

Prof. Dr. Horst Völz

Möglichkeiten, Anwendungen und Grenzen von Visualisierung und Sonifikation Teil 3

Dieses Material beruht u. a. auf den Büchern:

Völz, H.: Das Mensch-Technik-System. Expert-Verlag, Renningen - Malsheim 1999 + Linde-Verlag

Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 2 Technik und Geschichte vorelektronischer Medien.
Shaker Verlag Aachen 2005

Letzteres ist auch auf der CD enthalten:

Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Datenspeicher von der Steinzeit bis ins 21. Jahrhundert. Digitale Bibliothek Bd. 159,
Berlin 2007

Weitere Literatur am Ende

Eingeordnet wurden: **Holografie** vom 28.10.2010: 984.670 und **Sichtbarmachen2** vom 03.03.2013: 12.699.577

Bei Angabe der Quelle ist das Material zum privaten Gebrauch voll nutzbar

Bei kommerzieller Nutzung bzw. in Publikationen usw. ist eine Abstimmung mit mir notwendig

Bilder in höherer Qualität sind verfügbar als: ca. 2000×3000 Pixel oder *.cdr Version 12

Material downloadbar von: www.horstvoelz.de

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

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

Überblick

Die **Realität** erleben wir in **Raum und Zeit** und wir können uns in ihr **bewegen**.

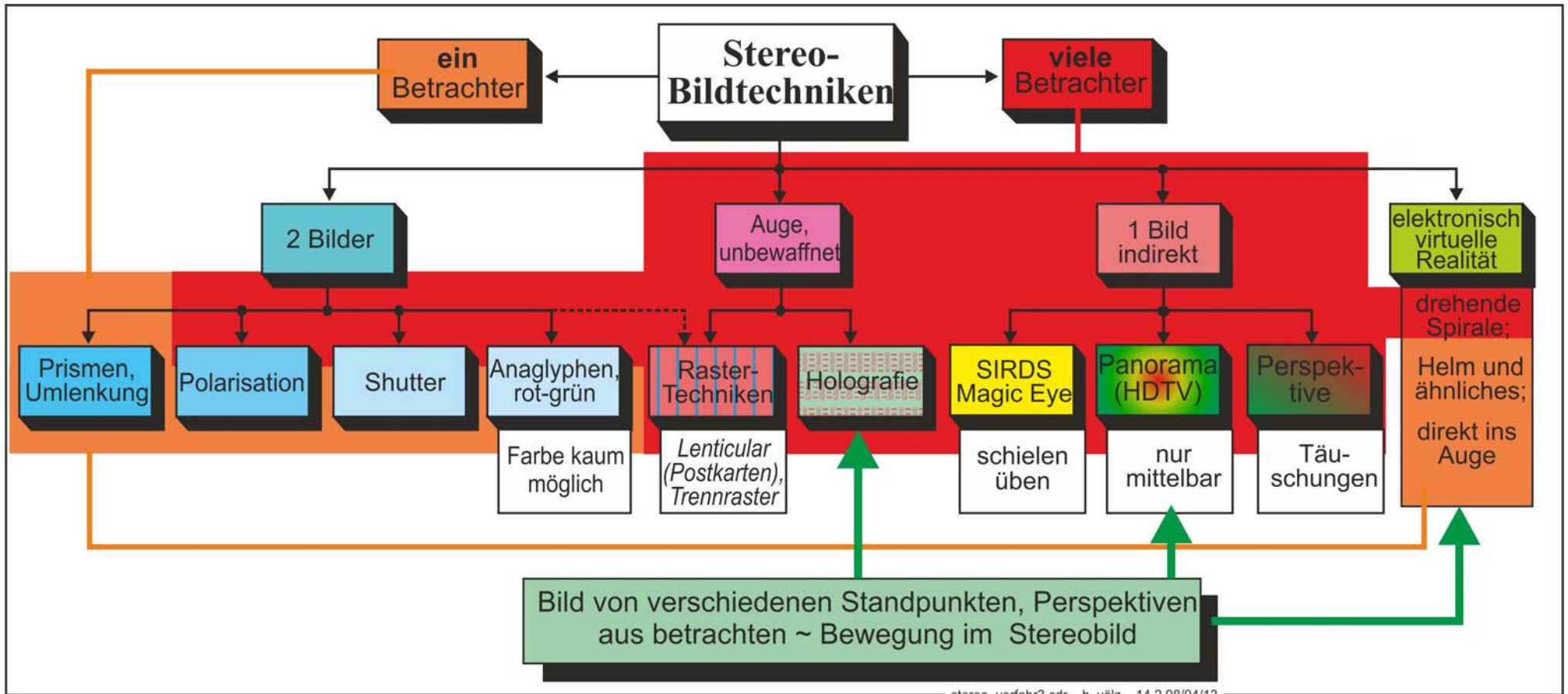
Dabei nehmen Zeit wir wahr, indem einzelne Bilder mit $f > 20$ Hz kurz aufeinander folgen.

Im Folgenden genügt es daher, zunächst nur Einzelbilder zu behandeln.

Sie sind überwiegend zweidimensional und fast immer zeitlos (nicht in der Realität!).

