

Geschichte zur Fotografie

Dieses Material beruht unter anderem auf:

Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 2. Shaker Verlag Aachen 2005
hiervon war oft eine beachtliche Kürzung und Vereinfachung notwendig.
Zusätzlich befindet sich ein Literaturverzeichnis am Ende.

Dieses Material wurde heruntergeladen von horstvoelz.de.

Bei privatem Gebrauch ist es voll nutzbar, bei Publikationen, Vorträgen usw. ist die Angabe der Quelle notwendig.

Bei kommerzieller Nutzung usw. ist eine Abstimmung mit mir notwendig.

Bilder sind in höherer Qualität ca. 2000×3000 Pixel oder *.cdr, Version 16 verfügbar.

Email: [h.voelz \(at\) online.de](mailto:h.voelz@online.de)

Prof. Dr. Horst Völz, Koppenstr. 59, 10243 Berlin, Tel. 030 288 617 08

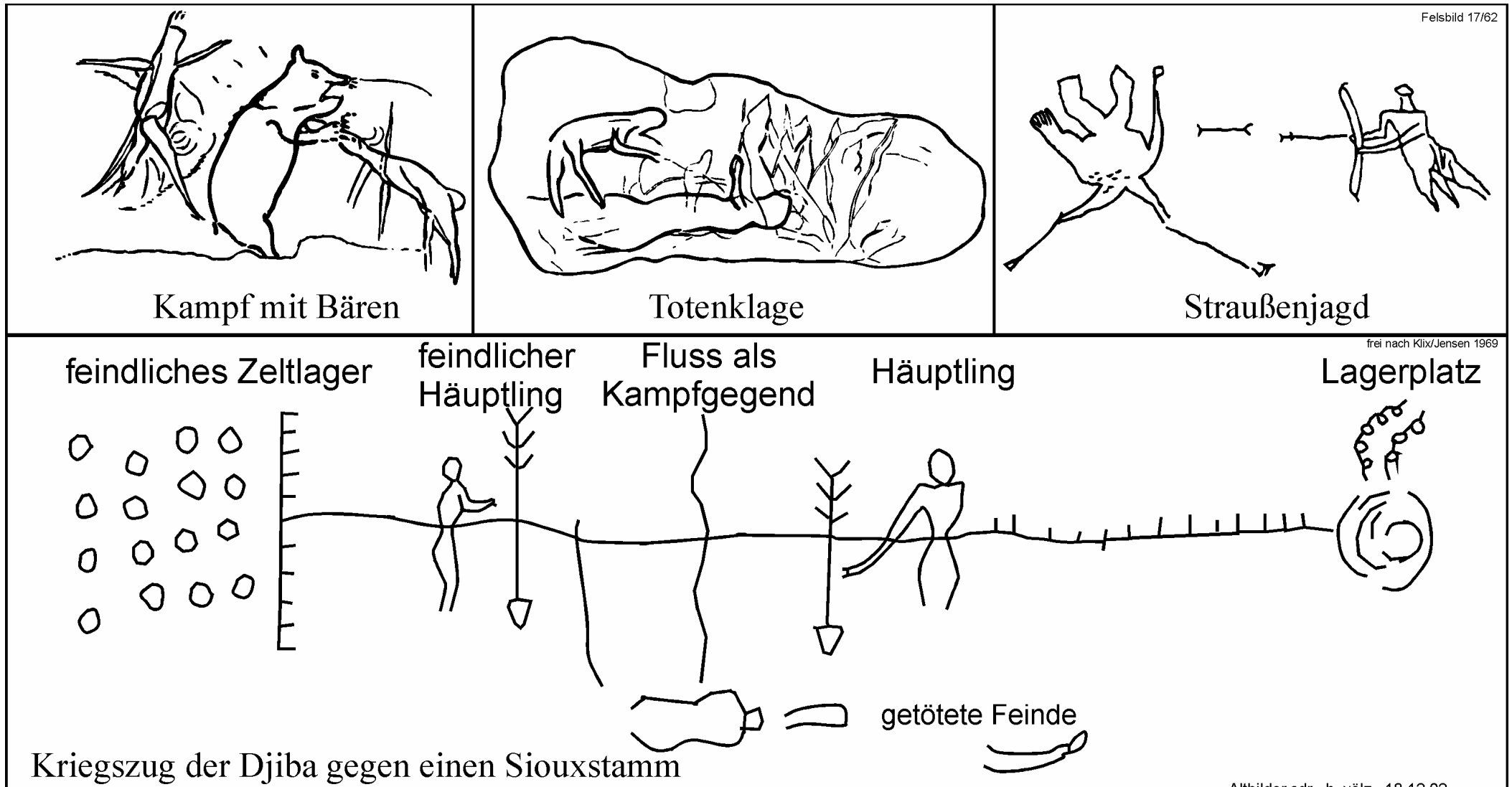
Zusammenfassung

Die Speicherung von Bildern erfolgt zunächst durch manuelles Zeichnen. Hierbei gab es lange Zeit Probleme mit der räumlichen Wirkung (Perspektive). Über die Camera obscura ergaben sich schrittweise bessere Möglichkeiten. Schließlich entstanden Möglichkeiten, dafür dass Licht selbst die Bilder „zeichnet“. Daraus entstand die Fotografie mit dem Silberhalogenid. Hierzu mussten u. a. spezielle Optiken geschaffen werden. Von der ursprünglichen Schwarz-Weiß-Fotografie erfolgte später der Übergang zur Farbfotografie und zur Holografie (als Sonderfolien vorhanden). Neben und aus der klassischen Fotografie entwickelten sich auch Film, Steindruck und Lithografie und in der Neuzeit die Xerografie. Später erfolgte der Übergang zur elektronischen, zunächst analogen, magnetischen Videotechnik begonnen mit dem Ampex-Verfahren bis zur Heimtechnik. Der Einführung der digitalen Aufzeichnungstechniken ermöglichte schließlich eine integrierte Erfassung aller Medien. Die physikalischen, chemischen und elektronischen Grundlagen werden nur bezüglich ihrer entscheidenden Grundlagen berücksichtigt. Vorrangig werden die funktionalen Besonderheiten herausgestellt.

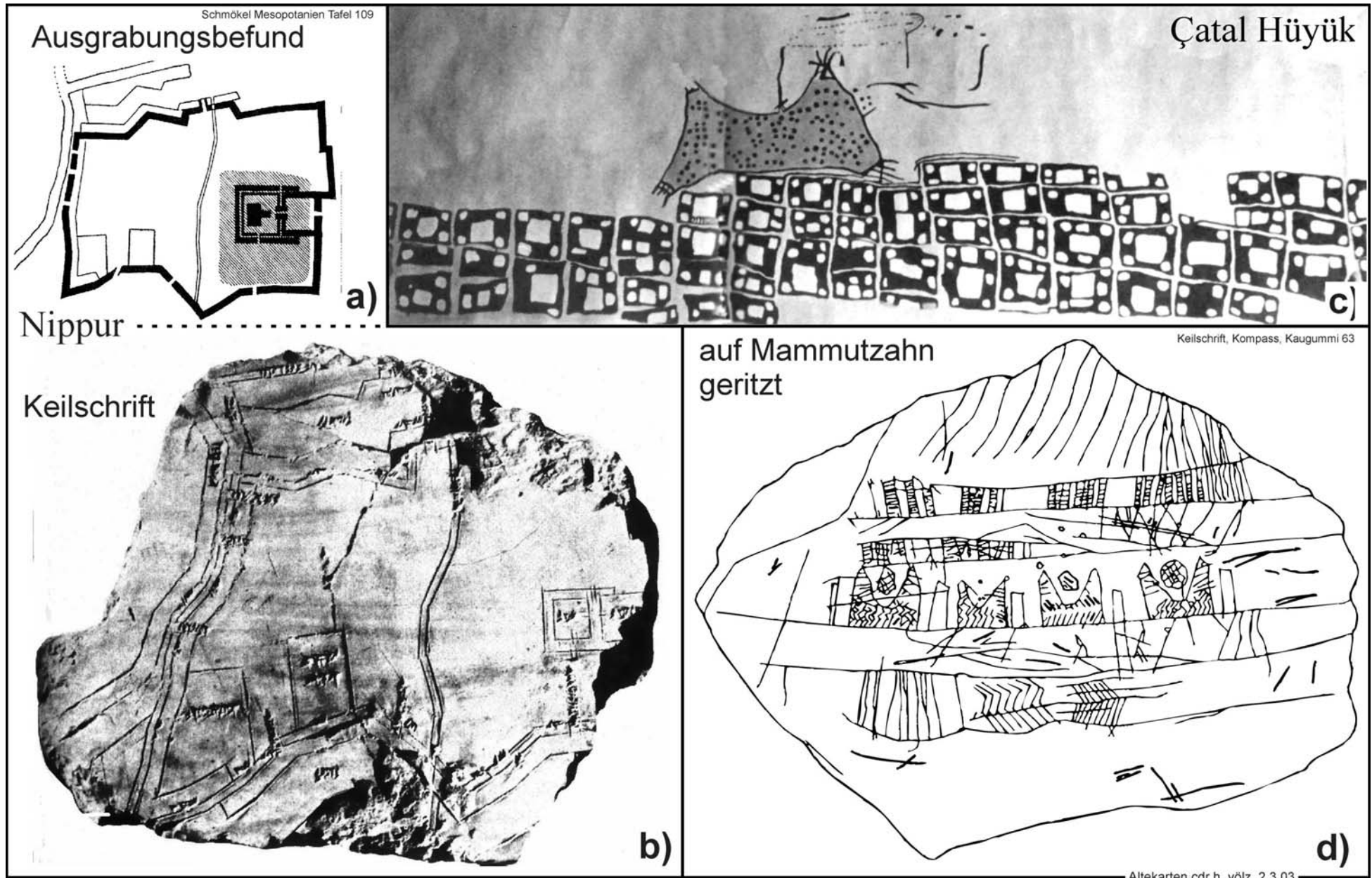
Vorstufen

Die Realität ist 3D. Für Bilder ist ein Übergang zu 2D notwendig.
Das erfordert geistige Leistungen, die der Mensch erst entwickeln musste.
Daher schuf er sich zunächst räumliche Gebilde zu seinem Gebrauch.
Bereits vor ca. 1 Million Jahre entstanden so Totem, Amulett, Spielzeug und Schmuck.
Zunächst wurden hierzu gefundene Objekte unmittelbar genutzt.
Erst später wurden parallel mit Werkzeugen entsprechende Objekte geschaffen.
Vor ca. 200 000 Jahren entstanden dann Körperbemalungen [4], [7].
Vor 50 000 Jahren auch Ritzmuster in Knochen.
Als bald entstanden dann die berühmten Höhlenbemalungen.
Ausgewählte Beispiele von frühen Bildern zeigen die beiden folgenden Folien [4].

In diesen Teil werden ***nicht behandelt:***
Schreiben, zeichnen, malen, drucken und
nur teilweise vervielfältigen.



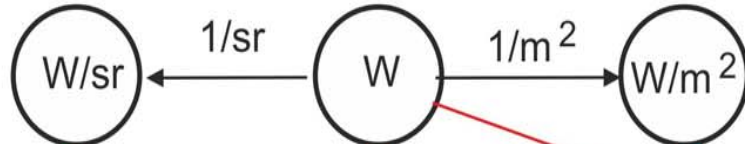
Drei erzählende Steinzeitbilder (oben) im Vergleich zu einer Bilderzählung der Sioux [4]



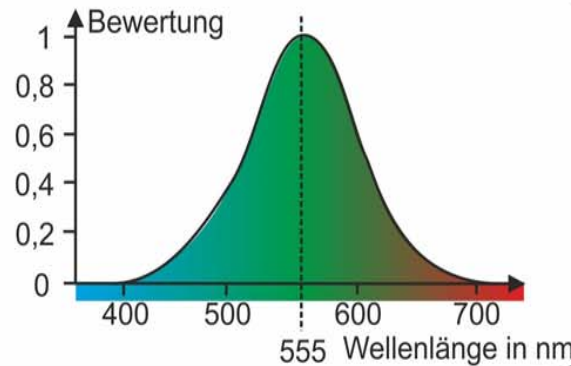
Alte Karten-Darstellungen von Städten. [4]

totale Strahlung

Strahlstärke Strahlungsfluß Bestrahlungsstärke

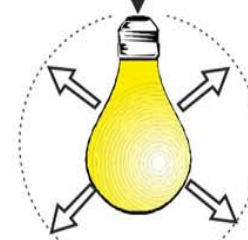


frequenz-selektive Bewertung



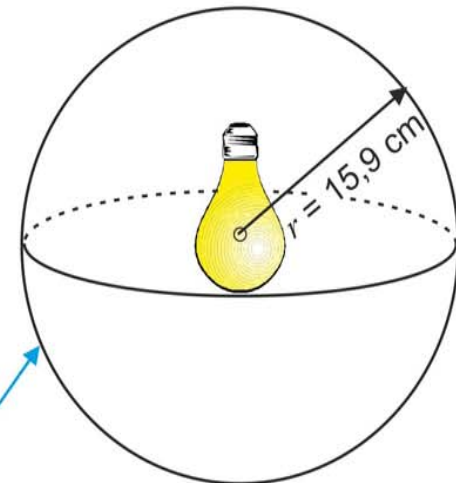
Lichtausbeute
in lm/Watt
max. 683

Watt



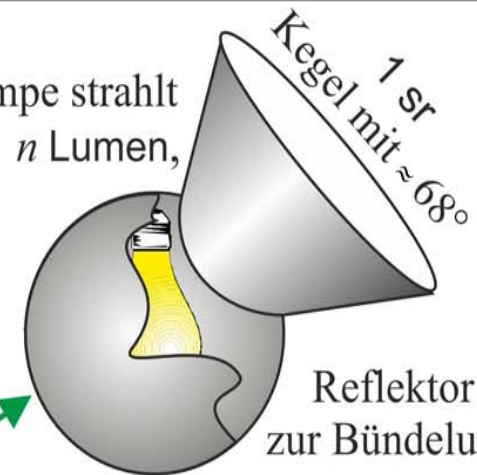
totaler
Lichtstrom
in Lumen

Lampe strahlt mit n Lumen,



die Kugeloberfläche von 1 m^2 ist dann überall mit n **Lux** beleuchtet

Lampe strahlt mit n Lumen,



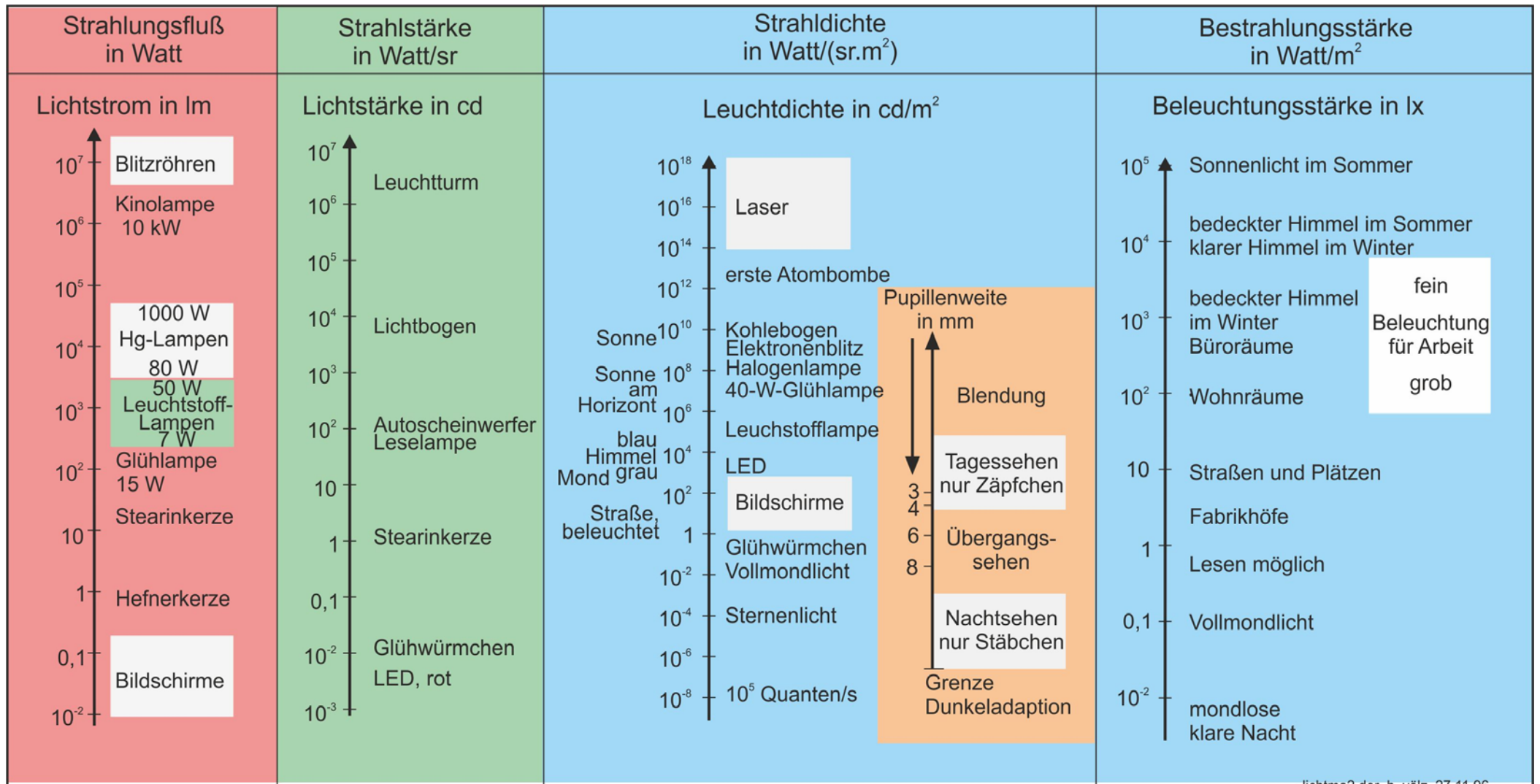
im Kegel von 1 sr beträgt dann die Lichtstärke n **Candela**

cd lm lx

1/sr 1/m²

Lichtstärke Lichtstrom Beleuchtungsstärke

sichtbares Licht

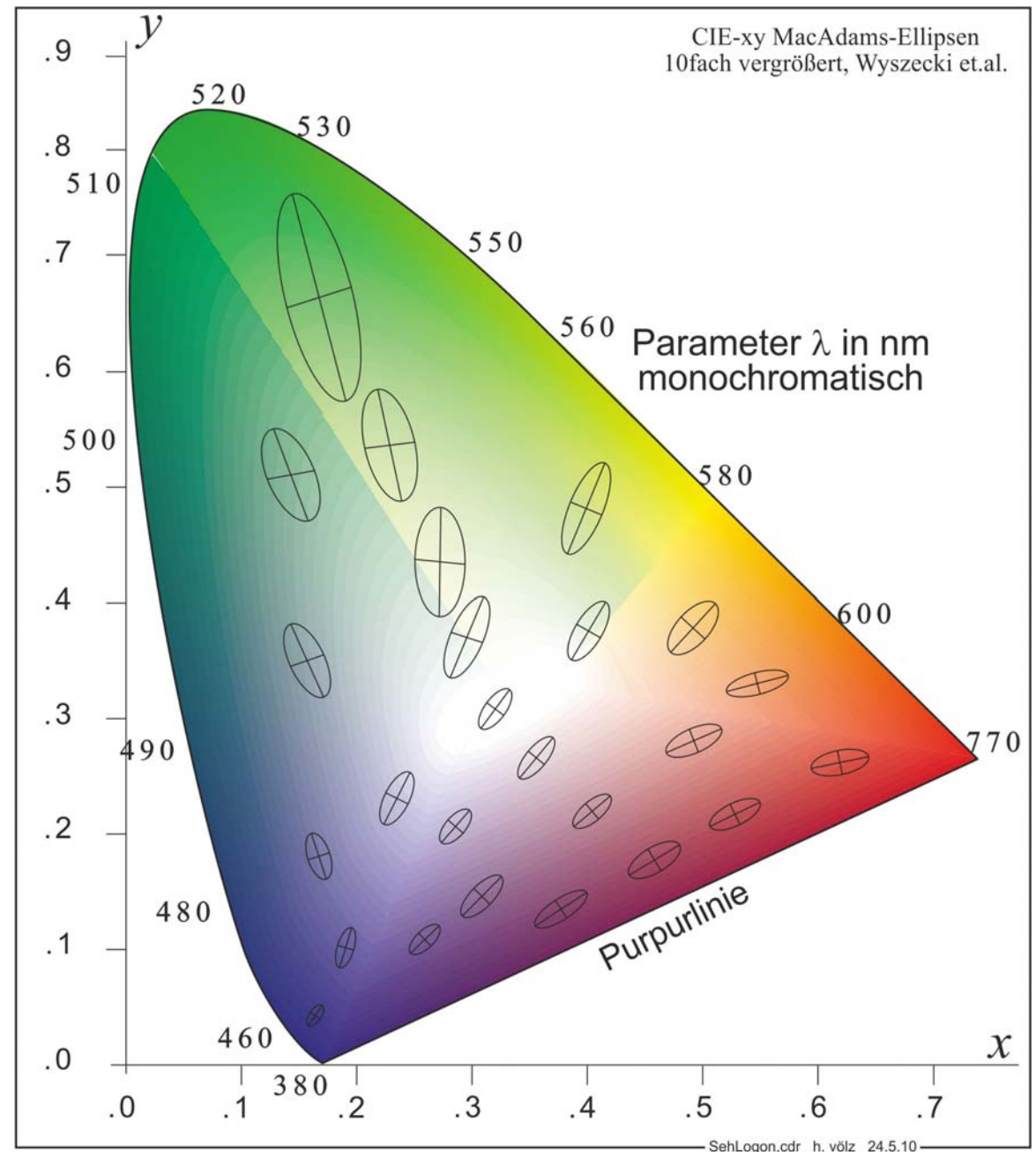


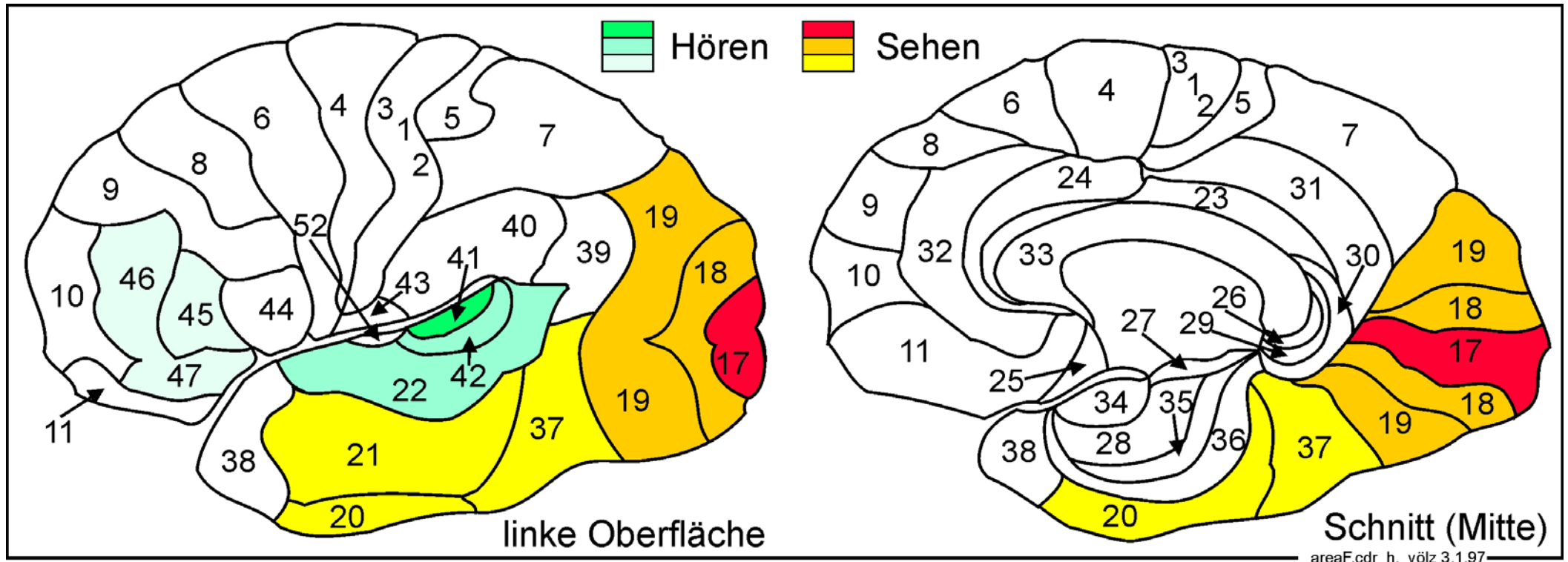
lichtma2.der h. völz 27.11.96

Bei der vergleichsweise kleinen Seh-Fläche ist aber die Parallelität und Variabilität der Farben erheblich größer als die Anzahl der parallel hörbaren Frequenzen. Andererseits besitzt das Ohr eine deutlich höhere Zeitauflösung und kleinere Wahrnehmungsschwelle.

Sinn	Leistung, Konzentration
Ohr	$8 \cdot 10^{-18} \text{ W}$
Auge	$5 \cdot 10^{-17} \text{ W}$
Berührung	10^{-8} W
Geruch	$5 \cdot 10^{-14} \text{ g/cm}^3$ bei Merkaptan
Geschmack	10^{-6} g/cm^3 bei Saccharin
Schmerzen	$5 \cdot 10^{-16} \text{ W/cm}^2$

Auch aus den Hör- und Seh-Flächen ist schwer zu entscheiden ob Sehen oder Hören uns mehr Information übermitteln kann. hierfür ist eine deutlich andere Betrachtung notwendig (s. u.)





Bezüglich der reagierenden Gehirn-Areale überwiegen deutlich die 3 Sehrinden

Rechts ist kaum etwas für Sprache, wohl aber für Musik vorhanden.

Beim Sehen besteht bezüglich rechts und links kein wesentlicher Unterschied.

Area 1 bis 5 sowie teilweise 6 und 7 sind beidseitig für Fühlen bzw. Motorik zuständig.

Sehen

Zwei Typen von Sinneszellen, unterschiedlich auf der Netzhaut verteilt:

Stäbchen reagieren nur auf Helligkeit (betont grün)

Zäpfchen dienen dem Farbsehen und drei Typen: rot, grün und blau.

Helligkeit über Pupille und Eigenschaft der Sinneszellen, tauchen mehr/weniger tief in absorbierende Partikel (Pigmente).

Nachtsehen (schwarz - grau - weiß) $< 0,1 \text{ cd/m}^2$, extrafoviales Sehen (außerhalb gelben Fleck)

Tagessehen (Farben) $> 30 \text{ cd/m}^2$.

Farbsehen nur physiologisch erklärbar, Farbgleichheit bei unterschiedlicher Beleuchtung.

Z. B. zeigen rote S-Bahn und grüne Pflanzen bei Natriumlicht die Grenzen

Eigentlich gibt es keine Körperfarben, sie gelten nur für weißes Licht.

Auge hat eine Auflösung von ca. 1500×1500 Pixel

Grautöne Auge 200, Farbtöne: Vierfarbendruck 10 000

Mensch unterscheidet etwa 1 000 000: 24 Bit-Monitor ermöglicht 16 777 216

95 % aller Menschen sind normal-sichtig. Nur für sie gilt die Theorie und Praxis der Farbmessung.

Es gibt es mehrere Varianten der Farben-, „blindheit“:

1) Nur Stäbchen (0,002 %), 2) Zäpfchen nur einer Farbe - Zäpfchen für nur zwei Farben (ganz selten fehlt blau)

3) Zäpfchen mit abweichenden Mittelfrequenzen, besonders häufig bzgl. Grün

(4,9 % der Männer und 0,4 % der Frauen).

Selbst die meisten Farbenblinden (nur ca. 1 %) nehmen immer noch eine Vielzahl von Farben wahr.

Bekannt geworden ist dies durch Eisenbahnunglück 1875 in Schweden infolge Farbfehlsichtigkeit des Lokomotivführers.

Farbsehen

Die Farben sind sehr vertraut eigentlich selbstverständlich.

Gewöhnlich fällt es nicht einmal auf, wenn sie z. B. bei zu geringer Beleuchtung nicht gesehen werden können.

Dies ist bei zu geringem Licht $\leq 10^{-2} \text{ cd/m}^2$ ($\approx$ Vollmondlicht) der Fall. Hier sehen wir nämlich nur mit unseren Stäbchen.

Etwas Farbe sehen wir erst ab 1 cd/m^2 . Einigermassen sicher können wir jedoch Farben erst ab 10^3 cd/m^2 unterscheiden.

Diesen Umstand muss uns erst ein Sprichwort verdeutlichen: „Bei Nacht sind alle Katzen grau“.

Die Farben erkennen wir mittels der Zäpfchen: rot, grün, blau.

Ihre spektrale Empfindlichkeit wird mittels ihrer Absorptionskurven bestimmt.

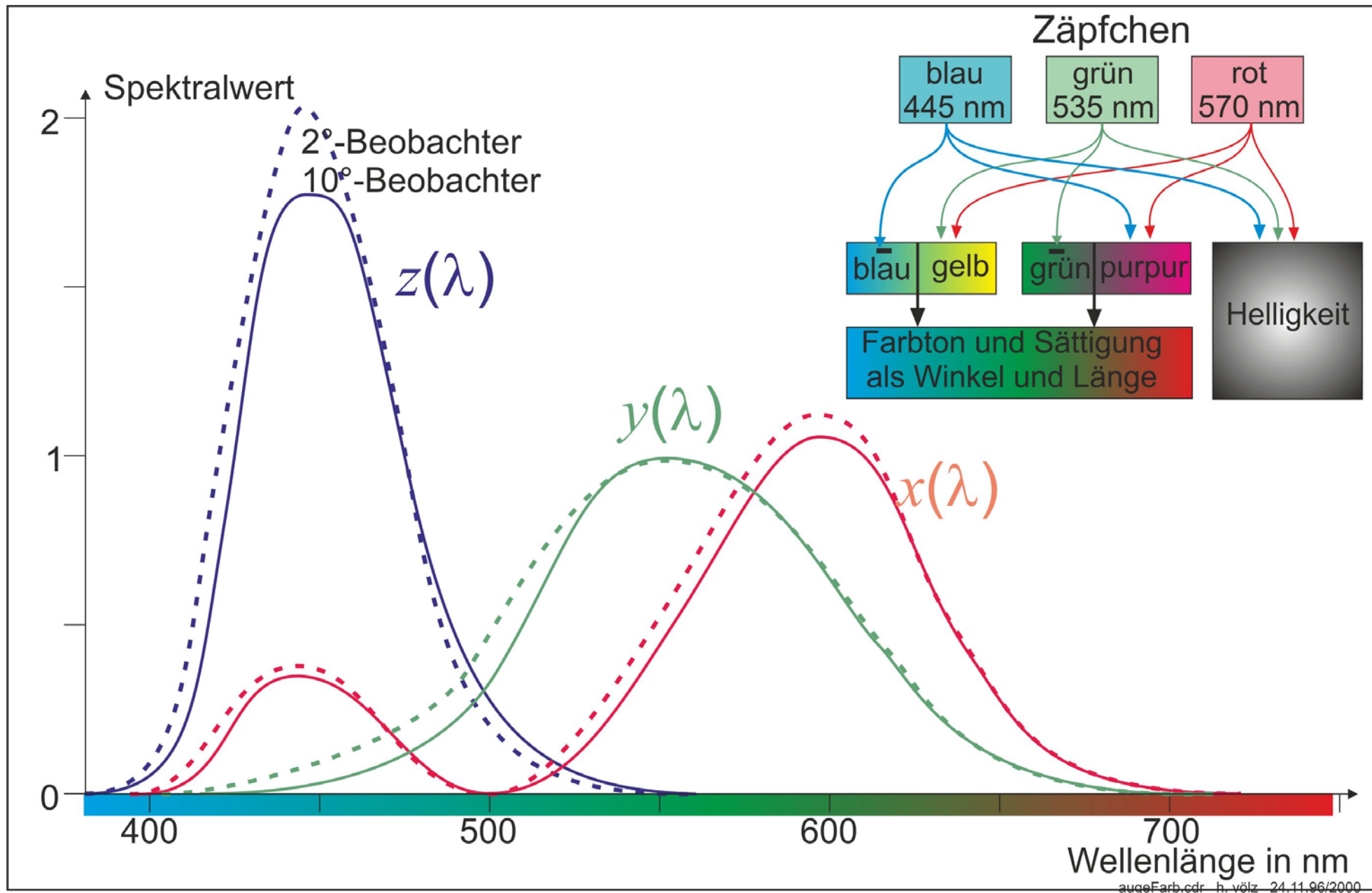
Dabei kann eine Mittelung über 2° bzw. 10° bezüglich des gelben Flecks geschehen.

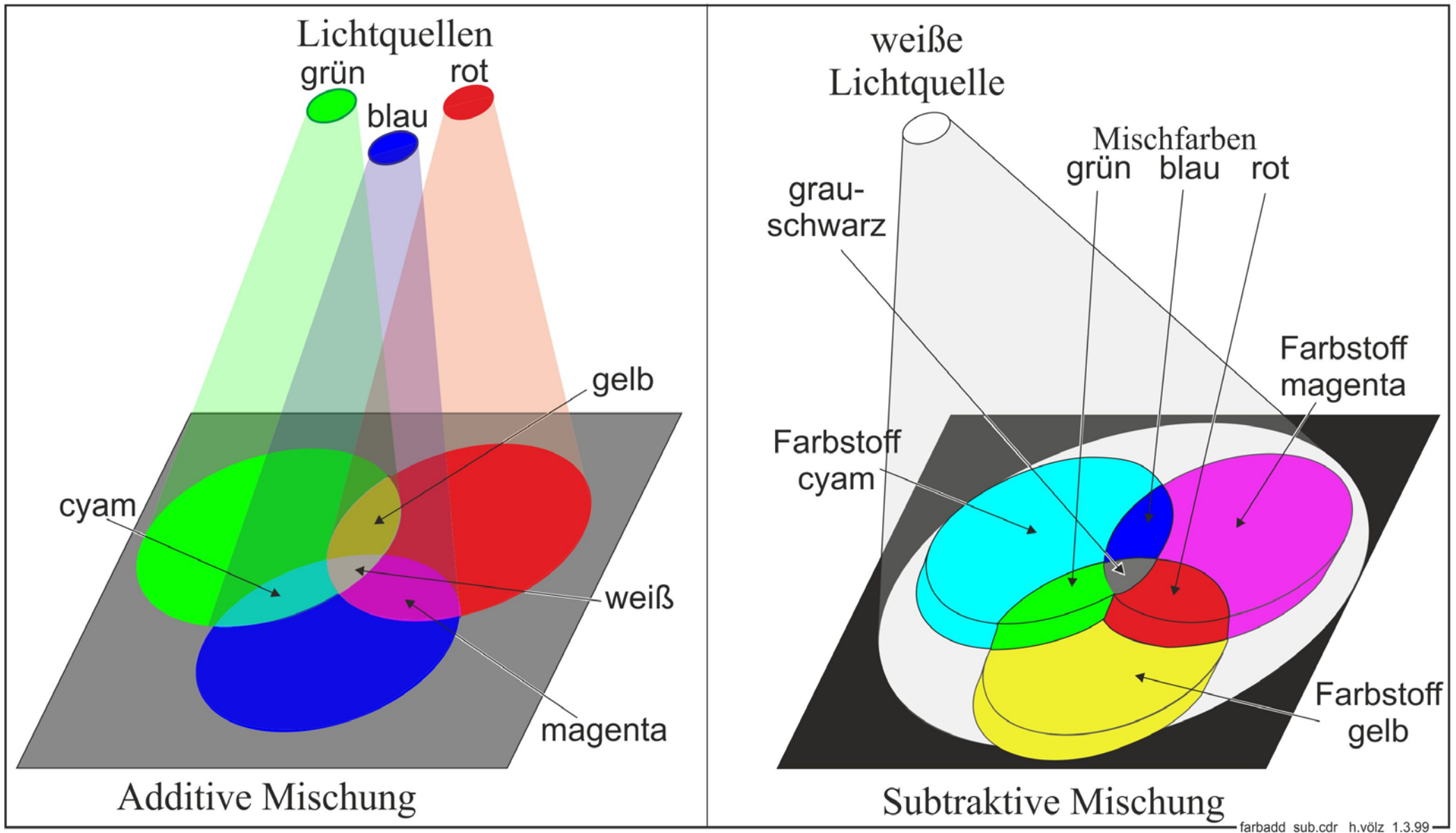
Die Informationsverarbeitung zu den jeweiligen Farben ist recht komplex (folgendes Bild)

Die mathematische Berechnung ist recht kompliziert.

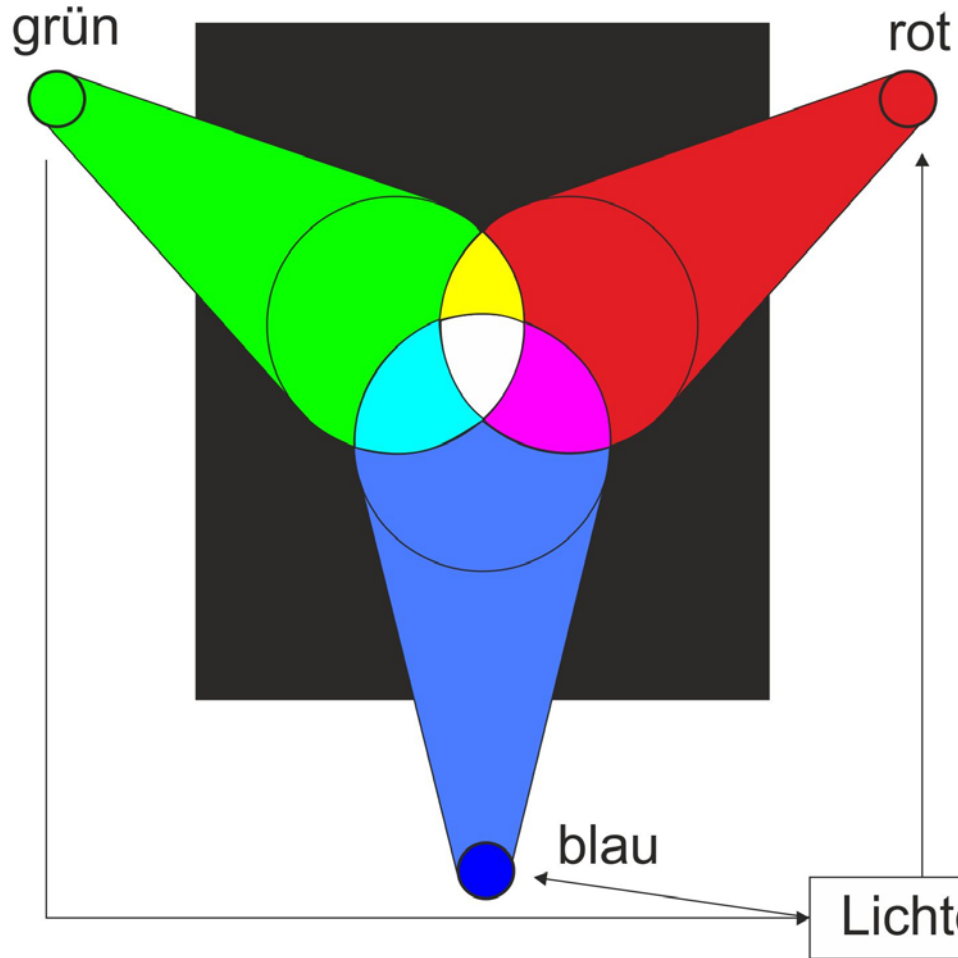
Farben in der Realität können additiv oder subtraktiv aus drei (vier) Grundfarben erzeugt werden.

Die Zusammenhänge sind recht kompliziert, deshalb folgen hierzu mehrere Bilder.

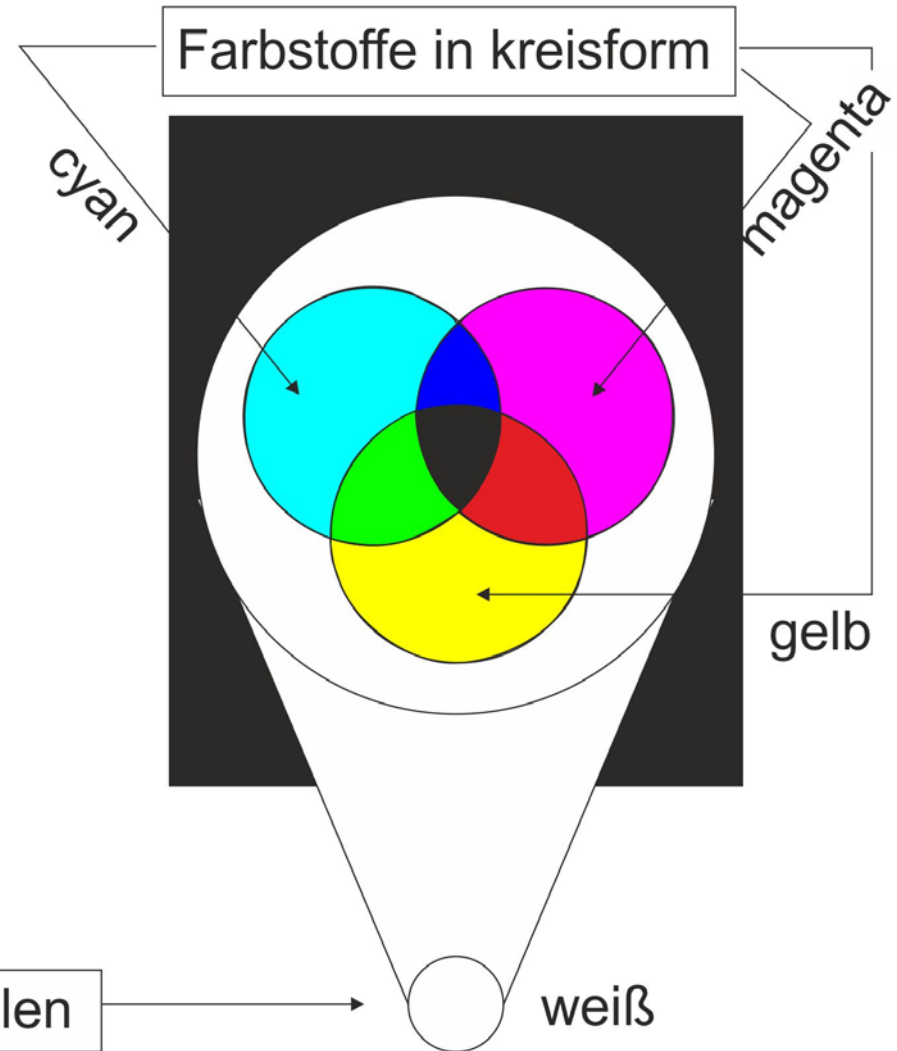


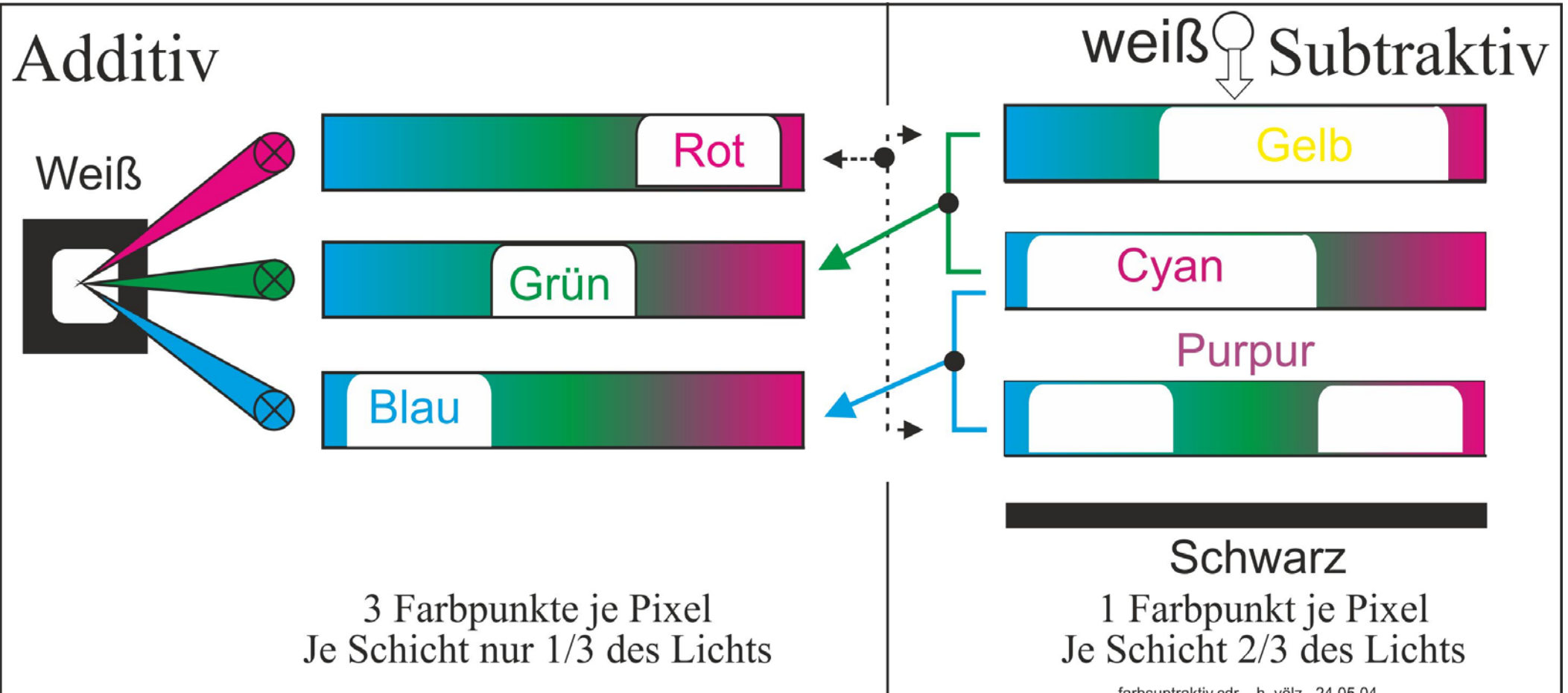


Additiv



Subtraktiv





Gilt immer für Monitore (Fläche wird beleuchtet)

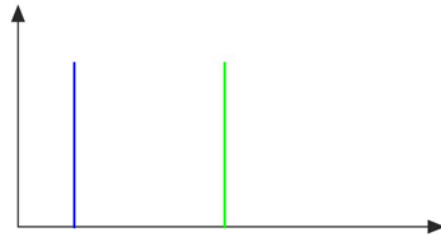
Für Drucker und Foto +Film (Farben durchleuchtet)

Additiv Strahlung

weiß = rot + grün + blau



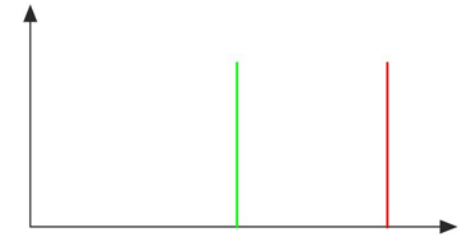
cyam = grün + blau



magenta = rot + blau



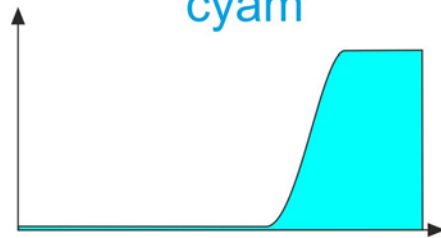
gelb = rot + grün



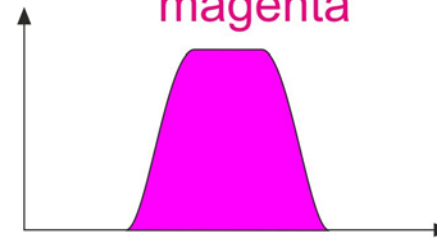
Subtraktiv
Absorption

Farbstoffe

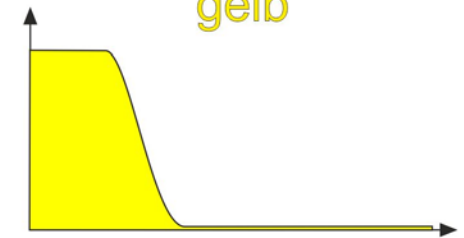
cyam



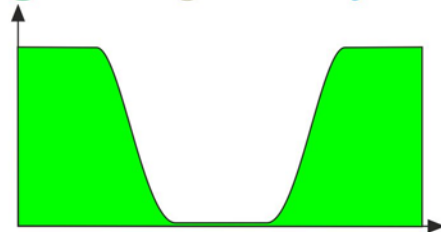
magenta



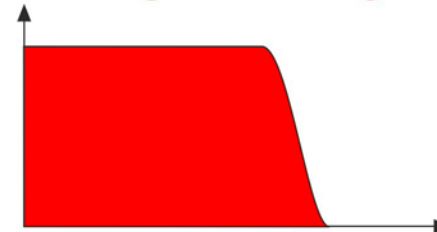
gelb



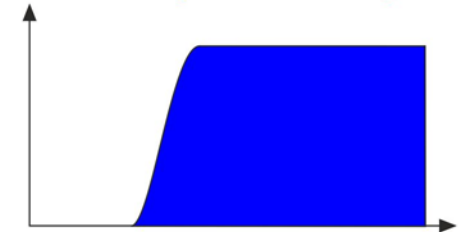
grün = gelb + cyam



rot = gelb + magenta



blau = cyam + magenta



Mischungen

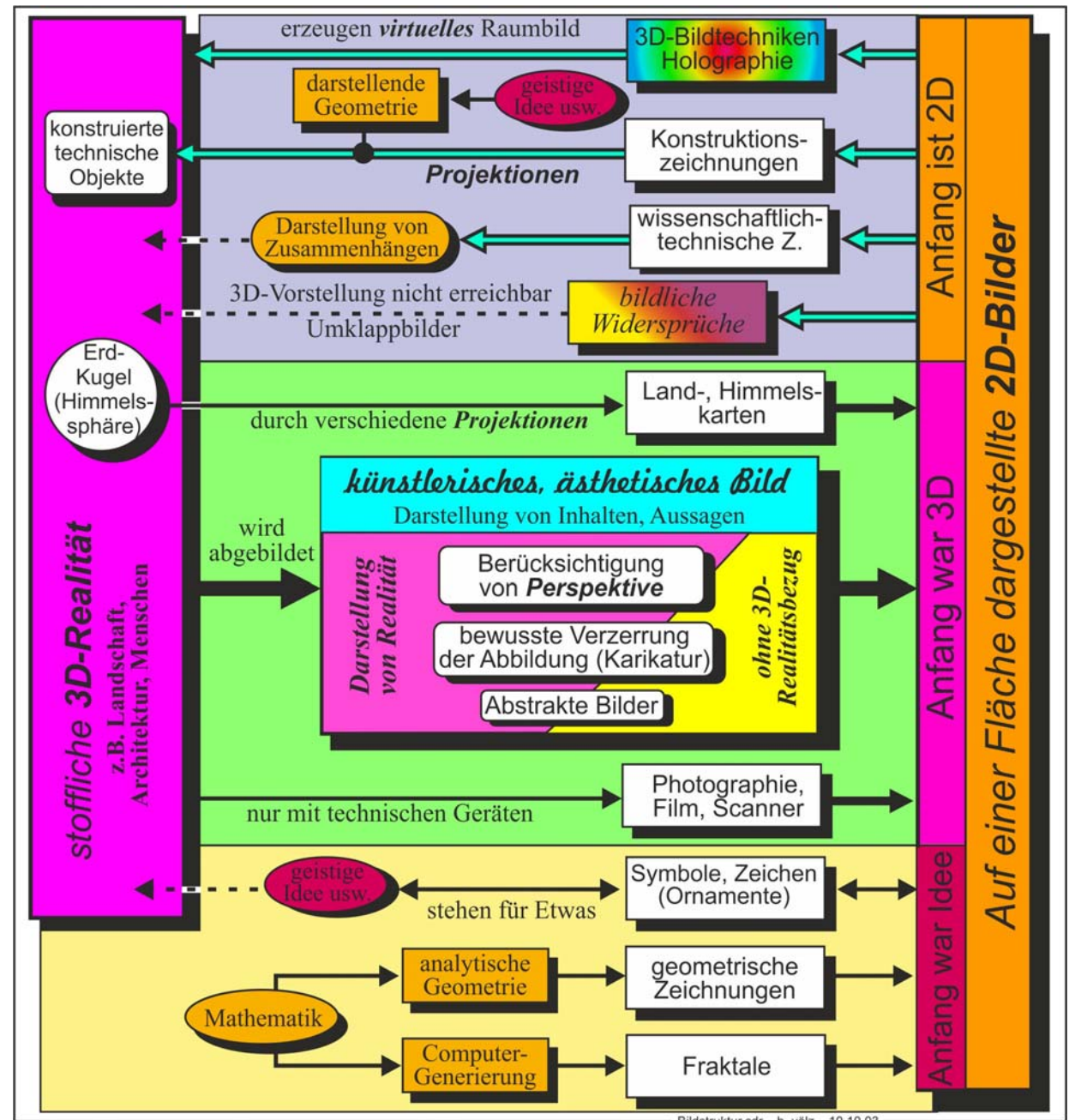
subadd.cdr h. vözl 6.12.96

Versuch einer Systematik

Mit dem nebenstehenden „Bild“ wird versucht, die Vielfalt heutiger zeitloser Bilder in Bezug zur 3D-Welt (x, y, z, aber ohne t) nach inhaltlichen Kriterien zu ordnen. Rechts befinden sich die auf einer 2D-Fläche (x, y) dargestellten Bilder; links die dazu gehörende 3D-Realität.

