Neben der Lichtstreuung gibt es noch einen anderen Effekt, der die Geometrie, d.h. Schärfe des belichteten Bildes verändert

Nach Belichtung wird entwickelt. Während des Entwicklungsvorganges spielen auch räumliche Effekte eine Rolle:

Diffusion von Chemikalien

(Chemische Nachbarschaftseffekte)



Beispiel MTF bei Filmen: gleicher Film, aber verschieden entwickelt:
Nachbarschaftseffekte spielen eine Rolle, machen sich in einer Überhöhung bemerkbar
(--- korrigiert um Nachbar-Effekte)