Für sie entstanden (neben der perspektivischen Darstellung) verschiedene Ergänzungen:

1. Nur die **Holografie** ermöglicht es, das Dargestellte aus verschiedenen Richtungen, Standorten und Perspektiven zu betrachten.
2. Ein **Panorama** ermöglicht zwar einen Rundumblick mittels Bewegung des Kopfes oder Körpers, es besitzt aber oft nur sehr bedingt eine Raumtiefe. Dennoch entsteht ein gewisser „Anwesenheits-Effekt“.
3. Zwei sich ergänzende (**Stereo-**) **Bilder** ermöglichen in gewissen Umfang das Sehen des Raumes, ohne aber über die Ränder des Bildes hinausblicken zu können und unterschiedliche Standorte anzunehmen.
4. Weniger wirksam ist das **Breitbandformat** mit 9 : 16 ($\approx$ Immersion), deutlich schlechter ist 3 : 4. Erwähnt sei noch das klassische **Hochformat** (4 : 3, Portrait).
5. **Elektronische Verfahren** ermöglichen ein Eintauchen in eine **Virtuelle Welt**, die neben 3D-Sehen auch die zeitlichen Veränderungen und z.T. sogar ein Fühlen, Ergreifen und Ertasten sowie evtl. Riechen ermöglicht.



Zum folgenden Aufbau

Zunächst werden die echt räumlichen Bilder der Holografie behandelt. Es folgt kurz etwas zum Panorama. Erst danach folgen die verschiedenen Arten von „einfacheren“ Stereobildern usw.

Dabei ist zu beachten, ob das Betrachten (Erleben) nur **einer** oder gleichzeitig **mehreren Personen** möglich ist. Zwei **Stereo-Bilder** erfordern Brillen, Geräte oder Einrichtungen, welche jedes Teilbild nur einem Auge anbieten. z. B. Prismen, optische Blenden, Raster, Schalter (Shutter), Polarisation, Rot-Grün-Trennung (Anaglyphen). Ungewöhnlich ist das absichtliche Schielen beim **Magic Eye** (SIRDS), das aber nur einigen Menschen gelingt. Kurz wird auf **Virtuelle Realität** eingegangen.

Wahrscheinlich können nur etwa 20 % der Bevölkerung „richtig“ räumlich sehen [1].

Das absichtliche Schielen für das Magic Eye (Magisches Auge $\approx$ SIRDS: single image random dot stereogram) gelingt noch seltener.

Hinzu kommt, dass wirkliches räumliches Sehen nur im Nahbereich bis zu wenigen Metern möglich ist. Durch künstliche Änderung des Augenabstandes kann allerdings die sichtbare Raumtiefe verändert werden. Im Theaterglas wird sie z. B. bewusst verringert, um die Kulissen nicht flächig erscheinen zu lassen. Beim Fernglas wird sie erweitert, um auch in der Ferne Tiefen wahrnehmen zu können. (s. Teil 4)

Holografie-Prinzip

Griechisch **holos** ganz und **gramma** Geschriebenes
Anschaulich etwa Fenster zur Welt

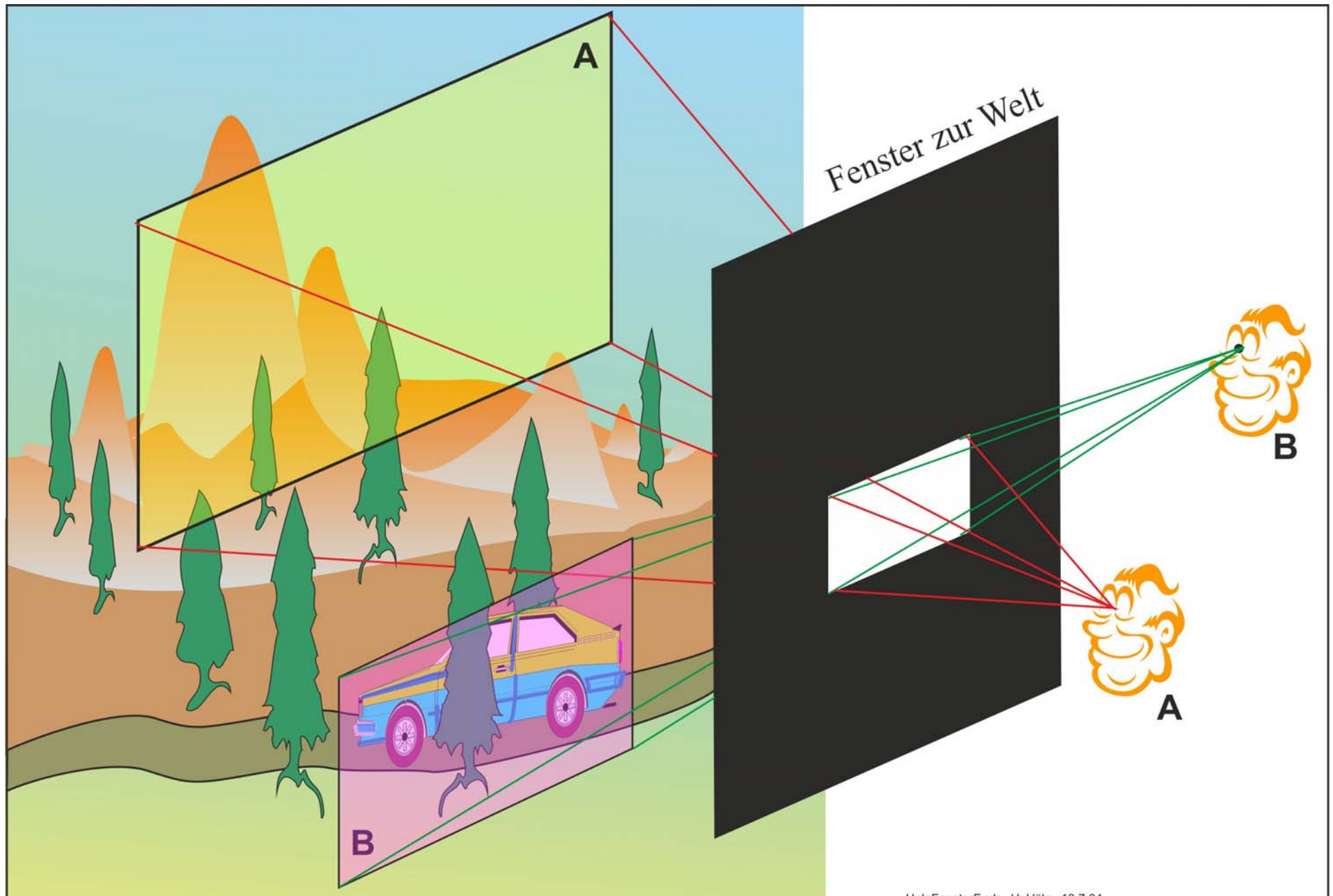
Die Sichtbare Ausschnitte an einem Fenster ändern sich wenn; wenn man unterschiedlich dicht am Fenster ist bzw. aus verschiedenen Richtungen hindurchschaut.