1. Meist (**grüne**, Mitte) wird die 3D-Realität nach 2-D abgebildet.
2. Es ist auch möglich (**violett**, oben), aus 2D-Bildern 3D-Realitäten zu erzeugen. Das muss nicht immer zum Erfolg führen; Da bei können auch widersprüchliche Bilder entstehen.
3. Wir verfügen über innere Bilder (Vorstellungen, Ideen, **gelb**, unten), die wir aber eigentlich nicht „richtig“ sehen. Aus ihnen können wir aber Zeichnungen anfertigen oder mittels Mathematik 2D- oder gar 3D-Bilder konstruieren.

Im Folgenden kann jedoch nur auf einige Aspekte eingegangen werden. Umfassend sind sie im [4] behandelt.



Bildstruktur.cdr h. völz 10.10.03

Wichtige Begriffe der bildlichen Darstellungen

Für die Darstellung der 3D-Welt auf 2D-Medien sind einige spezifische Begriffe notwendig. Sie sind hier zusammengefasst und sehr einfach erklärt. Ihre genauere Beschreibung – vor allem von Projektion und Perspektive – erfolgt später.

Flucht-Linie, -Punkt: Parallelen in der 3D-Welt konvergieren gemäß den Fluchtlinien zu einem Fluchtpunkt.

Horizont grie. horízōn (kýklos) begrenzend (er Kreis, Gesichtskreis), horízein begrenzen, hóros Grenze, Grenzstein, Ziel. Weit entfernte, meist waagrechte Begrenzungslinie zwischen Himmel und Erde; übertragen auch Gesichtskreis und geistiges Fassungsvermögen.

Perspektive latein. perspicere hindurchschauen, deutlich wahrnehmen $\approx$ mit dem Blick durchdringen, deutlich sehen. Sie erfasst u. a. die Größen- und Formänderung von Objekten gemäß ihrer Entfernung und dem Blickwinkel; übertragen auch Aussicht für die Zukunft.

Projektion latein. proicere, hinauswerfen, hinwerfen. Sie betrifft hauptsächlich die Abbildung von Objekten durch Lichtstrahlen. Zusätzlich existieren andere Bedeutungen in Informatik, Kartografie, Mathematik, Nervensystem, Psychoanalyse und Sprachwissenschaft.

Sehstrahl bzw. **Lichtstrahl:** geradlinige Richtung (Gerade) unseres Blickes bzw. der Ausbreitung einer stark gebündelten Lichtquelle.

Problem der Abbildung der Wirklichkeit

Die Welt ist dreidimensional, doch die üblichen Bilder gestatten auf Blättern nur zwei Dimensionen.

Auch die Bilder auf unserer Netzhaut sind 2 D.

Der Übergang zu 3D erfolgt durch „Berechnungen“ unseres Gehirns aus den zwei Teilbildern.

Doch nach den Erfahrungen der Augenärzte sehen nur etwa 30 % der Menschen wirklich 3D.

Erst unsere körperlichen Erfahrungen in der Welt ermöglichen indirekte 3D-Wahrnehmungen.

Dies zeigt sich auch in den Bildern vieler, vor allem früherer darstellender Künstler.

Sie zeigen sehr lange keine Räumlichkeit (Perspektive)

Erste Bilder noch intuitiv gestaltete Bilder mit annähernd richtiger Zentralperspektive schuf GIOTTO (um 1267 - 1337).

Sie hoben sich deutlich gegenüber der Gestaltung des Mittelalters ab, hatten jedoch keinen weiteren Einfluss.

Erst der florentinische Baumeister und Bildhauer FILIPPO BRUNELLESCHI (1377 - 1446) entwickelte systematisch die Zentralperspektive (*perspectiva artificialis*), zunächst rein empirisch und dann mathematisch abgeleitet.

Die Gesetze der Perspektive wurden etwa 1420 von LEON BATTISTA ALBERTI (1404 - 1472) aufgeschrieben.

Auch ALBRECHT DÜRER (1471 - 1528) hatte beachtliche Probleme.

Selbst in seine zweiten Reise nach Oberitalien 1505 brachte keinen Erfolg.

Schlecht informiert fuhr er nach Venedig und Bologna, statt an die Quelle nach Florenz.

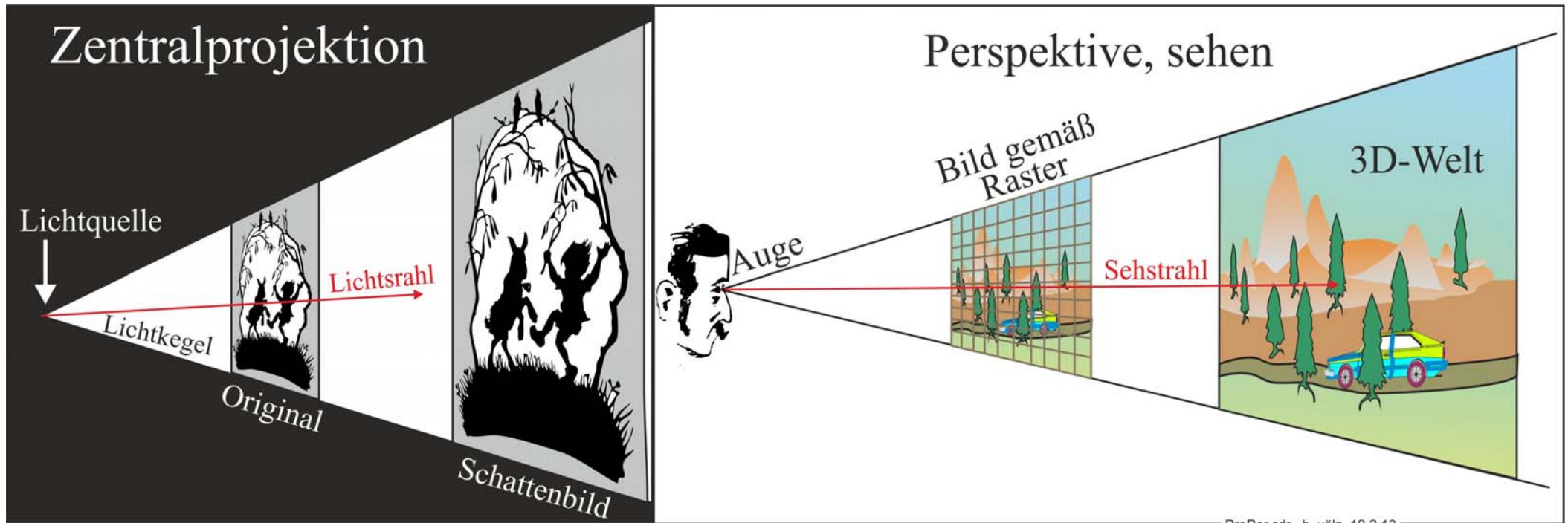
Doch schließlich fand er selbst Lösungen. sie zeigt das folgende Bild.

Die richtige Raumgestaltung erfolgt durch den Vergleich der Orte im durchsichtigen Raster bzgl. der Landschaft und dem Raster auf dem Papier



perspektive.cdr h. völz 9.10.03

Projektion und Sehstrahl



Das Kernproblem

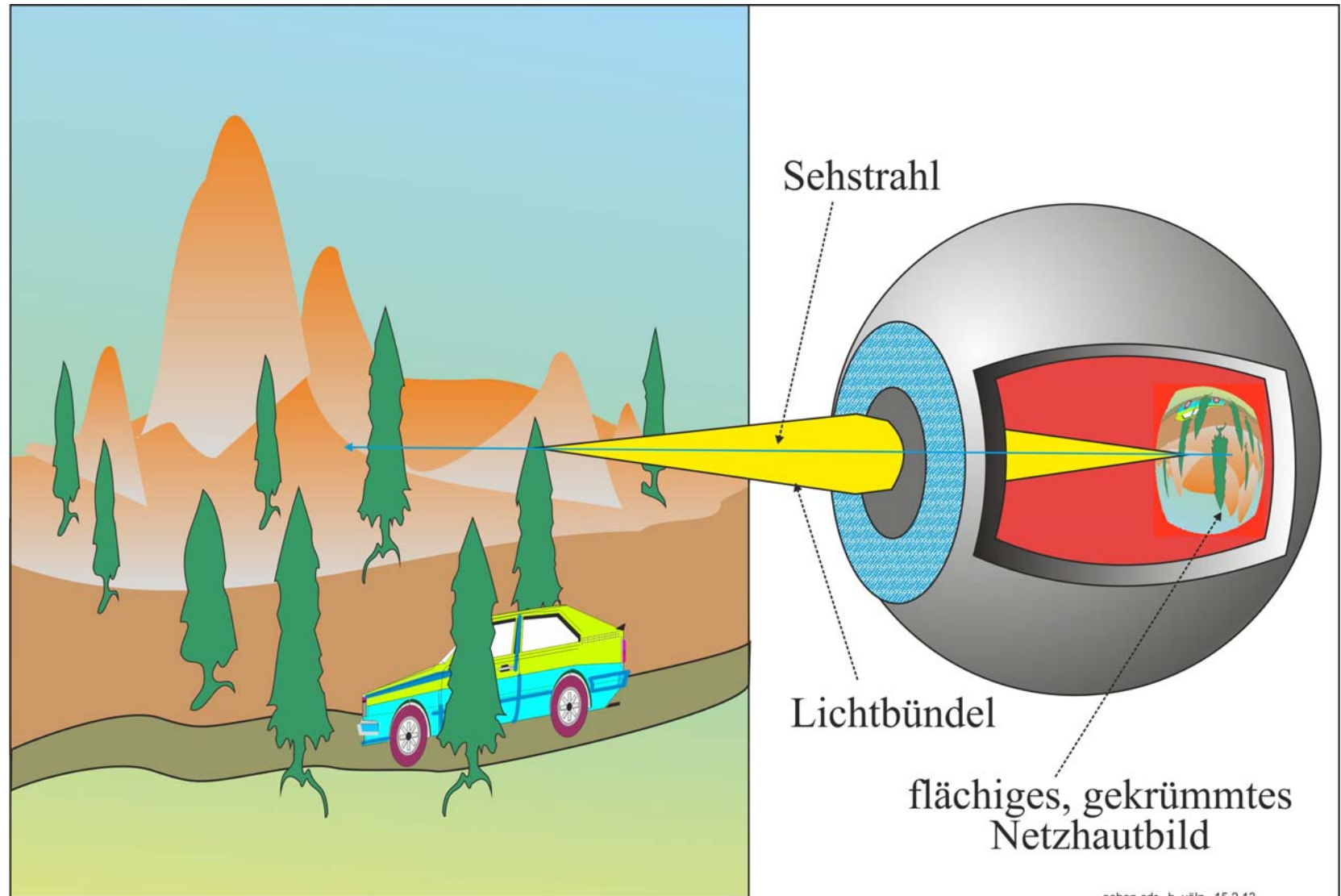
Der Gegensatz von Realität und Abbild macht die Schwierigkeiten der Entwicklung deutlich: Die „Sehstrahlen“ gehen vom Auge aus und divergieren zur betrachteten Szene.

Für die bildliche Darstellung ist die Umkehrung notwendig.

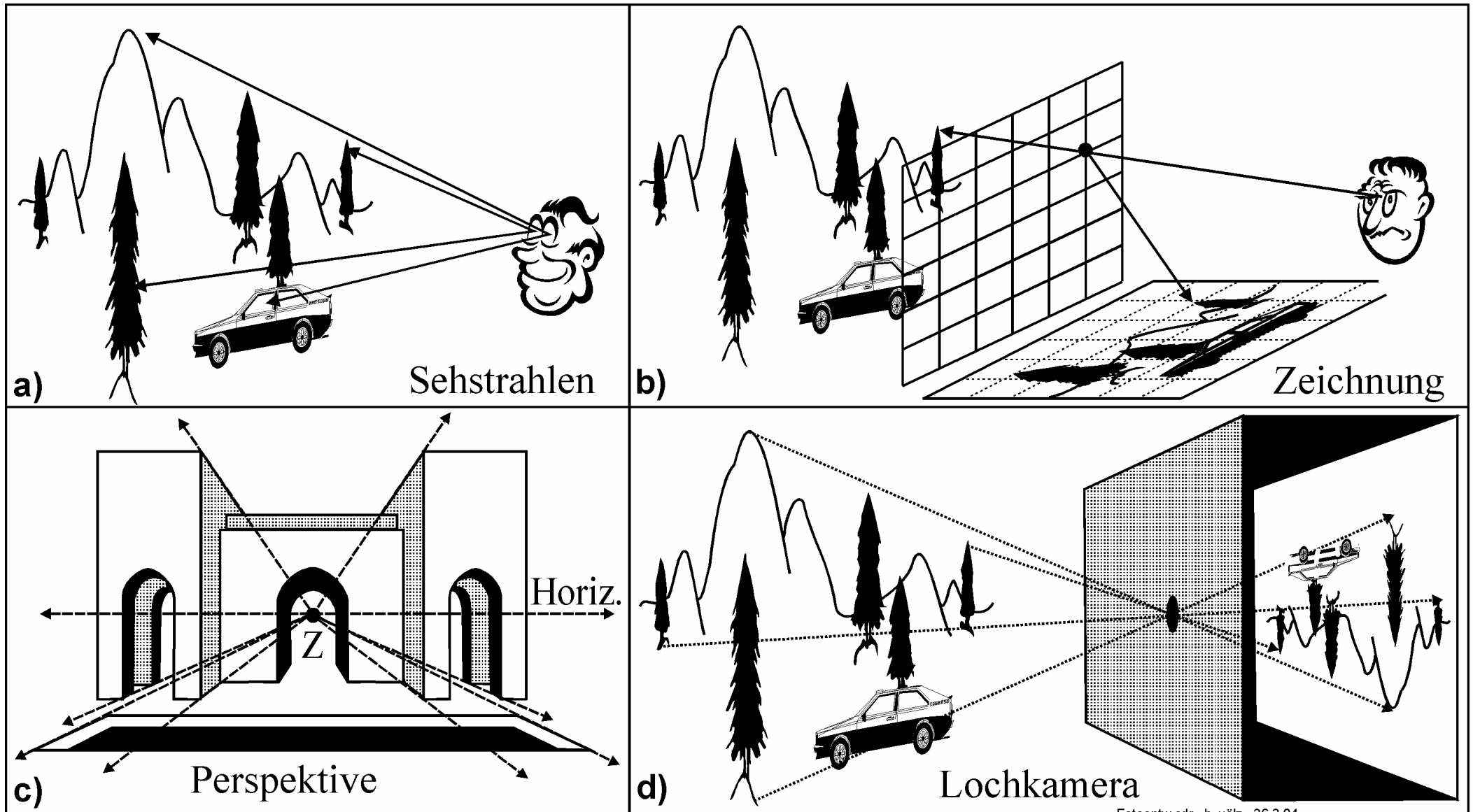
Vgl. Sehen und Abbildung Lochkamera.

Die eigentlichen Lichtstrahlen gehen aber von einem „fiktiven“ Punkt Z innerhalb des Bildes aus und zum Betrachter hin.

Das führt zur später eingeführten Perspektive.



sehen.cdr h. völz 15.2.13



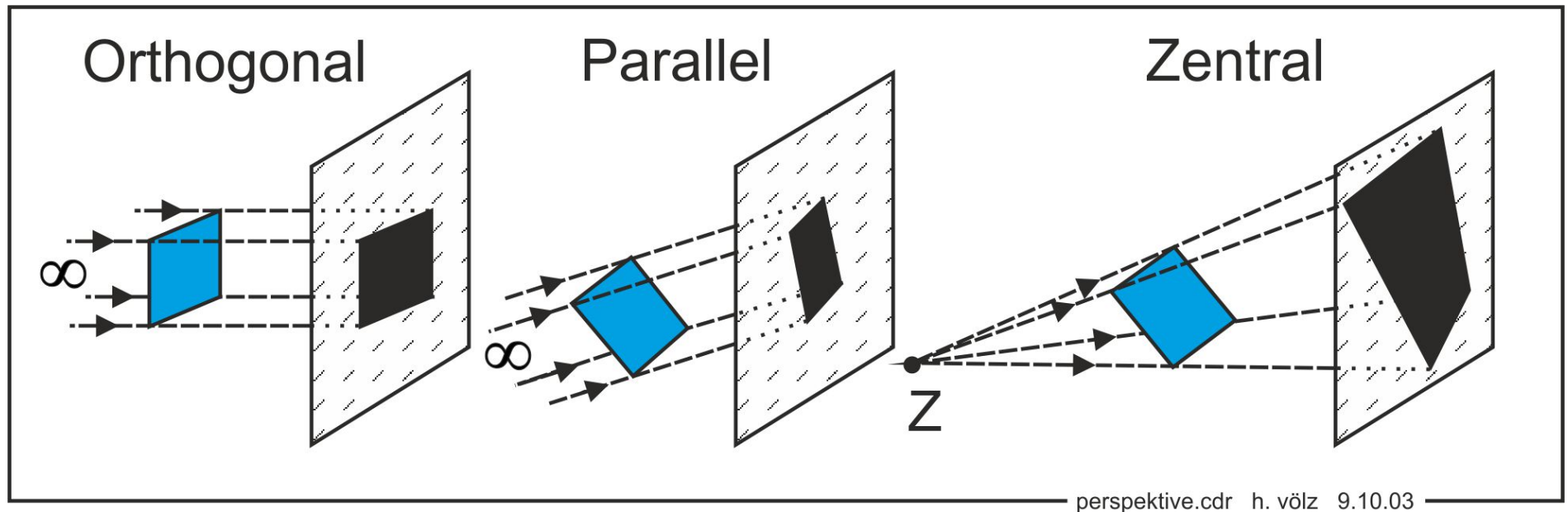
Fotoentw.cdr h. völz 26.3.04

Besonders wichtig für das Verständnis wurde die **Lochkamera** (Camera obscura), seit etwa 1000 in China bekannt.

Arten der Projektion

Sie sind vor allem bei der **Konstruktion** und der Abbildung der Erde (in Atlanten) wichtig.
Sie sind zugleich besonders gut zur Einführung der Perspektive geeignet.

Bei der **Orthogonal-** und **Parallel-Projektion** werden vereinfachend **parallele Lichtbündel** genutzt.

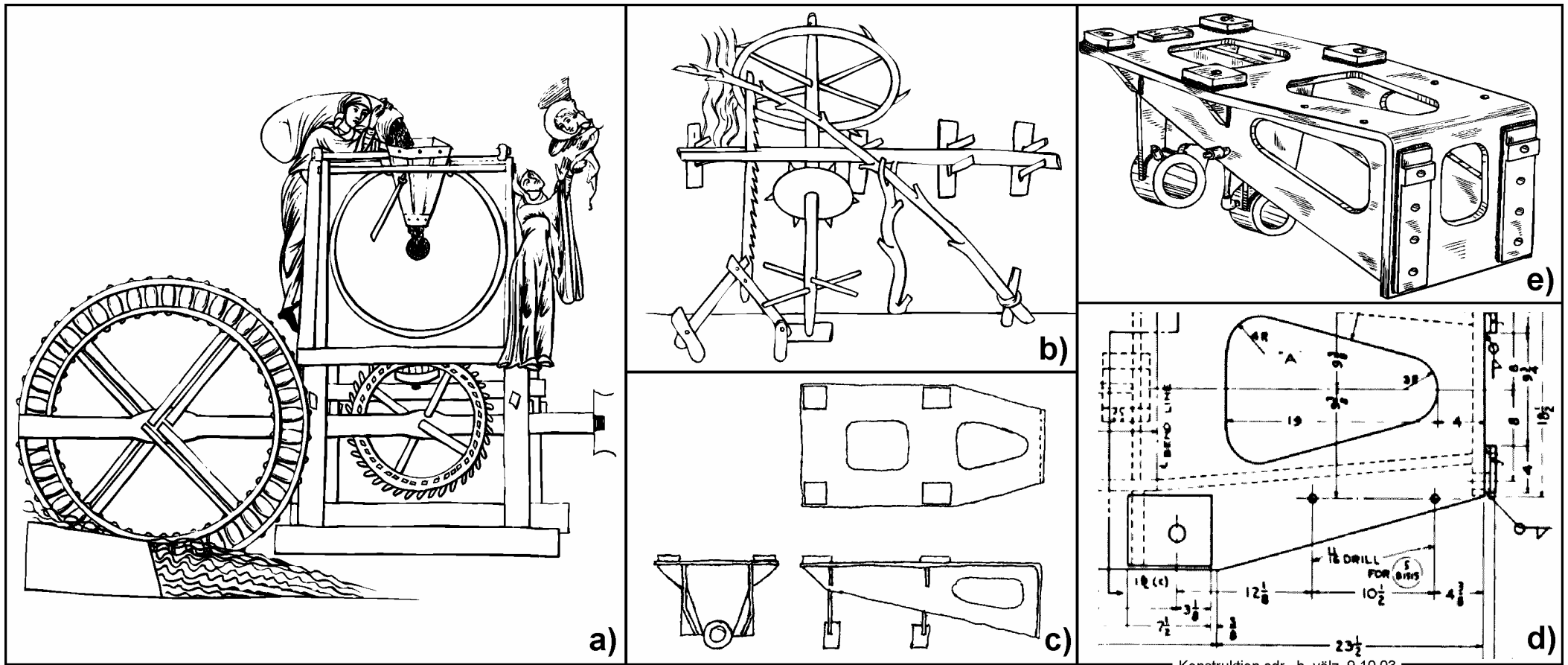


Geht das Licht von einem Punkt (Fluchtpunkt) aus, so entsteht die **Zentralprojektion**.
Sie besitzt daher beachtliche Ähnlichkeit zur Perspektive.

Konstruktions-Zeichnungen

Früher waren die Konstruktion unterschiedliche Projektionen üblich (a, b).

Heute sind vor allen Parallelprojektionen als Grund-, Aufriss und Seitenansicht (c von e) sowie Teilepläne (d) üblich



Prinzip der Perspektive

Aus den Projektionen leiten sich die verschiedenen Perspektiven ab.

Sie existieren mit 1 oder mehreren Fluchtpunkten gemäß dem folgenden Bild ab.

In den (virtuellen) Fluchtpunkten schrumpft alles total zusammen.

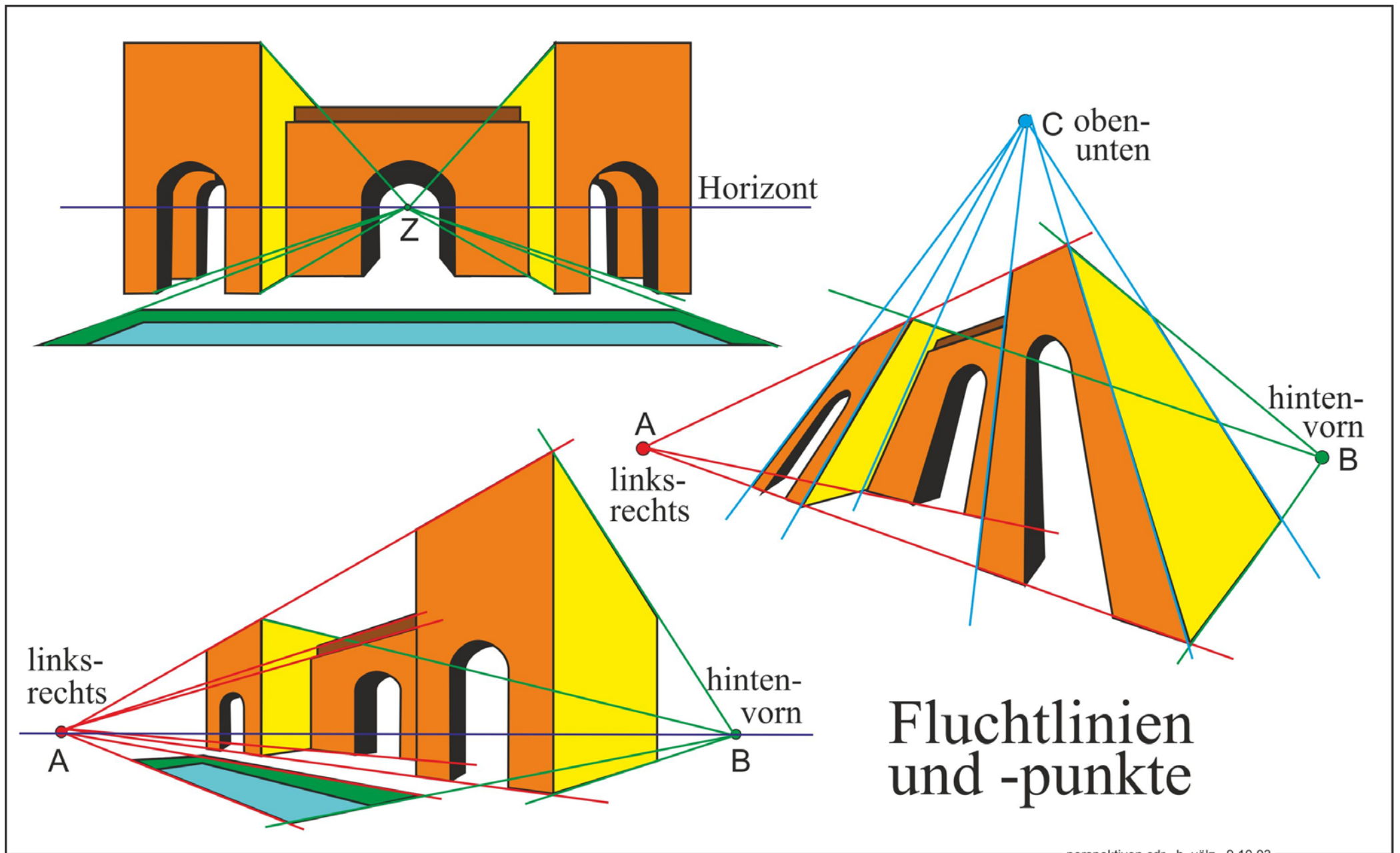
Damit hängt auch die perspektivische Verkürzung zusammen:

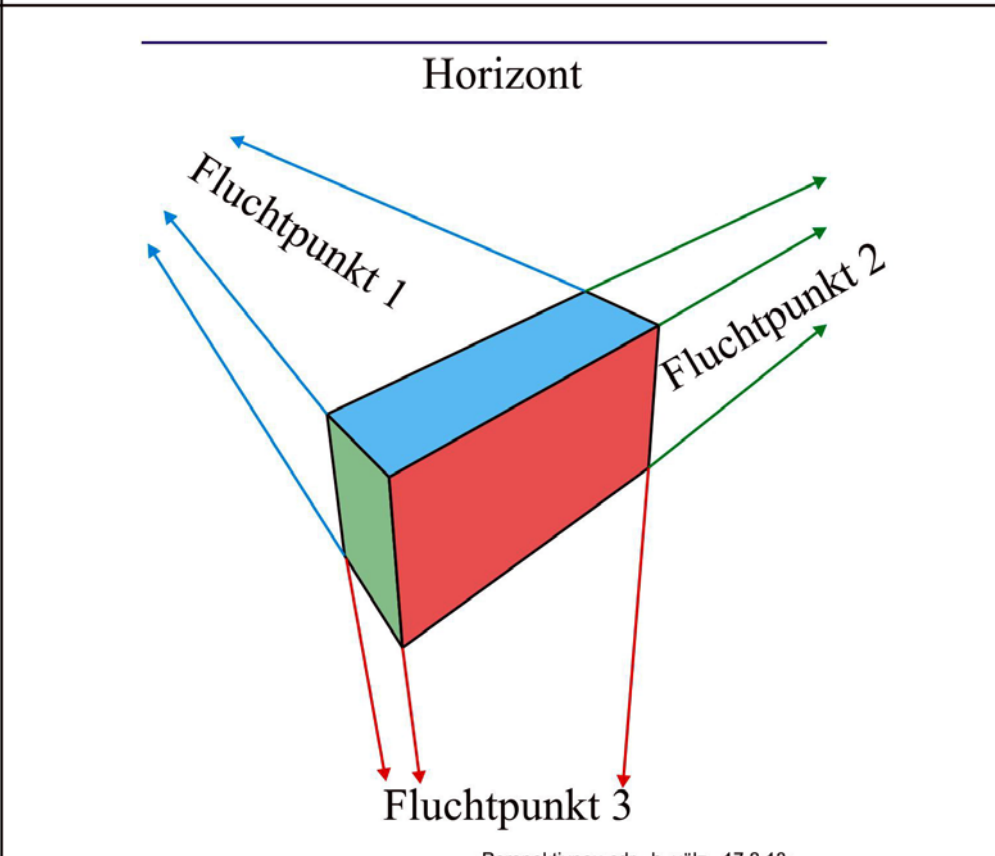
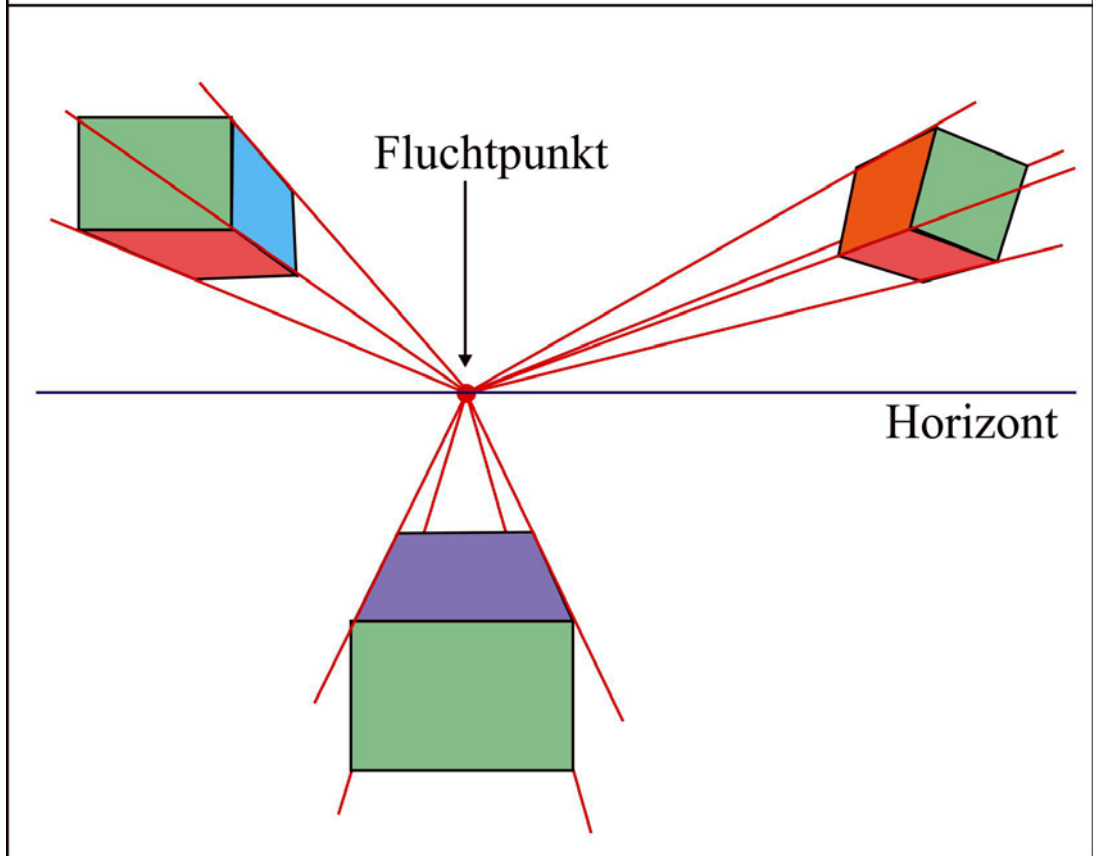
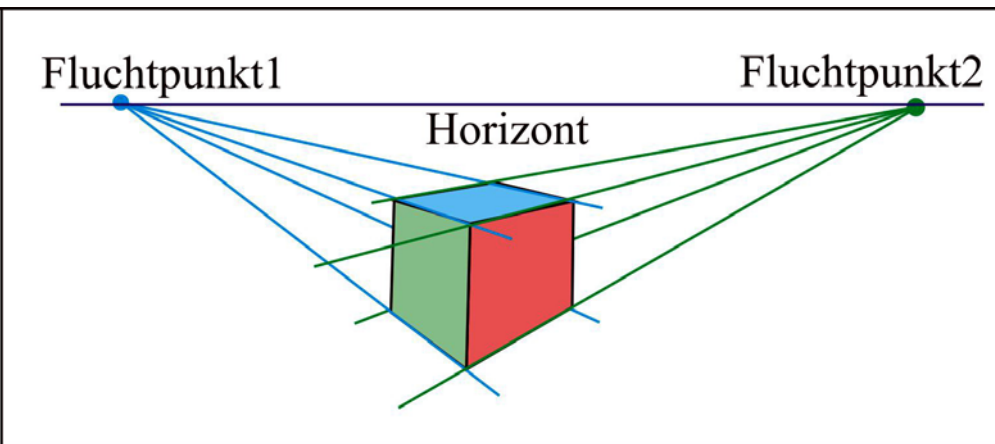
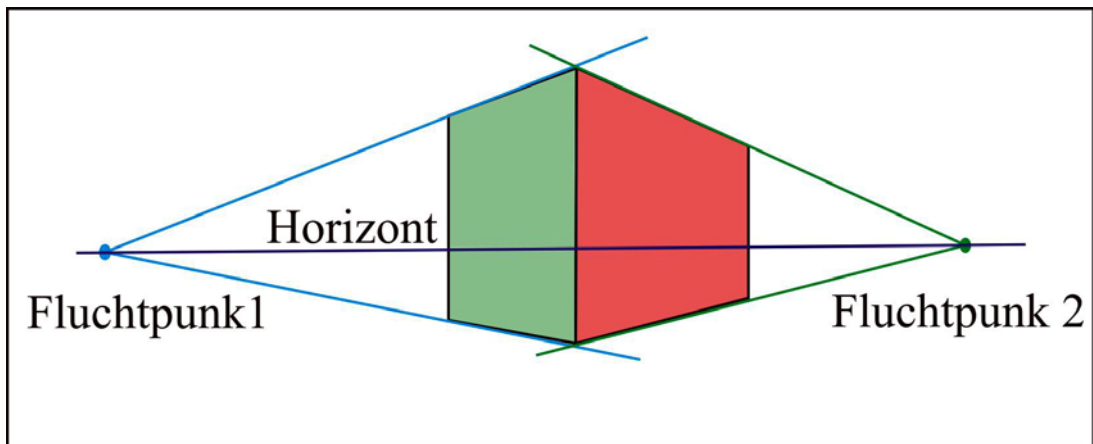
Der Abstand zwischen jeweils gleich weit entfernten Objekten wird im Bild mit zunehmender Entfernung immer kleiner.

Dabei besteht eine gewisse Ähnlichkeit zum Horizont:

Er muss auf Bildern immer exakt waagrecht und geradlinig sein.

Das gilt auch unabhängig davon, wie hoch sich z. B. vorne im Bild die Meereswellen auftürmen.





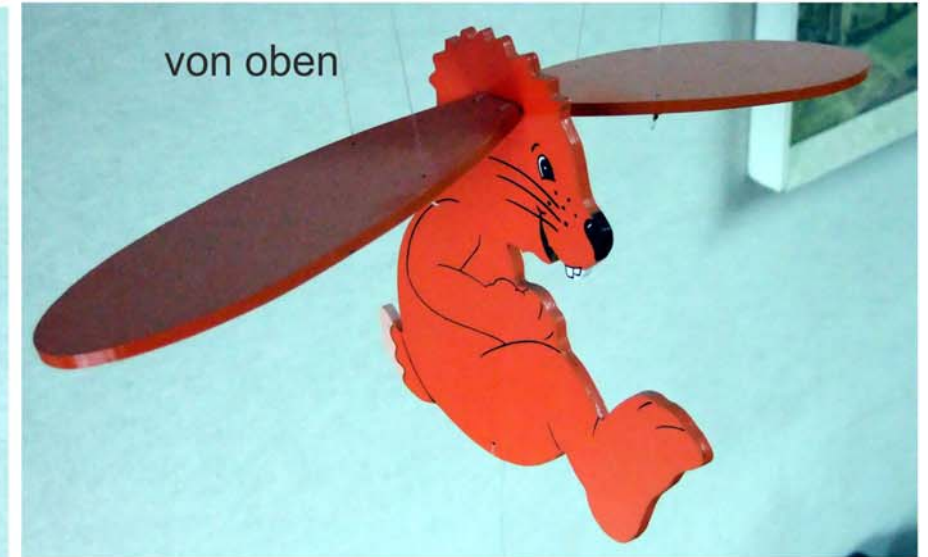
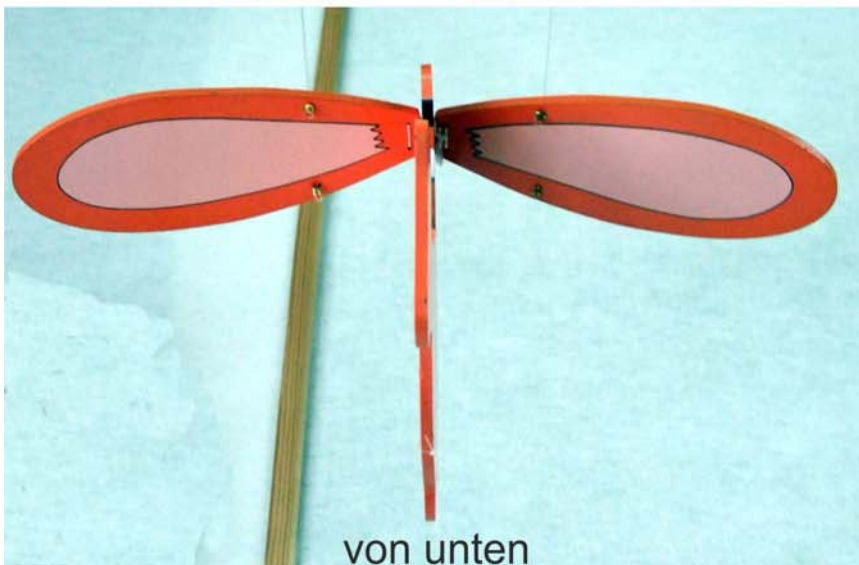
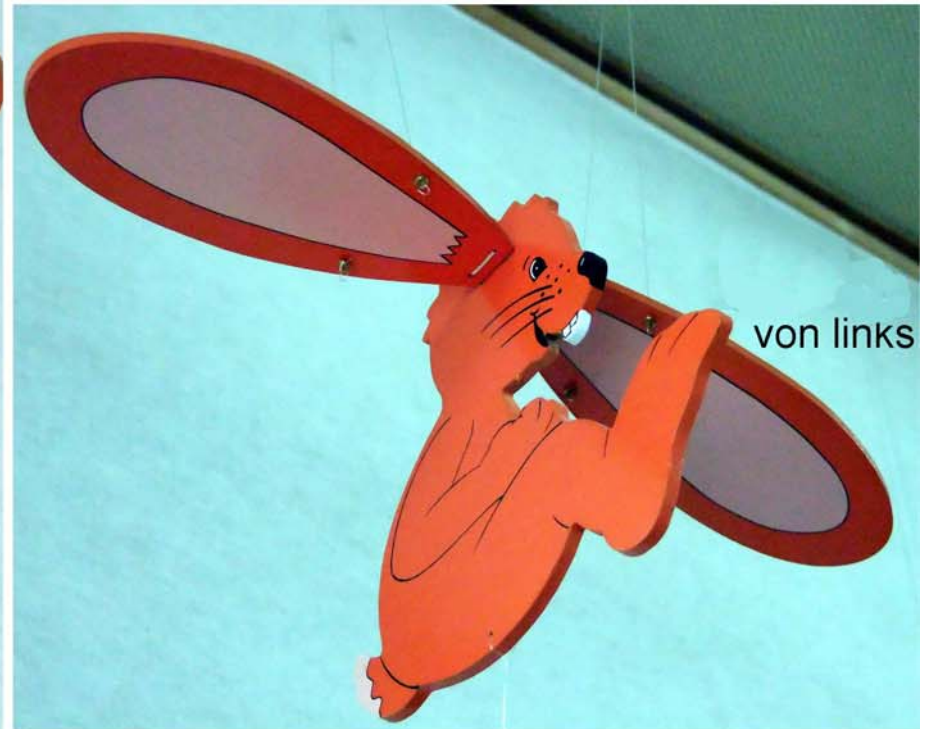
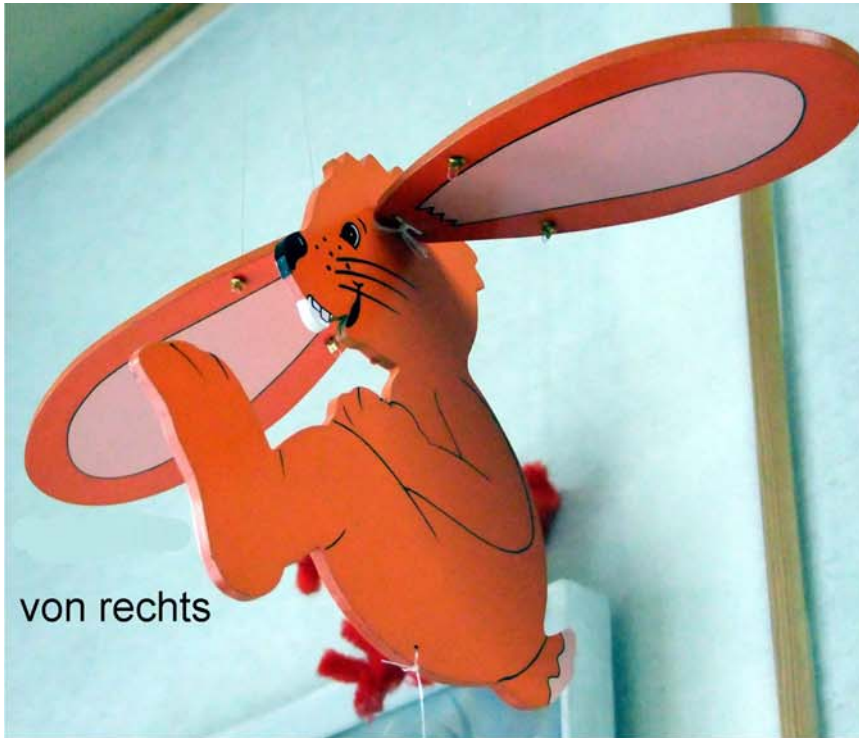
Perspektive und Bildausschnitt

Die Perspektive wird immer durch den Standpunkt (des Fotoapparates) bestimmt. Mit der Brennweite (Zoom) wird nicht die Perspektive verändert, sondern nur der Bildausschnitt. Das demonstriert das nebenstehende Foto



Bei gleich bleibender Brennweite und Entfernung wird der **Standpunkt geändert**.

Es entstehen **unterschiedliche Ansichten** ≈



Brennweite und Abstand werden so geändert, dass der gewünschte Ausschnitt möglichst gleich bleibt.



Teleobjektiv



Normal

Besonders auffällig ist, dass sich dabei der aufgenommene Hintergrund stark ändert. Er rückt immer weiter zurück und immer mehr wird sichtbar.