Zur Erklärung eignet sich das **Wellenmodell** (Kugelwellen von jedem Punkt) nach CHRISTIAAN HUYGENS (1629 - 1695):

Eine **Aufzeichnung** könnte durch Aufzeichnen (Einfrieren) der Wellenfronten mit Phasen im Fenster erfolgen
Dabei hat das **Hologramm keine Ähnlichkeit** mit gesehenem Bild

Typische Frequenz wäre etwa 10^{15} Hz $\rightarrow$ Speicherzeit $< 10^{-15}$ s

Die Wiedergabe kann dann durch eine entsprechende Lichtquelle die **Wellenfronten** wieder erzeugen
Das ermöglicht unterschiedliche Bildausschnitte durch **Blicke aus verschiedenen Richtungen**



Drei optische Modelle

Es gibt drei optische Modelle, die eine Beschreibung der optischen Erscheinungen ermöglichen:

1. Die **Strahlenoptik** operiert mit geradlinigen **Lichtstrahlen**, die von der Lichtquelle ausgehen. Sie werden an Oberflächen reflektiert und beim Übergang von einem Medium in eine andere Richtung gebrochen (verbogen)
2. Die **Wellenoptik** betrachtet das Licht als elektromagnetische Wellen, die sich **kugelförmig** von jedem beleuchteten Punkt in alle Richtungen ausbreitet. Eine **Wellefront** ist dann typisch für die Ausbreitung von beleuchteten Objekten. Dabei können **Interferenzen** auftreten.
3. Die **Quantenoptik** benutzt **Photonen** als transportierte Lichtteilchen. Neben der Reflektion können sie mit dem Material wechselwirken.

Die Holografie ist hauptsächlich mit dem **Wellenmodell** zu beschreiben, das für optische Abbildungen ungebräuchlich ist.

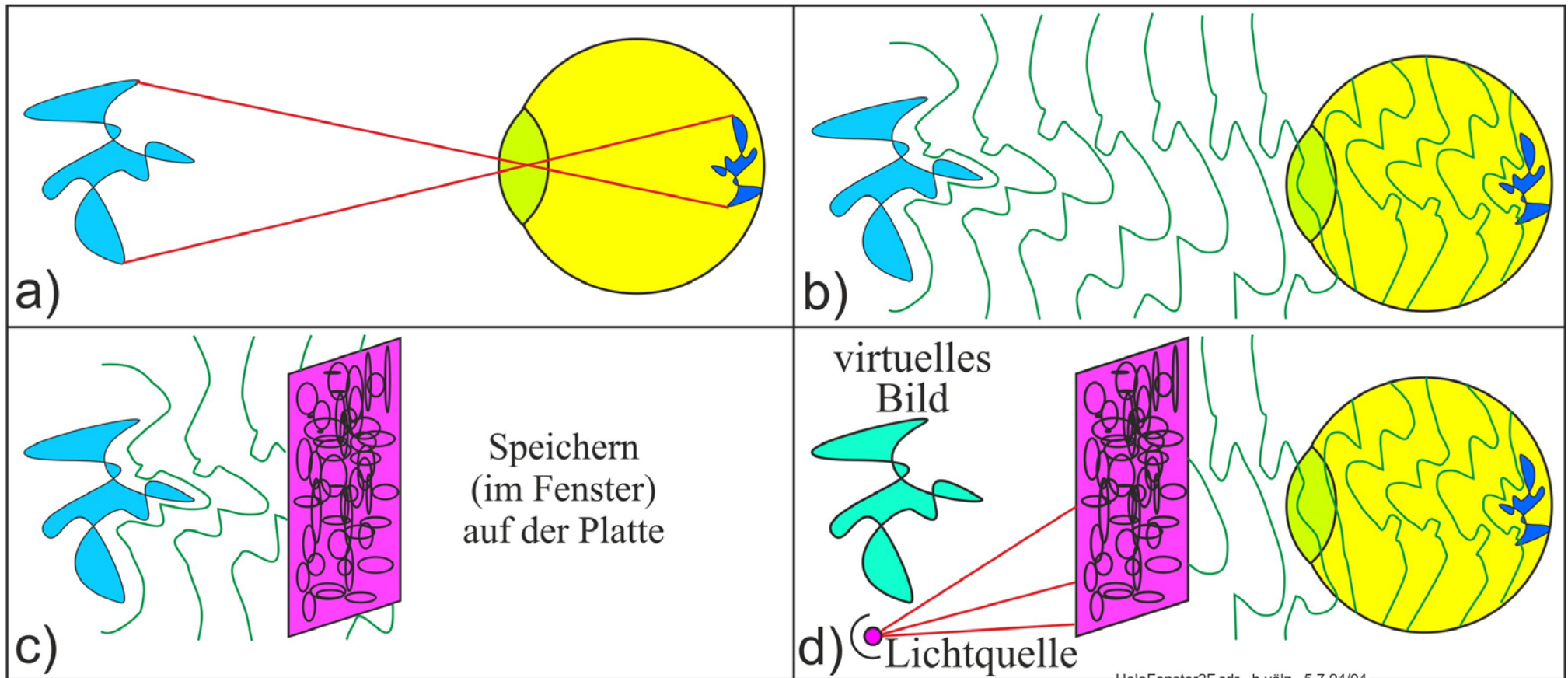
Dabei ist zu beachten, dass **Interferenzen** nur bei hinreichend „langen“ Wellenzügen auftreten können.

Das Photon der **Quantenphysik** besitzt aber nur einen relativ kurzen Wellenzug

Beim Tageslicht beträgt er z. B. nur wenige Millimeter.

Mit dem **Laser** ist es jedoch gelungen lange Wellenzüge herzustellen, bei einfachen Lasern im Meterbereich.

Deshalb war der Laser eine wesentliche Voraussetzung für die Holografie.



Erklärung der Abbildung durch Wellenfronten

- c) die wellenoptische Erscheinung im Holo-Fenster = wird hier im Speichermaterial eingefroren.
- d) Daher kann die Wellenfront mit einer Lichtquelle wieder das originale Bild virtuell im Auge erzeugen und man glaubt das Original zu sehen.

Zum Hologramm

Eine anschauliche Betrachtung ist technisch nur indirekt zu realisieren

Die Wellenfront muss für einige Zeit energetisch stabil bestehen, Formal wären drei Varianten möglich:

- 1) Nichtlineare Bauelemente
- 2) Reflexion der Welle für stehende Wellenknoten
- 3) Interferenz mit kohärenter Wellenfront

Die sehr **hohe Frequenz** des Lichtes ermöglicht keine Speicherung innerhalb der extrem kurzen Zeit einer Halbwelle.

Einzig geeignet ist daher die Speicherung mittels **Interferenz**

So ergibt sich das Prinzip der Holografie für eine **Punktquelle**:

Sie wird mit einer ebenen Wellenfront als „**Referenzwelle**“ gleicher Frequenz überlagert.

Beide Wellen interferieren (verstärken, schwächen) zeitlich anhaltend in jedem Raumpunkt je nach ihrer Phase

In einer Ebene entsteht dadurch die **FRESNELschen Zonenlinse** (AUGUSTIN JEAN FRESNEL; 1788 - 1827)

Sie kann auf einer Fotoplatte entsprechend hoher Auflösung (s. u.) aufgezeichnet werden

Zonenlinse

Sie entsteht bei der Überlagerung:

einer **Punktquelle** als Objekt mit einer unendlich weit entfernten ebenen **Parallelquelle** als Referenz.

Sie besteht aus dunklen und hellen **radialen Ringen** und besitzt dann die Eigenschaften einer **sehr speziellen Linse**:

- 1) Sie ist je nach Betrachtungsweise **Sammel- oder Zerstreuungslinse**.
- 2) Der Brennpunkt ist stark von der **Lichtwellenlänge abhängig**.
- 3) Eigentlich bestehen die Zonen bis ins **Unendliche** und werden dabei immer schmaler und dichter.
Doch für eine Abbildung reichen etwa die **ersten zehn Ringe**, die nicht einmal **vollständig** sein müssen.

Sie hat aber den Vorteil, für alle elektromagnetischen Schwingungen geeignet zu sein, auch Röntgenstrahlung.

Deshalb wurde sie z. B: beim **Röntgensatelliten** ROSAT erfolgreich eingesetzt.