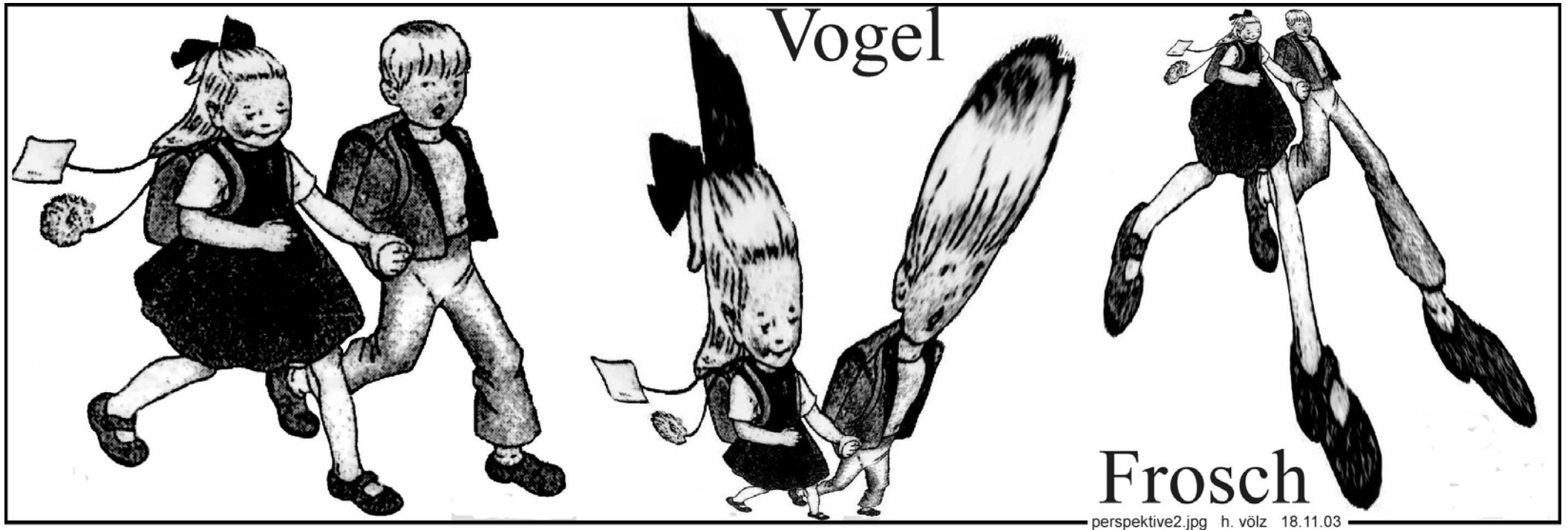
Bilder aus unterschiedlicher Entfernung bei etwa gleichem Bildausschnitt



Superweitwinkel

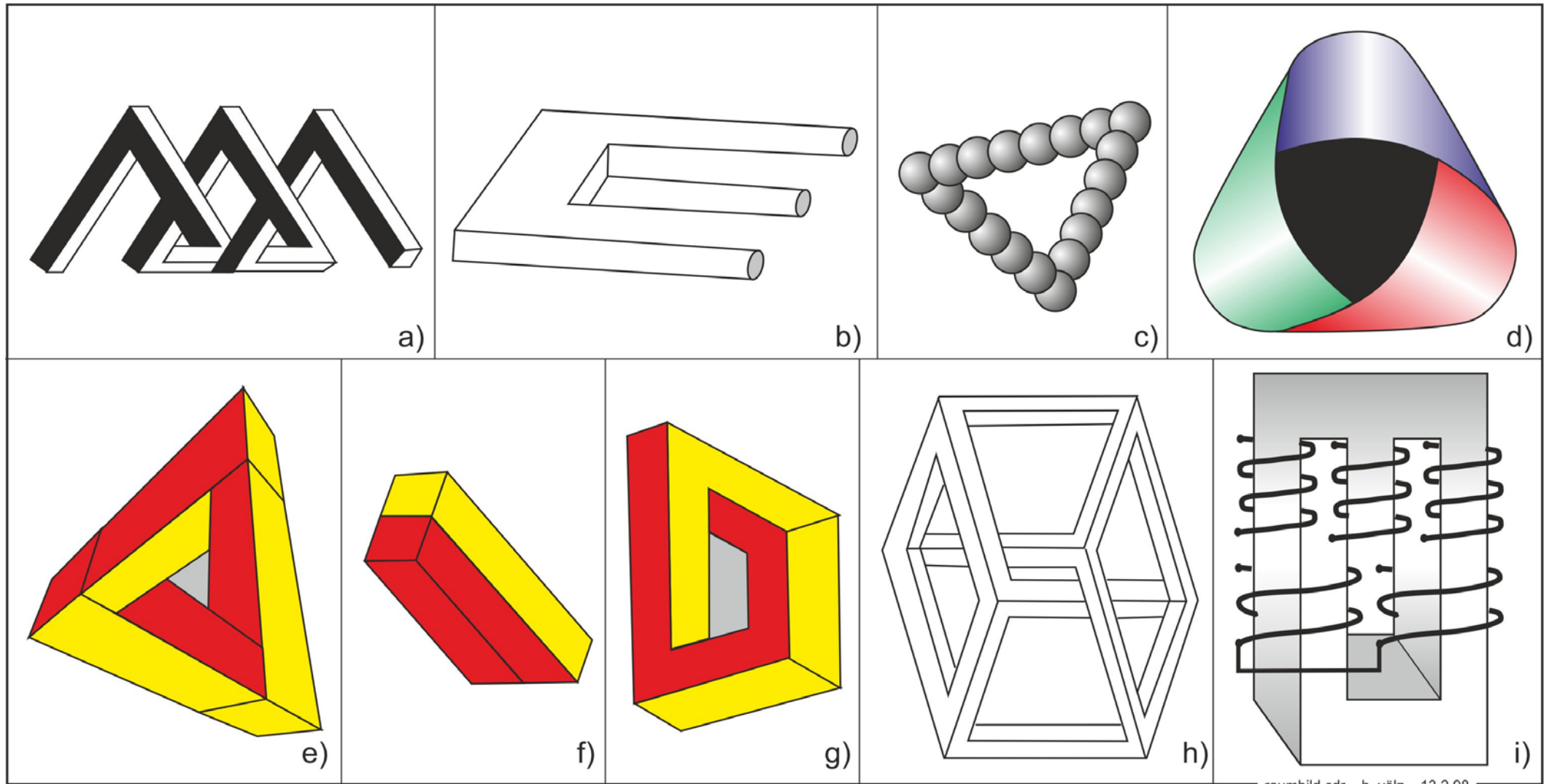
Es ändert sich der Tiefeneindruck

Übertreibung der Perspektive mit Computergrafik

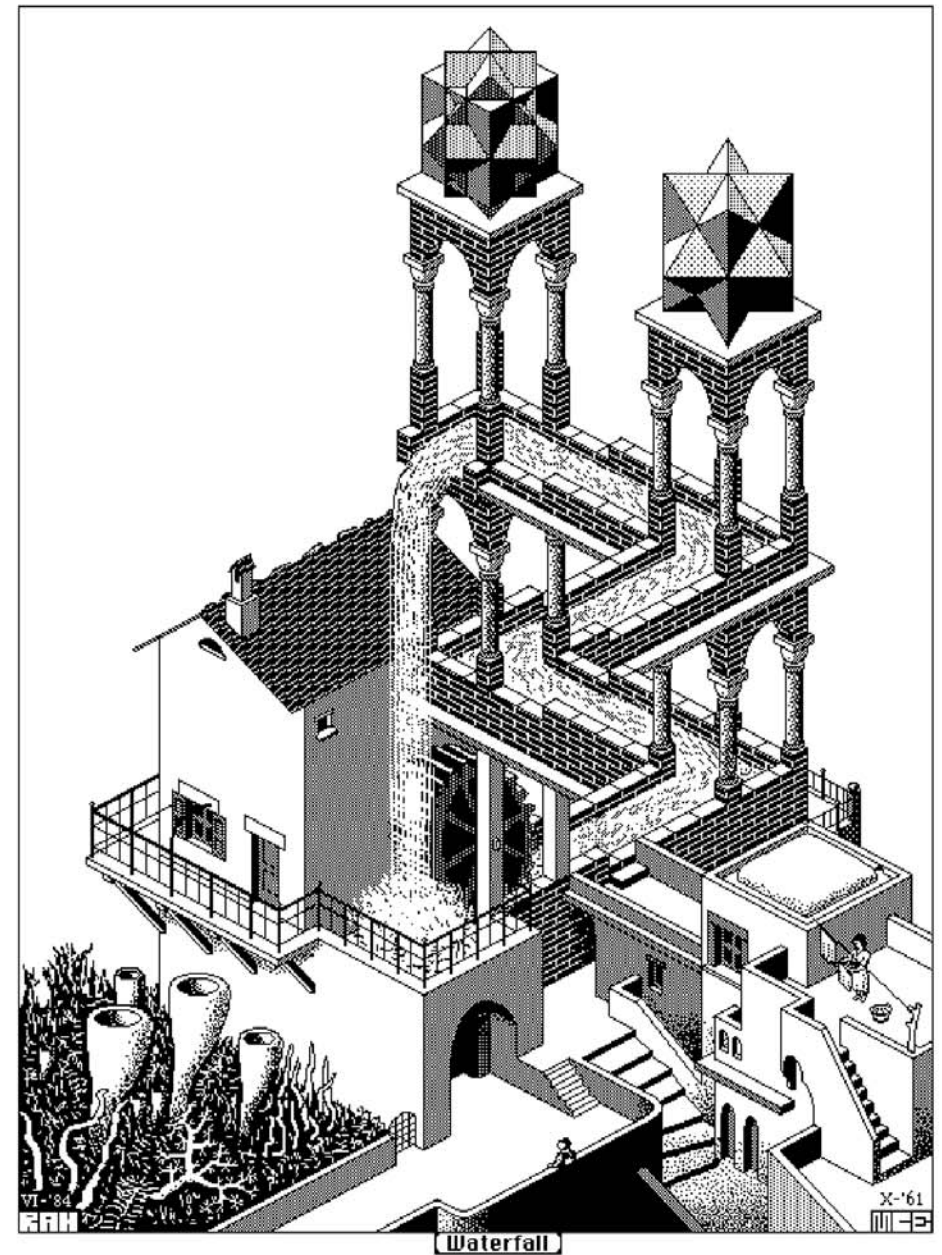
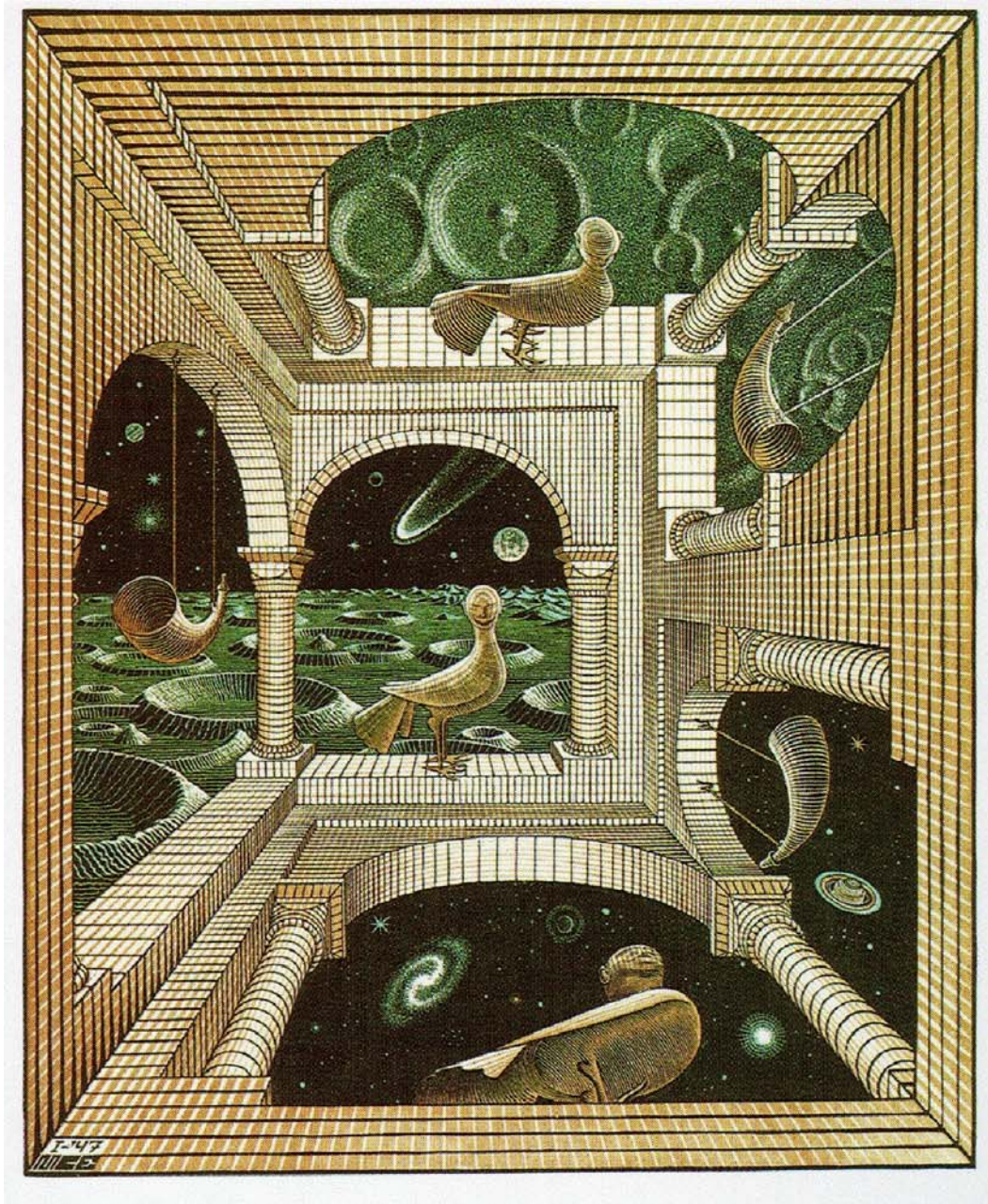


Fehl-Interpretationen

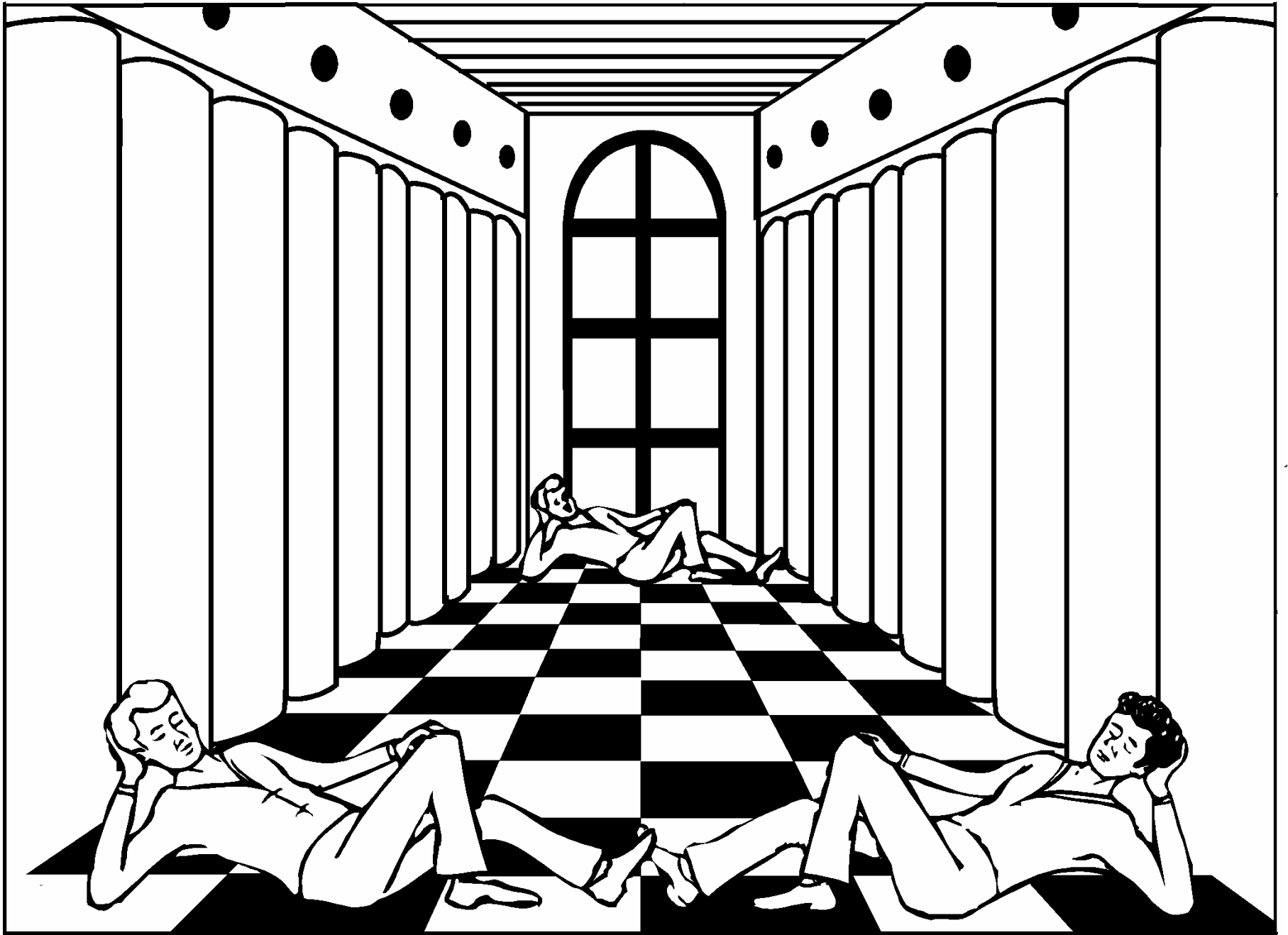
Durch die heutige Bilderfülle sind wir gewohnt, fast alle flächigen Bilder räumlich wahrzunehmen. Dabei können sich Fehlinterpretationen mit nicht auflösbaren Widersprüchen ergeben. Neben vielen recht einfachen Strukturen sind die Bilder von MAURITS CORNELIS ESCHER (1898 - 1972) gut bekannt. Es gibt aber viele weitere Maler, die sich hierin Versucht haben. Umfassender ist der Begriff optische Illusion. Hierzu gibt es dann umfangreiche Bücher [8]. Es ist erstaunlich, dass auch einige Fraktale uns Räumlichkeit vortäuschen. Durch das gewohnte perspektivische Sehen werden zuweilen auch falsche Größenverhältnisse wahrgenommen.



raumbild.cdr h. vözl 13.2.98



Die Größe der
Personen ist
eine Täuschung
durch die
Perspektive.



Auch
Ausschnitte
aus Fraktalen
können
Räumliches
vortäuschen.



Was wir sehen

Damit wir Objekte und Strukturen sehen können, müssen sie sich von der Umgebung abheben. Sie können dafür **selbst leuchten**. Das tritt bei Bildschirmen auf.

Weitaus wichtiger ist es jedoch, dass die Objekte Licht absorbieren, und sich dadurch von der Umgebung abheben. Die Objekte sind dann aber nur *bei Tages- oder Kunst-Licht sichtbar*.

Trügerisch ist dabei, dass die Objekte eine **(Körper-) Farbe** zu besitzen scheinen.

Doch diese Farben sind zumindest teilweise abhängig von den **Eigenschaften des sie bestrahlenden Lichtes**.

Jedoch wird dieser Einfluss infolge des physiologischen Gesetzes der **Konstanz unserer Farbempfindungen** auf recht hoher Nervenstufe weitgehend ausgeglichen.

Deutlich tritt er nur bei **extremer Beleuchtung** z.B. mit **Natriumdampflampen** auf.

Sonst leuchtendes Rot erscheint dann z. B. nur als dunkles Braun.

Der Einfachheit halber wird im Folgenden immer „normales“ Tageslicht angenommen.

Häufig entsteht die Farbe eines Objektes durch Auftragen eines „Farbstoffes“.

Allgemein sind zwei unterschiedliche, doch stets zugleich auftretende Einflüsse besonders wichtig (s. Bild):

1. **Selektive Veränderung** der Helligkeit bei einzelnen Wellenlängen und
2. **Beeinflussung der Richtung** der Lichtstrahlen, bei der Reflektion und beim Lichtdurchtritt.

Lamertscher Rückstrahlung (JOHANN HEINRICH LAMBERT; 1728 - 1777).

Z. T. Rückstrahlung mit der bevorzugten Richtung überlagert.

Schließlich gibt es Materialien, die Licht bevorzugt in die Einfallrichtung zurückwerfen.

Typisch hierfür sind die „Rückstrahler“ an Fahrzeugen bzw. die Katzenaugen.

Auch der „Rote-Augen-Effekt“ bei Blitzlicht-Fotographien geht hierauf zurück.

Was wir sehen können

Selbstleuchtend

Lichtbeeinflussung

total, einheitlich

Helligkeit

selektiv

Farbe
(Körperfarbe)

umwandelnd

Farbänderung
(Signierstifte)

reflektierend

Spiegel,
Leinwand

absorbierend

Pigmente,
Oberflächen

durchlassend

Mattglas,
Flüssigkeit

zerstreuend

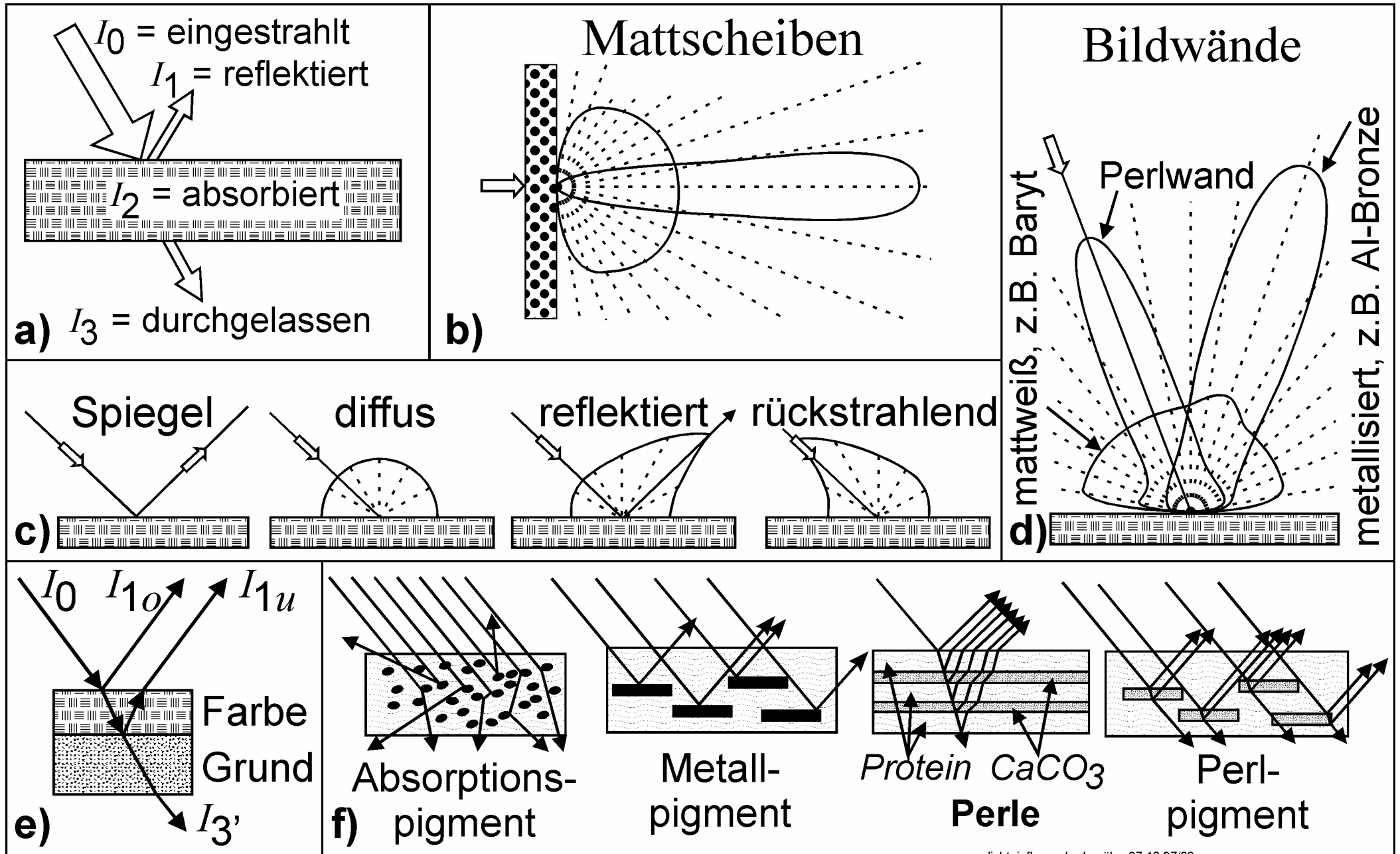
raue
Oberflächen

interferierend

Hologramm,
Perlen

Spektral-
Bereich

Strahl-
Richtung

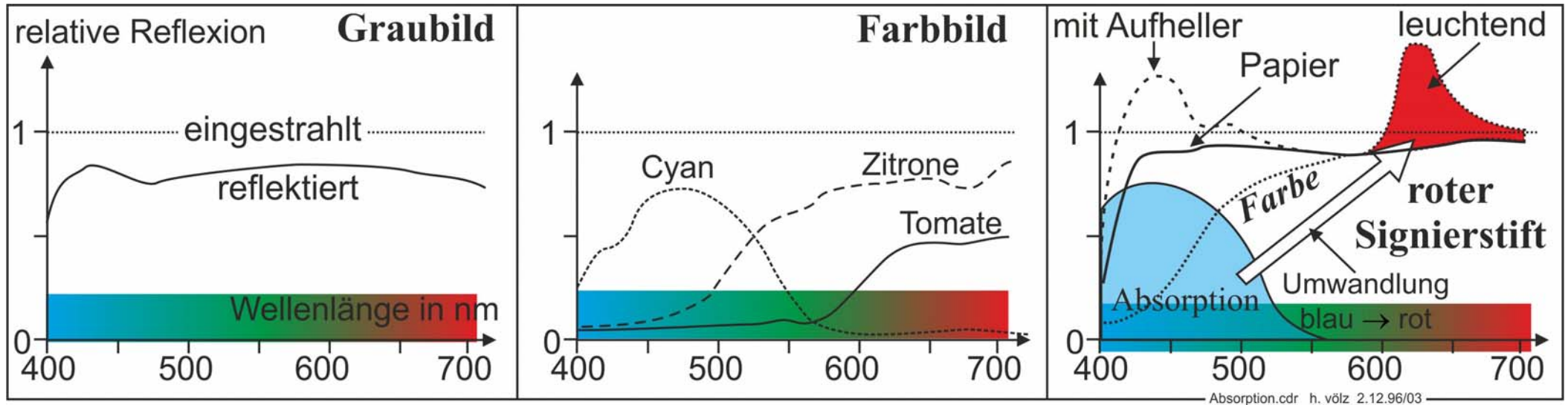


lichteinfluss.cdr h. völz 27.10.97/03

Farb-Änderungen

Bezüglich der Wellenlänge des Lichts sind drei Varianten zu unterscheiden (**Bild 4**). Beim „**Graubild**“ werden alle Farben des Lichtspektrums nahezu gleichstark absorbiert. Je nach der Stärke der Absorption erscheint die veränderte Struktur in allen möglichen Grauwerten zwischen schwarz (vollständige Absorption) und weiß (keine Absorption). Bei unterschiedlicher Absorption der verschiedenen Licht-Frequenzen (Wellenlängen) treten **Farben** auf. Im mittleren Teil von Bild 4 sind typische Kurvenverläufe für Rot (Tomate), Gelb (Zitrone) und Cyan gezeigt. Je intensiver die Rückstrahlung im jeweiligen Maximum ist, desto „leuchtender“ sind die Farben.

Der dritte Fall mit Lichtumwandlung ist komplizierter. Der aufgebrachte Farbstoff absorbiert hier Licht kurzer Wellenlängen, um es danach umgewandelt zu größeren Wellenlängen wieder „leuchtend“ abzustrahlen. Dieses Prinzip nutzen u.a. die bekannten Signierstifte. Im Bild ist der typische Verlauf für einen roten Signierstift dargestellt. Insgesamt ergibt sich dabei die punktierte Strahlungskurve (Farbe). Durch Umwandlung des Lichts wird bei Wellenlängen über etwa 600 nm mehr Licht abgestrahlt als hier eingestrahlt wurde. Deshalb erscheinen diese Farben fast selbstleuchtend. Dieser Effekt wird auch bei den „aufgehellten“ Papieren genutzt. Um hier jedoch die Überhöhung im blauen Bereich bei etwa 450 nm zu erreichen, muss ein gewisser Anteil ultraviolettes Licht, das wir ja nicht sehen können, vorhanden sein. Von jedem Material wird Licht sowohl teilweise reflektiert, absorbiert als auch hindurch gelassen. Dabei treten vielfältige



Optische Grundlagen

Zur Beschreibung optischer Vorgänge existieren drei Modelle mit Vor- und Nachteilen:

- **Strahlenoptik:** Licht breitet sich geradlinig aus, wird an Grenzflächen von Materialien gebrochen. Ist besonders für **Linsen, Prismen, Objektive** (Optiken) usw. geeignet.
- **Wellenoptik:** Licht wird als elektromagnetische Welle behandelt (Lichtgeschwindigkeit). Besonders übersichtlich für **Interferenzen**. Grundprinzip von CHRISTIAAN HUYGENS (1629 - 1695): Von jedem Punkt, den das elektromagnetische Feld erreicht, geht eine **Kugelwelle** aus. Aus der Vielzahl von Kugelwellen bildet sich die **fortschreitende Wellenfront**.
- **Quantentheorie:** Licht besteht aus Teilchen, den Photonen, Energie E , Frequenz ν (Lichtfarbe) und PLANCKsche Konstante h .
 $E = h \cdot \nu$ bestimmt ist. Wichtig für **chemischen Fotoprozessen**.

Die ersten beiden Modelle ermöglichen es, die **Leistungsfähigkeit** und Grenzen der **Lochkamera** zu bestimmen.

Für die **Strahlenoptik** gilt **Bild a**. Je nach dem Radius r des Loches erzeugt eine punktförmige Lichtquelle auf der gegenüberstehenden Wand einen mehr oder weniger großen und hellen Lichtfleck.

Durchmesser des Lichtflecks ist proportional zu r , hindurchgelangende Lichtmenge der Fläche $2 \cdot \pi \cdot r^2$.

Die Flächenhelligkeit (Beleuchtung) auf der Wand hängt außerdem noch vom Abstand f der Wand zum Loch ab.

Bei der Abbildung durch das Loch geht jeder Bildpunkt der Außenwelt in einen dem Loch entsprechenden Kreis der Abbildung über.

Daher muss mit wachsender Lochgröße die Schärfe der Abbildung auf der Wand abnehmen.

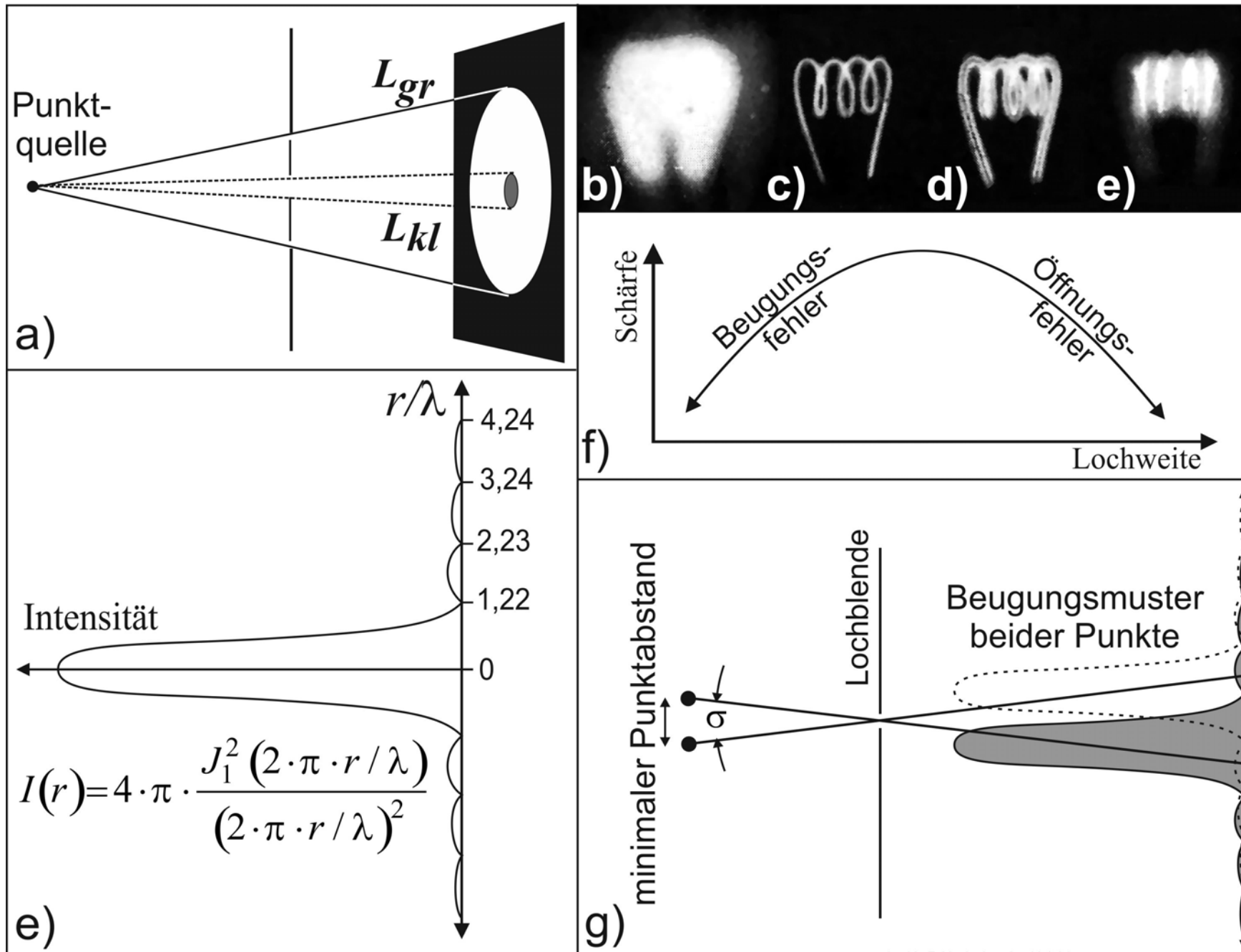


Abbildung mit Linsen und Optiken

Gemäß **Bild 3b** sind **Linsen** durch **vier Parameter** gekennzeichnet.

1. Es wird ein Material verwendet, das den **Brechungsindex** n besitzt.
2. Dann gibt es **zwei Krümmungsradien** r_1 und r_2 , die unterschiedlich sein können.
Einer kann auch zur Ebene entarten, z. B. $r_2 \rightarrow \infty$. Dann liegt eine einseitig plane Linse vor.
Die Radien bedeuten, dass Kugelsphären vorhanden sind.
Technologischen Vorteil, mit ungenauen Maschinen sehr präzise herzustellen.

3. Der vierte Parameter ist die **Scheiteldicke** d .

4. Das wichtigste Kennzeichen einer Linse ist ihre **Brennweite** f .

In dieser Entfernung bündelt sie parallel einfallendes Licht in einem Punkt, dem Brennpunkt.

Aus den vier Parametern berechnet sich die Brennweite zu

$$f = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{n \cdot r_1 \cdot r_2}{(n-1) \cdot d + n \cdot (r_2 - r_1)}.$$

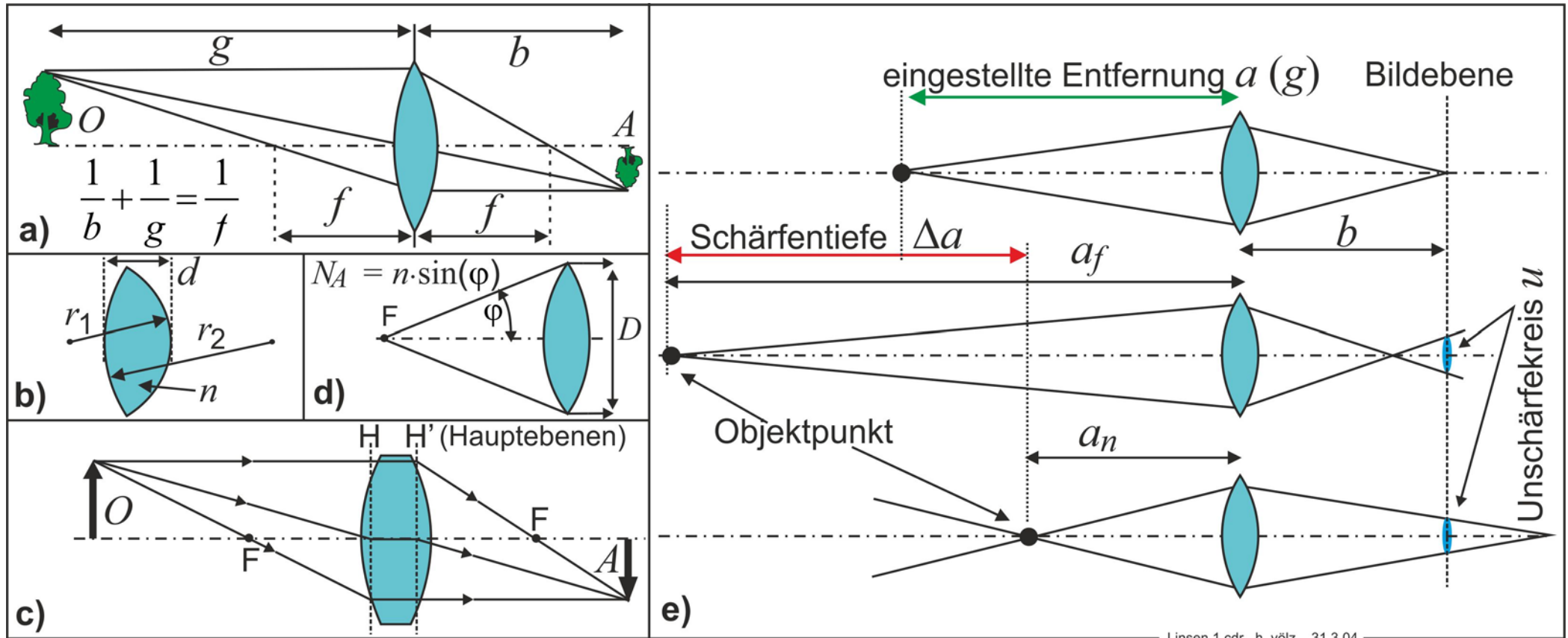
Bei einer **dünnen Linse** gilt $d \ll |r_2 - r_1|$. Daher ist im Nenner $(n-1) \cdot d$ vernachlässigbar und es folgt

$$f = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{r_1 \cdot r_2}{(r_2 - r_1)}.$$

Für eine dünne und einseitig plane Linse ($r_2 \rightarrow \infty$; $r_1 = r$) gilt noch einfacher:

$$f = \frac{r}{n-1}.$$

Bei einem Brechungsindex $n = 1,5$ gilt dann $f = 2 \cdot r$.



Für die Abbildung gilt zwischen Gegenstandsweite g und Bildweite b die dortige Formel.

Der Lochgröße bei der Lochkamera entspricht formal der **Linsendurchmesser** D (Bild 3d).

Mit dem **Öffnungswinkel** φ und **Brechungsindex** n ergibt sich **Numerische Apertur** zu $N_A = n \cdot \sin(\varphi)$; (lateinisch **aperire** öffnen, **apertura** Öffnung).

Dies **relative Öffnung** ist das Verhältnis $\ddot{O} = D / f$ bezeichnet.

In der Fotografie kann sie mittels einer Irisblende eingeschränkt werden ($\ddot{O}_B \leq \ddot{O}$; $D_B \leq D$).

Die sich dann ergebende Öffnung heißt **Blende** B (z.B. 1:2 bis 1:32), reziprok $k > 1$ **Blendenwert** $k = 1 / B = D_B / f$.

Optik Fortsetzung

Bei dickeren Linsen müssen zusätzlich zwei **Hauptebenen** „H“ eingeführt werden (Bild c).

Zwischen ihnen bewegt sich der angenommene Lichtstrahl horizontal.

gegenüber der Lochblende bildet eine Linse nur einen Entfernungsbereich = **Schärfentiefe** (Tiefenschärfe) scharf ab.

Eingestellte Entfernung a (= Gegenstandsweite g), Blende B , maximal zugelassene Unschärfekreis u

Es ergibt sich der Schärfentiefebereich zu $\Delta a = a_f - a_n$. Für die entsprechenden Zusammenhänge gilt

$$a_{n,f} = \frac{a \cdot f^2}{f^2 \pm u \cdot k \cdot (a + f)}.$$

Vielfach ist für einen Bereich der Schärfentiefe die einzustellende Entfernung a und der Blendenwert k gefragt:

$$a = 2 \cdot \frac{a_f + a_n}{a_f \cdot a_n} \quad \text{und} \quad k = f^2 \cdot \frac{a_f - a_n}{(a_f + a_n) \cdot (a + f) \cdot u}.$$

Bei vielen Aufnahmesituationen (nicht in der Makro-Fotographie) gilt $a \gg f$, vereinfachen sich die obigen Formeln etwas. Weil immer $a_f - a > a - a_n$ gilt, liegt die eingestellte Entfernung a nicht in der Mitte des Schärfereiches.

Daher ist es aber möglich, einen „Fixfokus“ zu wählen, bei dem $a_f = \infty$ ist. Für die dann einzustellende Entfernung a und die zulässige Nah-Entfernung a_n gelten

$$a = f \cdot \left(\frac{f}{u \cdot k} + 1 \right) \quad \text{und} \quad a_n = \frac{a}{k}.$$

Die Größe des zulässigen Unschärfekreises hängt vom Bildformat, Film und bei digitalen Kameras von der Pixelgröße des CCD- bzw. CMOS-Sensors ab. Übliche Werte liegen zwischen 100 und 10 μm . Beim Kleinbildformat werden meist 33 μm gewählt.

Fehler Und Korrektur

Geometrie: Es gibt keine ideale Linse. Gegenüber der Lochkamera (s.o.) besitzen Linsen sogar zusätzliche Fehler. Die erhebliche Steigerung der Lichtstärke durch das „Sammeln“ des Lichtes gemäß ihrer Öffnung bringt große Vorteile. An Fehlern werden unterschieden: strahlenoptischen **Geometrie**- und wellenlängenabhängigen **Farbfehler** (chromatisch). Beide werden durch das Zusammenfügen mehrerer Linsen zu einer Optik vermindert

Die Interferenzfehler der Lochlinse gelten nahezu unverändert zusätzlich weiter

ES müssen weiter unterschieden werden: enges $\leftrightarrow$ weites Lichtbündel sowie zentrales $\leftrightarrow$ seitliches Abbilden.

So ergeben sich **Öffnungsfehler** bzw. Zonenfehler oder **sphärische Aberration** (lateinisch *errare* irren)

Es gibt daher stets eine **optimale Blende** mit kleinstmöglicher Unschärfe. Sie liegt meist bei $k = 3$ bis 5.

Ferner tritt auf **Astigmatismus** bzw. Bildfeldwölbung (griechisch *stigma* Stich, Öffnung; *astigma* nicht punktförmig).

Seine Auswirkungen besonders sichtbar, wenn ein quadratisches Raster abgebildet werden soll.

Es liegt eine **Verzeichnung** vor. Sie kann tonnenförmig oder kissenförmig sein (Bild 4c).

Für das Verschwinden des Astigmatismus bestimmte 1843 JOSEPH MAX PETZVAL (1807 - 1891) die Petzval-Summe.

Farben. Der Brechungsindex bei Linsen (nicht Spiegeloptiken) ist Wellenlängenabhängig $n(\lambda)$.

Dieser Effekt heißt **Dispersion**.

Für kürzere Wellenlängen (blaues Licht) existiert immer ein höherer Brechungsindex $n_{\text{blau}} > n_{\text{rot}}$.

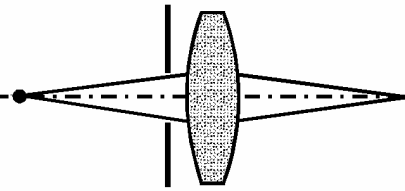
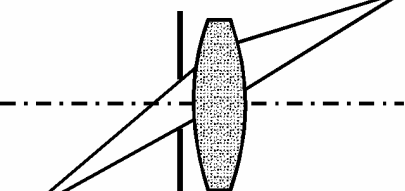
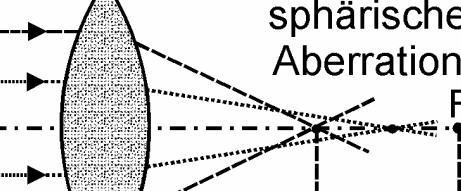
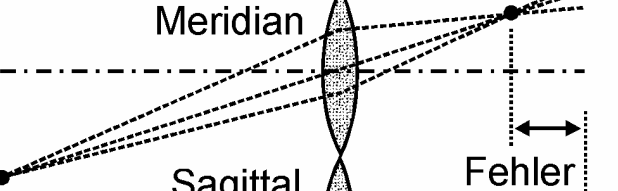
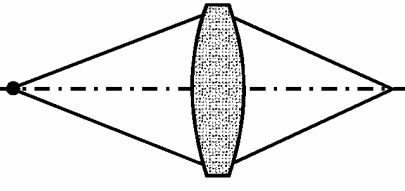
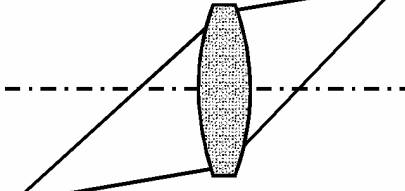
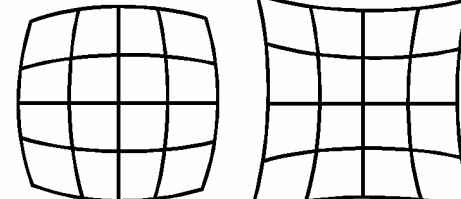
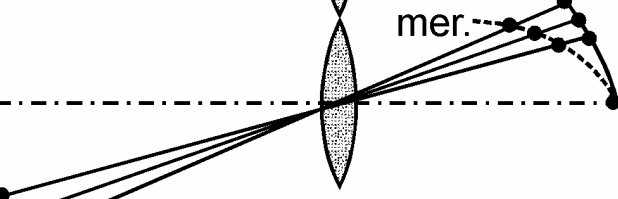
Blaue Punkte werden daher näher an der Linse fokussiert werden, als grüne oder gar rote.

Diese, bei einer einzelnen Linse unvermeidliche Störung, heißt **chromatische Aberration** oder **Farbfehler**.

Der Farbfehler durch Kombination mehrerer Linsen aus verschiedenem Glas verringert werden.