Ein **Hologramm** besteht dann aus der **Überlagerung vieler** solcher Zonenlinsen.

Bei mehreren Punktquellen überlagern sich die so die einzelnen Zonenlinsen

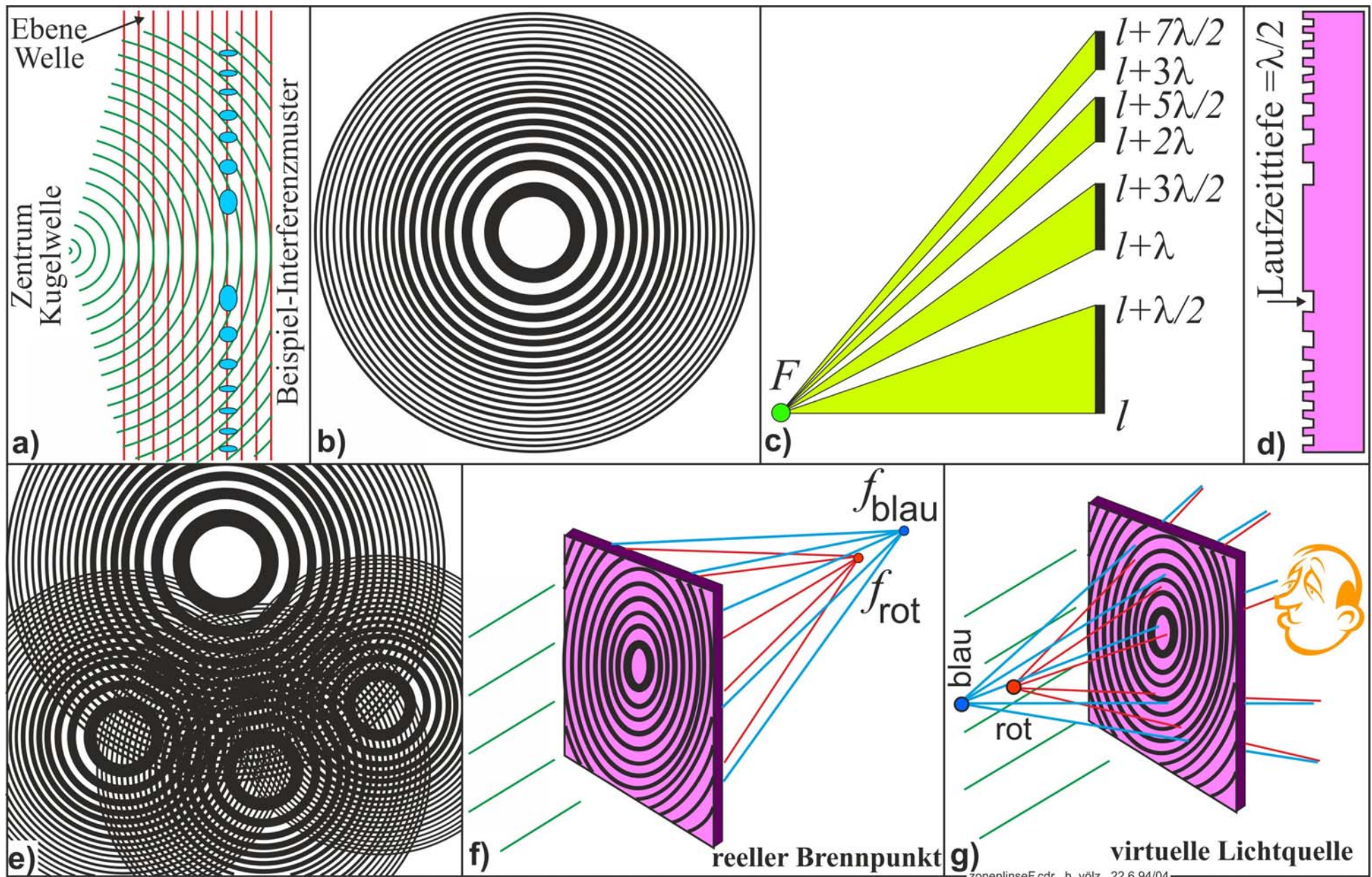
Beim Hologramm stammen sie statt von Punktquellen von der Oberfläche des abzubildenden Objektes.

Infolge der Abstände der „Ringe“ $< \lambda/2$ muss die Platte **sehr hohe Auflösung** besitzen > 5000 Linie/mm