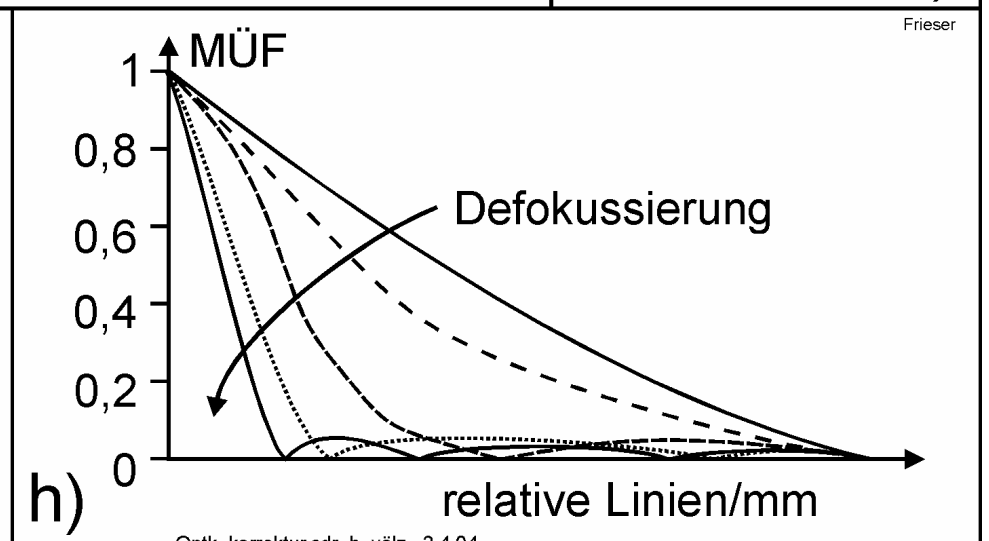
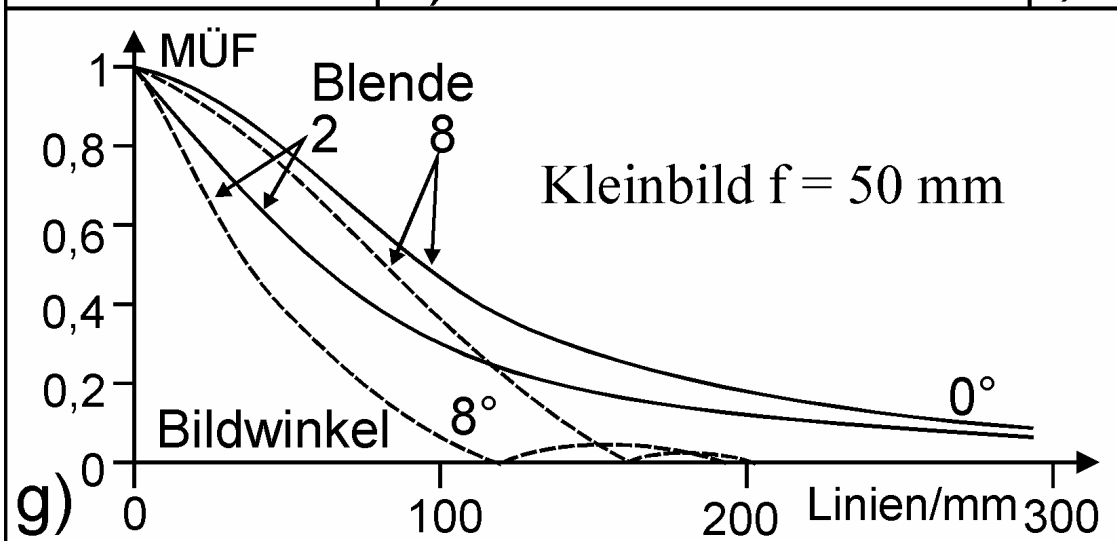
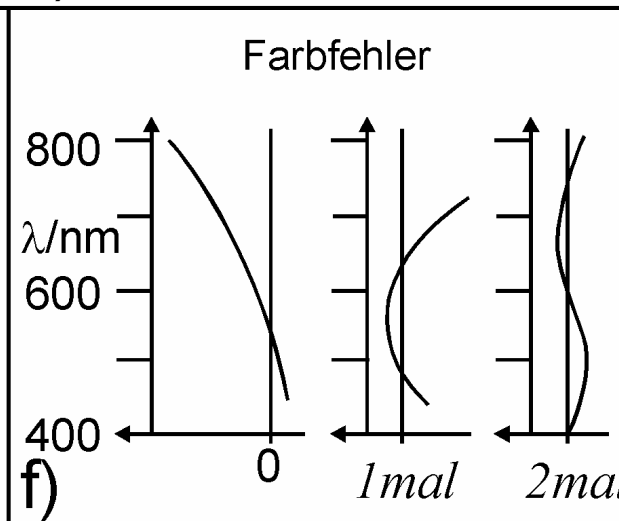
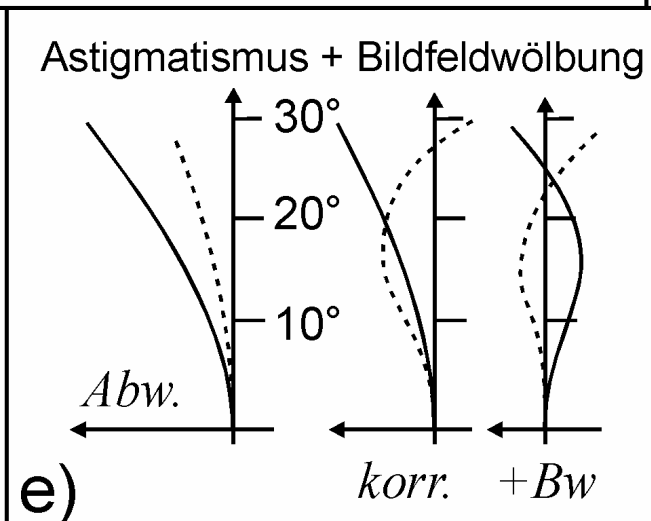
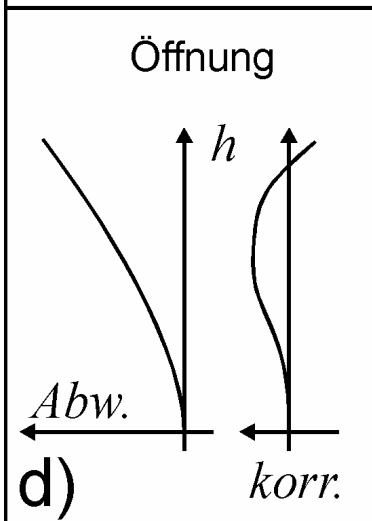
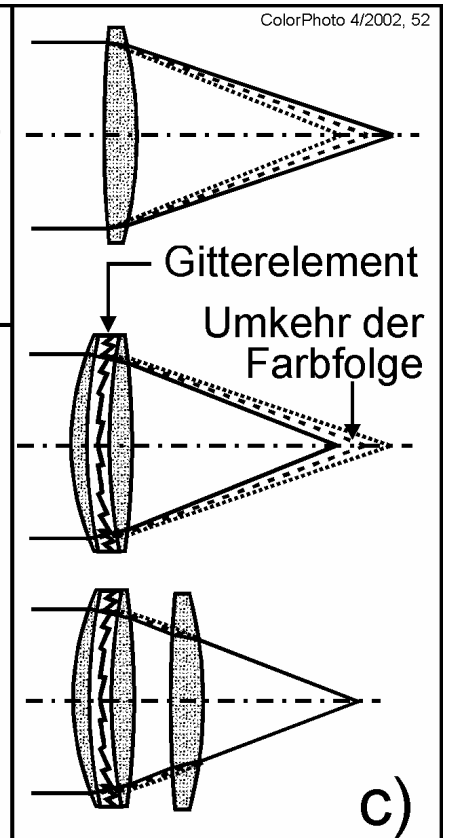
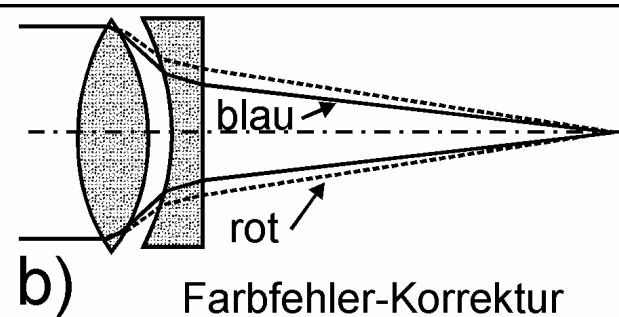
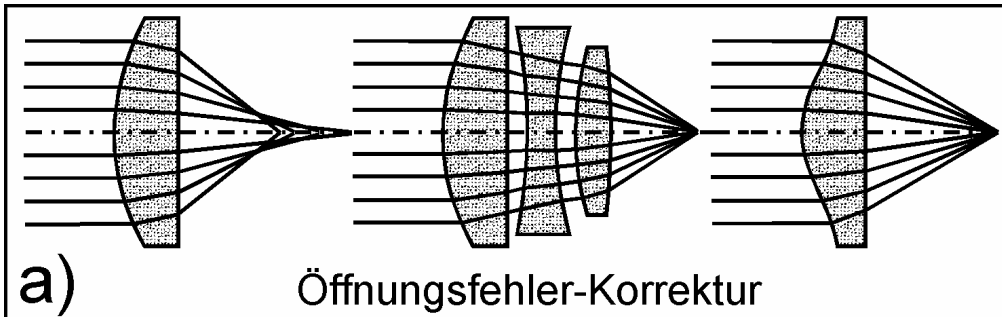
Das erfordert sehr komplizierte Berechnungen komplizierter Linsensysteme.

Die wichtigsten Fehler

enges Bündel	 weitgehend fehlerfrei	 Astigmatismus	 sphärische Aberration F Öffnungsfehler	 Meridian Sagittal Fehler sag. mer.
weites Bündel	 Öffnungsfehler	 Koma		
a)	Objekt auf Achse	Objekt seitlich Achse	c)  Tonne Kissen	d)  Astigmatismus

Abbild_Linsen.cdr h. völz 29.3.04

Es folgen die Korrekturen



Antireflex-Schichten

Geht Licht von einem Medium mit dem Brechungsindex n_0 in ein Medium mit n_1 über, so wird der Anteil R reflektiert:

$$R = \left(\frac{n_1 - n_0}{n_1 + n_0} \right)^2 ; \text{ gegen Luft mit } n_0 = 1 \rightarrow R_L = \left(\frac{n_1 - 1}{1 + n_1} \right)^2$$

Für typisches Glas mit $n_1 = 1,52$ und Luft werden daher reichlich 4 % reflektiert.

Dieses Licht kann nicht genutzt werden, es mindert den Kontrast und kann auch zu Geisterbildern führen.

Der Reflexionsgrad kann jedoch durch dünne Schichten deutlich verringert werden (1935 von A. SMAKULA gefunden).

Es wird dann von **Vergütung**, Entspiegelung, Antireflexbeschichtung, AR-Beschichtung oder **T-Belag** gesprochen.

Dazu muss in der Schicht ein Gangunterschied G auftreten:

$$G = (2 \cdot m + 1) \cdot \lambda_0 / 2 \text{ mit } m = 0, 1, 2, \dots$$

Dann interferiert bei λ_0 die zurückkehrende Welle mit der ankommenden, die Reflexion wird weitgehend unterdrückt.

Für die dünne Schicht (Index s) muss dazu gelten

$$n_s = \sqrt[2]{n_0 \cdot n_{Gl}} \text{ und } n_s \cdot d_s = \lambda_0 / 4.$$

Dabei beziehen sich n_0 auf eine darüber liegende Schicht bzw. Luft und n_{Gl} auf die darunter liegende, meist Glas.

Für Glas sind aufgedampfte Schichten aus Magnesiumfluorid (MgF_2) mit $n_s = 1,38$ optisch und technologisch vorteilhaft.

Eine weitere Substanz ist LiCl (Lithiumchlorid). Restreflexion 1,2 % bis 0,3 %.

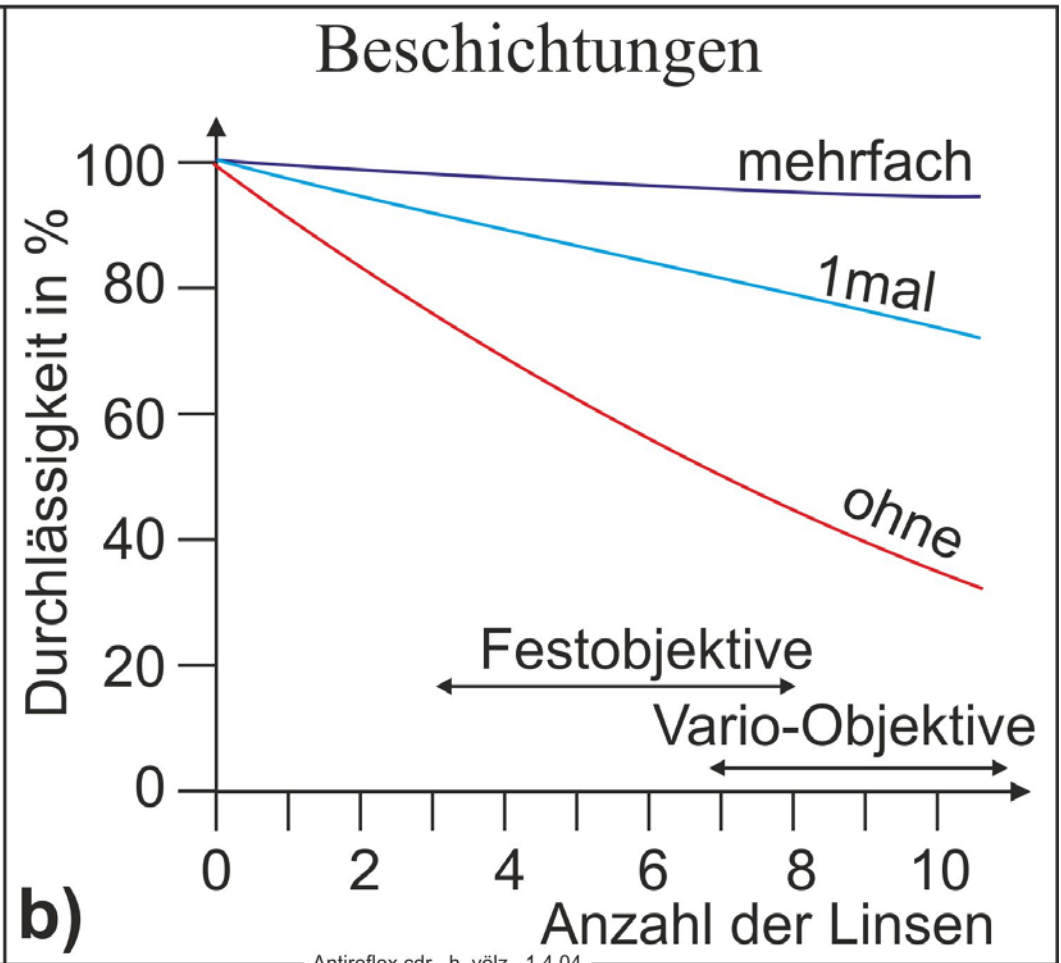
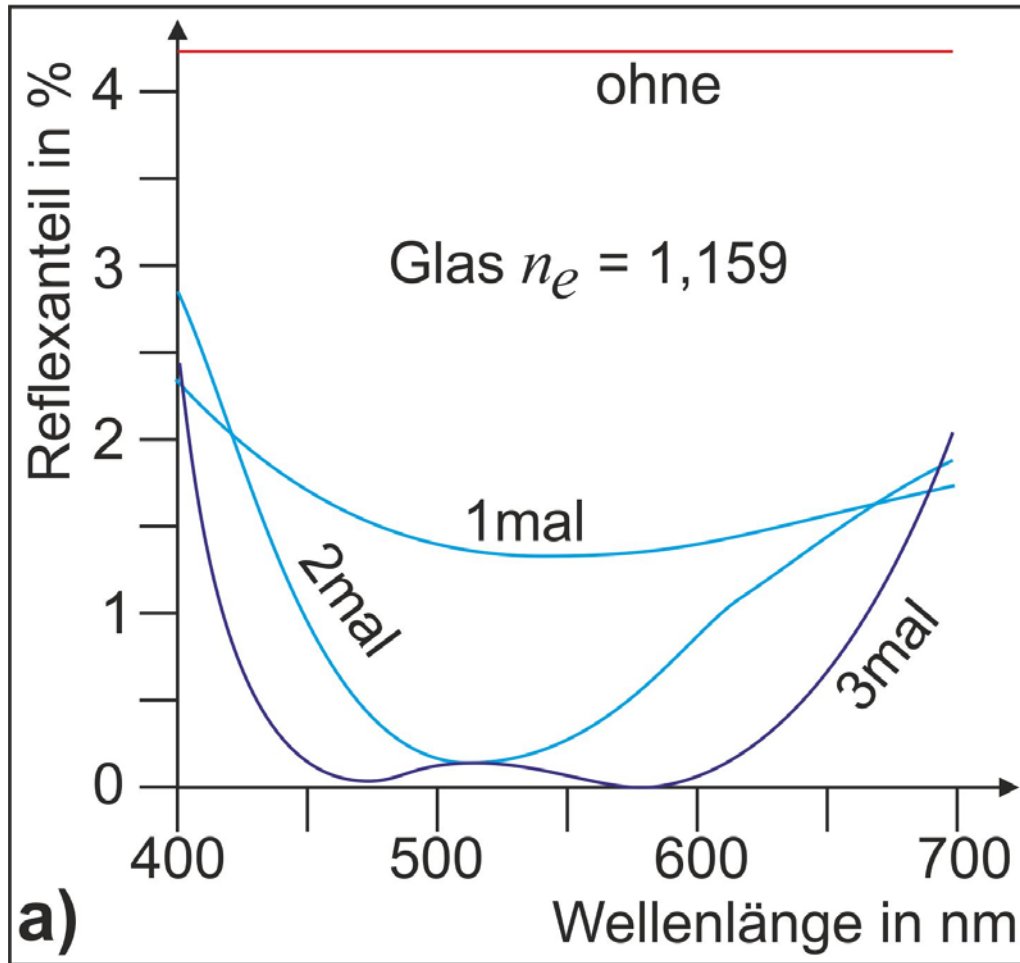
Gilt nur für einen relativ engen Wellenlängenbereich und führt daher zu dem typischen Verlauf a (1fach).

Mehrere unterschiedliche Schichten (typisch 2 bis 8) können weitere Verbesserungen bewirken.

= **MC-Belag** (ab 1972; *englisch multi-coating* Mehrfachbeschichtung)

Noch bessere Vergütung durch inhomogene Brechzahl, z.B. die Oberfläche aufgeraut, geätzt oder mikrostrukturiert

Besonders wichtig ist die Beschichtung bei optischen Systemen mit mehreren Linsen.



Antireflex.cdr h. vözl 1.4.04

Dünne Schichten

können noch weitere Wirkungen hervorrufen, z. B. das Lichtspektrum oder die Polarisation beeinflussen.

Auch Verstärkung der Reflexion, z. B. bei Spiegeln ist vorteilhaft.

Neuerdings sind auch Schmutzabweisende Schichten verfügbar.

Das Aufbringen der Schichten kann nach vielen Methoden erfolgen.

Physikalische Gasphasen-Abscheidung (**PVD**; *englisch* **p**hysical **v**apour **d**eposition):

Feste Substanz wird in die Gasphase überführt, aus der sie dann auf dem Substrat kondensiert.

Dieses Bedampfen im Hochvakuum erfolgt durch Erhitzen mittels Strom, Elektronenstrahlen oder von Ionen (Sputtern).

Chemischen Gasphasen-Abscheidung (**CVD**; *englisch* **c**hemical **v**apour **d**eposition) mit gasförmigen Reaktionspartnern

Die Energie stammt dabei von einer Thermolyse, Fotolyse mit Lasern, Polymerisation, bzw. von einem Plasma (**PECVD**; *englisch* **p**lasma-**e**nhanced CVD), das durch Hochfrequenz oder Mikrowellen erzeugt wird.

Schließlich gibt es noch *nasschemische* Schichtabscheidungen: in geeignete Lösungen getaucht oder mit ihnen besprüht

Die Homogenität und richtige Schichtdicke wird anschließend durch Schleudern erzwungen.

Geschichte und ausgewählte Objektive

Ein Zusammenfügen von Linsen zu Objektiven erfolgte ab etwa 1500.

1538 zeigt der Arzt GIROLAMO FRACASTORO (1483 oder 1478 - 1553), dass mit zwei Linsen erhebliche Vergrößerungen zu erreichen sind.

1590 erfinden JOHANNES und ZACHARIAS JANSSEN das Mikroskop.

1608 hat HANS LIPPERSHEY der deutschen Regierung ein Fernrohr vorgestellt.

Für die Astronomie erfolgte 1609 durch GALILEO GALILEI (1564 - 1642) die erste Anwendung des Teleskops.

Bei all diesen Anwendungen ist jedoch nur der subjektive Eindruck der Abbildung entscheidend.

Farbfehler treten nur als farbige Ränder, Öffnungsfehler und Astigmatismus nur als lokale Unschärfe auf.

Mit dem Auge waren Verzeichnungen kaum zu bemerken, bleiben subjektiv unbemerkt

Deshalb erfolgte die Entwicklung leistungsfähiger, fehlerkorrigierter Objektive erst nach der Einführung der Fotografie um 1820

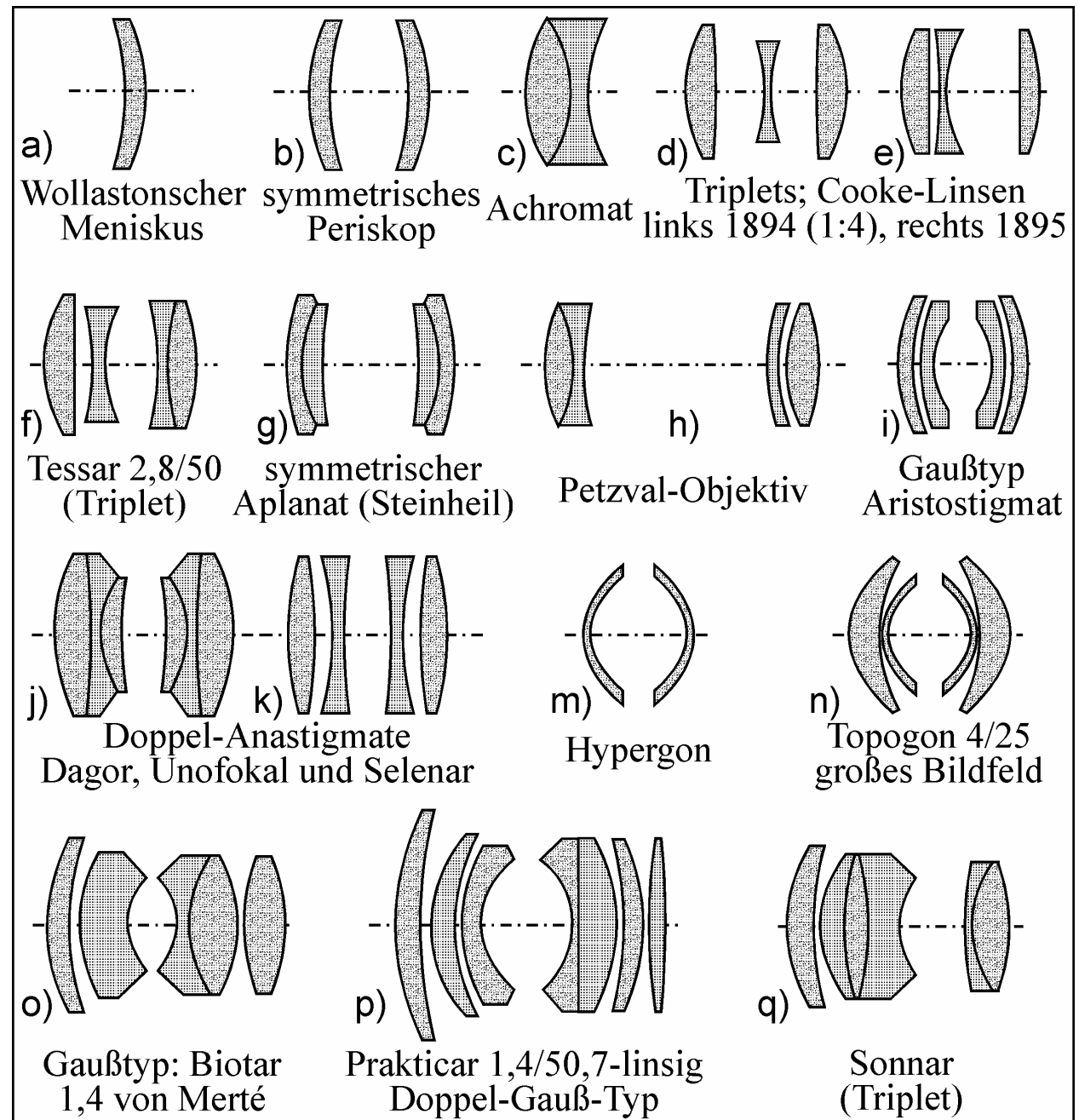
Eine gewünschte Brennweite f kann durch Variation von n , d , r_1 und/oder r_2 erreicht werden.

Das ist beim Bau mehrlinsiger Systeme wichtig.

Dadurch lassen sich nämlich zwei Linsen mit gleichem Radius direkt (**ohne Luftspalt**) miteinander verkleben.

Wodurch geringere Reflexionsverluste auftreten (s.u.).

Durch Kombination verschiedener **Glassorten** kann auch der chromatische Fehler reduziert werden.



Optik_Typen.cdr h. vözl 3.4.04

Fehlerkorrektur bei Optiken.

Entscheidende Voraussetzung war zunächst die Erfindung des optischen Hartglases von 1754.

1757 schuf JOHN DOLLOND (1706 - 1761), gemischt, nahezu farbenreine Objektive für Fernrohre und Mikroskope

Zum Verkitten wurde Kanadabalsam (Harz der Balsamtanne, Wälder Kanada) verwendete

= gelbgrünliche Flüssigkeit mit honigähnlicher Konsistenz ab

Wird beim Trocknen hart und durchsichtig, Brechungsindex 1,5, gut zum Verkleben von Linsen. Erster **Achromat**

Sohn PETER DOLLOND (1730 - 1820) erfand 1765 den Dreifach-Achromaten für die berühmten DOLLOND-Fernrohre.

Sehr frühe Entwicklungen stammen von CARL FRIEDRICH GAUß (1777 - 1855). Grundlage heutiger Gauß-Typ-Objektive.

JOSEPH VON FRAUNHOFER (1787 - 1826) schuf 1812 reinere Glassorten und entwickelte gute Schleifverfahren.

Zu Beginn der Fotografie einfache Linsen und Doppellinsen verwendet, die weitgehend denen der Fernrohre glichen.

Mit zu den ältesten Kameras Variante CARL AUGUST VON STEINHEIL (1801 - 1870) von 1839 mit $f = 385 \text{ mm}$. $\ddot{O} = 1:3,56$.

Die **Landschaftslinse** fand Anfangs große Verbreitung.

Das erste Objektiv mit hoher Lichtstärke von 1:3,5 und guter Bildqualität von JOSEPH MAX PETZVAL (1807 - 1891).

Große Bedeutung erlangten symmetrische Objektive.

Besitzen geringe Bildfehler wie Koma, Verzeichnung und Farbquerfehler

1866 das Rapid-Rectilinear von J. H. DALLMEYER und der vierlinsige **Aplanat** (Bild g) von CARL AUGUST VON STEINHEIL (1801 - 1870)

Das erste echte **Weitwinkel**-Objektiv wurde 1859 von THOMAS SUTTON mit einem Bildwinkel von 120° geschaffen.

Das erste **Tele**-Objektiv schufen 1891 THOMAS RUDOLF DALLMEYER und sein Sohn J. H. DALLMEYER.

Weitere Details in [4].

Objektiv-Typen

Es gibt eine sehr große Anzahl unterschiedlicher Objektive.

Hier Einteilung nach Brennweite und Sonderanwendungen versucht.

Übliche Kennzeichnung besteht aus Markenname, Blendenwert und Brennweite in mm, z.B. Tessar 2,8/50.

Die Lichtstärke tritt immer mehr in den Hintergrund. Filme und elektronische Sensoren inzwischen sehr lichtempfindlich.

Eigentlich gehört zur Brennweite auch das Aufnahmeformat.

Genauer interessiert den Anwender der aufnehmbare Winkelausschnitt (Bildwinkel oder Feldwinkel) φ .

Für elektronische Kameras wird die Brennweite auf das Äquivalent im Kleinbildformat umgerechnet.

Art	typische Kleinbild-brennweite in mm	Feldwinkel φ in Grad und üblicher Bereich
Fischauge	10	130 (> 120)
Weitwinkel	35	63 (55 - 120)
Standardobjektiv	55	43 (40 - 55)
Portraitobjektiv	70	35 (30 - 40)
Teleobjektiv	250	8 (10 - 30)
Fernobjektiv	1 000	2,5 (< 10)

Besonderheiten sind Spiegelobjektive und **Bildstabilisatoren**

1932 schuf H. GRAMMATZKI den **Transfokator** = verstellbare Brennweite. Heute **Zoom**- und **Vario**-Objektiv, Gummilinse

Für die Aufnahme kleiner Objekte sind spezielle **Makro**-Objektive entstanden.

ERwähnt sei noch von J. H. DALLMEYER 1866 ein spezielles Porträt-Objektiv (**Weichzeichner**).

Für Sonderansprüche gibt es **Shift**- und **Tilt**-Objektive.

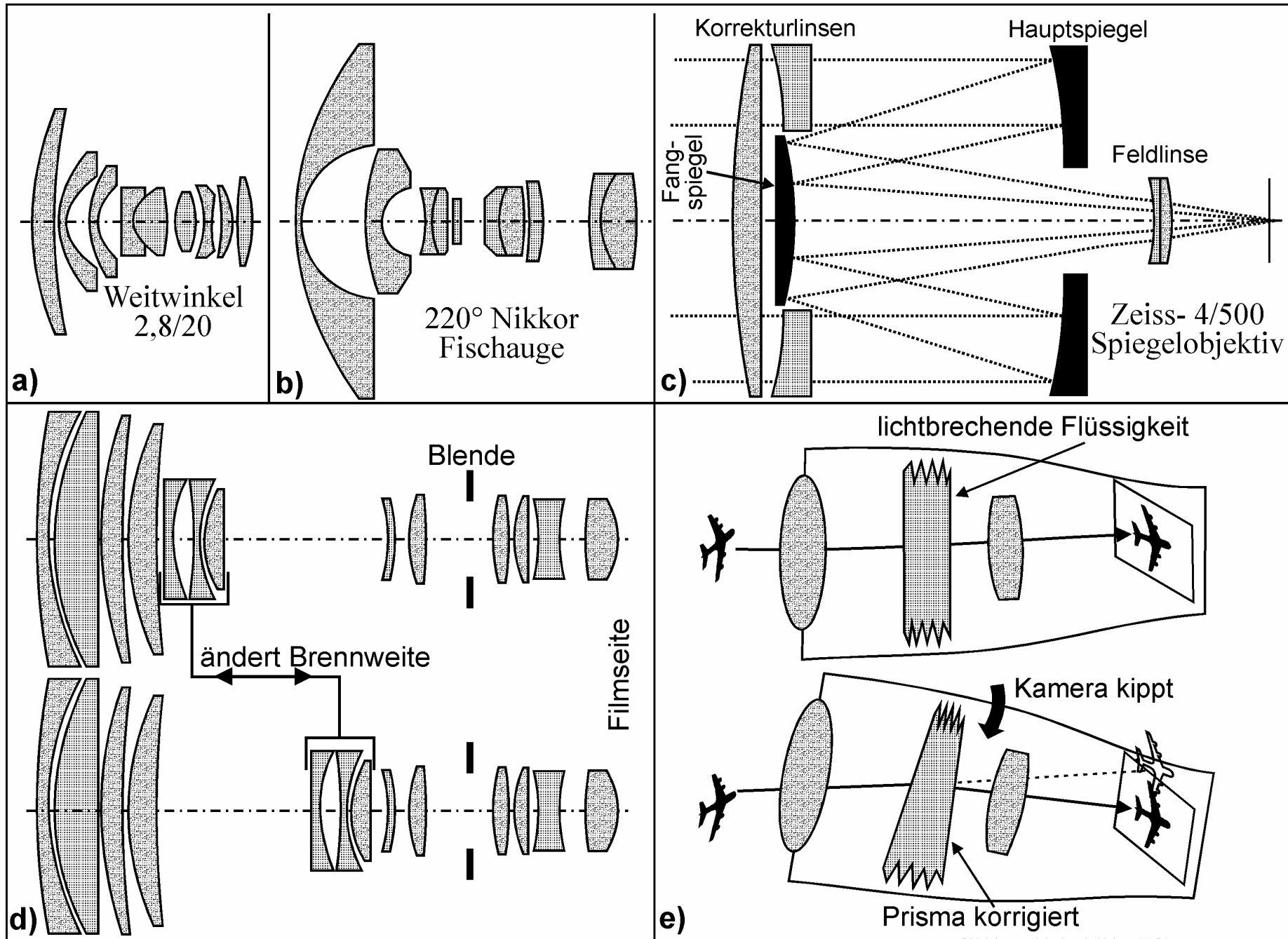


Bild-Erzeugung

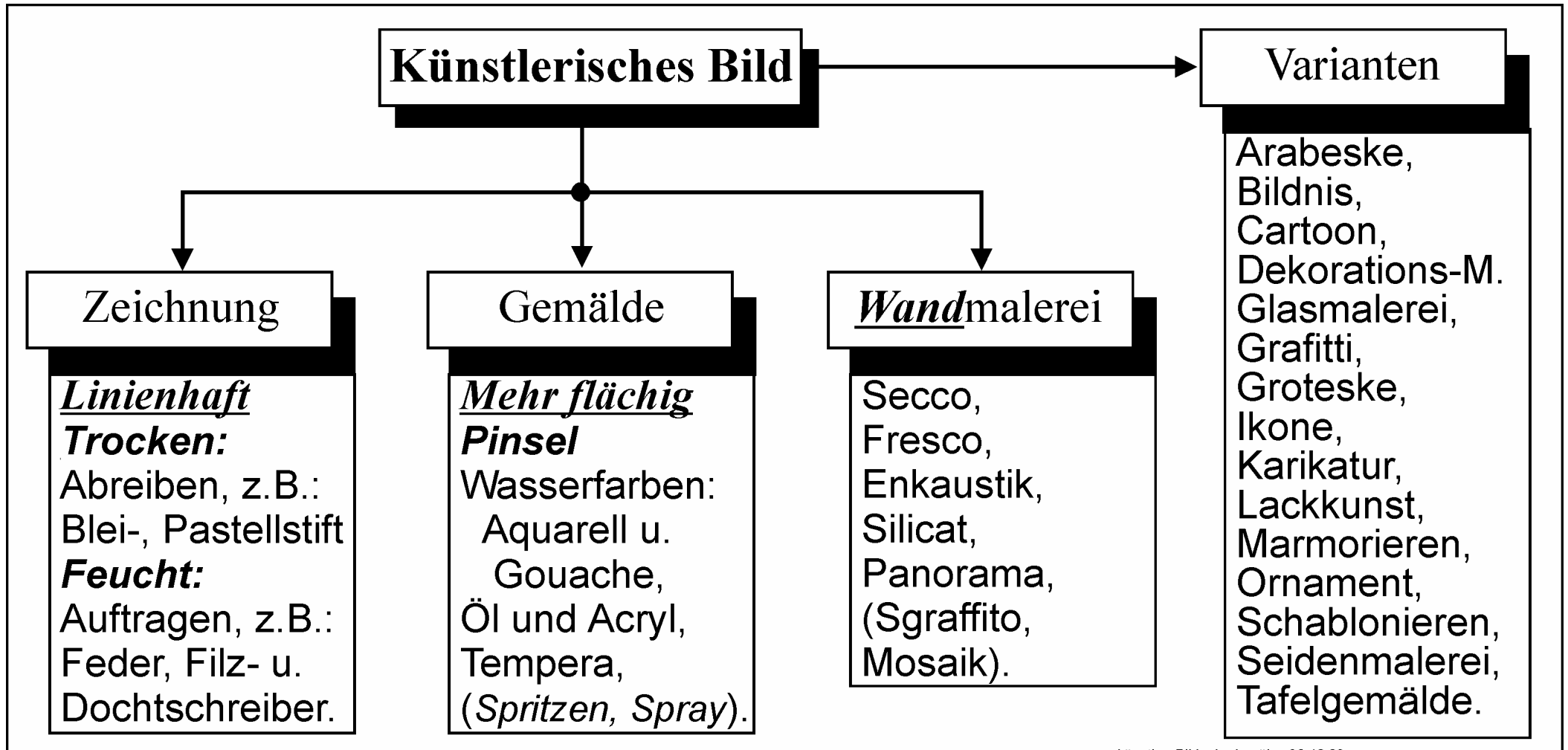
Bilder können auf sehr unterschiedliche Weise entstehen.

Beispiele sind durch Zeichnen und Malen, dann Scherenschnitte, Gewebe, Mathematik usw.

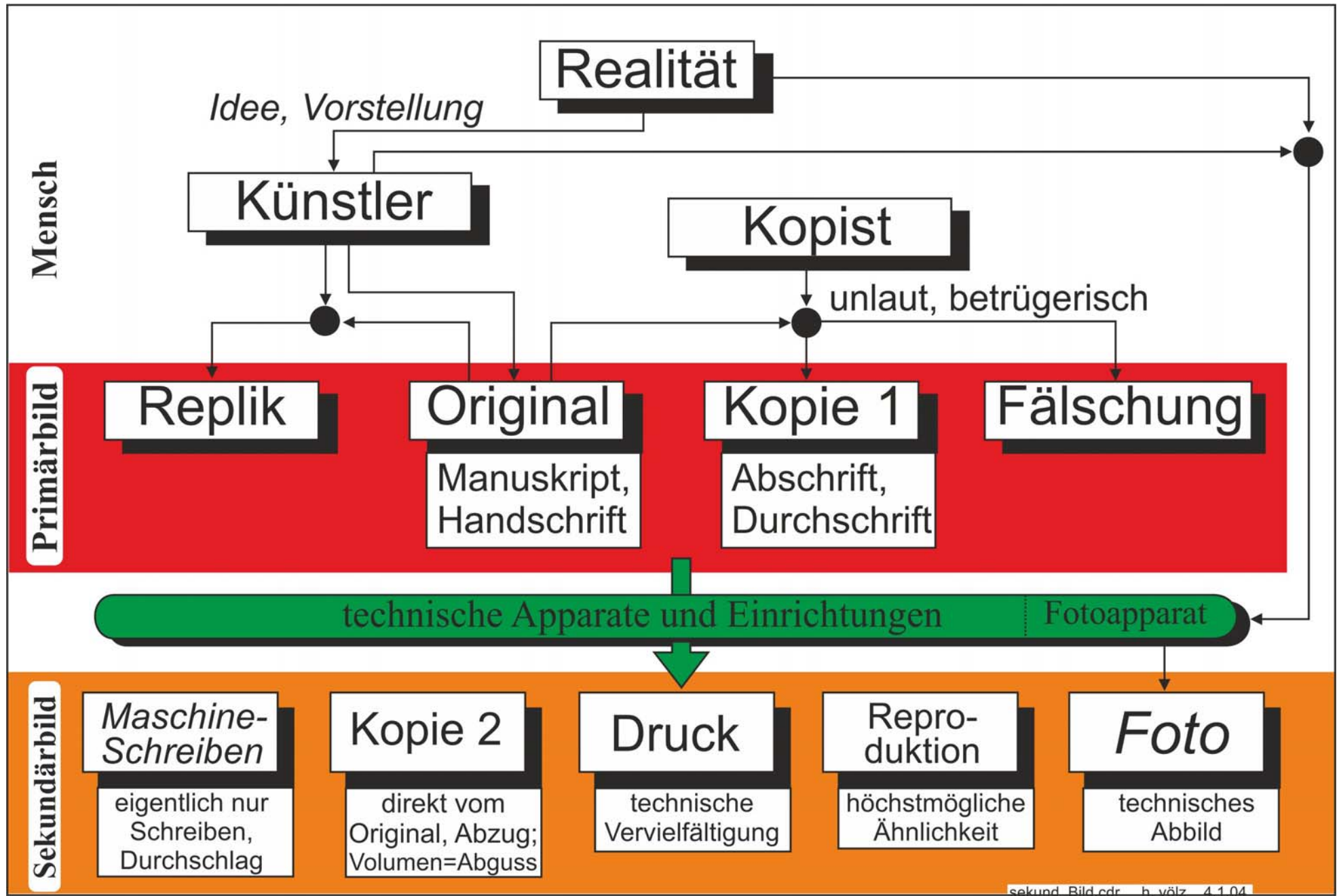
Besonders bedeutsam sind künstlerische Bilder. Das alles wird getrennt behandelt [4].

Vorhandene Bilder können dann auf verschiedene Weise vervielfältigt werden.

Besonders umfangreich sind die vielfältigen Drucktechniken, auch sie werden getrennt behandelt [4].



künstler_Bild.cdr h. völz 26.10.03



Klassische Kopiertechniken

Durchschreibpapiere ermöglichen immer nur eine Kopie je Blatt. vom Gesetz her (ab 1897) ist das nicht genug. Früher mussten kaufmännische Lehrlinge die Korrespondenz Wort für Wort ins Kopierbuch zu übertragen. Die erste Technik wurde 1779 von JAMES WATT (1736 - 1819) erfunden und 1780 zum Patent angemeldet. Das Ergebnis war die **Briefkopierpresse** und abdruckfähige **Kopiertinte**. Mit unwesentlichen Änderungen waren sie bis etwa 1915 fester Bestand aller Schreibstuben. Ursprünglich waren nur 3 Kopien möglich. Doch bald konnten hundert erreicht werden. So führte diese Grundidee zum **Hektographen**, bzw. frei vom Griechischen übersetzt, zum Hundertschreiber. Es gab früh die Sorge von Behörden und Bankdirektoren: Fälschung von Banknoten könnte möglich sein. Entscheidenden Neuerungen schufen 1879 VINZENZ KWAYSSER und RUDOLF HUSÁK **Tinte** aus **Methylviolett** (H₅C₆)₃CH. Neue Technik verwendet **Kolloid-Platte** aus Leim oder Gelatine und Tonerde. Bald entstanden vorbeschichtete Hektographen-Blätter, welche die Kolloid-Platte überflüssig machten. Mit einem Kopiergerät unter Verwendung eines **Spiritusgemisches** konnten um hundert Abzüge erfolgen.

EDISONS Kopier-Techniken

THOMAS ALVA EDISON (1847 - 1931) hat zwei Varianten entwickelt

Der Schreibstift hatte eine Nadel an der Spitze, die durch einem kleinen Elektromotor kleine Löcher ins Papier sticht.

Diese Methode haben noch vor knapp fünfzig Jahren Schneider als **Radelrad** für Schnittmuster verwendet.

Das „Ausradeln“ für geformtes Weihnachtsgebäck aus ausgerolltem Kuchenteig besitzt große Ähnlichkeit

Die zweite Variante EDISONS ist der **Mimeograph**: Besonders langfaseriges, dünnes Papier überzog er mit Wachs.

Diese Matrizie wurde auf eine fein gerasterte Stahlplatte gelegt und mit einem Achatgriffel beschriftet.

Dabei entstanden durchlässige Stellen für den Durchdruck.

Für die spätere Schreibmaschine konnten diese Matrizen mit ausgeschaltetem Farbband beschriftet werden.

Lichtpaus-Techniken

Sie ähneln der Fotografie, arbeiten jedoch ohne Optiken zur Abbildung, im direkten Kontakt.

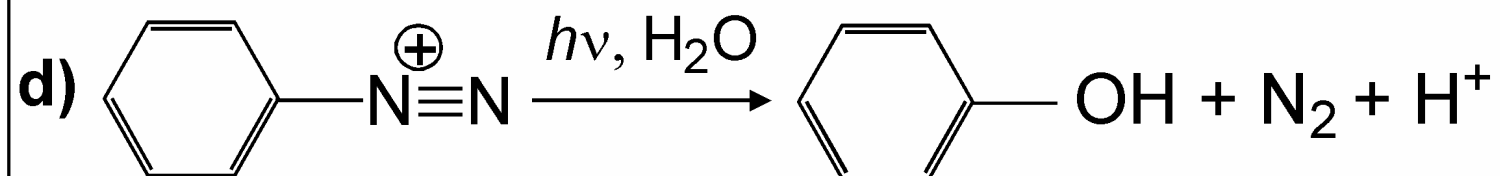
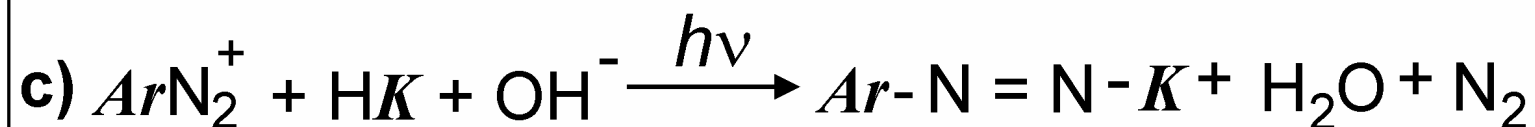
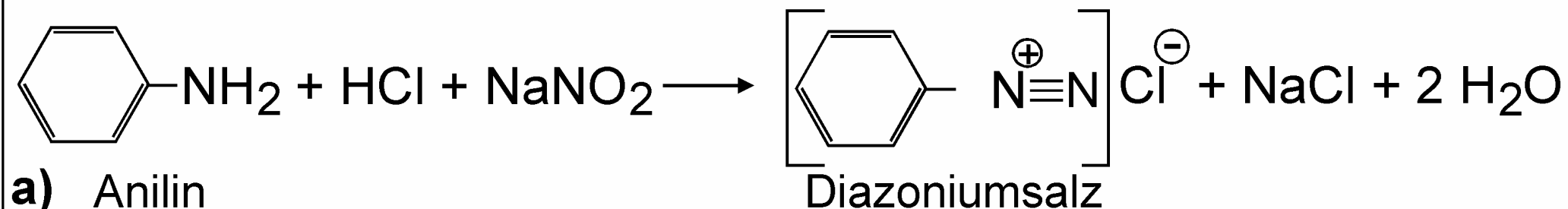
Die Originale müssen dazu auf Transparentpapier gezeichnet und unmittelbar auf ein Lichtpauspapier gelegt werden.

Verfahren sind preiswert und bis zu sehr großen Formaten, z. B. A0 möglich.

Es werden drei lichtempfindliche Substanzen benutzt:

- **Diazo**-Verbindungen (Azogruppe: $-N=N-$) zerfallen durch ultraviolettes Licht zerfallen, werden mittels Ammoniakdampf (NH_3) in Azofarbstoffe umgewandelt (positives Bild). Sie haben auch andere Anwendungen, z. B. **Mikrofilm** und benutzen teilweise auch die Polymerisation. die Grundlagen schuf 1858 GRIESS.
- **Blaupause** (= Zyano- oder Cyanotypie; $-C\equiv N$ = Cyangruppe) und **Sepialichtpause**. Sie verwenden **Eisen(III)**-Verbindungen. Durch Licht entsteht eine blaue bzw. braune Komplexverbindung. Bild ist meist negativ. 1842 von SIR JOHN FREDERICK WILLIAM HERSCHEL (1792 - 1871) entwickelt.
- **Anilindruck** benutzt **Dichromat** (von Dichromsäure = $H_2Cr_2O_7$), wird Phosphorsäure (H_3PO_4) lichtempfindlich gemacht. Nach der Belichtung erfolgt die Entwicklung mit Anilindampf (positives Bild).

Diazo-Varianten



Diazo.cdr h. vözl 94/13.2.04

Elektro-Fotographie = Xerox-Kopie,

Der eigentliche Erfinder ist der ungarische Physiker SELÉNYI.

Bereits 1935 beschrieb er in der Werkszeitschrift „Tungsram Radio“ unter dem Titel „Ein neues elektrostatisches Aufzeichnungsverfahren und seine Anwendung zur Bilderzeugung“:

„Ich nahm eine Hartgummiplatte von etwa 0,5 Millimeter Dicke, bestrich dieselbe mit einer Bunsenflamme, um sie von zufälligen elektrischen Ladungen zu befreien, und schrieb darauf mit einer abgerundeten Metallspitze, wie man auf einer Schiefertafel zu schreiben pflegt. Die mit der Metallspitze befahrenen Stellen wurden durch die Reibung negativ elektrisch aufgeladen, und auf der Platte entstand eine zunächst unsichtbare elektrische Schrift. Wurde die Platte nun mit einem Gemenge von (pulverisierter) Mennige und Schwefel bestäubt, so hafteten die positiv geladenen Mennigeteilchen auf den negativ elektrischen Stellen der Platte, und die elektrische Schrift wurde, wie mit einem roten Stift geschrieben, sichtbar.“

An Kopieren hat SELÉNYI offensichtlich nie gedacht. Er wollte nur die „Zauber Kunst des Physikers“ demonstrieren

So gilt CHESTER F. CARLSON (1906 - 1968) als Erfinder. 1935 entdeckt er Arbeit von SELÉNYI.

Ab 1937 beginnt er in seiner Küche Experimente für eine einfachere und preiswertere Kopiermöglichkeit durch.

Er verwendet Metallplatte mit Schwefel, lud sie durch Reiben mit einem Baumwolltuch auf.

Dann legte er den zu kopierenden Text darauf und belichtete mit einer starken Lampe.

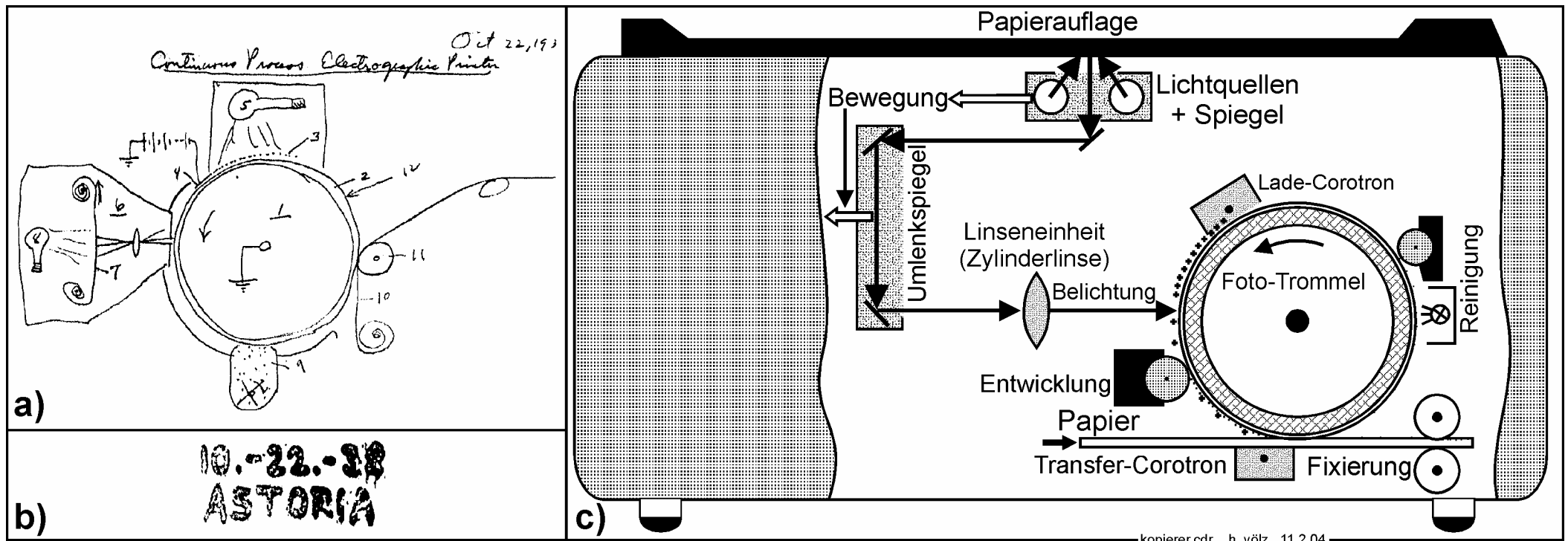
Zum Schluss streute er Bärlappsamen auf die Platte und übertrug dessen Verteilung auf Wachspapier.

1937 erfolgt die Anmeldung, 1942 Erteilung des Patentes der **Xero-Graphie** (griechisch **xeros** trocken).

Den notwendigen Aufbau hält er in seinem Notizbuch mit dem Datum vom 22.10.1938

Auch die erste Kopie ist noch vorhanden „10-22-38 Astoria“. Astoria war der Vorort, in dem sein Labor lag.

Bild rechts Schema der ursprünglichen analogen Kopiertechnik



Die Funktion eines üblichen, analogen Foto-Kopierers rechts.

Lichtquellen beleuchten von unten die Vorlage in einem schmalen Ausschnitt, jedoch in voller Breite.

Mit einem Spiegel bewegen sie sich gleichmäßig in Längsrichtung fort und überstreichen so die gesamte Vorlagefläche.

Zwei weitere, halb so schnell bewegte Umlenkspiegel lenken das reflektierte Licht zur Fototrommel.

Dabei passieren sie ein Linsensystem, das zur guten Abbildung der vollen Breite auch eine Zylinderlinse enthält.

Durch die beiden Bewegungen von Lichtquelle und Umlenkspiegel wird der Lichtweg konstant gehalten.

Das Licht erzeugt Ladungen auf der Trommel, die ziehen den Toner an.

Er wird anschließend auf das Papier übertragen und dort per Hitze schmelzend eingebrannt.

Die Trommel wird vor der nächsten Belichtung gereinigt.

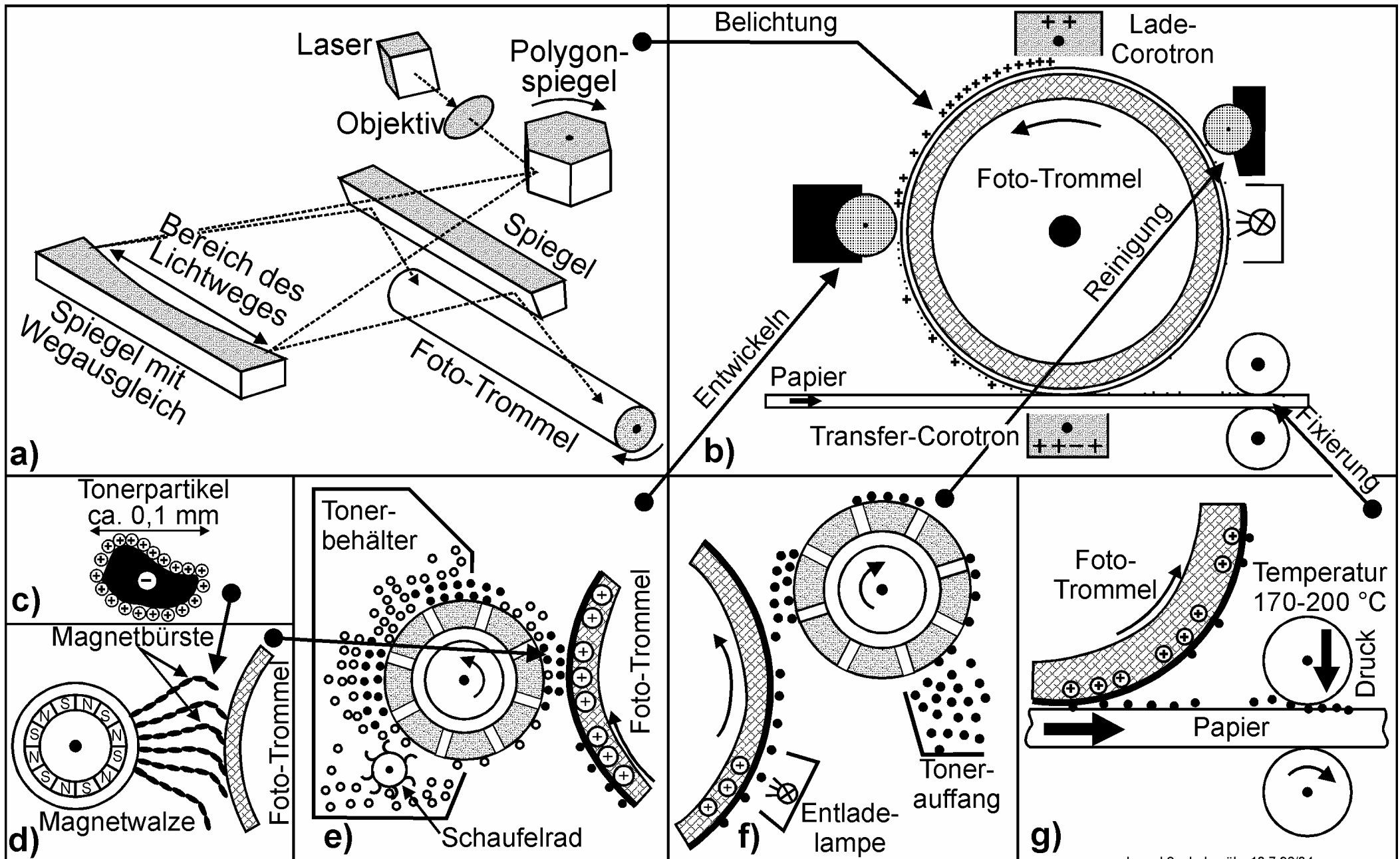
Weiterentwicklung

CARLSON standen nur sehr begrenzte Mittel zur Verfügung, daher bekam er so gut wie keine Unterstützung bekam. Schließlich gelang es ihm 1947, die 1906 gegründete „Haloid Company“ in Rochester (Staat New York) zu überzeugen. 1948 wurde Xerox als Markenname geschützt und 1950 kamen die ersten Geräte auf den Markt. 1959 funktionierten sie mit normalem Papier. 1961 nennt sich der Konzern in „Xerox Corporation“ um. 1970 überrundet die Xero-Kopie die etablierte Fotokonkurrenz von Kodak und 3M. 1970 wird auch in Palo Alto das berühmte Forschungszentrum Xerox Parc (**P**alo **a**lto **r**esearch **c**enter) gegründet. Es wird 2002 ein eigenständiges Unternehmen. Bereits 1977 stellt die Xerox Corporation mehr als die Hälfte aller Kopiergeräte in den USA her. Der digitale „Laserdrucker“ entstand erst um 1985 und erfordert eine deutlich kompliziertere Belichtung. Aus ihm entstand die die heute übliche digitale Kopiertechnik.

Laserdrucker und -belichter

Durchbruch erfolgte 1984 mit dem „Laserjet“ bei Hewlett Packard (HP) und 1985 mit dem „Laser-Writer“ von Apple. Danach nimmt die Anwendungsbreite der Laserdrucker steil zu. Die typische Laser-Wellenlänge liegt bei 780 nm. Er verlangt vier Voraussetzungen:

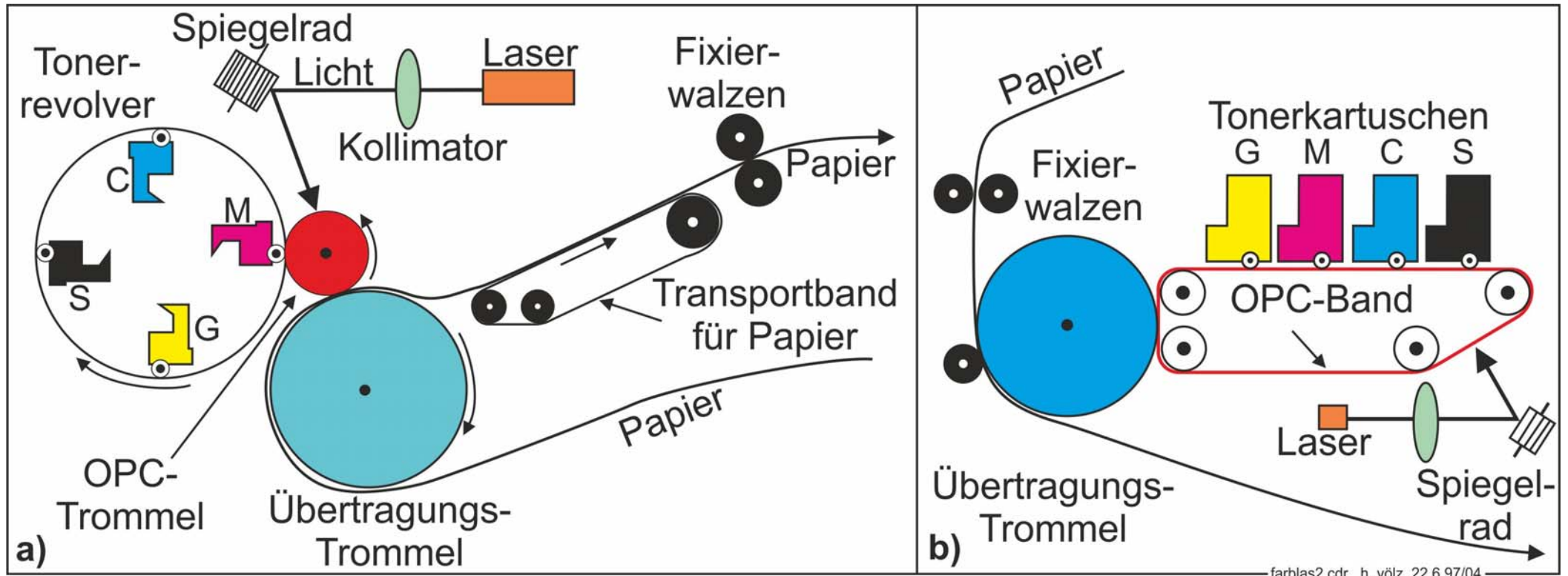
- **Laser** als intensive, möglichst monochrome Lichtquelle. (light amplification by stimulated emission of radiation $\approx$ Lichtverstärkung durch stimulierte = angeregte Aussendung von Strahlung = Licht) wurde jedoch erst 1957 durch GORDON GOULD geprägt.
1960 baut THEODORE H. MAIMAN den ersten Festkörper-Laser (Rubinlaser)
Der Laser wird digital ein- und ausgeschaltet.
- sehr präzise, komplexe **Mechanik**, präzise **Optik** und eine umfangreiche **Elektronik**.
Die drei Komponenten müssen sehr gut aufeinander abgestimmt sein.
Das Licht des Lasers kann über die Elektronik in Bruchteilen von μs ein- und ausgeschaltet werden.
Eine Optik fokussiert über mehrere Umwege den Laserstrahl letztlich auf die Oberfläche der **Fototrommel**.
Sie rotiert gleichmäßig und wird über den gleichmäßig rotierende **Polygonspiegel** (meist 6- oder 8-eckig) belichtet
Um jedoch die Abmessungen des Gerätes klein zu halten und seine mechanische Stabilität günstig zu beeinflussen, erfolgt eine zweimalige Umlenkung durch Spiegel.
- **Fototrommel**, Ihre Oberfläche ist mit einem lichtempfindlichen Halbleitermaterial (s.u.) beschichtet, Leitet im Dunkeln sehr schlecht elektrisch, besitzt viele Haftstellen für elektrische Ladungen besitzt
= OPC-Material (**o**rganic **p**hoto **c**onductive $\approx$ organisch fotoleitend) verwendet, das ungiftig und sogar biologisch abbaubar ist.
- **Toner**, muss sehr gleichmäßig und fehlerfrei auf die Oberfläche gebracht werden
90 % kleinste Kunsthartzkugeln, 5 % Farbstoffe, z.B. feinsten Kohlenruß und 5 % aus Hilfsstoffen, z.B. Magnetit.
Vielfach sind auch etwa 0,1 μm große ferromagnetische Eisenpartikel als Trägerpartikel bzw. Mikroträger enthalten



laserdr3.cdr h. völz 10.7.96/04

Farblaser -Drucker

Er benötigt die Tonerfarben **Gelb**, **Magenta**, **Cyan** und **Schwarz** (siehe Farbwiedergabe)
Sie werden nacheinander entweder auf eine Fototrommel oder ein Fotoband (OPC-Band) aufgetragen (entwickelt).
Hierbei müssen die Farben exakt zueinander positioniert werden. Das erfordert zusätzliche Präzision der Engine.
Erst danach werden alle Farben gemeinsam auf das Papier übertragen und anschließend fixiert.
Auch (heutige) **Film-** bzw. **Satzbelichter** arbeiten ähnlich
Es gibt für sie die 3 Hauptvarianten:
Flachbettbelichter, Filmbelichter und **Raster-Image-Prozessor (RIP)**



Fotographie

Foto; griechisch **pháos**, **phos** bzw. **photós**, Licht, Glanz, Helle und Sonnenlicht

Graphie; griechisch **gráphein** kerben, (ein)ritzen, schreiben und zeichnen, sowie **graphie** Schrift, Darstellung.

Die Camera obscura erzeugt Bilder ohne menschliches Zutun. Sie sind nicht beständig und nur im Dunkeln zu betrachten.

Daher gab es viele Überlegungen und Versuche, sie haltbar auf eine Unterlage zu bringen.

Dazu war das „Bild aus Licht“ in ein stofflich-beständiges Bild zu übertrage, das man immer betrachten kann.

Hierzu war ein technischer Prozess mit irreversibler Strukturänderung notwendig.

Im Prinzip waren solche Prozesse schon lange bekannt:

Seit Jahrhunderten das Wäschebleichen in der Sonne und das unerwünschte Verblässen von Farben.

Doch für sie steht in der Camera obscura nicht genug Licht zur Verfügung.

Deshalb wurde für die ersten Versuche Sonnenlicht genutzt: Begriff **Heliographie** (griechisch **helios** Sonne).

1839 gelang es WILLIAM H. F. TALBOT (1800 - 1877) von Negativen positive Kopien zu erzeugen: **photogenic drawing**

Sir John FREDERICK WILLIAM HERSCHEL (1792 - 1871) prägt: Fotografie, Negativ, Positiv und Schnappschuss.

Im Deutschen wird 1839 Fotografie von HEINRICH MÄDLER (1794 - 1874) verwendet.

Erstmals nachgewiesen am 25.2.1839 in der Berliner „Vossischen Zeitung“.

Das durch Fotografieren entstandene Bild heißt auch Foto (-graphie) oder Lichtbild.

Silberhalogenid

Heute wissen wir, dass es eine riesige Vielfalt mit Licht arbeitender (Speicher-) Prozesse gibt. Hierzu zählen u. a. die Fotosynthese, sowie die Vorgänge in den Stäbchen und Zäpfchen der Augen. Inzwischen sind so viele technische Verfahren entstanden, dass ihre Systematisierung schwierig ist. Dennoch ermöglichen bis heute nur die **Silberhalegonide** eine leistungsfähige Fotographie. Alle anderen technisch genutzten Speicherprozesse benötigen deutlich höhere Lichtintensitäten. Nur die elektronischen Verfahren mit **Halbleitersensoren** (CCD, CMOS digitale Kameras) sind leistungsfähiger.

Abgesehen von den Objektiven gab es für die Fotographie mindestens über 100 Jahre **keine theoretischen Grundlagen**. Noch heute sind einige Fakten, insbesondere zum latenten Bild unklar. Daher geschahen die entscheidenden Entwicklungen allein über **Intuition mittels Versuch und Irrtum**.

Die Fotographie besteht aus mehreren, **komplex verwobenen Stufenprozessen**. Stark verkürzt gilt die Abfolge: Belichtung, latentes Bild mit Silberkeimen, Entwicklung und Fixierung. Der heutige hohe Stand der Technik konnte daher nur stufenweise mit Irrtümern entstehen. Deshalb ist der geschichtliche Ablauf erst dann verständlich, wenn die Prozesse leidlich bekannt sind.

Kristallaufbau 1

Beim klassischen Atomaufbau bewegen sich die Elektronen in unterschiedlichem Abstand um den Atomkern. Die Anzahl der Protonen im Kern bestimmt die Kernladungszahl bzw. Ordnung des chemischen Elements. Für elektrische Neutralität muss diese Ladung durch die gleiche Anzahl von Elektronen kompensiert werden. Sie kreisen auf unterschiedlichen Bahnen (Entfernungen) um den Atomkern.

Da quantentheoretisch nur ausgewählte Energieniveaus zulässig sind, bilden sich die „Schalen“ K, L, M usw. Sie entsprechen den Energiehauptniveaus oder Hauptquantenzahlen n (a).

Werden der Bahndurchmesser und die zugehörige Energie aufgetragen, so entsteht der Potentialtopf.

Im unangeregten Zustand nimmt das Atom die Minimalenergie an.

Von unten beginnend wird es mit Elektronen aufgefüllt.

Durch Energiezufuhr kann ein Elektron auf eine „höhere“ Bahn gelangen.

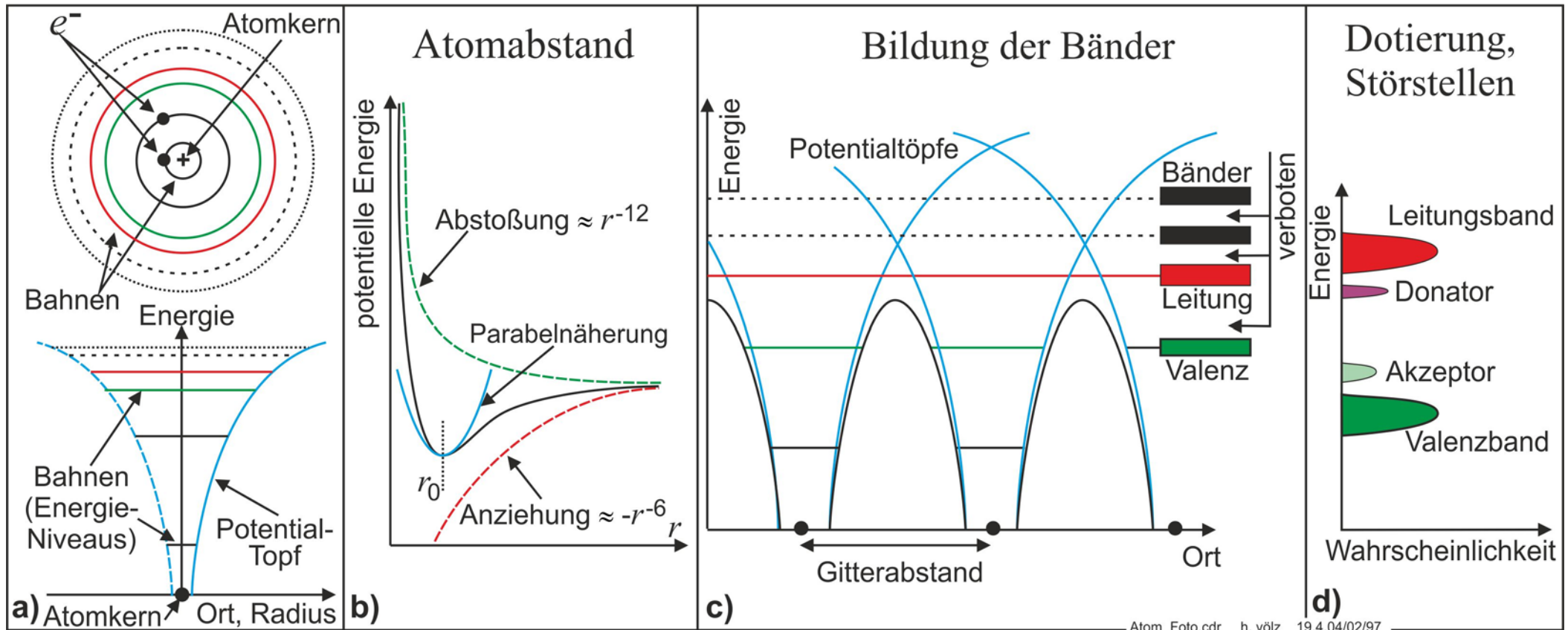
Normalerweise fällt es anschließend innerhalb von ps auf die niedrigstmögliche Bahn zurück.

Die dabei frei werdende Energie wird als Photon abgestrahlt.

Kommen zwei Atome hinreichend nahe, so ziehen sie sich mit einer Kraft an, proportional $1/r^6$ an.

Doch bei geringem Abstand stoßen sie sich gemäß $1/r^{12}$ ab Sie benötigen einen Raum (b).

So ergibt sich der optimale Atom-Abstand r_0 , In seiner Umgebung kann der Verlauf durch eine Parabel genähert werden.



Kristallaufbau $\Rightarrow$ Bänder

Werden viele Atome systematisch zusammengefügt, so entstehen **Kristalle mit dem Gitterabstand r_0** .
Dabei überlappen sich die **Potentialtöpfe** der einzelnen Atome.
Von ihnen verbleiben nur noch die parabelförmigen Restgebilde, die jeweils zu zwei Atomen gehören.
Auf den unteren Bahnen gehören die Elektronen weiterhin jeweils einem Atom an.
Auf den höheren Bahnen bilden sie ein „**Elektronengas**“, das zu allen Atomen gemeinsam gehört.
Doch auch hier müssen sich die Elektronen unterscheiden.
Die individuell vorhandene Bewegungsenergie macht aus den Einzelbahnen verbreiterte **Energiebänder**.
Dies gilt auch bereits für die höchste Bahn, die eigentlich noch den Atomen zugeordnet ist.
Dabei entsteht das, im Normalfall noch mit Elektronen voll besetzte **Valenzband**. (chemische Eigenschaften)
Das **Leitungsband** darüber ist nur teilweise mit Elektronen besetzt. Sie bilden das Elektronengas
Die dort vorhandene Elektronenzahl ist für die elektrische Leitfähigkeit zuständig.
Meist befinden sich zwischen den beiden Bändern „**verbotene**“ **Bänder**, in die nicht Elektronen verweilen können.
Durch Energiezufuhr kann ein Elektron vom Valenzband in das Leitungsband „gehoben“ werden.
Fällt es wieder herunter, so wird die frei werdende Energie wiederum (als Licht) abgestrahlt.
Teilweise sind das **Leitungs- und Valenzband** periodisch gemäß den **Atomabständen verbogen**.
Dadurch ergeben sich spezielle Anregungs- und Abstrahlungsbedingungen.
Weitere Verbiegungen entstehen durch vielfältige **Fehler im Kristallaufbau**.
Dabei entstehen teilweise **Nebenbänder als Akzeptoren und Donatoren**.
Sie können auch durch eingelagerte **Fremdschubstanzen** als **Störstellen** entstehen.
Diese Nebenbänder können zusätzlich Elektronen aufnehmen bzw. abgeben können

Silberhalogenide

Für die Fotografie werden Silberhalogenide AgX (X für Halogen) - AgCl , AgBr , AgJ und deren Mischkristalle benutzt. Silber besitzt meist die Wertigkeit 1, kommt aber auch 2- bis 4-wertig vor.

Als Metall ist es glänzend silbern, in feiner Verteilung jedoch tiefschwarz. (Körner von etwa 0,1 bis 1,5 μm).

Sie werden in Gelatine fein verteilt (suspendiert), sind aber in Wasser schwer löslich.

Die Atomradien von Cl, Br bzw. J betragen 99; 114 bzw. 133 pm, von Ag 113 nm.

Fast ausschließlich entstehen kubische Kristalle, wie z.B. beim Salz NaCl .

AgJ hat einen großen Ionenradius, ermöglicht nur eine begrenzte Mischkristallbildung.

Bei AgBr sind bis etwa 20 % AgJ , bei AgCl bis 9,3 % AgJ möglich.

Jedes Ag-Ion ist von 6 X-Ionen und jedes X-Ion von 6 Ag-Ionen umgeben (Ladungsausgleich).

In der 100-Ebene wechseln sich die Ionen ab, in den 111-Ebenen liegt jeweils nur ein Ionentyp vor.

Die Energien für die Valenz- und Leitungsbänder zeigt d. Ihre Abstände bestimmen die wirksamen Energien

$\Delta E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$ mit h Planck-Konstante, c Lichtgeschwindigkeit, ν Frequenz und λ Wellenlänge

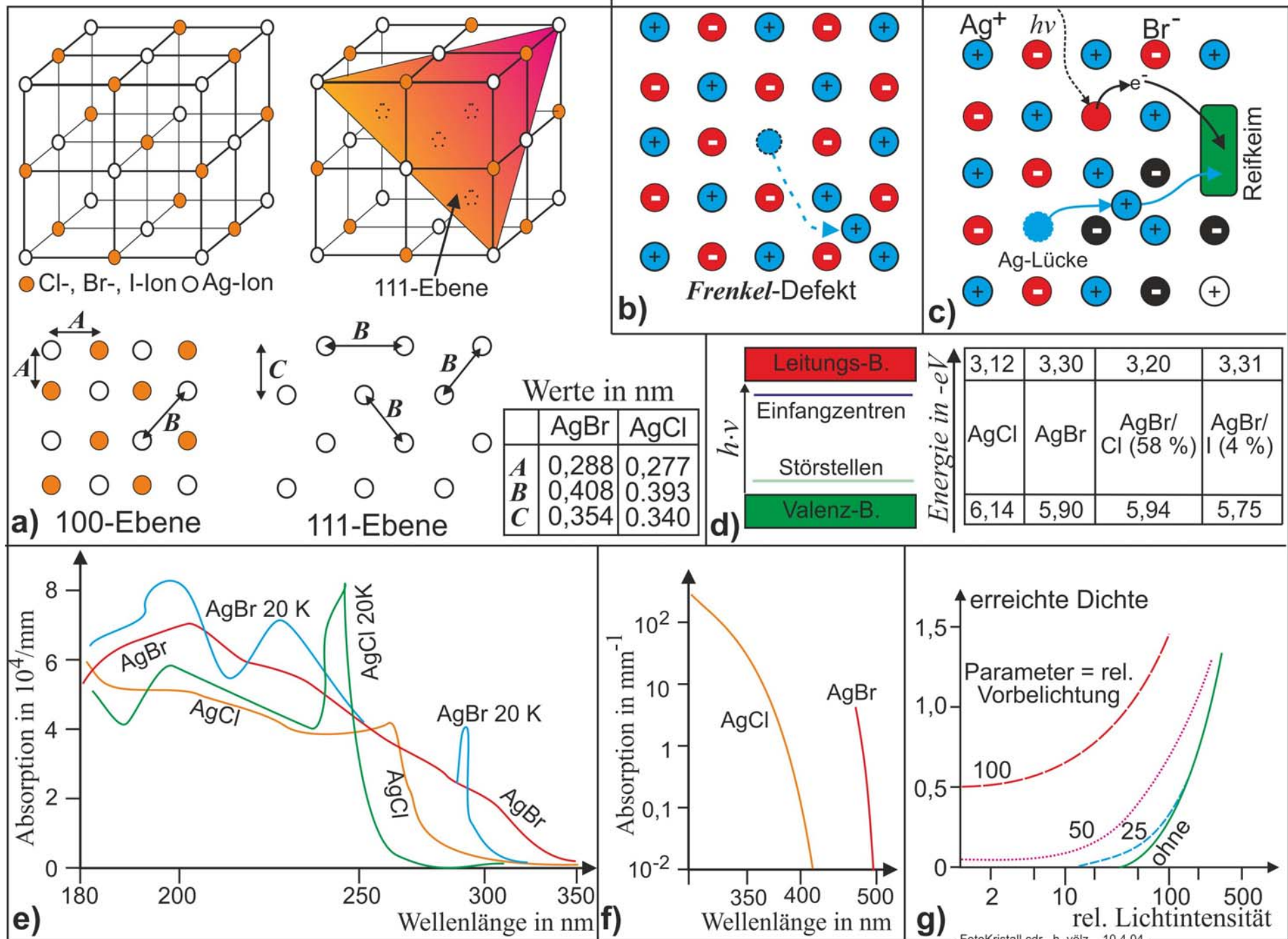
Störstellen sind für die Fotografie besonders wichtig, denn reine AgX -Kristalle sind sehr wenig lichtempfindlich:

Leerstelle, Versetzung, Fremd-Ion, SCHOTTKY-Defekt (zwei unbesetzten Gitterplätze) (WALTER SCHOTTKY; 1886 - 1976)

Wichtig ist der FRENKEL-Effekt (JAKOW ILJITSCH FRENKEL; 1894 - 1952), Ion auf einen Zwischengitterplatz (b).

Die Anzahl der Fehlstellen n_z in einem Kristall hängt u.a. auch von der absoluten *Temperatur* T ab.

Bei Zimmertemperatur liegt die relative Fehlstellenzahl deutlich über 10^{-9} .



Fotografie mit AgX

Die AgX-Fotographie erfordert vier aneinander gereihete Prozesse:

1. **Belichtung** des in der Fotoschicht enthaltenen Silberhalogenids.
Bei Absorption eines Photons kann ein freies Elektron entstehen.
2. Werden Foto-Elektronen = „**Keime**“ **gebunden**, so entsteht das unsichtbare „**latente**“ **Bild**.
3. **Entwicklung** erzeugt aus latentem Bildes mit bis zu 10^9 facher Verstärkung das **sichtbare Bild**.
4. Die **Fixierung** macht es **dauerhaft** haltbar.

Die Prozesse hängen voneinander ab, wurden über lange Zeit empirisch gefunden und etappenweise optimiert.

Die Fixierung des Bildes ist fast unmittelbar einsichtig.

Jedoch bereitet die Entwicklung für das Verständnis erhebliche Probleme, lange Zeit gab es keine Erklärung.

Erste brauchbare Theorie entstand 1937 durch MOTT und GURNEY auf Grundlage der Festkörpertheorie.

Es wirken elektronische und ionische Prozesse zusammen. Sie gilt in ihren Grundzügen noch heute.

Jedoch sind einige Fakten noch immer völlig unbefriedigend und nicht widerspruchsfrei erklärt.

So ist z. B. ein idealer Silberhalogenidkristall nicht lichtempfindlich ist. Dazu sind Störstellen nötig.

Bei der Silberhalogenid-Fotographie gilt grob:

Der ursprüngliche Prozess lautet: $\text{Br}^- \xrightarrow{h\nu} e^- + \text{Br}$.

Das Elektron wandert dann eventuell zu einem Silber-Ion, wodurch ein Silberatom entsteht:

Der eigentliche Beginn (Primärprozess) ist aber: $\text{AgX} \xrightarrow{h\nu} \text{Ag} + \text{X}$. Weitere Details in [4].

Die Entwicklung reduziert die Silberhalogenid-Kristallite vollständig zu schwarzem Silber

Ein Entwickler darf nur Kristallite umwandeln, auf denen sich hinreichend große Silberkeime als Katalysatoren befinden.

Durch eine Vorbelichtung kann Empfindlichkeit gesteigert werden.

Entwickeln und Fixieren

Die Entwicklung erfolgt fast immer mittels einer Entwicklerlösung.

Sie muss zunächst in die Emulsion (meist Gelatine, s.u.) eindringen und sie für die weiteren Prozesse aufquellen.

Vereinfacht betrachtet, gibt der Entwickler Elektronen ab, welche die Ag^+ -Ionen zu Silber reduzieren.

Es gibt sehr unterschiedliche Entwicklersubstanzen und -Verfahren.

Die Unterbrechung der Entwicklung geschieht zunächst durch Wässern bzw. durch ein kurzzeitiges saures Bad ($\text{pH} < 5$).

Sie vermeidet u.a. eine Verunreinigung des Fixierbades.

Dann schließt sich die eigentliche Fixierung an. Durch sie wird das restliche AgX (trotz geringer Löslichkeit) beseitigt.

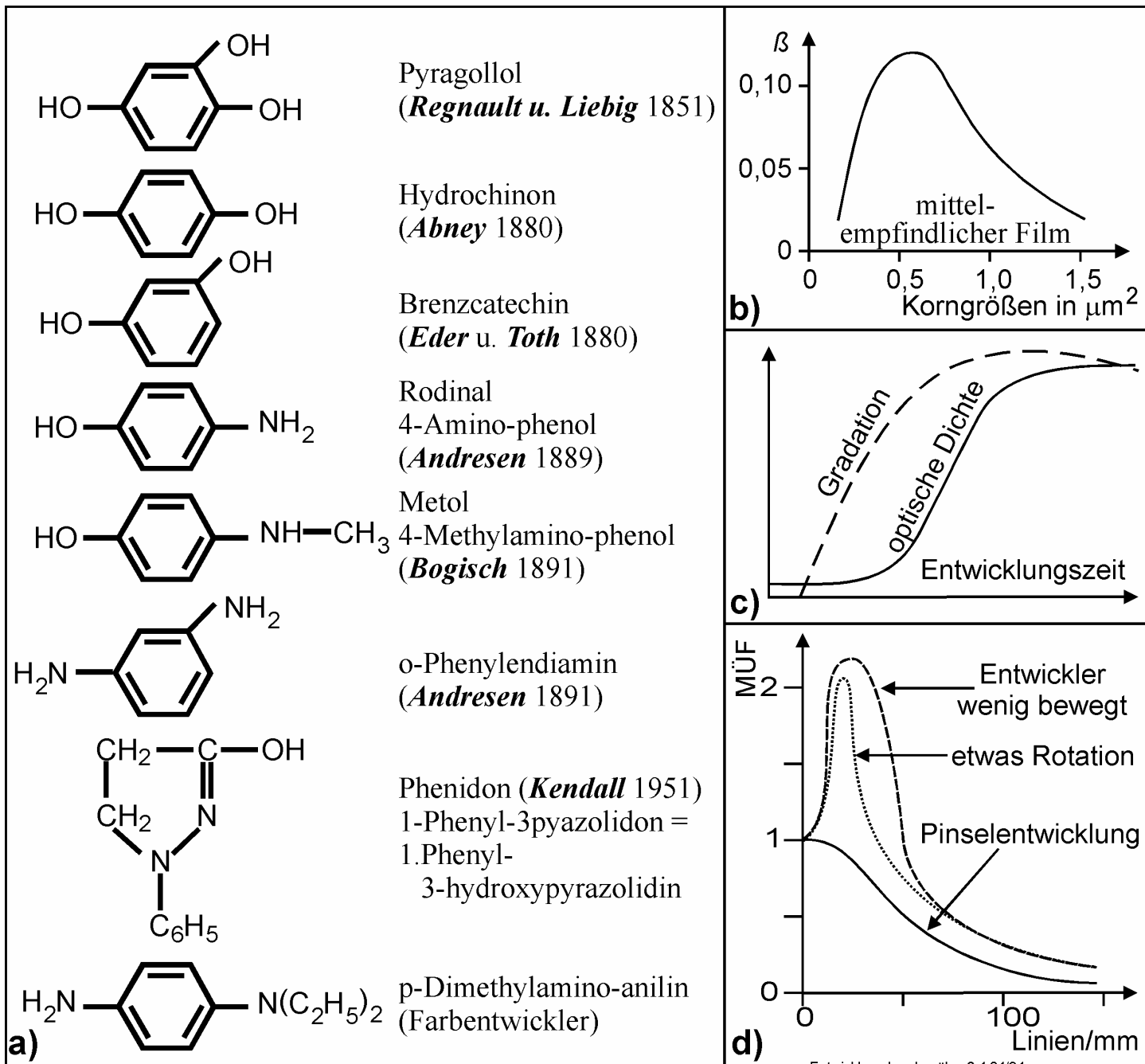


Leicht löslich sind die Komplexsalze $\text{AgNaS}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, $\text{Ag}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ und $\text{Ag}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

Viele Fotochemikalien sind **umweltbelastend** und **gesundheitsgefährdend**.

Auch fein verteiltes Silber ist ein tödliches Gift für Mikroorganismen.

Es folgen einige Entwicklersubstanzen.



Daten der Fototechnik

Die Belichtung von Fotomaterial ist durch die einwirkende Lichtmenge H in $\text{lx}\cdot\text{s}$ bestimmt.

Mit konstanter Beleuchtungsstärke E [lx] und der Zeitdauer t in s gilt $H = E \cdot t$. (physikalisch Bestrahlung θ in $\text{W}\cdot\text{s}/\text{m}^2$).

Umrechnungen erfolgen mit wellenlängenabhängigen Augenempfindlichkeit $V(\lambda)$.

Sie wurde seit 1930 genormt $H = V(\lambda) \cdot \theta$. das Maximum liegt bei 555 nm (grünlich).

Für das endgültige Foto ergibt sich die Farbempfindlichkeit $F(\lambda)$ des Fotomaterials, weicht erheblich von $V(\lambda)$ ab.

Das wird jedoch kaum berücksichtigt, denn die Fotografie soll „sichtbaren“ Original möglichst nahe kommen.

Dazu sind zwei Größen definiert: **Transparenz** $T_D = E/E_0$ und **Opazität** $O_D = 1/T_D = E_0/E$.

Hieraus wird die **optische Dichte** abgeleitet: $D = \log(O_D) = \log(E_0/E)$. in SW-Fotografie gilt die Schwärzung $S = D$

Berücksichtigt wird mit seinem logarithmischen Verlauf das WEBER-FECHNERSche Gesetz

GUSTAV THEODOR FECHNER (1801 - 1887) und ERNST HEINRICH WEBER (1795 - 1878).

Eine optische Dichte von $D = 1$ bewirkt die Abnahme der Lichtintensität auf $1/10$. und $D = 2$ auf $1/100$.

Die zusammenwirkenden Foto-Prozesse führen zu einem komplizierteren Verlauf: $D = f(E \cdot t)$.

Fast immer gibt es einen Bereich, in dem die Proportionalität gilt (konstantes Gamma): $D = p \cdot \log(E \cdot t) + k$.

Die Konstante k betrifft die **Schwelle**, ab der überhaupt eine deutliche Schwärzung des Fotomaterials eintritt.

Sie hängt u.a. mit der **Lichtempfindlichkeit** des Materials zusammen.

Als Übergang zum proportionalen Bereich entsteht der **Durchhang** der Kurve.

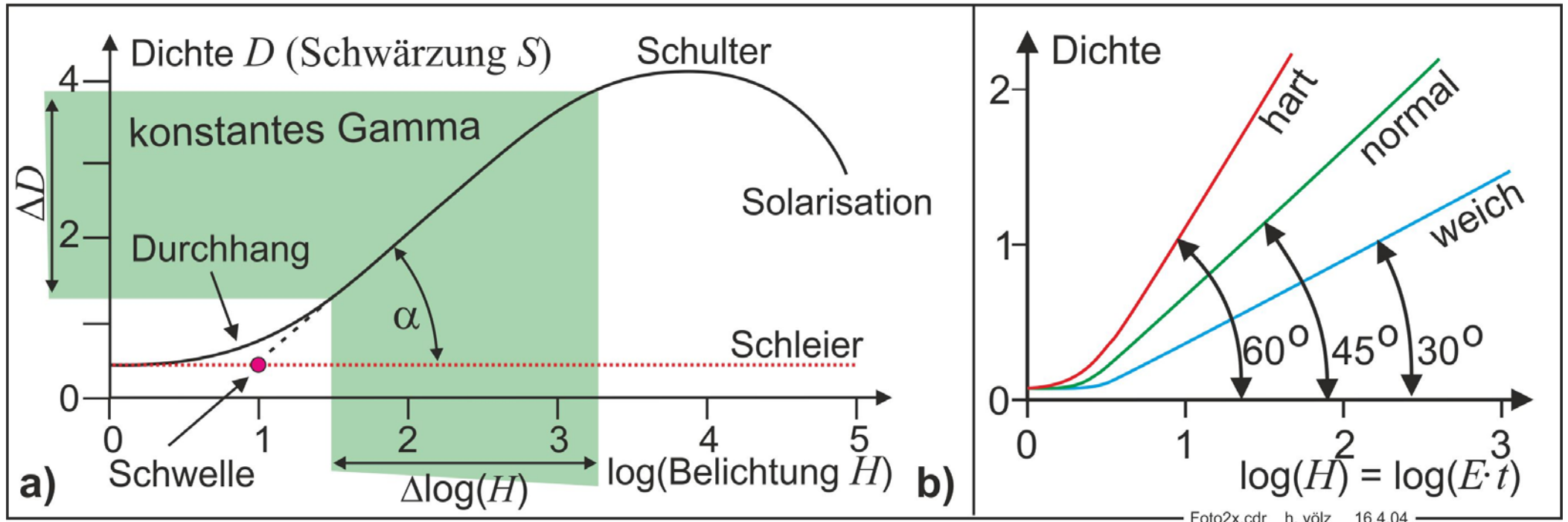
Die Schwärzungen bis in die Nähe der Schwelle betreffen den unerwünschten **Schleier**

Der Faktor p betrifft die **Steilheit** der Kurve im proportionalen Bereich = **Gradation** oder **γ -Wert**.

Am Ende der Proportionalität wird eine maximale Schwärzung, die **Sättigung** erreicht = **Schulter**.

Danach tritt wieder eine Abnahme der Schwärzung auf = **Solarisation** erstmals bei Bild mit Sonne beobachtet.

Zusätzliche Abweichungen treten bei extrem kurzen oder langen Belichtungen auf.



Empfindlichkeit und Sensibilisierung

Da fehlerfreie AgX-Kristalle praktisch keine Lichtempfindlichkeit besitzen, müssen sie sensibilisiert werden.

Das geschieht sowohl durch Störstellen als auch durch chemische Zusätze.

Die **allgemeine Sensibilisierung** benutzt physikalische Effekte und die chemische **Reifung**.

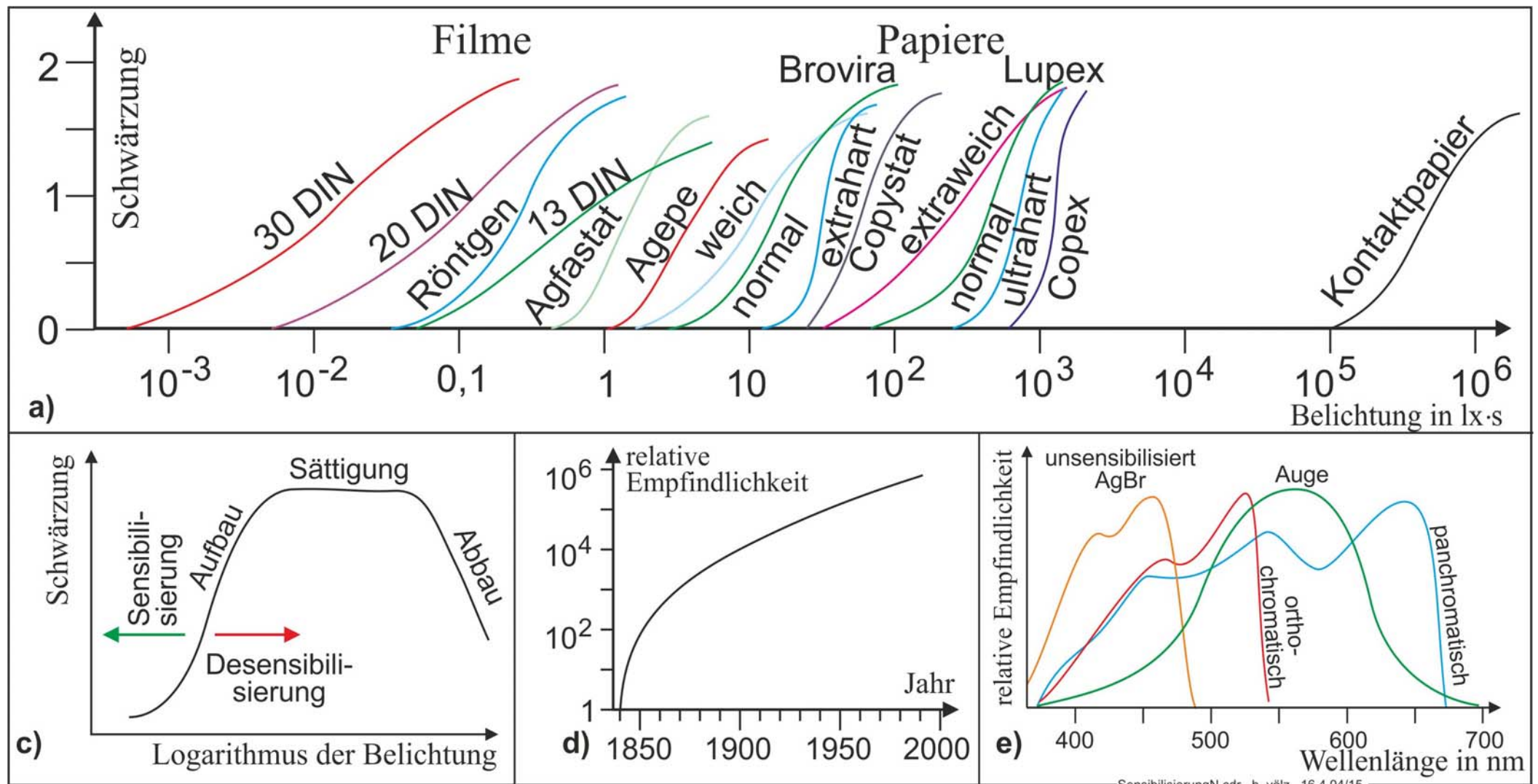
Eine **spektralen** Sensibilisierung erfolgt überwiegend durch Farbstoffe, die ausgewähltes Licht absorbieren.

Nur so sind Fotomaterialien zu schaffen, die das sichtbare Spektrum umfassen.

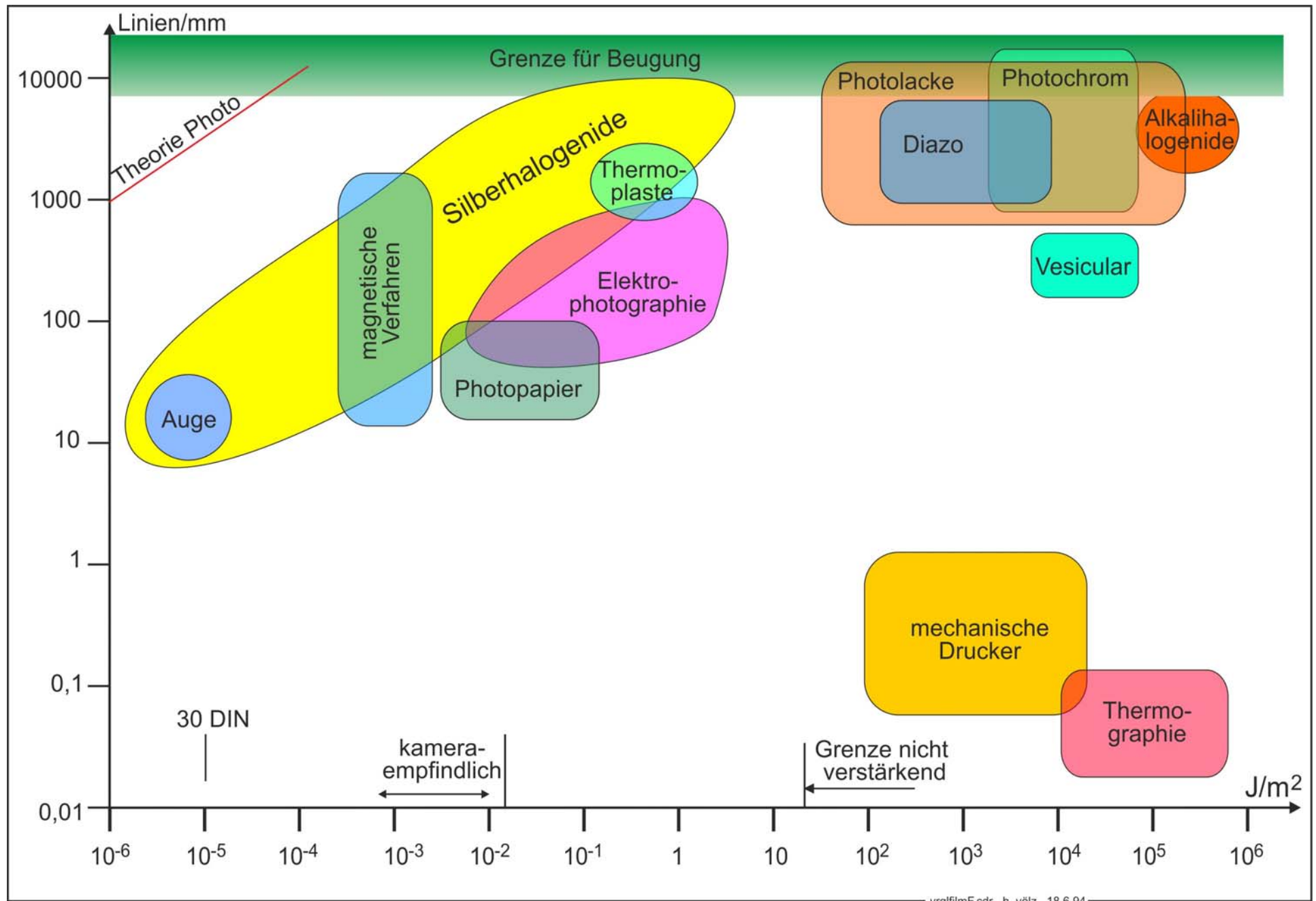
Noch wichtiger sind die sensibilisierenden Farbstoffe für die Farbfotographie (s. später).