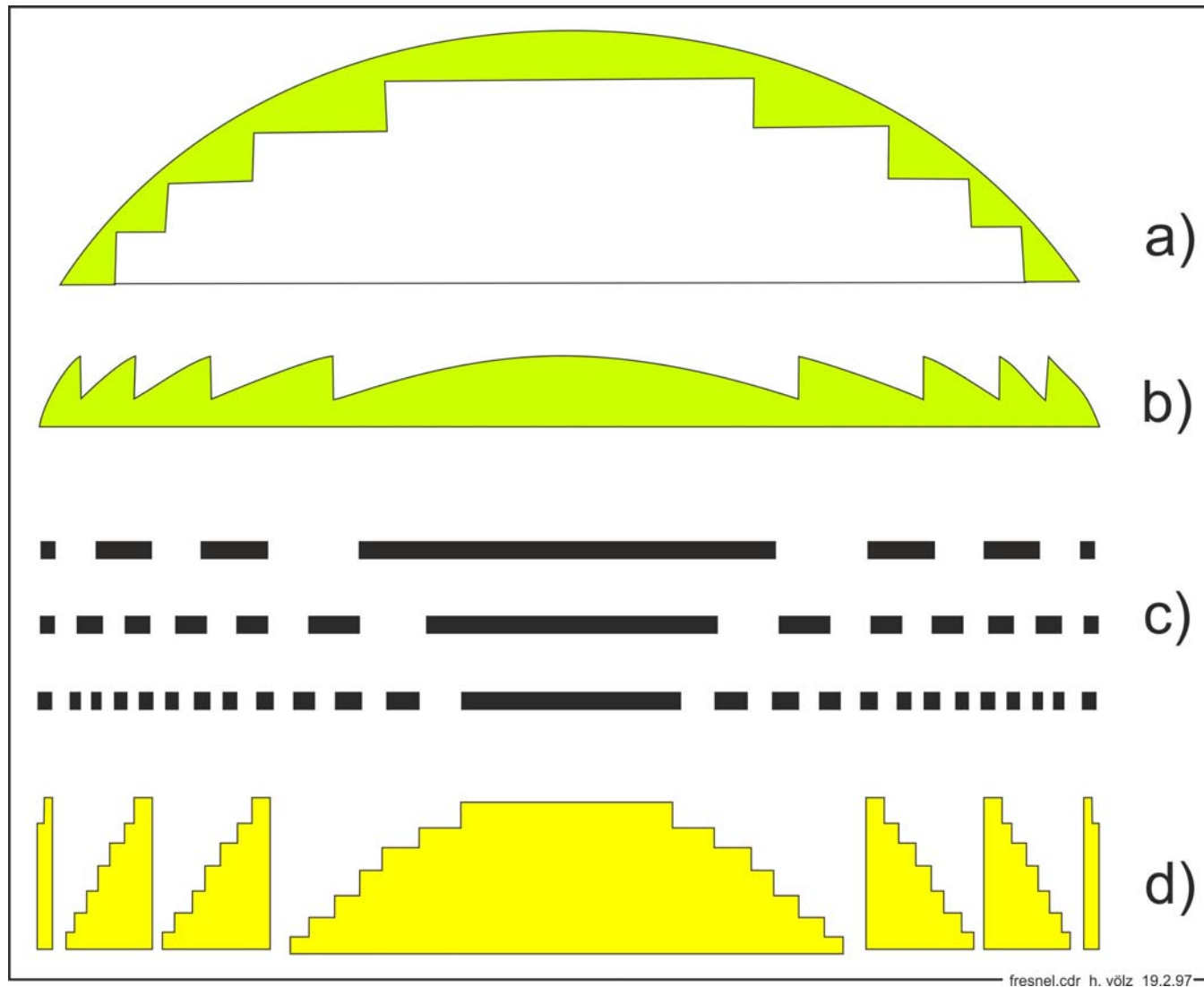
Eigenschaften von Zonenlinsen

- speziell und vielfältig
- Ringbreite für k-ten Ring = $k \cdot l$ bis $k \cdot l + \lambda/2$
- Flächeninhalt aller hellen und dunklen Bereiche ist gleich groß (äußere immer schmaler)
- Hinter Zonenlinse unterschiedliche Brennpunkte für verschiedenen $\lambda \triangleq$ **Sammellinse** mit chromatischem Fehler
- Für einen Beobachter hinter der Linse erscheint sie dagegen als **Zerstreuungslinse** mit chromatischem Fehler
- Sie sind für alle elektromagnetischen Wellen geeignet, auch für RÖNTGENstrahlen
- Zonenlinsen sind sehr **schwer herzustellen**, Ringe müssen durch zusätzliche, radiale Streben verbunden werden
- Nachteilig ist, dass immer nur die Hälfte des Lichtes genutzt werden kann

Ausweg bei **lichtdurchlässiges Material** (z. B. Fotolack): Rillen mit $\lambda/2$ **Tiefe** → Interferenz mit Lichtgewinn
Ermöglicht Pressung wie bei CD, DVD (**Phasen-Hologramm**) (s.u.)



Achtung! Zonen-Linsen nicht verwechseln mit **historischer FRESNEL-Linse**



Teilbarkeit von Hologrammen

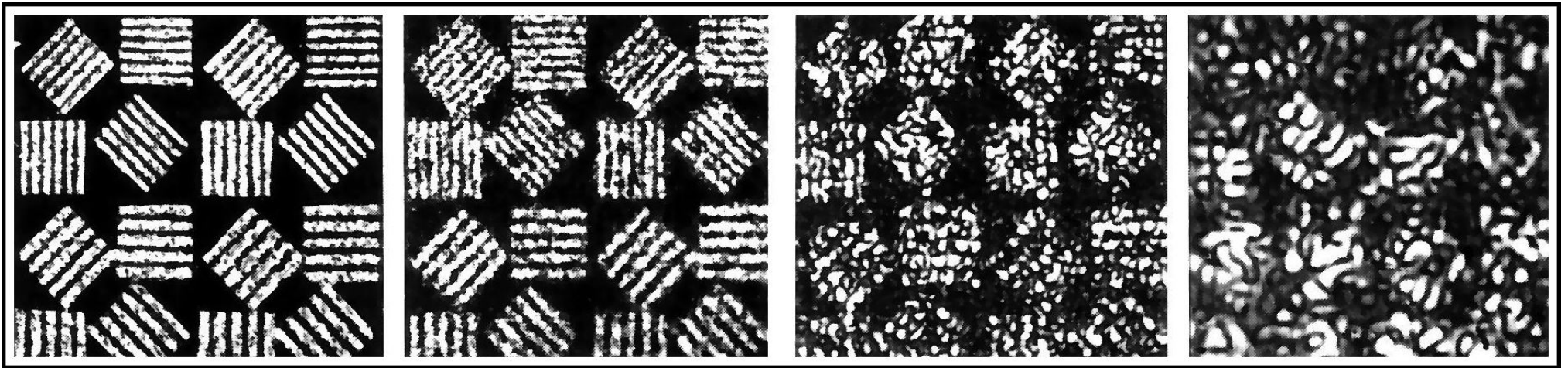
Eigentlich sind **Zonenlinsen bis ins Unendliche** ausgedehnt

Für ihre Wirkung genügen bereits die **etwa zehn** ersten Ringe

Doch je weniger Ringe vorhanden sind, desto **unschärfer** wird das Hologramm

Eigentlich enthält jedes Bruchstück eines Hologramms nahezu das vollständige Bild,

Je Kleiner das Stück ist, desto unschärfer wird jedoch das Bild:



Von links nach rechts verkleinert sich die Fläche auf $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{16}$ und $\frac{1}{100}$ des linken Bildes [16]

Probleme der Holografie

Für die Erzeugung eines Hologramms sind mehrere schwierig zu realisierende Randbedingungen zu schaffen:

- Bei der Wellenlänge des sichtbaren Lichts von 400 bis 800 nm muss für die Auflösung der Zonenlinsen-Ringe das **Fotomaterial** mindesten 40 nm = **25 000 Linien/mm** auflösen.
- Ein üblicher Fotoabzug besitzt nur 10 ein Kleinbildfilm maximal 200 Linien/mm. Es ist also ein **Fotoresist** wie bei der CD-, DVD- oder der Halbleiterfertigung erforderlich.
- Bei allen lichtempfindlichen Materialien sinkt die Lichtempfindlichkeit etwa umgekehrt zur Liniendichte. Deshalb sind für ein Hologramm **Belichtungszeiten von Stunden** üblich.
- Während der langen Belichtungszeit dürfen sich keine Abmessungen und Entfernungen um mehr als $\frac{1}{4}$ Wellenlänge ändern. Das erfordert **extrem erschütterungsarmen Aufbau, konstante Temperatur, Feuchte** usw.
- Die **Kohärenzlänge des Lasers** muss etwa doppelt so lang sein, wie alle Abmessungen der Apparatur und des Objektes, also meist mehrere Meter.

Aus diesen Bedingungen folgt, dass Hologramme nur in **Spezial-Laboren herstellbar** sind. Hieraus ergibt sich ihre sehr hohe Sicherheit gegenüber **Fälschungen** und **Nachahmungen**.

Erste Hologramme

Ab 1948 von DENNIS GÁBOR (1900 - 1979) *Geradeaus-* bzw. *In-Line-Holografie* für durchsichtige Objekte

Der Betrachter wurde dabei durch die ihm gegenüberliegende helle Laserbeleuchtung geblendet.

Später erfolgte *schräge Beleuchtung*, die bald auch den BREWSTER-winkel mit Totalreflexion nutzte

= *Off-Axis-, Off-Line-, Seitenband- oder Trägerfrequenz-Holografie*.

Name in Analogie zur Modulation in der Nachrichtentechnik, Referenzwelle und Objektwelle treffen sich unter einem Winkel.

Objektwelle wirkt modulierend auf den Träger (Referenzwelle)

Mögliche ***Denkweise in Beugungsbildern*** des Hologramms: Bilder erscheinen durch die +1. (genutzt) und -1. Beugungsordnung.

Zum Reflexhologramm

Das bisher beschriebene Hologramm ist nur mit rückwärtiger Beleuchtung sichtbar.
Es handelt sich um ein Rück- bzw. **Durchlichthologramm**.

Erwünscht ist aber eine Betrachtung mit Auf-Licht, also ein Reflexions-Hologramm.
Das verlangt eine **andere Aufnahmemethode**.

Das Licht muss **durch das Fotomaterial** zum Objekt gelangen

Von dort wird dann es **reflektiert** und erzeugt so im Fotomaterial die Interferenz.

Das Fotomaterial muss also für das Licht sowohl **durchlässig als auch absorbierend** sein.

Hierbei sind die **Gradeaus- und Off-Axis-Technik** zu unterscheiden.