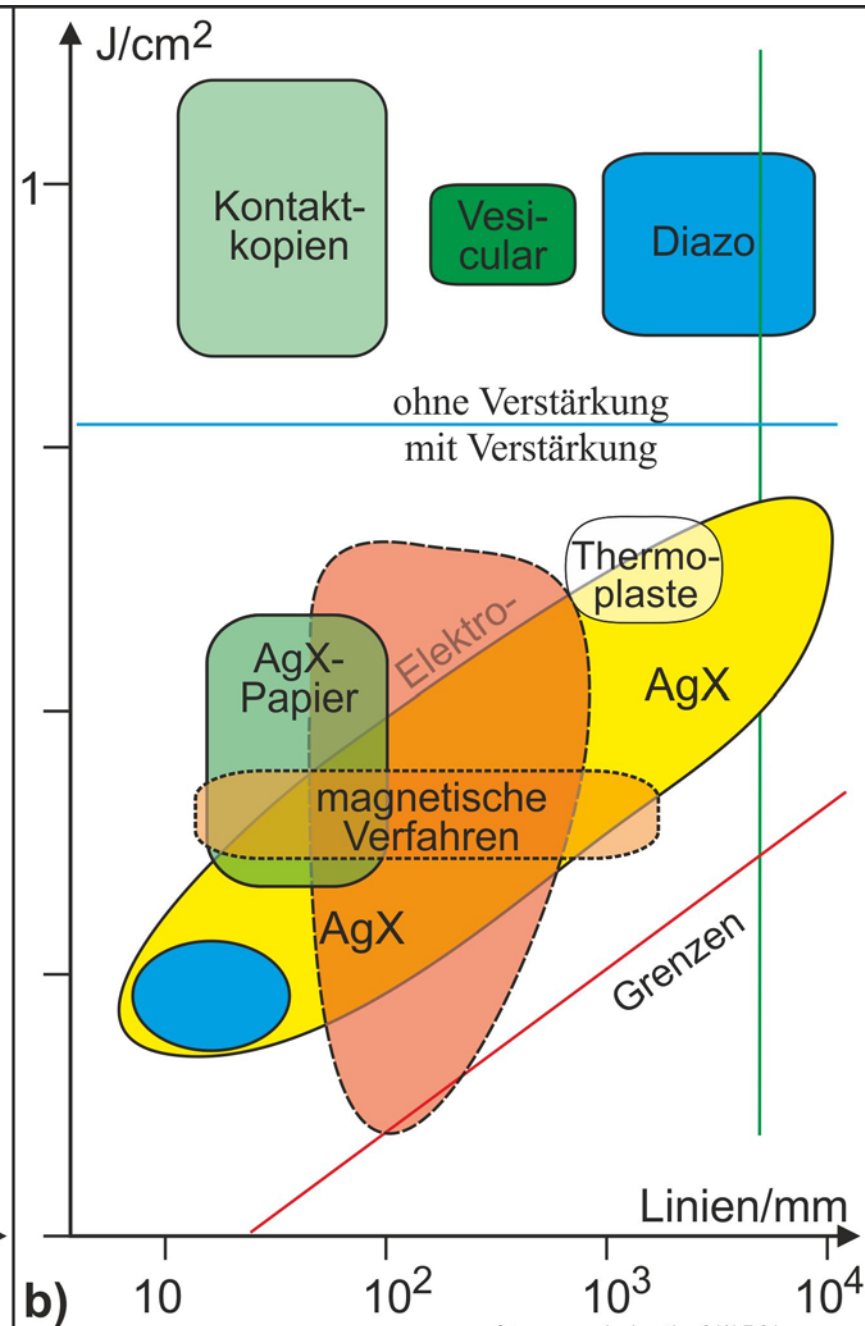
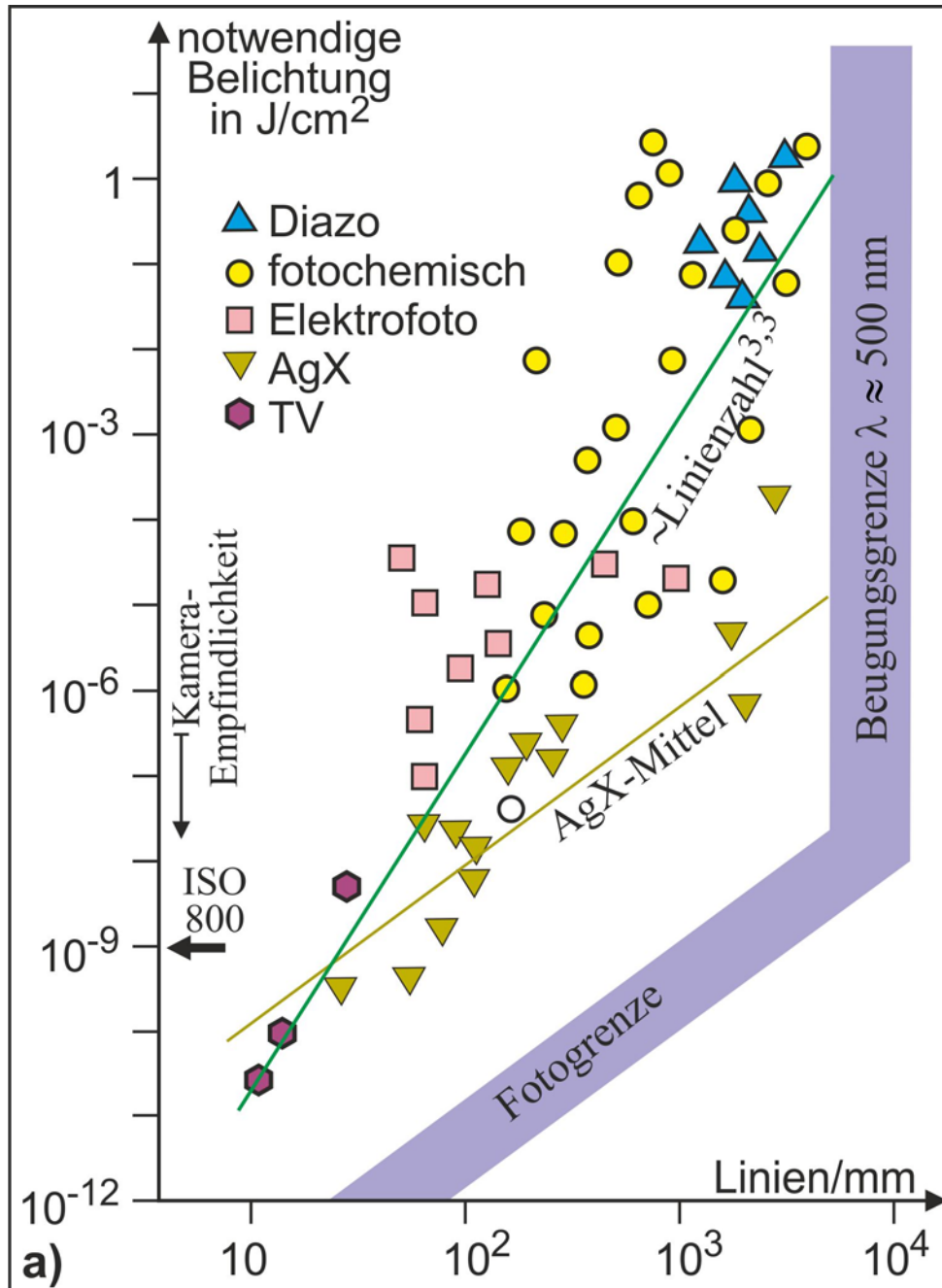
Die physikalischen und chemischen Zusammenhänge sind sehr komplex [4].

U. a. sind **Schwefel-**, **Edelmetall-** und **Reduktions- Sensibilisierung** zu unterscheiden



Mit der Lichtempfindlichkeit ändert sich die Auflösung eines Filmes
 Sie wird meist in Linien/mm angegeben. So ergeben sich typische Bereiche, der vielfältigen Verfahren





Licht-Empfindlichkeit

Sie ist durch unterschiedliche (geschichtliche und länderspezifische Zahlenwerte bestimmt.

Die erste Skala schuf der Deutsche Astrophysiker JULIUS SCHEINER (1858 - 1913) mit den SCHEINER-Graden.

Dabei entsprach einer Verdopplung der Lichtempfindlichkeit einem Zuwachs um 3 SCHEINER-Graden.

Sie wurde durch die DIN-Skala (**D**eutsche **I**ndustrie-**N**orm, bzw. **D**eutsches **I**nstitut für **N**ormung) abgelöst.

Zum Vergleich mit den amerikanischen ASA-Werten (**A**merican **S**tandards **A**ssociation), erfolgte 1958 eine Umstellung.

Sie führte 1978 zum ISO-Wert (**I**nternational **S**tandards **O**rganization).

Vergleichbeispiele zeigt die Tabelle. Die Skala „Alt“ gab es nur in einigen Ländern.

Scheiner	DIN	ISO = ASA	Alt
26	15	25	3
29	18	50	4
32	21	100	5
35	24	200	6
38	27	400	7

Die Grenze beim Film liegt bei etwa DIN 27.

Bei elektronischen Kameras werden heute Werte bis zu ISO 20 000 erreicht.

Negativ, Positiv und Umkehrentwicklung

Wo viel Licht auf das Fotomaterial fällt, entstehen viele Silberkeime.

Nach dem Entwickeln und Fixieren liegen hier viele schwarze Silberkörner vor. Helles wird zu Dunkel.

Es entsteht ein negatives, umgekehrtes Bild, ein Negativ.

Dieses Negativ dient zur Belichtung eines zweiten Fotomaterials, Dabei entsteht das Positiv.

Nachteile: **Vorteile:** Von einem Negativ können schnell und einfach beliebig viele positive Kopien angefertigt werden.

Außerdem kann dabei mit optischen Mitteln vergrößert, verkleinert, entzerrt und vielfältig nachbearbeitet werden.

So entstehen u. a. der **Kleinbild- und Mikrofilm**.

Trotzdem kann ein unmittelbares positives Bild vorteilhaft sein.

Das Fotomaterial wird – wie üblich – belichtet und entwickelt.

Es folgt keine Fixierung, sondern das entwickelte Ag herausgelöst.

Das restliche AgX wird diffus belichtet und entwickelt. Dabei entsteht ein Positiv.

Dies ist das Umkehrverfahren für durchleuchtbare (transparente) Bilder, DIA-Positive

DIA *griechisch* **dia** durch, hindurch, über, hin, quer heißen.

Gelatine - Emulsion

Fotomaterialien gibt es heute in großer Vielfalt, z. B. Papier, Kunststofffolie (Film), Glas, Stoff

In der Photographie hat sich **Emulsion** als Fachbegriff für die photographische Schicht etabliert.

Es ist eine Suspension der AgX-Kristallite in Gelatine

Chemie Emulsion = Gemenge aus zwei nicht zu mischenden, ineinander unlösbaren Flüssigkeiten, als Tröpfchen verteilt:

Dispersion (lateinisch *dis* doppelt, *pergere* fortfahren), **Emulsion** (lateinisch *emulgeo* ausschöpfen), **Gel** (lateinisch *gelu* Frost, Kälte),

Kolloid (griechisch *kólla* Leim, *-oeides*, ähnlich), **Sol** (lateinisch *solides* dicht, fest), **Suspension** (lateinisch *suspensio* Unterbrechung).

Gelatine (lateinisch *gelare*, *gelatum* einfrieren) 1871 von RICHARD LEACH MADDOX (1816 - 1902) für Trockenplatte.

Gelatine wird aus den Knochen bzw. der entfetteten Haut vorwiegend von Säugetieren hergestellt

Ist das **Schutzkolloid** für Filme usw. und nur mit erheblichen Schwankungen verfügbar.

In ihr müssen die einzelnen AgX-Kristallite gleichmäßig verteilt, voneinander getrennt, zeitlich beständig vorliegen

Sie ist **wasserlöslich**, **quellfähig** und **gelierfähig**, muss Entwickler, Bleichmittel, Fixiersalz usw. aufnehmen können.

Die „Struktur“ der Gelatine kann durch Härtungsmittel oder andere organische Reagenzien verfestigt werden.

Probleme: schlechte Reproduzierbarkeit, Sprödigkeit mit Abrieb bei Bewegungen (Kinoprojektoren), Schrumpfung bei sinkender Feuchte, schlechte Planlage, Grenzen der Lagerfähigkeit und Gefahr eines Pilzbefalls (Archivierung).

Dennoch wurde kein auch nur annähernd vergleichbares Material gefunden.

Die kurzwellige Grenze der AgX-Materien bei 250 nm entsteht durch Lichtabsorption in der Gelatine.

Fotoschicht

Silbernitrat (AgNO_3), Gelatine und Alkali- bzw. Ammoniumhalogenid werden bei erhöhter Temperatur vermischt.



Es fallen AgX -Kristallite $\leq 1 \mu\text{m}$ als weißer, käsiger Niederschlag aus.

Dies ist die **physikalische** oder **erste Reifung**, die zur Emulsion führt.

AgCl und AgBr kristallisieren eigentlich würfelförmig, jedoch haben die Körner häufig abweichende Form

Gelatine mit ihren stark polaren Gruppen (Carboxyl-, Aminogruppen) bewirkt eine Adsorption des AgX .

Durch die Schwefelverbindungen in der Gelatine und Zusätze (u.a. Au) werden Fehlstellen (Reifungskeime) gebildet

Der Prozess wird Zusatz von Gelatine beendet und fixiert.

Es folgt die **allgemeine Sensibilisierung** durch chemische Zusätze und Wärmebehandlung = **Chemische Reifung**

Bewirkt auch Veränderungen an der Kristallitoberfläche

Später wird die Emulsion noch spektral sensibilisiert Durch Baden in entsprechender Lösung.

Danach erfolgt der Beguss der Unterlage

So entsteht der photographische **Film** bezeichnet (*altenglisch filmen* Häutchen).

Es gibt u.a. Blank-, Stehbild-, Negativ-, Diapositiv-, Schmal-, Kine-, Röntgen-, Mikro- und Reprofilm

MÜF = MTF

Modulation-Übertragungs- (Transfer)Funktion bestimmt die Auflösung

Beim Film sind die Korngröße und der Lichthof wichtig.

Den Lichthofes bewirken zwei Effekte: Streuungen an AgX und Reflexionen an der Unterlage.

Die erste Komponente verdeutlichen schematisch Absorption und Streuung

Um den kreisförmigen Lichtstrahl (eigentliches Bild) entsteht der diffuse erste Lichthof

Der zweite Lichthof entsteht durch die Lichtreflexionen an der Unterlage

Gegen den zweiten Lichthof wird meist eine absorbierende Barytschicht angebracht. Bariumsulfat-Körner (BaSO_4).

Vermeidet auch Eindringen der Fotoemulsion ins Papier, erhöht die Bildhelligkeit und glättet die Oberfläche des Papiers.

Die Auflösung wird meist für die Linien/mm angegeben, Hierbei ist Kontrast (Modulationsgrad) auf 5 % gesunken

$$m = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{S_{\max} + S_{\min}}$$

Fotopapier liegen deutlich unter 50 Linien/mm. Gute Kleinbildfilme besitzen reichlich 100 Linien/mm.

Die Auflösung eines Fotomaterials kann nicht kleiner als der mittlere Korndurchmesser r_k sein.

Andererseits wächst die **Lichtempfindlichkeit** proportional mit der Oberfläche des Kornes ($\sim r_k^2$).

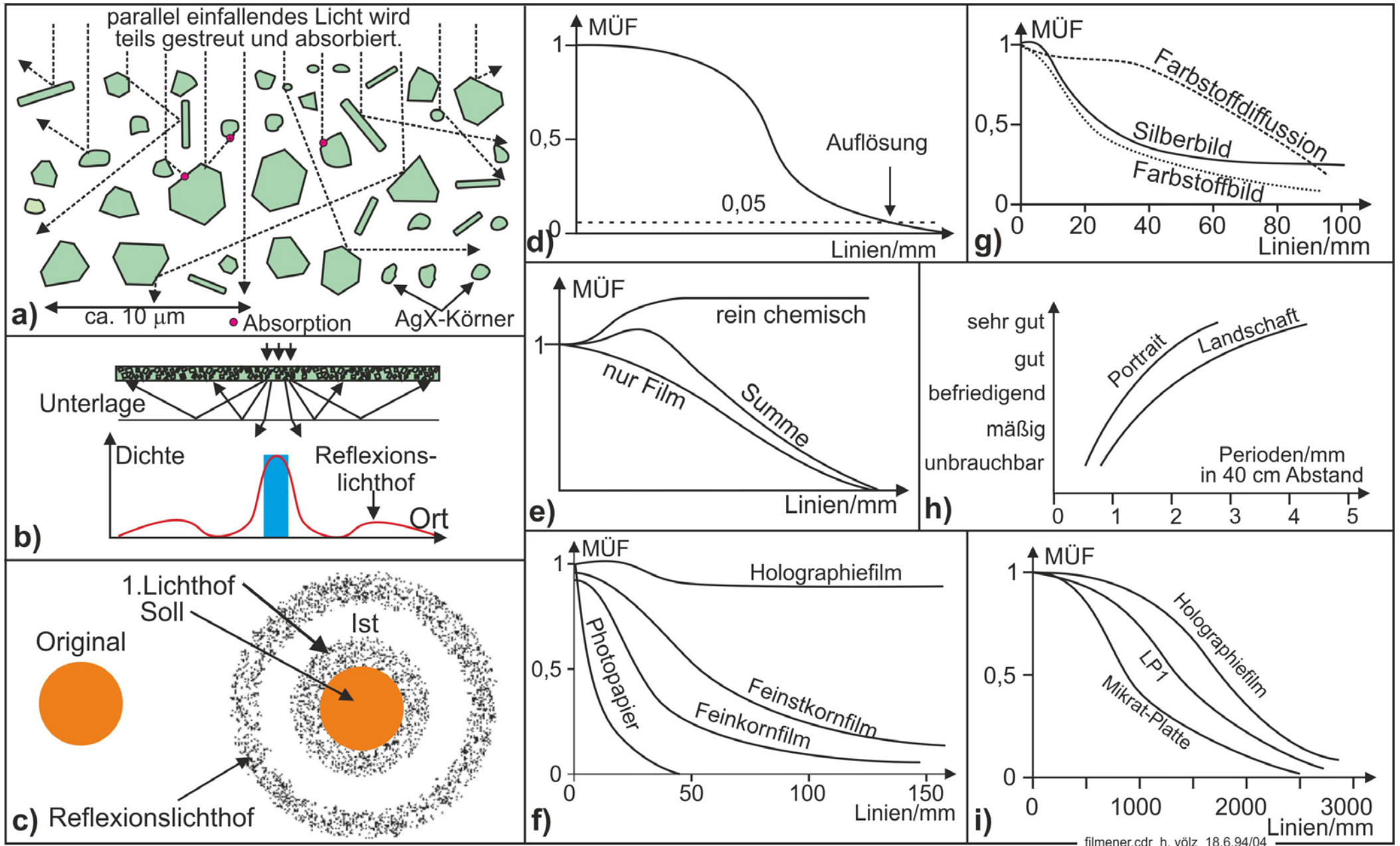
Ein unempfindlicher Film besitzt deshalb meist kleinere Körner und höhere Auflösung.

Für Holographie-Material sind Werte >1000 Linien/mm notwendig (Körner ≤ 20 nm). geringe Lichtempfindlichkeit.

Die Körner eines Fotomaterials gehorchen in ihrer **Größen- und Lageverteilung** statistischen Gesetzen.

Dadurch entsteht ein „**Kornrauschen**“.

Zuweilen wird es zur künstlerischen Gestaltung bzw. zur Rasterung (vgl. Bild 30) herangezogen.



Zur Geschichte NIÉPCE

1825 gelang es JOSEPH NICÉPHORE NIÉPCE (1765 - 1833) positive und seitenrichtige Bilder herzustellen
Anfangs erzeugte er Kontaktkopien mittels **lichtempfindlicher Bitumenschichten**, die er mit Lack fixierte.
1826 fotografierte er vom Dachboden seines Hauses den Hof des Familiensitzes.
Er verwendete dazu eine Kamera mit Sammellinse. Sie enthält auch eine Irisblende, für schärfere Bilder
Die Belichtungszeit betrug **etwa 8 h**. Er nutzte eine **mit Asphalt lichtempfindlich gemachte Zinnplatte** ($21 \times 16 \text{ cm}^2$).
Sie wurde mit tierischen Ölen (Lavendelöl) entwickelt (polymerisiert) und dann mit Alkohol fixiert.
Dabei wurden jene Stellen herausgelöst, die nicht durch die Lichteinwirkung verhärtet waren.
Da hierbei das Sonnenlicht wesentlich war, nannte er sein Verfahren **Heliographie**.

Louis Jacques Mande Daguerre (1787 - 1851)

war Pariser Theatermaler und Dioramabesitzer (Panorama).

Seine Versuche waren zunächst erfolglos. daher begann er 1826 **Briefwechsel mit NIÉPCE**.

Von ihm erhielt er im Oktober 1829 eine Heliographie „Nach der Natur“.

Er erreichte, dass 14.12.1829 ein **Vertrag zur gemeinsamen Weiterentwicklung** der Verfahren entstand.

Am 21.5.1831 teilte DAGUERRE mit, dass er die **Lichtempfindlichkeit von AgJ** festgestellt habe.

Er experimentierte mit Silberplatten bzw. versilberten Kupferplatten, die er Joddämpfen aussetzte.

Das latente Silberbild wurde durch Bildung von **Silber-Amalgam** kräftig verstärkt.

Da Amalgam im Gegensatz zum fein verteilten schwarzen Silber farblos ist, ergab sich ein **Positiv**.

Doch erst nach dem Tod von NIÉPCE gelangen ihm brauchbare Bilder mit etwa **4 Minuten Belichtungszeit**

die er mittels **Quecksilberdampf entwickeln** konnte (zufällig entdeckt, latentes Bild!).

Mit dem Sohn ISIDORE NIÉPCE (1805 – 1868) änderte er daraufhin den bestehenden Vertrag durch einen Zusatzartikel.

Die gemeinsame Gesellschaft hieß künftig nicht mehr „Niépce-Daguerre“, sondern „**Daguerre – Isidore Niépce**“.

Im Mai 1837 entdeckte Daguerre das **Fixieren** des Bildes mittels einer **Kochsalzlösung**.

In einem Abkommen vom 13.6.1837 wegen Verbesserungen: Unternehmen nur noch **Daguerreotypie**.

gemeinsame Sitzung der Akademie der Wissenschaften und der Akademie der schönen Künste zu Paris und DAGUERRE.

19.8.1839 DOMINIQUE FRANÇOIS JEAN ARAGO (1786 - 1853) bewirkte nach Bekanntmachung

Französische Staat kauft Erfindung und schenkte sie der Welt = Geburtsstunde der Fotografie.

Der dritte Erfinder Henry Fox Talbot (1800 - 1877)

machte 1835 erste Aufnahmen als Negative auf Papier

Pflanzenblätter auf lichtempfindlich gemachtes Papier gelegt. Beides setzte er dem Licht aus.

Wenig später benutzte er seine kleinen Kameras und belichtete damit **auf Papier befindliche AgCl-Schichten**.

Papier getränkt mit Kaliumjodid- und Silbernitratlösung, die Gallussäure (lateinisch galla Gallapfel) enthielt.

Dabei entstand im Papierfilz AgJ. U.a. fotografierte er hiermit das Fenster seiner Bibliothek von innen.

Da die Gallussäure als Entwickler wirkte, wurde die Belichtungszeit deutlich verringert.

Die **Entwicklung** konnte er gut **bei Kerzenlicht beobachten**.

Als erster benutzte er **Natriumthiosulfat** ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) zur **Fixierung**.

Es war 1819 von JOHN FRIEDRICH WILHELM HERSCHEL (1739 - 1822) gefunden worden.

Das Papier wurde anschließend mit flüssigem Paraffin **durchscheinend gemacht** → **kopierfähiges Negativ**

1840 hatte er sein Verfahren so weit verbessert, dass **brauchbare Abzüge** möglich waren.

1844 erschien sein **Buch mit Photographien** "The Pencil of Nature", 1845 der Band "Sun Pictures of Scotland".

Hippolyte Bayard (1801 - 1887) u. a.

Seine Arbeit weitgehend vergessen, experimentiert seit 1837 experimentierte mit AgCl

Ließ die Papiere in der Sonne so schwarz wie möglich werden.

Mit Bad aus Kaliumjodid-Lösung (KJ), befestigte sie in der Kamera und belichtete sie.

Der Lichteinfall schwärzte nicht, sondern bleichte. daher **unmittelbar positive Bilder**.

Stellte derartige Bilder bereits 1839 – einen Monat bevor Daguerre sein Verfahren publizierte aus.

Dies war die **erste Fotoausstellung**.

Es gibt es noch weitere Kandidaten für die Erfindung der Photographie.

Genannt sei nur CLAUDE ABEL NIÉPCE DE ST. VICTOR (1805 - 1870)

als Neffe von Niépce soll ab 1852 **Farbfotos mit Kupferchlorid** gemacht haben. Es sind jedoch keine Bilder erhalten.

Bis etwa 1850 blieb die Daguerreotypie das bestimmende Verfahren der Photographie.

Danach gewann immer mehr das Negativ-Positiv-Verfahren von TALBOT an Bedeutung.

Weiterentwicklungen, technische Ergänzungen

1851 verwendete der britische Bildhauer und Fotograf Frederick Scott Archer (1813 - 1857) erstmalig **Glasplatten**.

Als Bindemittel benutzte er die 1846 von CHRISTIAN FRIEDRICH SCHÖNBEIN gefundene **Kollodiumwolle**

Die Platten mussten sofort nach Beschichtung, noch nass, belichtet und entwickelt werden.

Sie besaßen eine **sehr hohe Empfindlichkeit und Feinkörnigkeit**.

Zahlreiche berühmt gewordene Fotografen des 19. Jh. nutzten es, etwa J. M. CAMERON und NADAR.

1864 schufen B. J. SAYCE und W. B. BOLTON die weiter entwickelte „**Trocken**“-**Platte**.

1871 ersetzte RICHARD LEYCH MADDUX (1816 - 1920) das Kollodium durch die **Gelatine**. (Trockenplatte)

Das ermöglichte auch ihre **industrielle Herstellung**.

Bald entdeckte man die **Erhöhung der Lichtempfindlichkeit**.

So wurden Belichtungszeiten von 1/25 s und damit ein Fotografieren „aus der Hand“ möglich.

Problem:

jede Fotoplatte muss einzeln und im Dunklen in die Kamera eingelegt und nach Belichtung herausgenommen werden.

1868 erfand JOHN WESLEY HYATT das **Celluloid**, sollte ursprünglich für das Elfenbein der Billardkugeln dienen.

JOHN CARBUTT schuf damit den **Planfilm**, der zumindest deutlich leichter als eine Glasplatte war.

Der PFARRER HANNIBAL GOODWIN (1822 - 1900) erfand den **Rollfilm**, Patent 13.9.1898

GEORGE EASTMAN (1854 - 1932) schuf daraufhin 1889 die **Boxkamera „Kodak-Nr. 1“**.

Film für 100 Aufnahmen, kostete 25 Dollar und wurde nach Aufnahme der Bilder komplett eingeschickt.

Im Werk wurde der Film entwickelt und die Bilder von ihm kopiert.

Gemeinsam mit der Kamera, die einen neuen Film erhalten hatte, zum Kunden zurückgeschickt. Das Motto lautete:

„You press the button, we do the rest“.

Damit war die Amateurfotographie geboren.

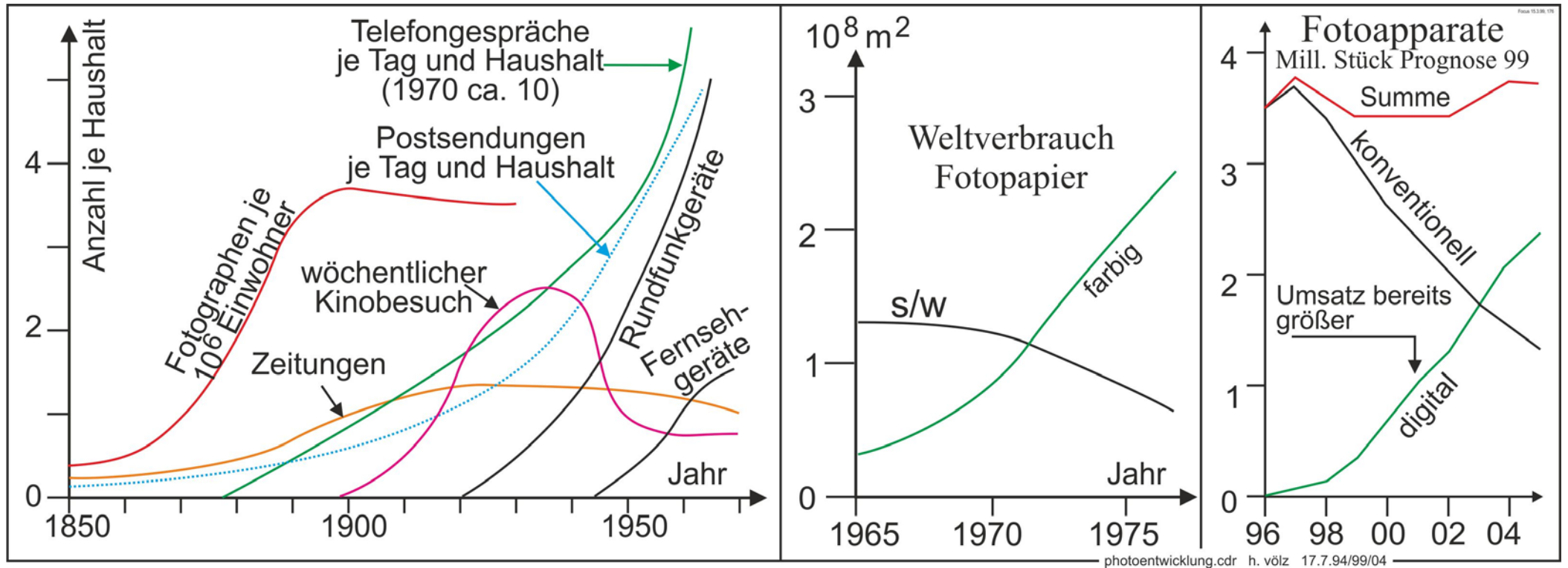
weitere Verbesserungen

Nach der „Box“ folgen fast „nur noch“ Verbesserungen im **Bedienungskomfort**, in der **Leistungsfähigkeit** und der **Übergang zu vielen neuen Anwendungen**. Später erfolgte die **Projektion von Bildern**, realisiert 1893 von ÉTIENNE JULES MAREY. Die Möglichkeiten des **Farbfilms** gehen letztlich auf ISAAC NEWTON (1642 - 1727); 1666 Entdeckung der **Spektralfarben des Sonnenlichts** zurück. 1801 schuf dazu THOMAS YOUNG (1773 - 1829) die **Dreifarbentheorie** auf. 1855 schlug JAMES CLERK MAXWELL (1831 - 1879) die Drei-Farben-Fotographie vor. Am 17.5.1861 projizierte er vor der **Royal Institution of Great Britain** in London ein farbiges Ordensband, Das **erste Fotostudie**, das Portraits in natürlichen Farben anbot, gab es erst 1906 als „St. James's Studio“ in London.

Bedeutsam ist auch eine sehr frühe Anwendung des **Mikrofilms**. Er wurde während des Deutsch-Französischen **Krieges von 1870/1871 zur Nachrichtenübermittlung** eingesetzt. RENÉ PRUDENT PATRICE DAGRON (1819 - 1900) stellte hierzu auf 1/100-stel verkleinerte photographische Abbildungen her die dann mittels Brieftauben zum, von den Preußen belagerten Paris transportiert wurden. Eine Taube konnte so mit jedem Flug fast 100 000 Depeschen zu je 20 Wörtern transportieren.

AgX wurde und wird vielfältig benutz.

UV, IR und andere Energieformen: Radioaktivität, Röntgen- oder Korpuskelstrahlen



Farbfilm 1

Die erste Farbfotographie realisierte GABRIEL JONAS LIPPMANN (1845 - 1921) im Februar 1891. Hierfür erhielt er 1908 den Nobelpreis.

Hinter der lichtempfindlichen Schicht einer photographischen Platte hatte er eine Quecksilberschicht angeordnet.

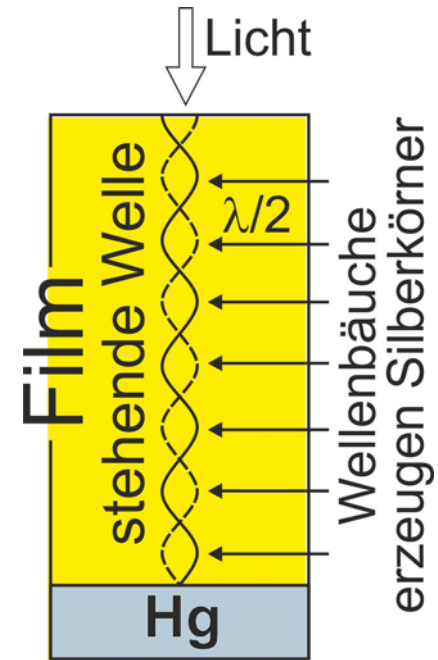
Sie reflektierte das Licht so, dass stehende Wellen entstanden.

An ihren Bäuchen erzeugten sie Silberkeime.

Nach der Entwicklung lagen dadurch spiegelähnliche, parallele Wiederholungen vor.

Sie bewirkten, dass bei der Betrachtung entsprechend ihren Abständen die originalen Farben auftraten.

Praktische Bedeutung hat dieses Verfahren aber nicht erlangt.



Alle weitere Farbfotographie benutzt: unser Auge besitzt die Zäpfchentypen: Rot, Grün und Blau.

Sie filtern aus dem Licht *nur 3 Farbwerte* aus. (Kurven oben im Bild).

Das Gehirn bestimmt aus dem Verhältnis der 3 Farbwerte die subjektiv wahrgenommene Farbe.

Zur Erzeugung aller möglichen Farben genügt es daher auch,

Dem Auge nur drei Grundfarben mit solchen Intensitäten anzubieten,

dass die subjektive Bewertung zur „richtigen“ Farbe führt.

Additive Verfahren

Die ursprüngliche, technische Ausführung erzeugt drei Bilder als **Farbauszüge** in den Grundfarben Rot, Grün und Blau. Je Teilbild ist dabei eine Aufnahme mit entsprechend sensibilisiertem Fotomaterial, das eventuell noch durch ein Farbfilter ergänzt wurde, notwendig.

Zur **Wiedergabe sind dann die 3 Farbauszüge** mit entsprechend farbigem Licht übereinander zu projizieren.

Dabei bereiten die eventuelle Parallaxe und der hohe technische Aufwand oft Probleme.

Z.T. erfolgt die Aufnahme bzw. die Wiedergabe auch mit rotierenden Farbfiltern.

Beispiele sind u.a. das zweifarbige Kinemacolor von 1906 und der Herault-Trichrome-Prozess von 1929.

Farbbilder auf Papier waren mit diesen Techniken kaum zu erreichen,

denn die einzelnen Farbauszüge mussten kompliziert (in subtraktiven Farben s.u.) übereinander angebracht werden, z.B. beim Harriscolor-Verfahren um 1928.

Heute wird dieses Prinzip noch als Farbauszugsverfahren im Farbdruck genutzt.

Ansonsten erlangte es aber keine größere Bedeutung.

Die **rotierenden Farbfilter** kommen heute z.T. noch bei der Projektion elektronisch erzeugter Farbbilder zur Anwendung.

Farbraster-Verfahren

Hierbei wurden zunächst oberhalb der panchromatisch sensibilisierten Einzelschicht blau-, grün- und rot-gefärbte Stärkekörner aufgebracht (Kornraster z.B. Lumiere-Autochrome-Platte von 1908) (Bild a.)

Farblacke mit Gerbsäure und basische Farbstoffe kamen bei der Agfacolor-Farbrasterplatte von 1912, angefärbte Harze beim Agfacolor-Ultrafilm von 1923 zur Anwendung.

Die Agfa AG Leverkusen brachte 1932 den ersten Farb-**Diapositivfilm** (Farbraster) heraus.

Ähnliche Prinzipien wurden beim Filmcolor und Alticolor bis 1955 benutzt.

Die **Körner** waren dabei immer **zufällig und einschichtig**, wie es etwa Bild a andeutet, angeordnet.

Diese Verfahren ließen auch **Farbbilder** zu.

Die **unregelmäßige Verteilung** war jedoch unbefriedigend und bewirkte bei Kinofilmen ein starkes **Farbflimmern**.

Einige Jahre später zu systematischen Pixel- bzw. Linienrastern gemäß Bild b, c.

Besonders erfolgreich war das Dufaycolor-Material, von dem es bis 1958 Umkehrmaterialien als Roll-, Plan-, Kleinbild- und Schmalfilme gab; Kinoumkehrfilme wurden bis 1936 hergestellt.

Eine weitere Vereinfachung brachte der **Linsenrasterfilm** (Bild f).

Auf der Rückseite (Unterlage) des Fotomaterials waren Zylinderlinsen eingeprägt, und im Aufnahme- bzw. Wiedergabeobjektiv war großflächig ein Farbstreifenfilter angeordnet.

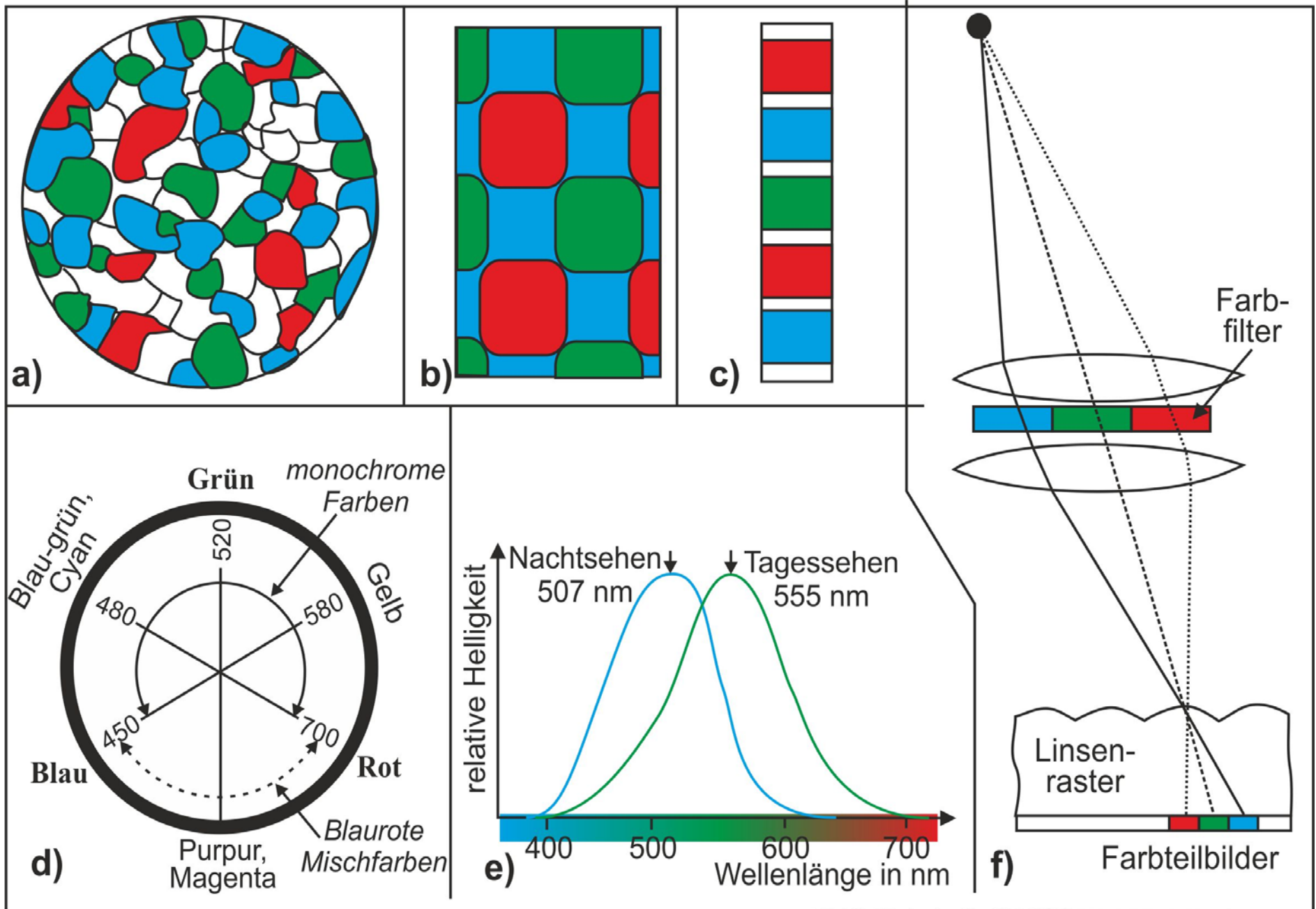
Im photographischen Material entstanden dadurch hinter jeder Zylinderlinse die drei Farbauszüge als Farbstreifen.

Die Linien waren etwa $\frac{1}{50}$ mm breit, wobei bis zu 23 rote, grüne und blaue Linien/mm vorlagen.

Beispiele sind das Cinecolor-Verfahren von 1925 - 1935 und das Thomascolor-Verfahren von 1944 - 1949.

Das Rouxcolor-Verfahren wurde sogar bis 1951 benutzt.

Die Linsenraasterung wird sogar heute noch bei einigen **Stereo- bzw. den Wackelbildern** angewendet.



Subtraktive Farbfotographie

Das **additive Verfahren** besitzt für die Fotografie zwei erhebliche Nachteile:

- In jeder einzelnen Fotoschicht wird jeweils nur $1/3$ des gesamten sichtbaren Lichts ausgenutzt.
- Es müssen drei getrennte Farbauszüge bzw. drei getrennte Farbpixel benutzt werden.

Beide Nachteile vermeidet das **subtraktive Verfahren**.

Bei ihm durchdringt *eine* Lichtquelle die *drei* hintereinander angeordneten Schichten (Bild).

In jeder Schicht kann dabei im Prinzip $2/3$ des Lichtspektrums ausgenutzt werden.

Jede Schicht kann ihren Farbanteil absorbieren.

Da die Schichten hintereinander liegen, hat ein farbiges Pixel nur die Größe eines einzelnen Farbpixels in jeder Schicht.

Verfahren daher etwa doppelt so empfindlich, wie die einzelnen Schichten beim additiven Verfahren.

Seine Auflösung ist dreimal so groß wie die eines additiven Korn- oder Linsenrasterfilmes.

Die Deckung der drei Farben ist immer garantiert.

die Grundfarben sind jedoch Gelb, Cyan und Purpur (Farbkreis in Bild d).

Trotz komplexer Technik erfolgte daher **ab 1950** zum Durchbruch.

Geschichte

Grundlagen für die subtraktive Farbfotographie bereits 1909 durch RUDOLF FISCHER (1881 - 1957) in der Agfa erarbeitet.

1. Film „Kodachrome“ der Eastman Kodak Company in Rochester (N.Y.), 1935 16-mm-Schmalfilm, 1936 als DIA-Film.

1936 kam der „**Agfacolor-Neu**“ für farbige Diapositive von der Agfa AG Leverkusen in den Handel.

1939 machte dann die Agfa das Negativ-Positiv-Verfahren bekannt.

Ab 1942 waren Papierabzüge und -vergrößerungen möglich.

1942 brachte auch Kodak die Negativ-Positiv-Technik als „**Kodacolor**“ heraus.

Heute ist weltweit das etwas abweichende „**Ektachrome**“-Verfahren in Gebrauch.

Den **Positiv**film (DIA), **Negativ**film und **Papier**bild zeigt das folgende Bild.

Beim typischen *DIA-Film* sind drei AgX-Schichten mit unterschiedlicher Farbsensibilisierung übereinander angeordnet.

Sie werden durch Zwischenschichten voneinander getrennt.

An der Oberseite des Fotomaterials ist eine (mechanische) Schutzschicht,

Hinter der Unterlage ein Lichthofschutz (erstmalig 1892) angebracht.

Nach der Belichtung, Entwicklung entstehen zunächst – genauso wie bei Schwarzweiß-Entwicklung – Silberschichten.

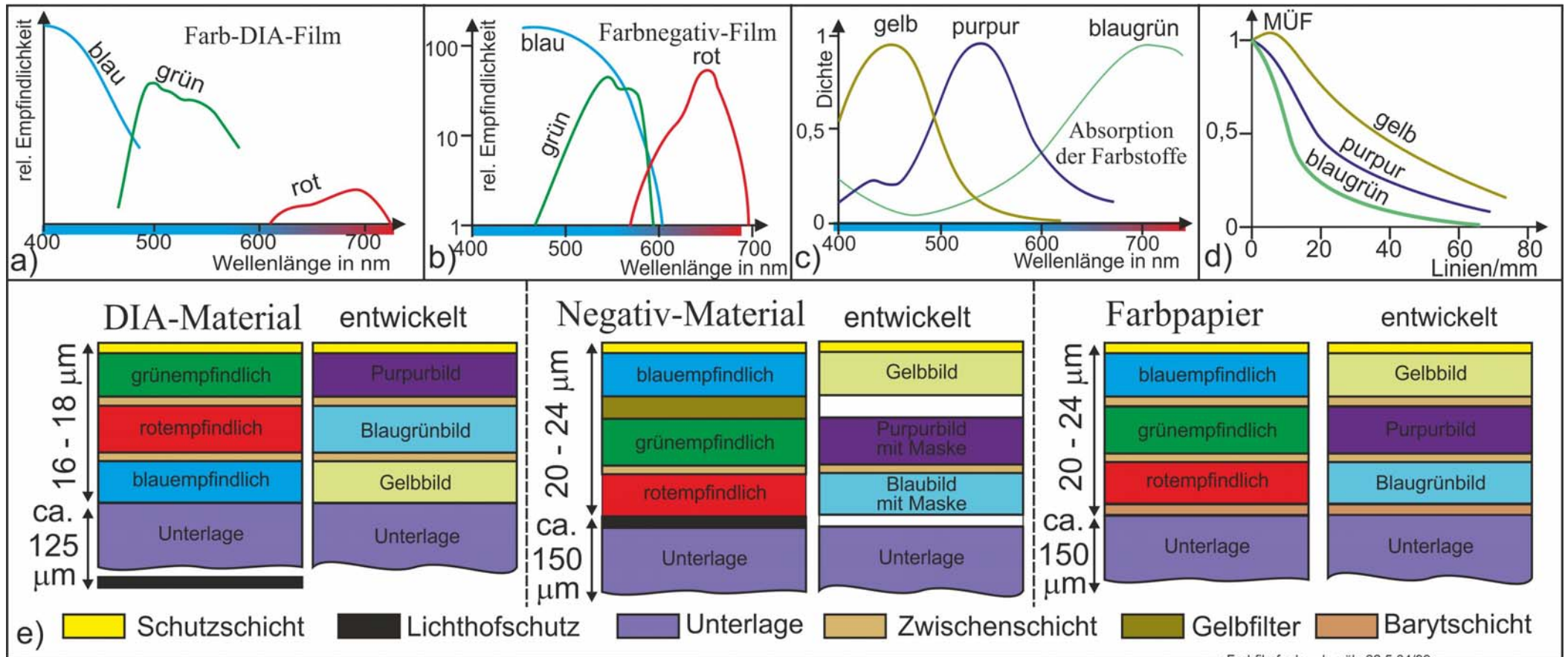
Entsprechen etwa den drei einzelnen Farbauszügen.

Der entscheidende Unterschied besteht darin, dass in den Schichten zusätzlich spezifische „Farbkuppler“ enthalten sind.

Aus ihnen entstehen bei der Entwicklung in Kopplung mit der Silberbildung purpurne, blaugüne bzw. gelbe Farbstoffe.

Nach dem Abschluss der einzelnen chemischen Bearbeitungsprozesse (s.u.) verbleiben nur sie in der Gelatine.

Das Silber der Fotoschichten kann fast vollständig zurückgewonnen werden. Auch der Lichthofschutz wird entfernt.



Farbfilmf.cdr h. vözl 22.5.04/99

Zur Bearbeitung

Die Zusammenhänge sind hoch komplex, deswegen nur das Wichtigste [4].

Die **Farbstoffvorstufen** sind in hochsiedenden, organischen Flüssigkeiten gelöst, in kleine Tröpfchen dispergiert.

Gegenseitige Beeinflussung von Schicht und Farbkuppler ist dadurch sehr gering.

Als **Farbkuppler** werden u.a. offenkettige und zyklische Methylen sowie Methine und Imine verwendet (a).

Die Farbentwickler weichen nur teilweise von den typischen Schwarzweiß-Entwicklern ab.

Die prinzipiellen Reaktionen bei der Entwicklung und Farbstoffbildung fasst b) zusammen.

Mit der Reduktion des entwickelbaren AgX wird eine oxidative Farbbildreduktion gekoppelt.

Es entstehen gleichzeitig Bildsilber und Farbstoff.

Hierbei ist ein N,N-di-substituiertes p-Phenyl-Di-Amin wirksam (Gl. 1). R_1 , R_2 sind Radikale

Das Chinon-Di-Imin-Kation ist gemäß Gl. 2 der Mesomerie fähig.

Es reagiert mit aktiven Methylen-Verbindungen (Farbkuppler), wobei zunächst die Leuco-Form von Gl. 3 entsteht.

In der sich anschließenden Oxidation wird die Leuco-Form zum eigentlichen Bildfarbstoff umgewandelt (Gl. 4).

In diesem Beispielprozess sind zwei Silberatome für ein Farbstoffmolekül erforderlich (2-Äquivalent-Kuppler).

Andere Reaktionen verlangen auch vier Silberatome.

Bei den Entwicklungsreaktionen müssen die Entwickler und ihre Produkte zwischen den Schichten frei diffundieren.

Die Farbbildstoffe sowie das AgX müssen dagegen in der jeweiligen Fotoschicht örtlich fest gebunden bleiben.

Da die Farbstoffvorstufen recht klein sind, werden sie mit Ballastgruppen (R) vergrößert.

U. a. müssen die Farbkuppler eine geringe Körnigkeit aufweisen.

Die Farbstoffe sollen eine hohe Stabilität gegenüber Licht und Feuchtigkeit besitzen

Sie dürfen nicht die mechanischen Eigenschaften der Schicht wesentlich verändern

Für die Farbqualität müsste die Absorption rechteckförmig verlaufen.

Dazu sind noch „Maskenkuppler“ notwendig.

Unterlage und ergänzende Schichten

Zu Beginn 1847 Leim (Collodium) mit Fotoschicht wurde nur **Glas** verwendet.

Für direkt zu betrachtende Bilder kam bald preiswertes **Papier** hinzu: Stabilitätsprobleme

Zwischen Papier und Emulsion wurde eine **Baryt**-Schicht eingefügt: Gelatine + Bariumsulfat oder Titanoxid

Steigert den Kontrast des Bildes: auch Raster aufgeprägt → *matte* statt einer *glänzenden* Oberfläche.

1970 durch **kunststoffbeschichtetes Papier**. Auch als PE- (**Poly-E**thylen) oder RC-Papier bezeichnet (**R**esin **C**oated).

Großbilder, dekorative Ausgestaltung von Räumen, für Muster, Dekors usw. auf Kleidung wird **Stoff** (Leinen) verwendet.

1881 **Zelluloid** (Celluoid, Zellhorn); mit Campher weich gemacht, gut durchsichtig und elastisch, aber leicht brennbar.

Daher ab etwa 1900 durch **Acetylzellulose** (Celluloseacetat, Acetatfilm, Sicherheitsfilm)

= Salze ($\text{H}_3\text{C}-\text{CO}-\text{OM}$) der Essigsäure mit einem Metall (M) und für Ester ($\text{H}_3\text{C}-\text{CO}-\text{OR}$)

Ab 1942 wurden verstärkt **Polyester** (Polyäthylenterephthalat), Polykarbonat, Polysteren usw. als Unterlage eingesetzt.

Ergänzende Schichten haben viele Aufgaben.

Eine **Haft**-Schicht bewirkt eine festere Verbindung zum AgX und erhöht die Benetzbarkeit der Unterlage

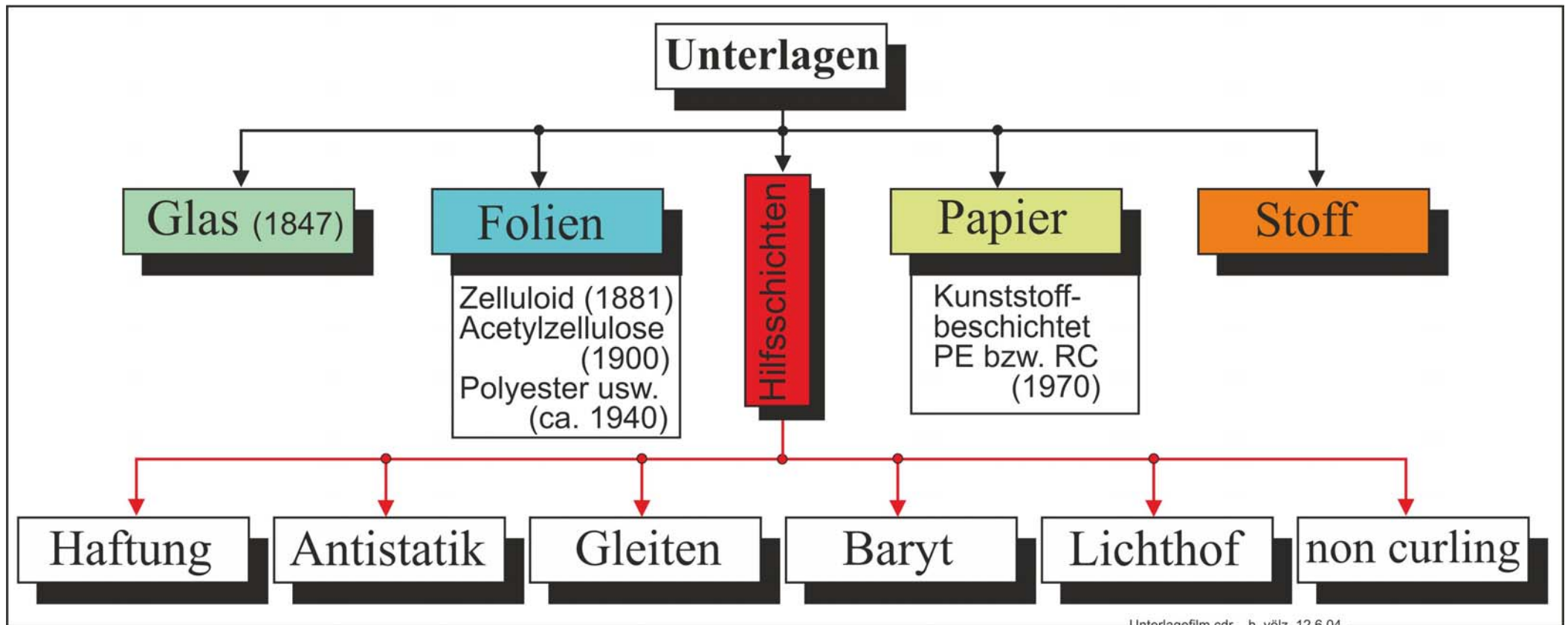
Kunststoff-Unterlagen können sich leicht, u.a. durch Reibung, aufladen: Film lokal belichten (verblitzen).

Auf der Rückseite daher eine **Antistatik**-Schicht angebracht.

Beim Kinofilm muss Unterlage leicht auf Anlageflächen gleiten → **Gleit**-Schicht (spezielle Wachse)

Für gute Planlage auf der Rückseite **Anticurl**- oder NC-Schicht genannt (**N**on **C**urling, *englisch curling* lockend, drehend).

Kann zugleich als **Lichthofschutz** dienen. Schließlich auch für Kratzfestigkeit.



Unterlagefilm.cdr h. völz 12.6.04

Vor- und Nachteile von AgX

Die AgX-Fotographie ist/war ein umfangreicher Industriezweig, in dem einige 10^5 Menschen beschäftigt sind. Jährliches Produktionsvolumen mehrere 10^7 €. Es gab etwa 10^6 klassische Fotoapparate und einige 10^5 Lichtspielhäuser. Es bereits vor etwa 50 Jahren mit dem Fernsehen Verluste, stärker seit 1985 durch elektronische Fotografie.

Doch wie die Erfahrung zeigt, verschwinden weit verbreitete Techniken nie vollständig, auch Nostalgie, wie bei Vinyl.

Die wichtigsten Vorteile der AgX-Technik im Vergleich zu anderen Verfahren sind:

Hohe Lichtempfindlichkeit durch 10^9 -fache Verstärkung.

Aufsummierung der Lichtmenge, auch über sehr lange Zeiten.

Wählbare **spektrale Sensibilisierung** im Bereich zwischen 100 und 1300 nm.

Möglichkeit der **Farbaufzeichnung**.

Nutzbarkeit **für viele Strahlungsarten**, wie α -, β -, γ -Strahlung und energiereiche Partikel.

Relativ **hohe Bildqualität** bzgl. Informationsmenge und Detailwiedergabe, vor allem bei **Mikrofilm**.

Gute Stabilität des unbelichteten, belichteten und entwickelten Materials.

Varianten, z.B. bzgl. Empfindlichkeiten und Gradationen.

Optischer Anordnungen für **sehr einfache Bildaufnahme und -wiedergabe**.

Weitgehende **Automation** bei Herstellung und Vervielfältigung: Papierbilder, Filme, DIAs. viele Formate.

Gute **Übergänge zum Druck**.

Natürlich gibt es auch (beachtliche) **Nachteile**:

Komplizierte **Herstellung**, hoher Aufwand in Forschung, Entwicklung, Produktion und Qualitätskontrolle.

Relativ lange **Zugriffszeit**: Von der Belichtung bis zur Verfügbarkeit des entwickelten Bildes.

Chemische **Nassverarbeitung** mit teilweise wenig umweltverträglichen Substanzen.

Grenze der **Detailauflösung** bei maximal 1000 Linien/mm.

Hoher **Silberpreis**, Verbrauch 1 bis 20 g/m²; nicht vollständige – Röntgenfilm auch keine – Rückgewinnung des Silbers.

Wichtige Konfektionierungen

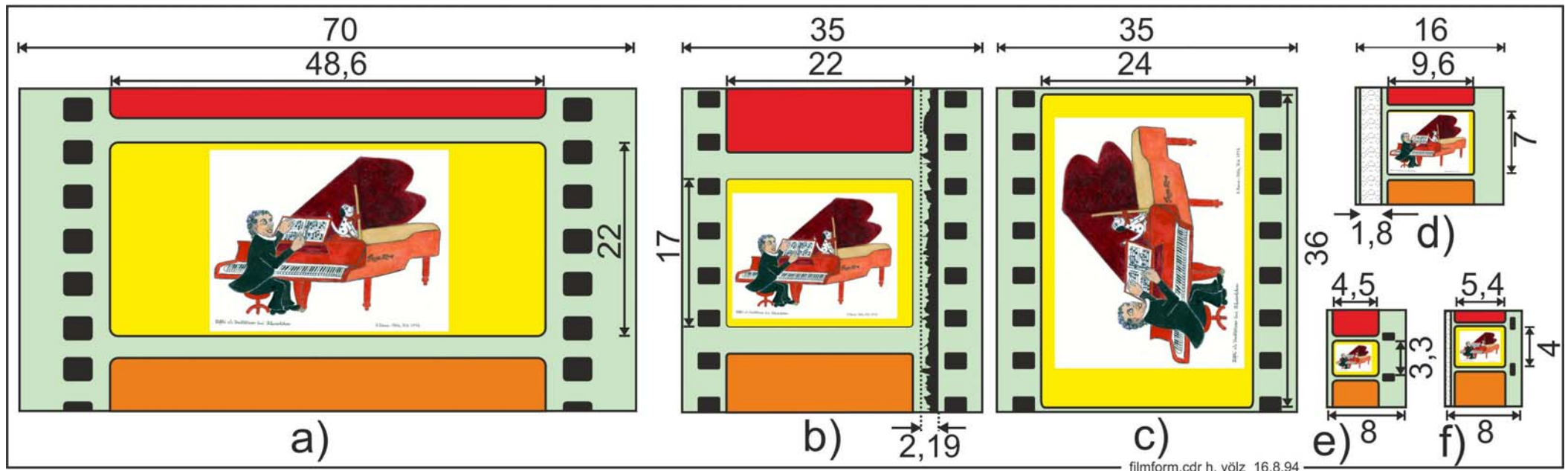
Der 70-mm-Breitwand-Film wird nur in Kinotheatern benutzt (a).

Der 35-mm-Film wird gleichermaßen als *Kinofilm* (b) und für die *Amateurfotographie* (a) zwei Kinobilder = 1 Fotobild)

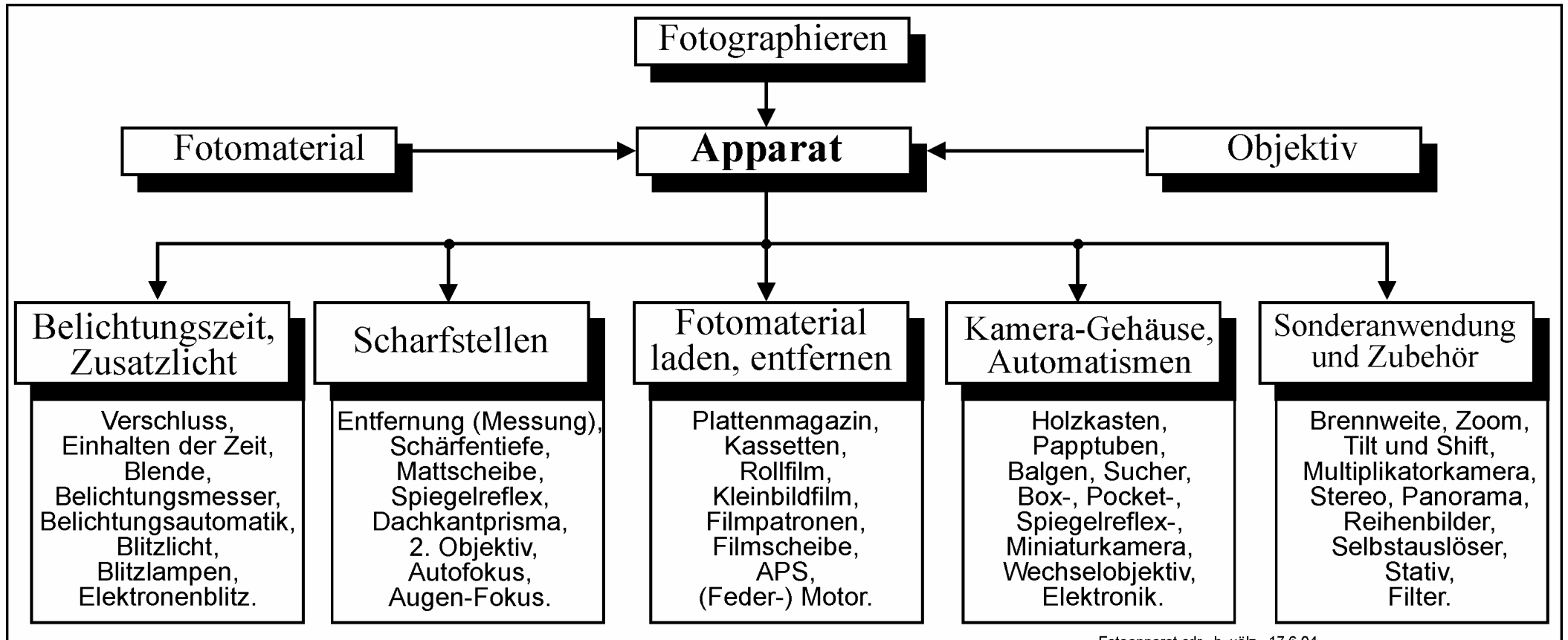
Der 16-mm-Schmalfilm, (d) war einst für die Reportage beim Fernsehen wichtig. Heute völlig magnetisch üblich.

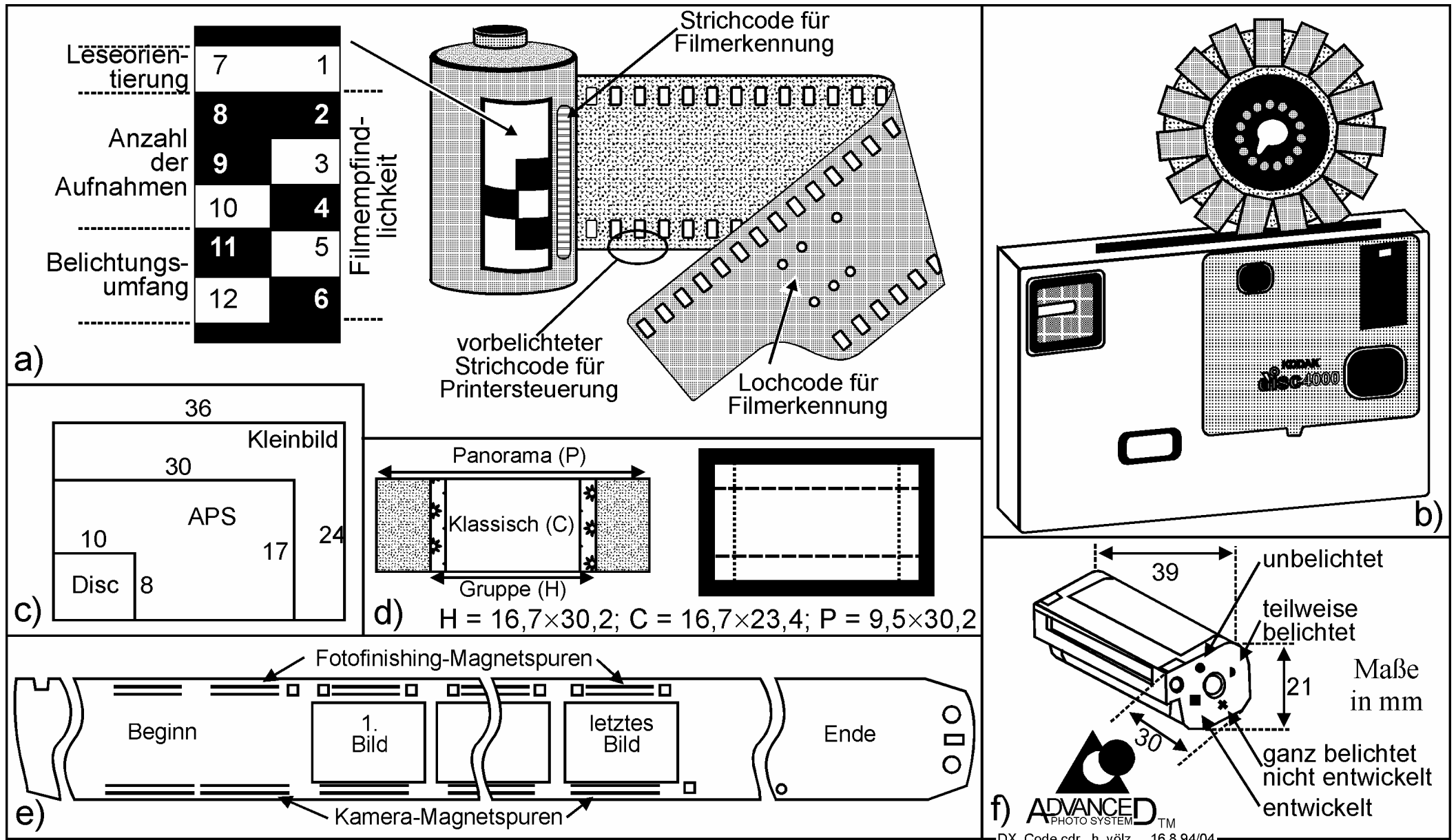
Den klassischen *Amateur-Schmalfilm* gab es zunächst im 8-mm-Format (e) und später in Super-8 (f)

Ebenfalls heute elektromagnetisch.



Fotoapparat und Bedienungskomfort





Sofortbild-Fotographie

Bei der „herkömmlichen“ Fotografie entsteht das endgültige Bild in jenen AgX-Schichten: Licht → Ag-Keime
Die Silbersalz-, Farbstoff-Diffusionsverfahren zählt die Sofortbild-Fotographie.

Grundsätzlich sind dann zwei spezielle Schichten zu unterscheiden:

- Die **lichtempfindliche AgX-Schicht**: Bei Belichtung entsteht Ag, SW-Fotographie ein Negativ.
- Die **Bild-Empfangsschicht** am Ende der chemischen Prozesse liegt hier das endgültige positive Bild
In sie diffundiert bei der Schwarzweiß-Fotographie das in der AgX-Schicht nicht entwickelte Silber.
So entsteht dort ein unmittelbar zu betrachtendes positives Bild (Silbersalzdifffusion).

Bei der Farbfotographie ist die Bilderzeugung komplizierter.

Wieder 3 unterschiedlich spektral sensibilisierte AgX-Schichten.

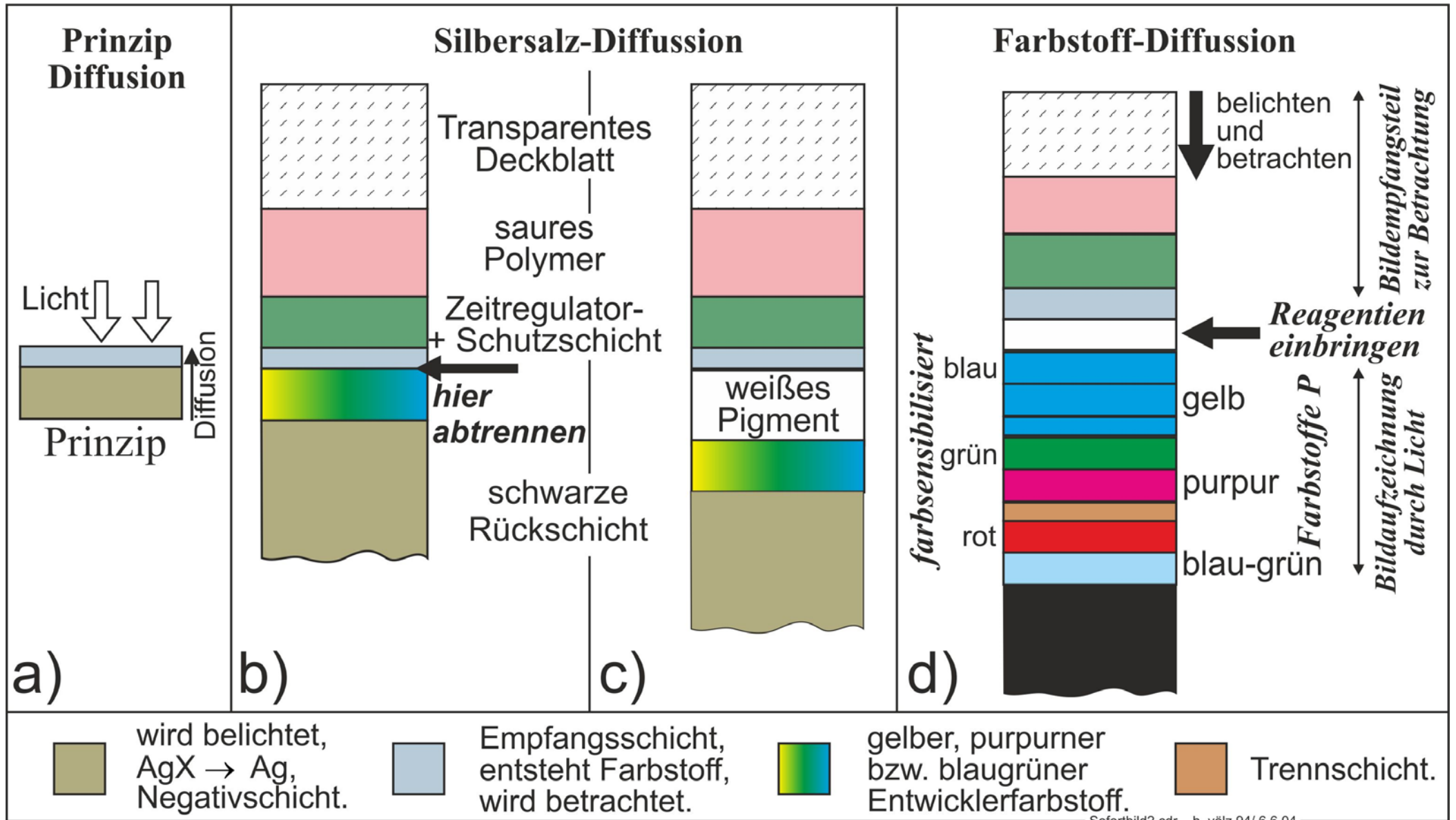
In ihrer unmittelbaren Nachbarschaft befindet je eine zusätzliche Schicht mit einer dazugehörenden Farbstoffvorstufe.
Am Ende diffundieren diese drei Farbstoffe in die gemeinsame Bildempfangsschicht und erzeugen das positive Farbbild.

Es sind somit ein mehrstufiger Speicherprozess vorhanden.

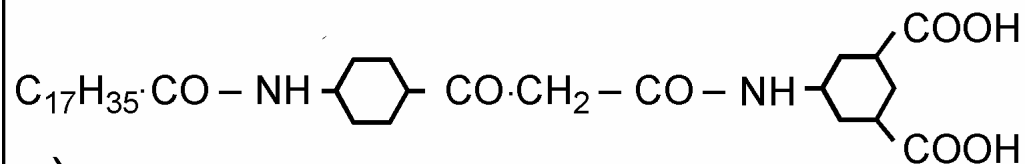
Bei der primären Aufzeichnung erzeugt das Licht des Bildes die Silberkeime.

Sie werden entwickelt und dadurch verstärkt.

Danach entsteht mittels Diffusion eine umgekehrte Kopie in der endgültigen Speicherschicht (Bildempfangsschicht).

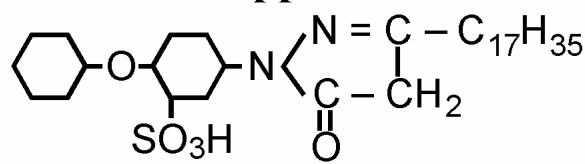


Diffusionsfeste Farbkuppler

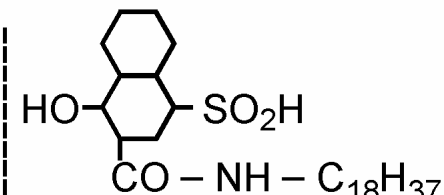


a)

Gelbkomponente

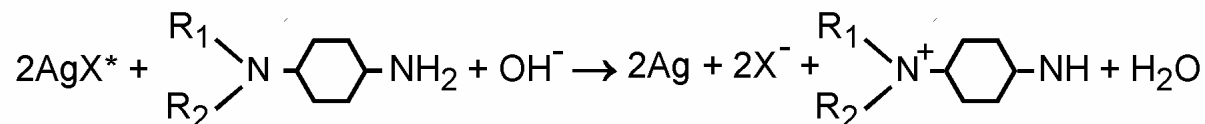


Purpurkomponente

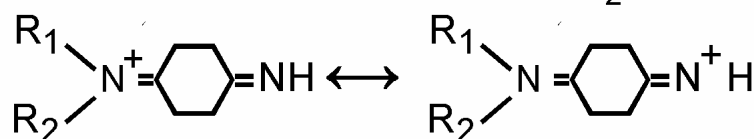


Blaugrünnkomponente

(Gl.1)

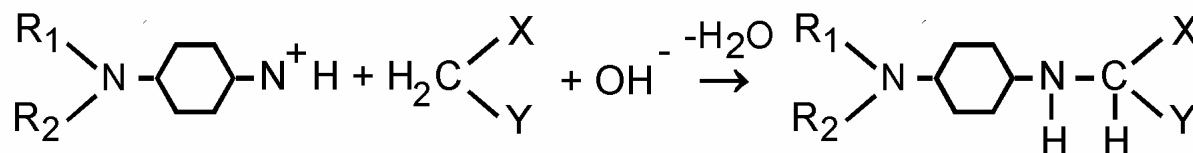


(Gl.2)



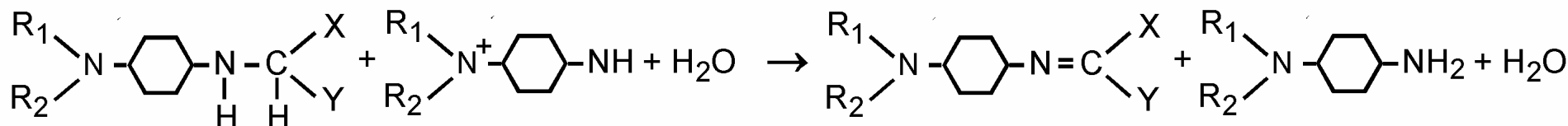
Entwicklungs- und Kupplungsprozesse

(Gl.3)



(Gl.4)

b)

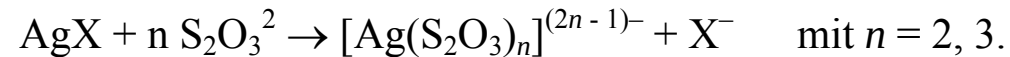


Filmfarbstoffe.cdr h. völz 20.5.04/99

Silbersalzdifffusion

1938 wurde die **Silbersalzdifffusion** (diffusion transfer reversal, DTR) unabhängig von E. WEYDE, A. ROTT gefunden. Die belichteten AgX-Körner werden schnell zu Silber reduziert.

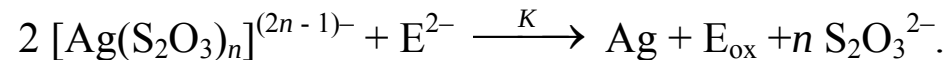
Kurz darauf wird das unbelichtete AgX (positiv) durch Thiosulfat in gut löslichen Thiosulfatoargentat-Komplex überführt:



Dieser diffundiert schnell in die Empfangsschicht (Positivschicht).

Enthält Entwicklungskeime K, kolloidale Silber, Silbersulfid oder Metallsulfid bzw. -selenid (z.B. Ag₂S oder Hg₂Se).

Mittels der katalytischen Wirkung erfolgt die Zersetzung des Silberkomplexes → metallischem Silber gemäß



Zusätze bewirken, dass sich das Silber möglichst deckkräftig abscheidet.

Danach sind keine lichtempfindlichen Substanzen mehr vorhanden.

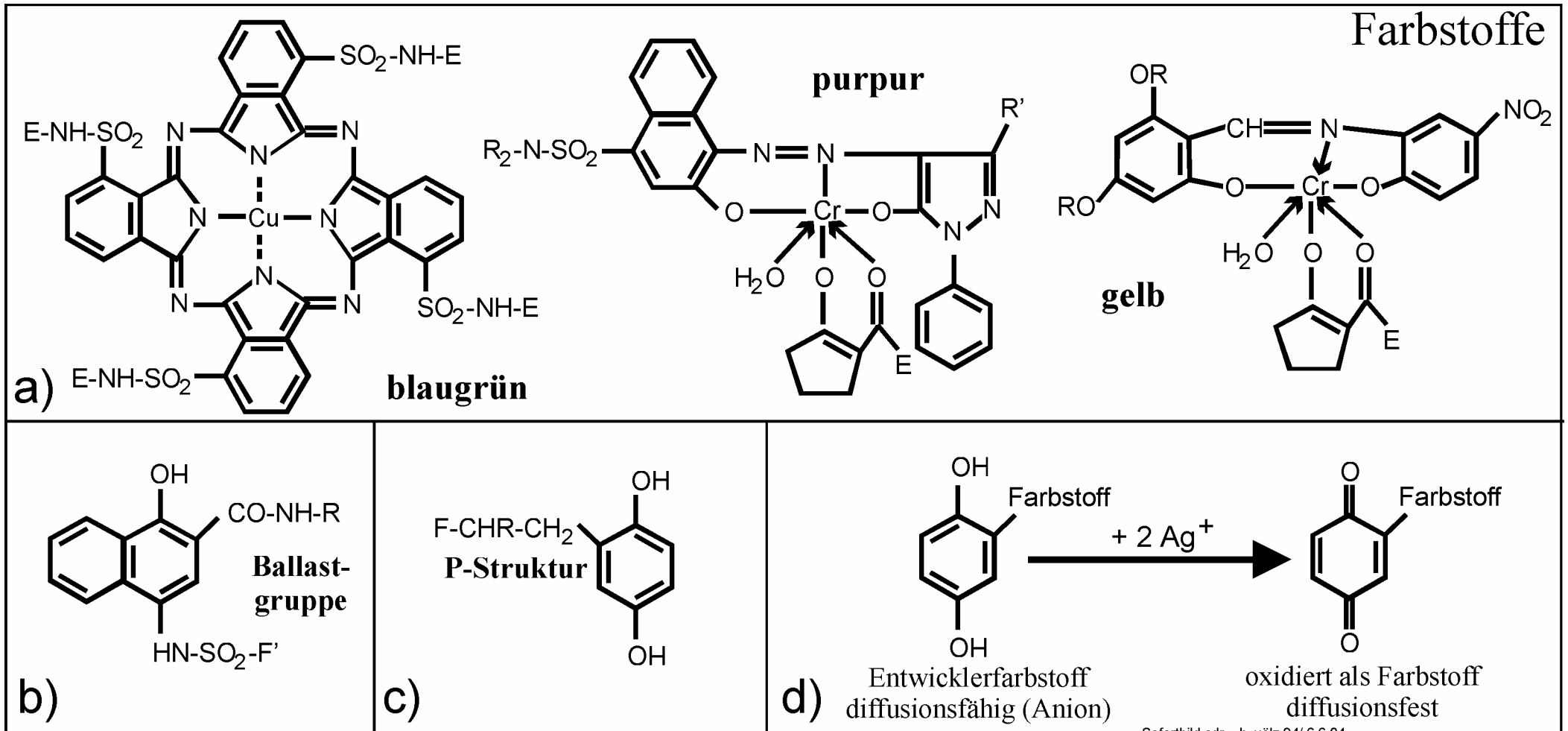
Dadurch entfällt ein Fixieren des positiven Bildes. Es entstehen fast nur Unikate.

Die erste Anwendung der Silbersalzdifffusion erfolgte 1939 für Sofortkopien im Bürobereich (Copex-Autorapid-Papier).

Aus ihr ging 1947 das Umkehrpapier „Diaversal“ und 1949 das „Copyrapid-Papier“ (von LAND entwickelt) hervor.

Durch die Fotokopiertechnik wurde es seit etwa 1963 kaum benutzt.

Farbstoffdiffusion



Sofortbild.cdr h. vözl 94/ 6.6.04

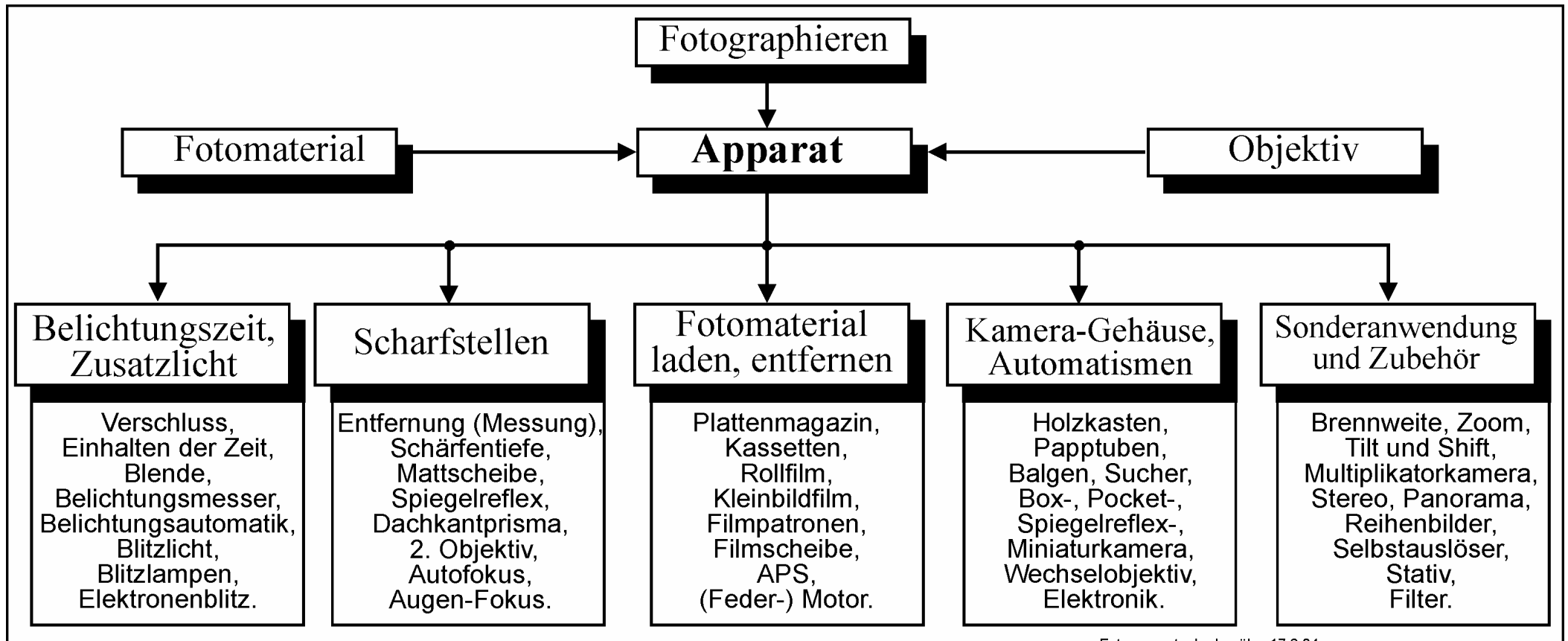
Polaroid

„Optical Society of America“, 21.2.1947 EDWIN HERBERT LAND (1909 - 1991): komplettes Kamera-, Filmsystem.
Erzeugt nach etwa 30 s ein fertiges schwarzweißes Papierbild erzeugte. → **Sofortbild**.
November 1948 erste Sofortbild-Kamera, die „Polaroid-Land-Kamera, Modell 95“ mit Film auf den Markt
Hergestellt: Polaroid Corporation, Cambridge (Mass.): Papierbilder $83 \times 108 \text{ mm}^2$, Masse 1,8 kg
LAND 1937 zur Herstellung der von ihm 1932 erfundenen Polarisationsfiltern auf Basis von Kunststofffolien gegründet.
Der Entwickler in kleinen Bläschen als zähflüssige Paste im Film eingebettet.
Nach der Belichtung wird der Film über Stachelwalzen geführt, welche die Bläschen zerstechen.
Die Zeitsteuerung der chemischen Prozesse regelt eine spezielle Schicht.
Das positive Bild der Empfangsschicht wird von dem negativen Bild der Negativschicht abgetrennt. „Zweiblattverfahren“
Es entsteht ein seitenverkehrtes Bild. In einigen Fotoapparaten über einen Spiegel die Fotoschicht belichtet.
Ab 1976 existiert ein „Einblattverfahren“. Nach der Entwicklungs-Fixierung wird ein weißes Titanoxid-Pigment erzeugt.

Generell kann Silbersalzdifffusion eine **extrem hohe Lichtempfindlichkeit** bis etwa 10 000 ISO erreichen (41 DIN)
Auflösungsvermögen ist mit 15 - 40 Linien/mm recht gering, reicht aber für Schwarzweiß-Bilder.
Gradation ist mit etwa $\gamma \approx 1,2$ ist recht flach.
Neben der Fotografie mit Roll-, Plan-, Packfilmen + Bürokopie wurde und wurde die Silbersalzdifffusion angewendet:
Polygraphie für Druckfolienherstellung (1958 Gevacopy-Platten), Proofs (Probedrucke) und Reproduktionen.
Für Bildschirme, Oszillographen, Röntgenbilder, Registrierungen (z.B. EKG), Luftbilder (Kodak Bimat) und Satelliten.

Fotoapparat und Bedienungskomfort

Ein Fotomaterial und ein Objektiv sind entscheidende Voraussetzungen für die Fotografie.
Zum Fotografieren sind noch weitere Geräte und Einrichtungen, insbesondere der Fotoapparat notwendig.
In ihm muss sich das Fotomaterial lichtgeschützt und speziell, meist gut plan gelagert befinden.
Außerdem hat er mehrere Funktionen zu erfüllen:



Fotoapparat.cdr h. vözl 17.6.04

Fotoapparat

Zu Beginn genügte ein einfacher Kasten, Vorderseite Objektiv, Rückseite innen Fotoplatte.

Solche schlichten Holzkästen nannte die Frau von WILLIAM HENRY FOX TALBOT (1800 - 1877) „liebervoll“ Mausefallen.

Ähnliche Kästen benutzte auch JOSEPH NICÉPHORE NIÉPCE (1765 - 1833).

Für die Scharfeinstellung genügte es, die zwei ineinander gefügten Holzkastenteile zu verschieben.

Ein lichtdichter Deckel verschloss das Objektiv.

Während der endlos langen Belichtungszeit wurde er einfach abgenommen.

Für die erste nachgewiesene Photographie von 1826 benötigte NIÉPCE 8 Stunden.

Selbst 1841 betrug die Belichtungszeit noch mehrere Minuten, erst 1851 war sie auf 10 s gesunken.

Ab 1839 verkaufte LOUIS JACQUES MANDÉ DAGUERRE (1787 - 1851) einfache Schiebekästen

Mattscheibe zur Scharfeinstellung, Halter für die Fotoplatte und eine Plankonvexlinse.

Daten $26,7 \times 31,1 \times 36,8 \text{ cm}^3$ groß, $f = 40,6 \text{ cm}$, $\varnothing = 8,3 \text{ cm}$

CARL AUGUST VON STEINHEIL (1801 - 1870) baute 1839 seine Kamera aus zwei ineinander verschiebbaren Pappröhren.

All diese Varianten mussten für jede neue Aufnahme in der Dunkelkammer mit einer Fotoplatte beladen werden.

Kamera-Verschluss

1871 führte RICHARD LEACH **MADDOX** (1816 - 1902) mit Gelatine beschichtete Trockenplatten ein.
Belichtungszeit etwa $\frac{1}{25}$ s.

Das forderte den **Kameraverschluss**, 1880 entstand der **Fallbrett**-Verschluss mit pneumatischer Auslösung von SACHS
SPÄTER der **Iris**-Momentverschluss von **Zeiss**.

Ein großer Fortschritt war 1883 der **Schlitz**-Verschluss von OTTOMAR ANSCHÜTZ (1846 - 1907) bis $\frac{1}{1\,000}$ s.
1887 entstanden **Zentral**-Verschlüsse mit Lamellen von T. R. DALLMEYER und F. BEAUCHAMP.

Reproduzierbare Zeiten gelangen erstmals 1910 RUDOLPH KLEIN und THEODOR BRUECK

1912 schuf dann FRIEDRICH DECKEL den berühmten **Compur**-Verschluss.

1959 führte **Meopta** einem Transistorschaltkreis zur Steuerung ein.

1962 Compur-Verschluss elektronisch gesteuert.

1968 folgt der erste elektronisch gesteuerte Schlitzverschluss bei der Contax SE

Heute sind alle Verschlüsse elektronisch gesteuert und enthalten nur noch ganz wenig bewegte Teile.

Belichtungszeit

Anfangs einfache **Belichtungstabellen**, für Tages-/Jahreszeit, Wetterbedingungen, Sonne, Bewölkung, Schatten usw. Sie wurden bald durch **stab- oder kreisförmige „Rechner“** ersetzt.

Ein Patent für ein **tragbares Labor-Fotometer** erhielt 1885 HAROLD DENNIS TAYLOR.

1887 ließ sich J. DECOUDUN ein Gerät patentieren, das **auf die Mattscheibe gelegt** wurde.

Den ersten **fotochemischen Belichtungsmesser** baute 1900 ALFRED WATKINS.

1873 entdeckte WILLOUGHBY SMITH die **Leitfähigkeitsänderung von Selen** durch Licht

Es folgte daraus 1925 das **elektrische Fotometer** von H. AHO.

Bedeutung erlangte erst 1932 der **Selenbelichtungsmesser** „Photolux“ von PAUL GOSSEN (1872 - 1942).

Später ergab sich so die **automatische Blendeneinstellung** z. B. 1894 von MCGANN und BUCHANAN.

Die **elektrische Steuerung** erfolgte 1938 bei der Kodak Six-20.

Heute werden **CdS-Widerstände** (1960 „Lunasix“ von Gossen) bzw. **Halbleiterfotodioden** benutzt.

Sie messen das **Licht hinter dem Objektiv** (TTL-Technik von englisch Through The Lens).

Die **Schwierigkeit der Lichtmessung** heutigen Amateurfotographen **nicht mehr bekannt**.

Zusatzbeleuchtung

Insbesondere in Räumen reicht das vorhandene Licht nicht aus, erzeugt **viel Wärme!**)

Helle Blitze. keine Bewegungsunschärfe.

1851 fotografierte FOX TALBOT ein rotierendes Zeitungsblatt (***Funken geladener LEYDENER Flasche***)

1864 zündete ALFRED BROTHERS einen ***Magnesiumdraht*** an.

Magnesium 1808 von HUMPHRY DAVY (1778 - 1829) entdeckt, 1820 von JUSTUS VON LIEBIG (1803 - 1873) rein dargestellt.

Ab 1925 bis etwa 1950 gab es ***Hamaphot-Tabletten***, die mit einem Feuerstein bzw. elektrisch gezündet wurden.

1900 ERWIN QUEDENFELDT ***Alu-Folie oder -Gespinnst*** in Gefäß und durch elektrischen Impuls zünden.

Vacublitzlampen kamen 1929 als Hauff-Leonar auf den Markt.

1940 entsteht der ***Elektronenblitz***: Gasentladungsröhre aus Quarzglas mit einem Kondensator großer Kapazität

1959 brachte Metz das ***erste einteilige Blitzgerät*** heraus.

Ab etwa 1970 konnte bereits in die Kamera integriert

1967 erfolgte die erste **Lichtmengensteuerung**. 1972 mittels Thyristors.

Bildausschnitt

Vor der Aufnahme ist der gewünschte Bildausschnitt zu wählen und scharf einzustellen.

Zunächst **Sucher und Entfernungsmessung**

manuelle Einstellung mit **Fokussierung ursprünglich Mattscheibe!** dunklen Tuch.

Später Autofokus umgeben. **getrennter Sucher** zum Durch- oder Draufblick

Bereits 1860 Idee, zwei mechanisch gekoppelte Objektive zu verwenden, für den Film und die Scharfeinstellung.

1880 zweiäugige **Spiegelreflexkameras**,

1861 begann THOMAS SUTTON (1819 - 1875) einäugige Spiegelreflexkamera (= **SRL-Kamera**: *englisch* **single lens reflex**)

Durch Kleinbildfilm entstand 1924 die „Ermanox“ erste einäugige **Kleinbild-Spiegelreflex**-Kamera mit Lichtschacht.

ab 1925 für das 6 × 6-Format. Besonders große Verbreitung fand die ab 1929 verfügbare **Rolleiflex**,

Schließlich die **Hasselblad** von 1948

Die erste **einäugige** Kleinbild-Spiegelreflexkamera **Kine Exakta**, die KARL NÜCHTERLEIN (Ihagee in Dresden ab 1936)

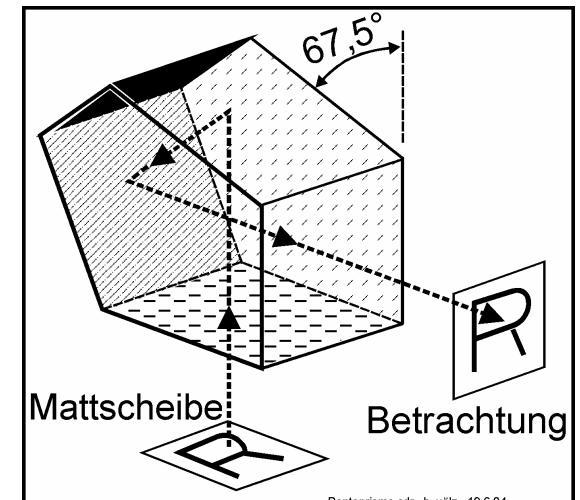
1948 die „Praktiflex“ mit **Rückschwingspiegel**, sofort nach der Belichtung wieder das Mattscheibenbild zu sehen ist.

Das **Dachkantprisma** (Pentaprisma Bild) von Zeiss Ikon 1949 (Contax S), einäugige

Spiegelreflex dominierend

Mit „Sucher“ in die Richtung blicken, in der sich das zu photographierende Bild befand.

Bei der digitalen Kameras wird das Bild des CCD-Sensors als **elektronisches Display** eingeblendet.



Schärfe

Spezielle Verfahren entstanden für die richtige Einstellung der **Entfernung** bzw. des **Schärfentiefebereich**.

Ursprünglich Entfernung abgeschätzt oder gemessen und nach dem Ergebnis auf einer Skala am Objektiv eingestellt.

Später **Marken**, die zusätzlich den von der Blende abhängenden Schärfetiefenbereich anzeigten.

1932 Voigtländer die Kamera „Prominent“ mit zwei etwas entfernte Spiegeln. **Triangulation** → Entfernung ermitteln.

1933 mechanische Kopplung mit Objektiv

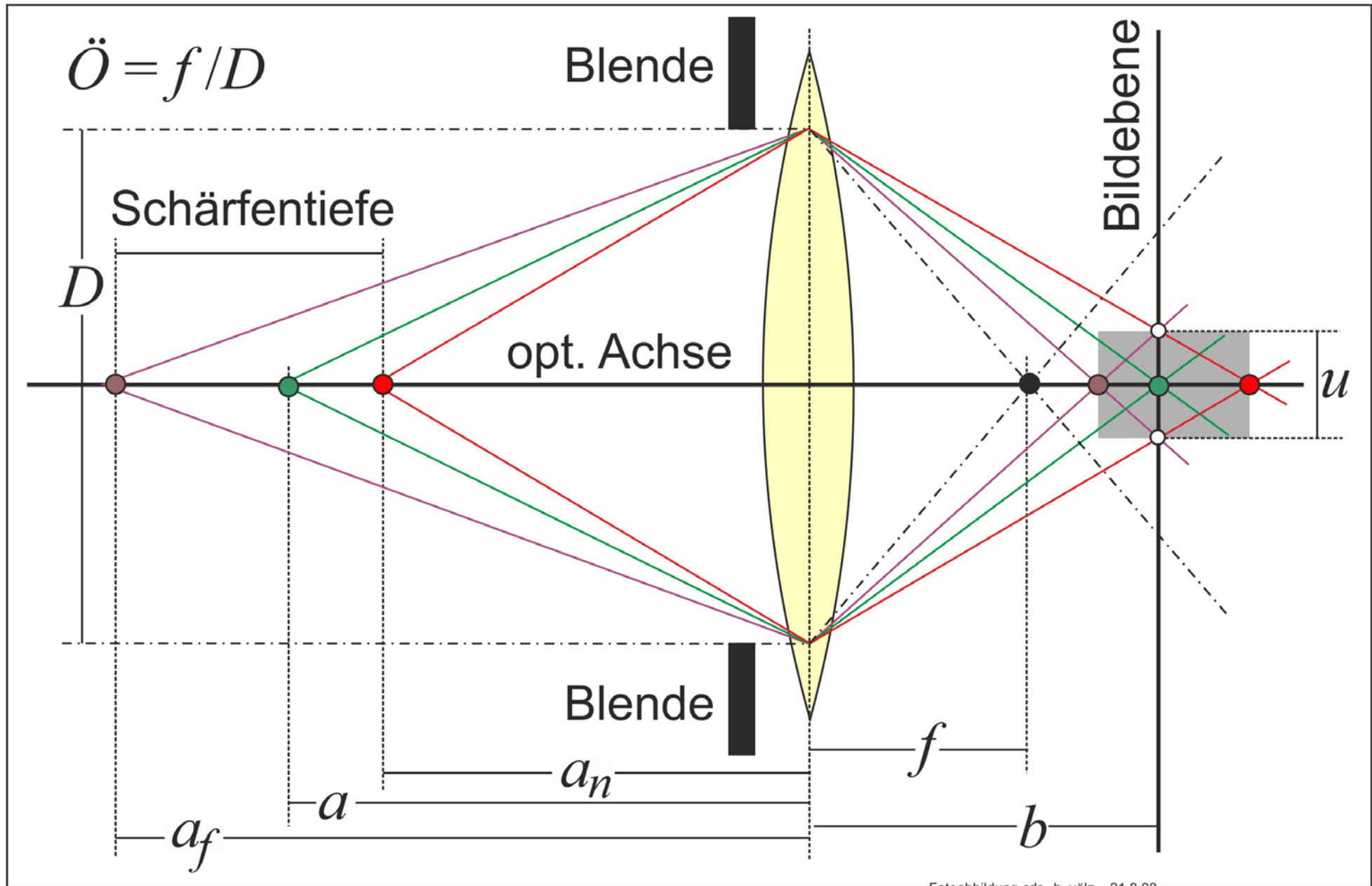
1977 **Autofokus** Nach dem Auslösen stellte innerhalb 80 ms die Elektronik per Motor die richtige Entfernung ein.

Nicht ausreichend Helligkeit führte versuchsweise zu aktiven Ultraschall- und Infrarotsystemen (IR)

Ab 1985, Messung mit CCD-Sensorzeilen

1989 führt Canon mit der „EOS-1“ den **Augenfokus** ein. Abtastung der Pupille mit IR = Blickrichtung

1992 der mehrkanalige Augenfokus: nacheinander ein nahes und ein fernes Objekt anvisiert + Rechnung



Fotoabbildung.cdr h. vözl 21.8.08

Schärfentiefe

Eine Abbildung ist nicht ideal scharf (auch ohne Beugung s. u.)

Bildpunkt erzeugt einen Unschärfekreis mit $\varnothing = u$

Zu ihm gehören eine Fern- und Nah-Entfernung a_f bzw. a_n . Mit der relativen Öffnung gilt bei Abbildungsabstand a

$$a_{n,f} = \frac{a \cdot f^2}{f^2 \pm u \cdot \ddot{O} \cdot (a + f)}$$

Der Schärfentiefebereich beträgt

$$\Delta a = a_f - a_n$$

Näherung für opto-elektronische Speicher benutzt nur die Wellenlänge λ und die Numerische Apertur N_A :

$$\Delta a = \pm \frac{\lambda}{2N_A^2}$$

Je Größer $N_A \approx$ Je größer die Blende, desto kleiner ist der Bereich der Schärfentiefe.

Zur Berechnung gibt es ein Programm von mir.

Konfektionierung

Es ist wichtig, das **Fotomaterial** leicht und problemlos hineinlegen und herausnehmen zu können.

Damit hängen das **Fotoformat**, die Sicherheit gegenüber **Doppelbelichtungen** und der **Filmtransport** zusammen.

Der Fortschritt kann durch die folgenden, wesentlichen Technologien beschrieben werden:

Platte, Magazin, Rollfilm (u.a. 6×9), Kleinbildfilm, Kassette, DX und APS.

Die verschiedenen Techniken bestehen dabei z.T. längere Zeit nebeneinander.

Zunächst wurden die Kollodium-Platten (s.u.) selbst hergestellt und in einer Dunkelkammer in den Apparat gebracht.

1854 erwarb THOMAS E. MERRIT ein Patent für eine Magazinkamera.

1880 entstanden die Gelatine-Trockenplatten → kürzere Belichtungszeiten und leichte Kameras möglich.

Erstmalig aus der Hand fotografiert werden. - Der Plattenaustausch wurde immer wichtiger.

1854 entstand die Idee eines Rollfilms mit lichtempfindlichen Papierstreifen.

1875 wollte LEON WARNERKE eine randperforierte Papierrolle für 100 Aufnahmen einsetzen.

Wenn der Film für die nächste Aufnahme genügend weitergedreht war, sollte immer ein Klingelzeichen ertönen.

1888 brachte Kodak eine Kamera mit integriertem Rollensystem – 100 Aufnahmen je Rolle – heraus.

Dazu gab es die Zusage, dass der Film im Werk entwickelt und die Bilder kopiert werden.

1889 packte EASTMAN den Film in zwei Kartons, dieser Film bei Tageslicht einlegbar.

„**Kodak** ist ein Kunstwort, das EASTMAN bei seiner Patentanmeldung 1888 als Warenzeichen eintragen ließ. in allen Sprachen gut aussprechbar.“

Mit dem Zelluloidfilm entstanden um 1890 neue Möglichkeiten.

1891 spulte ihn SAMUEL N. TURNER mit schwarzem Papier als Zwischenlage auf.

Die Rückseite des Papiers hatte Bildnummern aufgedruckt, durch rotes Fenster der abgelesen, eingestellt werden konnten.

Zum Kleinbildfilm

1889 THOMAS ALVA EDISON (1847 - 1931) für Laufbilder den 70 mm breiten Eastman-Rollfilm mit Randperforation. Hierdurch entstand der **Kleinbildfilm**. Ihn schlugen 1908 A. LÉO, P. AUDOBARD und C. BARADAT vor.

1915 baute Levy-Roth in Berlin die „Minnigraph“ für den perforierten 35-mm-Film mit $18 \times 24 \text{ mm}^2$ großen Bildern. 1925 erhielt J. SINGER ein Patent auf die Kleinbildkamera „Amourette“.

Leica (**Leitz-Camera**) auf Leipziger Frühjahrsmesse von 1925 von OSKAR BARNACK (1879 - 1936).

Als begeisterter Bergsteiger hatte er sich immer wieder über die schweren und schwerfälligen Kameras geärgert.

Viele Neuerungen: gegen Doppelbelichtungen, Objektiv platzsparend versenken, Schlitzverschluss,,

Es folgten **Wechselobjektive** und viel Zubehör „Contax“ von Zeiss Ikon (1932) oder die „Retina“ von Kodak (1934)

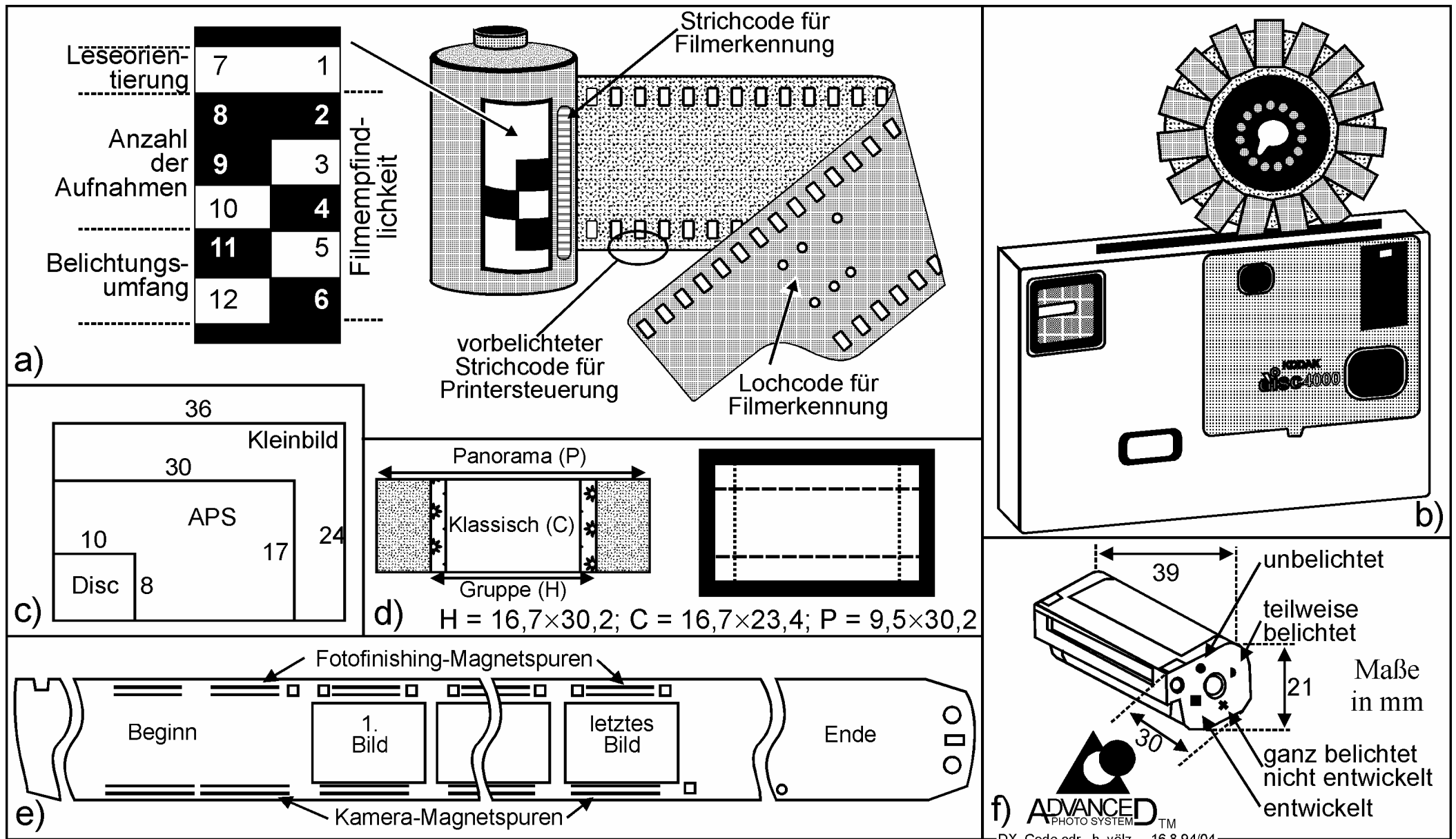
„Retina“ verwendete erstmalig lichtdichte **Wegwerfpatronen**. Patronensystem mit Samt-Abdichtung 1936 I.G. Farben

1970 **Motor** für Filmeinfädung und das Rückspulen des voll belichteten Films

1937 Spezialpatrone für 12 Aufnahmen auf $24 \times 36 \text{ mm}^2$, ohne Rückspulen vermied.

Weitgehende Automatisierung brachte 1983 das von Kodak eingeführte **DX-System** (Bild 28a).

Patrone trägt alle Kennzeichen des Films. Weitere Details mein Buch [4].



Spezial-Fotoapparate

Es entstanden viele solche Miniaturgeräte auch für Detektive

Getarnt als Aktenkoffer, Reise-Necessaire, in Ferngläsern, Uhren, Krawatten, Handtaschen, Spazierstöcken, Revolvern

Erste ernst zu nehmende war „Minifex“ mit $13 \times 18 \text{ mm}^2$ 1932 von FRITZ KAFTANSKI.

Verbreitung fand die 1936 von WALTER ZAPP geschaffene **Minox** von nur $15 \times 18 \times 76 \text{ mm}^3$, Bildgröße $8,3 \times 11,4 \text{ mm}^2$.
Masse von 55 g und besitzt ein Objektiv 1:2,8/35 mm.

Kameras mit zwei Objektiven für **Stereobildern**, erste 1856 von JOHN BENJAMIN DANCERS

Andere Varianten für **Panarama**-Fotographie: 1907 Ernemann in Dresden

Andere Varianten waren Design-Kameras, z.B. von LUIGI COLANI (*1928).

Natürlich entstand auch viel **Kamerazubehör, z.B.:**

Selbstausslöser, Stative, Filter, Stereo- bzw. Makrovorsätze, Wechsel-, Zoom-, Tilt- und Shift-Objektive, Beleuchtungen, spezielle Taschen, Rucksäcke, Bekleidung (mit vielen Taschen), Fotoalben und DIA-Projektoren

Sonderanwendungen

Es entstanden viele **wissenschaftliche** und **technische** Anwendungen

Darunter mit Spezialmaterialien für Infrarot (IR) und Ultraviolett (UV)

Bereits 1856 wies JOHANN HEINRICH JACOB MÜLLER mittels Fotoplatten die **ultraviolette Strahlung** nach.

Die erste wirkliche **IR-Fotographie** erfolgte erst 1931.

Kriminalistik: verblasste Tinte auf vergilbtem Papier oder übermalte Schriften deutlich sichtbar machen.

Für die Untersuchungen bei **ausgewählten Wellenlängen** gibt es speziell sensibilisierte **Spektral**-Platten.

RAMAN-Spektroskopie (SIR CHANDRASEKHARA VENKATA RAMAN; 1888 - 1970)

Auch **Astro**-Platten, die u.a. zur Ortsbestimmung von Sternen mit sehr geringer Helligkeit benutzt werden.

Zur Luftbildvermessung gibt es großformatige **Fliegerfilme** meist auf Polyesterbasis (Längenreproduzierbarkeit).

Für mikroskopische Aufnahmen existieren spezielle **Mikro**-Platten.

Holographie-Platten mit extrem hoher Auflösung

Registrier-Material für **Licht- und Oszillografenaufzeichnungen** in Technik und Medizin (z.B. EKG)

Spezielles Registrierpapier bei verschiedenen **Tomographien** (z.B. Ultraschall- und Kernspin-Tomografie).

Sondermaterial für **Röntgen- und γ -Strahlung** und **energiereiche Teilchen**, α -, β -Strahlung, Protonen, Neutronen usw.

Zur Beobachtung **kernphysikalischer** Vorgänge (Kernspuren) sind spezielle Materialien notwendig.

Hierdurch hat 1896 ANTOINE HENRI BECQUEREL (1852 - 1908) die natürliche Radioaktivität des Uran und 1899 entdeckt.

1895 WILHELM CONRAD RÖNTGEN (1845 - 1923) mit den X- bzw. Röntgenstrahlen.

Kleine „Sandwich-“ Blättchen werden z.B. als Zahn- und Augenfilm benutzt.

Nichtsilber-Fotographie

Neben den AgX-Gelatine-Fotoschichten entstanden mehrere andere „Foto“-Techniken.

Einen gewissen, nicht mehr ganz aktuellen Überblick gibt die folgende Tabelle.

Angewendet werden unterschiedliche **chemische Reaktionen**, z.B. Katalyse, Polymerisation, Vernetzung, Verstärkung.

Die meisten Prozesse sind – wie es eine beständige Speicherung verlangt – irreversibel.

Teilweise erfolgt dazu eine abschließende Fixierung des Bildes.

Die Elektrofotografie ist teilweise bereits beim Laser behandelt.

Gebiet	Beispiele	Tendenz
Reprographie, Kopiertechnik	Lichtpause, Fax, Registriergeräte, Tomographie usw.	ab ca. 1970 wird Produktionsumfang von AgX übertroffen
Polygraphie	fortotechnische Filme, Druckplatten usw.	zurückgehend seit etwa 1980
Foto-Produktion	Mikroelektronik	kleine Mengen, sehr werteschaaffend
	CD-, DVD-Varianten, Hologramm-Vervielfältigung	seit 1982 stark zunehmend
Archivierung	Mikrofilm	noch immer bedeutsam
Speziell	Holographie	evtl. große Zukunft

Gegenüber der AgX-Fotographie besitzen silberfreie Medien zumindest einige der folgenden Vorteile:

- umweltfreundliche und vielfach trockene Prozesse (ohne Flüssigkeit),
- kurze Zugriffszeiten zur fertigen stabilen Aufzeichnung,
- relativ niedrige Materialkosten (kein Silber),
- gute Automatisierbarkeit der Anwendungs- und Verarbeitungsprozesse,
- teilweise hohes Auflösungsvermögen.

Diazo-Verfahren

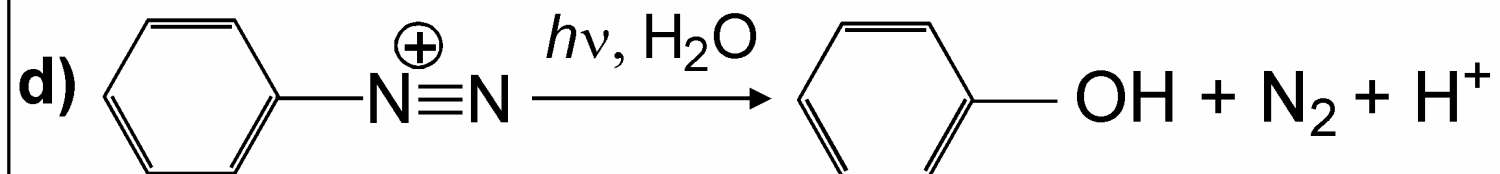
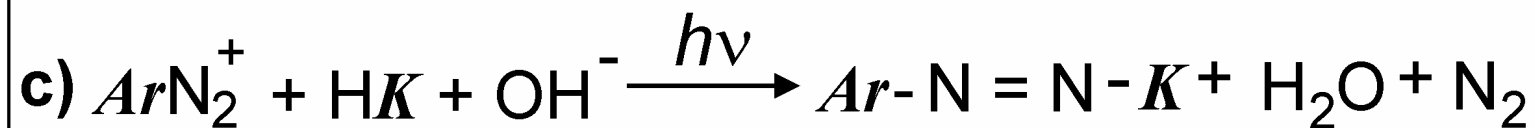
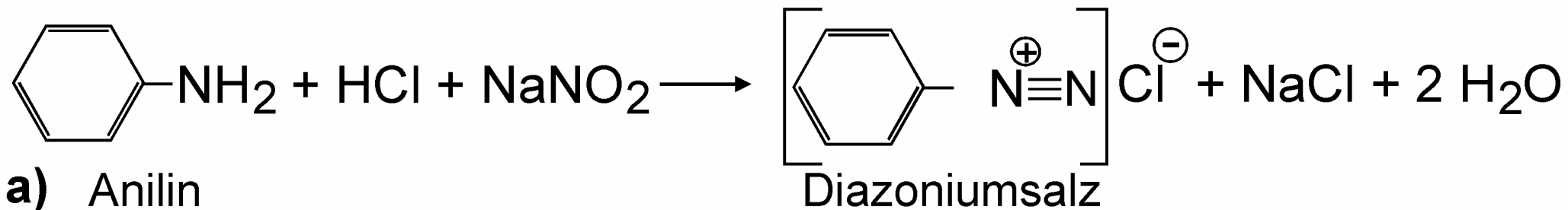
Sie ist geht auf die Azogruppe –N=N– zurück und ist für folgende Gebiete wichtig:

- **Mikrofilmtechnik** (Farbstoffaufbau-, Vesicular-Filme) bezüglich Preis und Leistungsvermögen konkurrenzlos.
- **Fotoproduktion** (Polymersysteme) u.a. in der Mikroelektronik, bei CD und DVD sowie für Transferfilme.
- **Reprographie** für Lichtpauspapier, Reprofilm und Farbfolien.
- **Polygraphie** für die Druckformherstellung und Proofmedien sowie Zwischenduplikate.

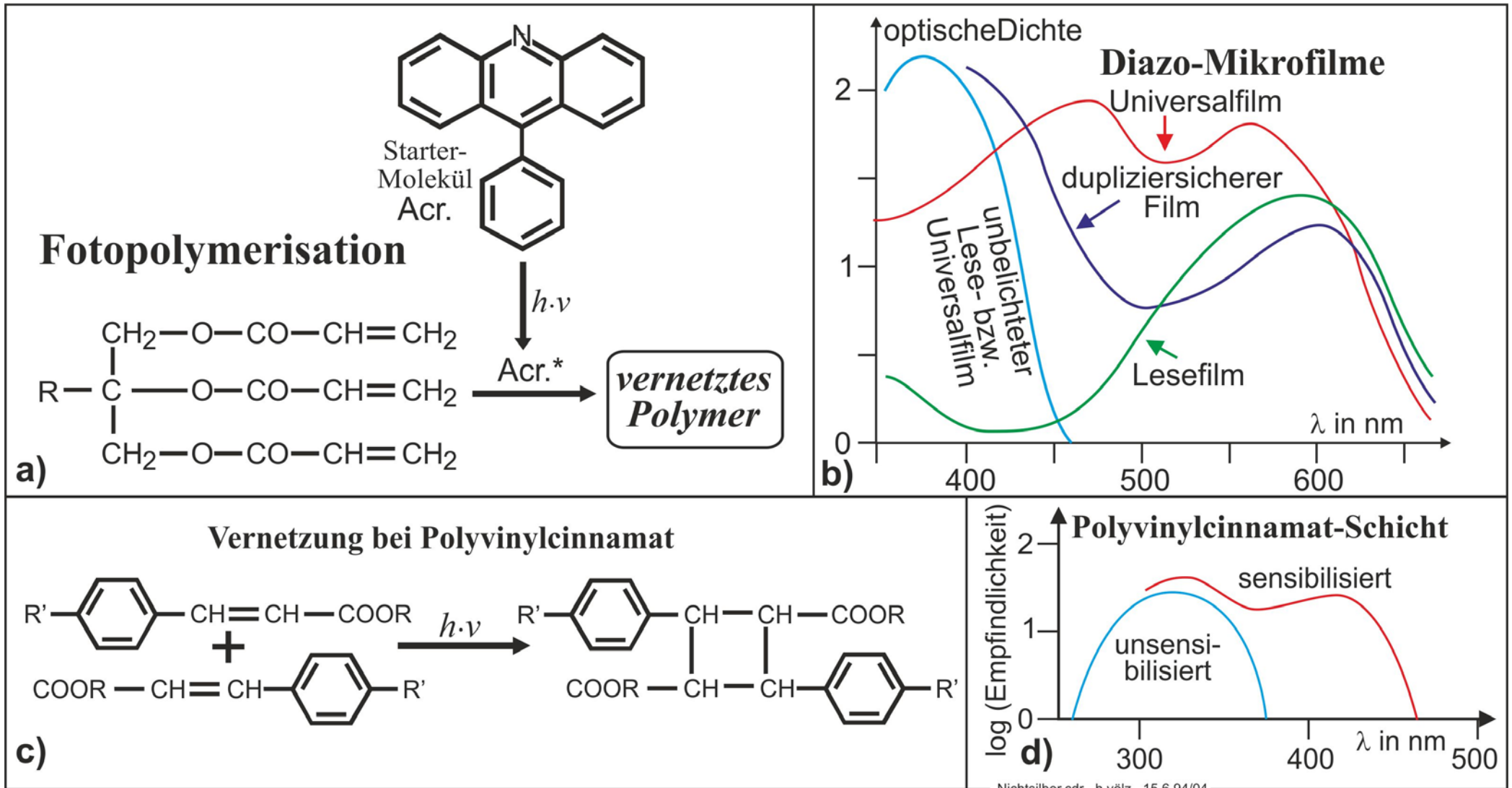
Durch die Belichtung erfolgt infolge der Stickstoffabspaltung eine Umlagerung zu Indencarbonsäuren, die sich dann mit Laugen auswaschen lassen.

Sie besitzen **sehr hohes Auflösungsvermögen** bis zu ca. 10 000 Linien/mm

Typ	Prozess
Anregung	$A \xrightarrow{h \cdot \nu} A^*$
Fotolyse	$A \xrightarrow{h \cdot \nu} B + C$
Umwandlung	$A \xrightarrow{h \cdot \nu} B$
Substitution	$AX + Y \xrightarrow{h \cdot \nu} AY + X$
Addition	$A + B \xrightarrow{h \cdot \nu} C$
Polymerisation, Vernetzung	$A + A + \dots + A \xrightarrow{h \cdot \nu} [A]_n$
Fotochromie	$A \xrightleftharpoons[h \cdot \nu_2]{h \cdot \nu_1} B$
Elektrofotographie	ändert Leitfähigkeit
Katalyse	$X \xrightarrow{K} Y$



Diazo.cdr h. völg 94/13.2.04



Fotopolymerisation, Vernetzung, Fotoresist

betreffen sehr ähnlichen Prozesse, werden durch Licht (meist UV) ausgelöst, bringen Material in einen höhermolekularen Zustand.

Ursprung *englisch* **to resist** standhalten, entgegenstehen, widerstehen, *lateinisch* **resisto** stehen bleiben

Andere gebräuchliche Bezeichnungen sind **Fotolack und Kopierschicht**.

Sie wurden erstmals 1826 als **Asphalthärtung** von JOSEPH NICÉPHORE NIEPCE (1765 - 1833) genutzt

Ab etwa 1950 erfuhren – **Mikroelektronik** – erfolgte für derartige „Foto-“ Materialien eine intensive Weiterentwicklung.

Heißt heute **Fotolithografie**: ab etwa 1982 auch für CD, DVD usw. notwendig. Wichtig auch für die Holographie

Es gibt mehrere **Varianten der Fotopolymerisation**.

Es können 1. Polymere entstehen, 2. vorhandene Polymere modifiziert oder 3. Polymere abgebaut werden.

verändern Löslichkeit, Adhäsion, Hydrophilie, Klebrigkeit, Permeabilität, Leitfähigkeit, Phasenaufbau, Brechungsindex

Die meisten Fotopolymer-Systeme enthalten **mehrere Komponenten**:

Komponente	Funktion
Initiatoren	Primär-Reaktand (allgemeine Empfindlichkeit)
Sensibilisatoren	Spektrale oder allgemeine Sensibilisierung
Mono- bzw. Oligomere	Substrat, Sekundär-Reaktand, Änderung von Löslichkeit, Adhäsion usw.
Bindemittel (Basispolymer)	Für die mechanischen und Oberflächeneigenschaften
Zusätze: Weichmacher, Inhibitoren, Oxidationsschutzmittel, Farbstoffe	Modifizierung des Systems, Erzielung höherer Gebrauchswerteigenschaften, Lagerstabilität usw.
Lösungsmittel (-reste)	Beeinflusst eventuell die Reaktionsgeschwindigkeit

Fotochromie

*griechisch **chroma*** Farbe

Materialien, die durch Lichteinwirkungen, reversibel, ohne chemische Reaktionen zwischen Zuständen wechseln
Dazu müssen dabei unterschiedliche Lichtabsorptionen besitzen.

Die Abgrenzung zur **Fototropie** (*griechisch **tropos*** Wendung, Umkehr) ist nicht eindeutig.

Das erste fotochrome Material (2,3,4,4-Tetrachlor-1-keto-naphthalen) bewutzte 1899 W. MARCKWALD.

Heute sind um hundert anorganische und organische fotochrome Flüssigkeiten, feste Lösungen und Kristalle bekannt
Ein Beispiel für die cis-trans-Isomerie zeigt Bild b.

Fotochromie arbeitet fast immer ohne Verstärkung und Nebeneffekte bewirken Verluste → geringe Empfindlichkeit.

Besitzen hohe Auflösungen von mehr als 1000 Linien/mm. → digital-holographischen Speicherung

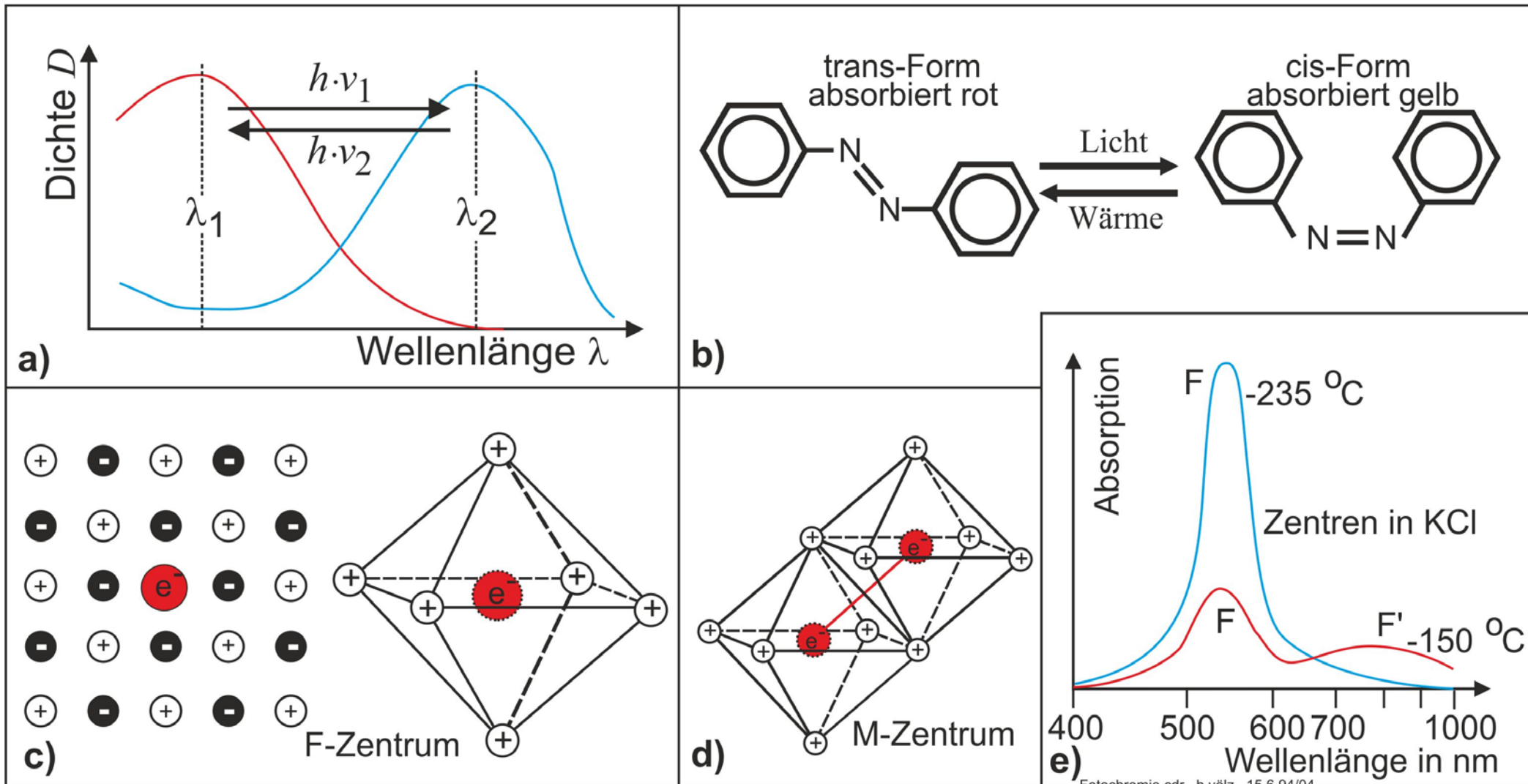
Anwendung auch bei fotochromen (Sonnenschutz-) Brillen

Bei den **anorganisch-fotochromatischen Materialien**: Farbzentren und die Chalcogenid-Gläser Bedeutung.

Ein **Farb-** bzw. **F-Zentrum** ist ein spezieller Kristalldefekt

Beispiele sind Chalcogenid-Gläser. Chalcogene: S, Se, Te (z.B. As_2S_3 oder As_2Se_3 und ternäre Verbindungen

Seit etwa 1990 werden ähnliche Verbindungen für CD-RW und DVD-RW eingesetzt



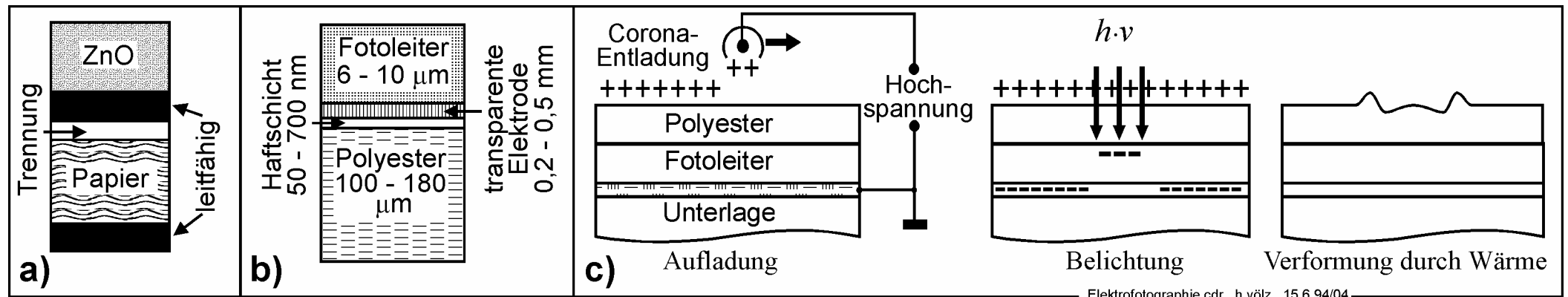
Elektrofotographie

Die heute typischen Anwendungen der Elektrofotographie betreffen die Laserdrucker und die (Büro-) Kopiertechnik. Es gibt aber auch spezielle **thermoplastische** Filme (Runzelfilm), die in etwa fotografisch arbeiten.

Über dem Fotoleiter befindet sich dann eine spezielle Kunststoffschicht.

Nach der Belichtung wird Film kurzfristig (10 ms) bis in die Nähe der Erweichungstemperatur des Kunststoffes erhitzt. Die Kraft der Ladungen bewirkt dann eine Verformung der Oberfläche, die nach dem Abkühlen erhalten bleibt. Sie wird durch Lichtstreuung sichtbar.

Vorteile: chemikalienfrei, trockene Entwicklung, kurze Zugriffszeit, Löschung durch Wärme.



Migrationsfilm (1971 GOFFE). Dünner, thermoplastische Polymerschicht: kleine, fotoelektrisch aufladbare Teilchen.

Nach der Belichtung wird die Schicht thermisch oder durch Lösungsmittel erweicht.

Dabei wandern die belichteten Teilchen in Richtung Unterlage.

Erwähnt sei noch das **Physical-Development-Verfahren** (PD-Verfahren)

Es benutzt die fotochemische Bildung oder Vernichtung von Metallkeimen an Fotoleitern.

Sie wirken als heterogene Katalysatoren einer nachfolgenden physikalischen Entwicklung.

Sonstige Varianten

Es gibt viele weitere Varianten. Ein wichtiges Beispiel sind **Chromatschichten**.

Ein *Chromsalz*, z.B. Kaliumdichromat $K_2Cr_2O_7$ oder Ammoniumdichromat $(NH_4)_2Cr_2O_7$ ist in ein *Kolloid* eingebettet.

Meist Gelatine, Polyvinylalkohol (PVA), zuweilen auch Gummiarabikum, Cellulose, Albumin oder Fischleim benutzt.

Die Lichtempfindlichkeit wurde 1832 durch GUSTAV SUCKOW und 1839 durch PONTON entdeckt.

1852 stellte WILLIAM HENRY FOX TALBOT (1800 - 1877) fest, dass dichromathaltige Gelatine durch Licht (ca. 360 - 400 nm) gehärtet wird.

Nach der Belichtung kann das unbelichtete und daher nicht oxidierte Kolloid ausgewaschen werden.

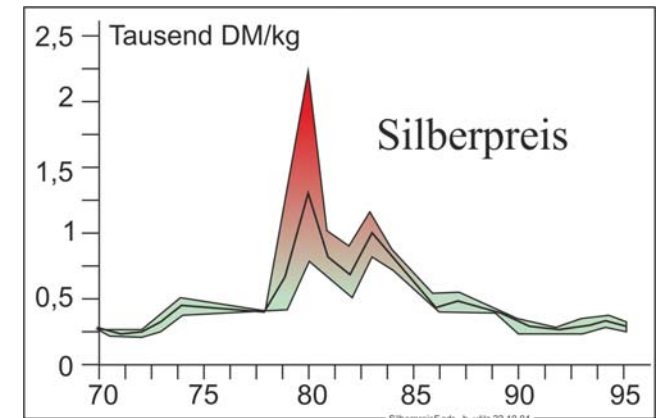
Schließlich sei noch die Foto-**Thermographie** genannt, wird u.a. bei Thermodruckern benutzt.

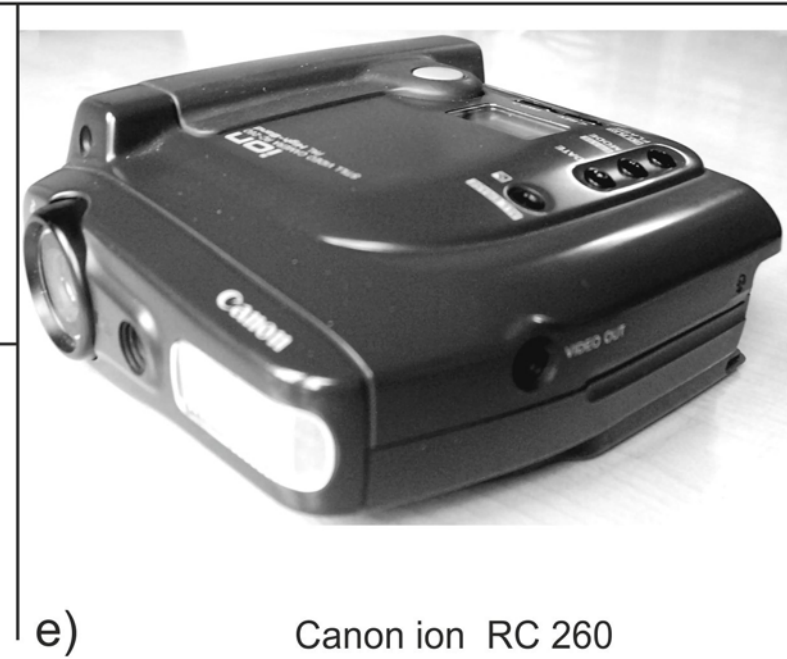
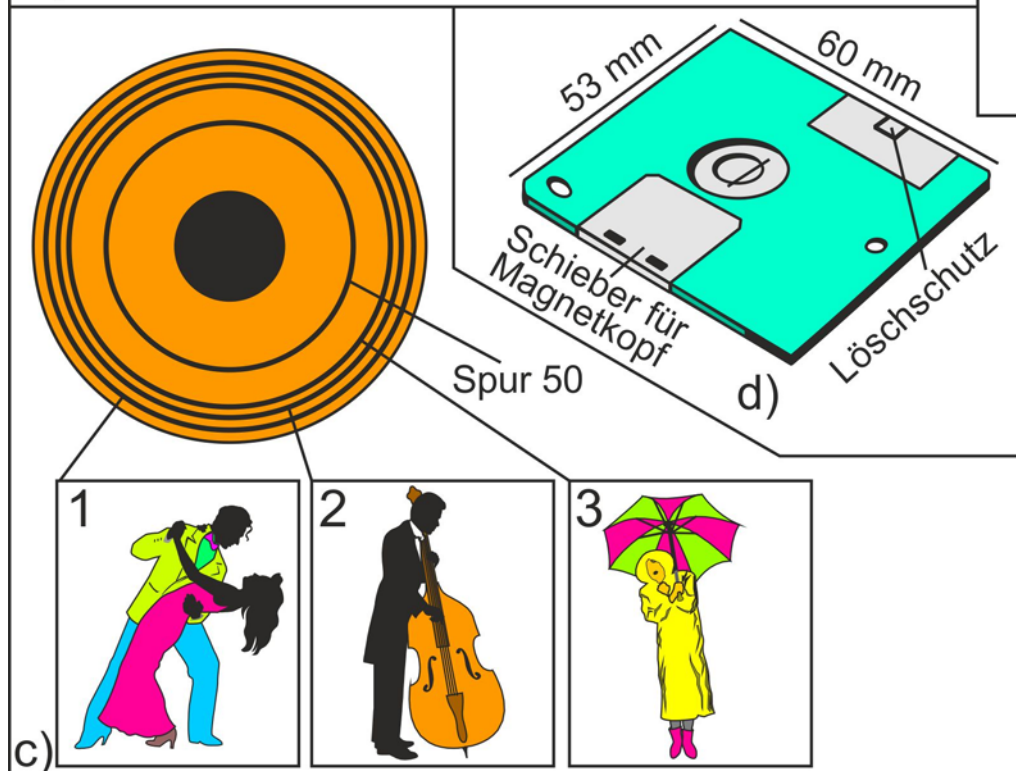
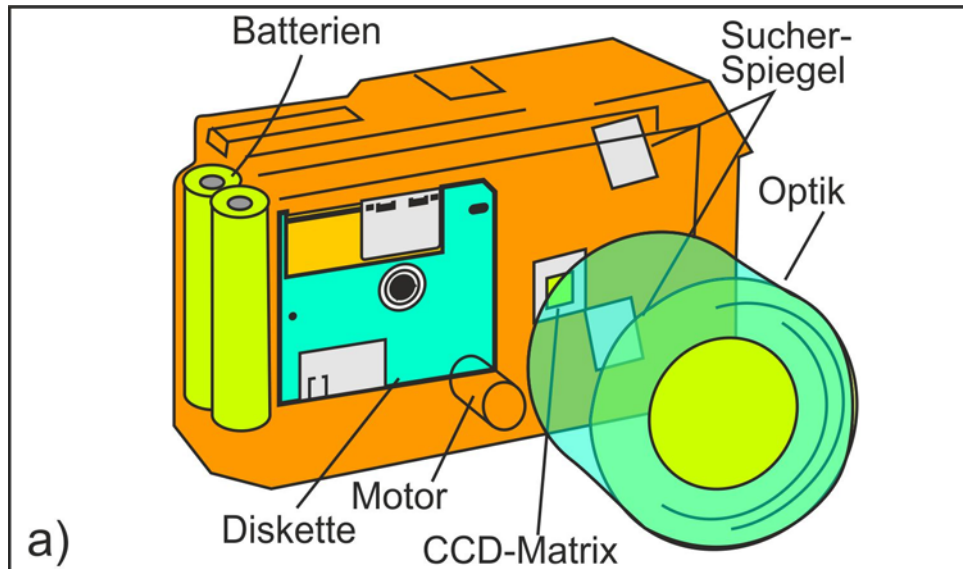
Thermopapier existieren für Transfer-, Sublimations- und Diffusionsprozesse, Wegbrennen, Verdampfen von Schichten

Elektronischer Fotoapparate

1982 präsentiert Sony die **Mavica**, speichert auf 2-Zoll-Floppy 50 Bilder in hoher (**analoger**) **Fernsehqualität**. Keine breite Anwendung, Zu teuer. Olypiade-Einsatz. Für Reporter neue Bildübertragungstechniken für Presse. Auf diesem Prinzip bringt Canon 1988 die ION RC-50 für private Nutzer heraus. Wenig später kommen einfache, aber **echt digitale** Apparate auf den Markt. 1995 erscheinen von Fuji und Nikon erste elektronische SRL-Kameras. 1998 durchbricht Olympus die 2-Mega-Pixel-Grenze. 2001 wird schließlich die Digitalfotographie zum Massenphänomen. Der Handel weist einen höheren Umsatz als mit allen anderen Kameras aus. Viele neue Möglichkeiten, z.B. automatischer Weißabgleich (Farbtemperatur), Schafeinstellung möglich.

Auch **Kodak** hat eine erste elektronische Kamera gebaut, zu groß und unpraktisch. Versuchte den Wen Weg mit der Photo-CD und scheiterte. Auch das **APS (Advanced Photo System)** erreichte keine Bedeutung mehr. Zuweilen wurde auch mit dem Silberpreis argumentiert.





Literatur

- [1] Luhmann, N.: Soziale Systeme. Suhrkamp, Frankfurt/M 1987
- [2] Kittler, F. A.: Aufschreibssysteme 1800 · 1900. 3. Aufl. Wilhelm Fink Verlag 1995
- [3] Frank, H.: Kybernetische Grundlagen der Pädagogik. 2. Aufl. Bd. 1 + 2. Agis - Verlag Baden-Baden 1969
- [4] Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 2 Technik und Geschichte vorelektronischer Medien. Shaker Verlag Aachen 2005
- [5] Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 1 - Grundlagen und Anwendung in Natur, Leben und Gesellschaft. Shaker Verlag Aachen 2003
- [6] Lerner, A.: Grundzüge der Kybernetik. Verlag Technik, Berlin 1970
- [7] Schuck-Wersig, P.: Expeditionen zum Bild - Beiträge zur Analyse des kulturellen Stellenwerts von Bildern. Peter Lang Verlag, Frankfurt a/M - Berlin - Bern - New York - Paris - Wien 1993.
- [8] Seckel, Al.: Optische Illusionen. Bd 1 und 2. Tosa Wien, 2001

Für Detailprobleme gibt es viele ergänzende Literatur