Es besteht jetzt die Gefahr, das Hologramm von der **falschen Seite** zu betrachten.

Dann werden das **Innere und Äußere** der betrachteten Objektes **vertaucht**.

Transmissions-Hologramme

Durchgang von Licht durch eine Substanz heißt Transmission (*lateinisch **transmissio*** Übersendung, Übertragung)
Transmissions-Hologramme werden folglich von „hinten“ beleuchtet
sind heute durch Auflicht-Hologramme ersetzt
Dennoch besitzen sie heute als Master-Hologramme grundlegende Bedeutung
Großer Vorteil der Holografie ist, dass stets die ganze Szene scharf abgebildet wird, **Schärfentiefe** $\rightarrow \infty$

Aufzeichnung

Laserstrahl wird aufgeweitet und zu einem parallelen Lichtbündel geformt
Die optische Einheit dafür besteht aus Zerstreuungs- und Sammellinse und heißt **Kollimator**
Teil des Lichtbündels (**Referenzstrahl**) wird über Spiegel als ebene Wellenfront zur Fotoplate geleitet.
= hochauflösendes AgX-Material
Anderer Teil trifft das (undurchsichtige) Objekt, von dem die dadurch **verformte Wellenfront** zur Fotoplate gelangt
Beide **interferieren** und belichten die Platte, sie wird anschließend entwickelt und fixiert
→ **Hologramm** = nahezu homogen grau
Unterm **Mikroskop** ist die Vielzahl der überlagerten Zonenlinsen nur zu erahnen

Transmissions-Hologramm (2)

Wiedergabe (Decodierung)

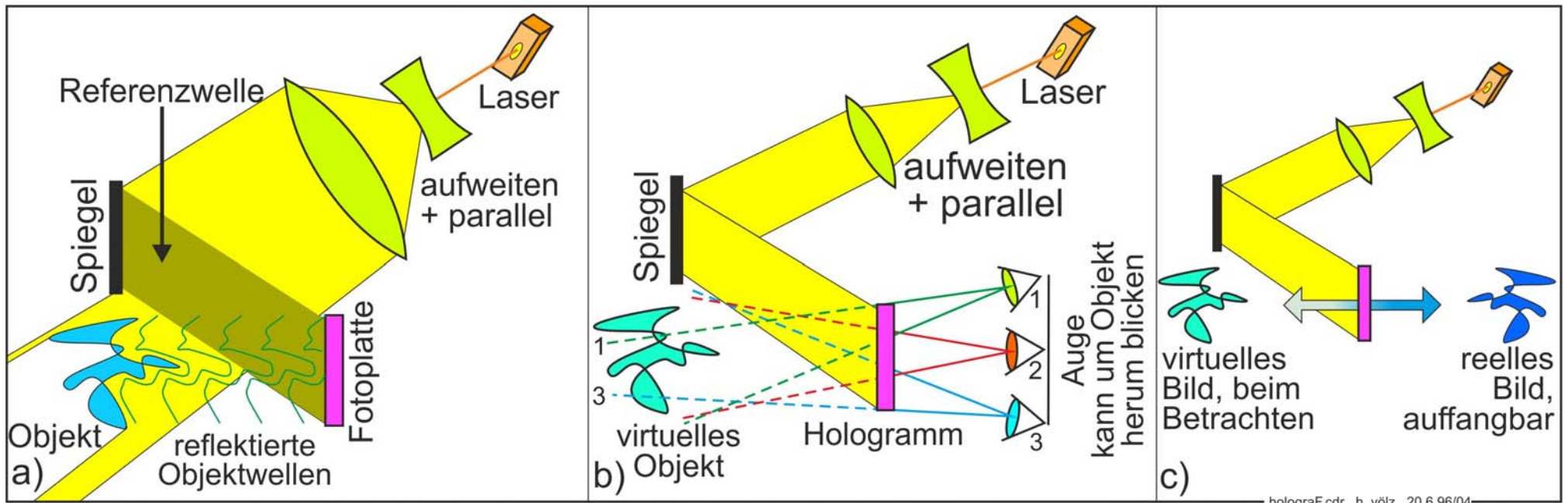
Hologramm wird nur vom gleichartigen Referenzstrahl beleuchtet, dahinter entsteht die ursprüngliche Wellenfront. Dadurch erscheint dem Beobachter hinterm Hologramm das virtuelle Bild des Objektes an der ursprünglichen Stelle. Je nach der Größe kann er es von verschiedenen seitlichen Orten sowie von nah und fern betrachten.

Das Hologramm ist zum Fenster geworden, seine Fläche entspricht der Fenstergröße.

Verkleinerung des Hologramms reduziert nicht nur die Auflösung, sondern auch die sichtbare Objekt-Fläche

Durch die Eigenschaft der Zonenlinsen existieren bei der Hologramm-Wiedergabe virtuelles **und reelles Bild**

das Reelle ist ebenfalls 3-dimensional, jedoch „*pseudoskopisch*“, es kann aufgefangen werden, und ermöglicht eine Hologramm-Kopie (s.u.)



- a)** Das Hologramm entsteht in einer speziellen, sehr hoch auflösenden Fotoplatte durch Interferenz der Objektwellen mit der Referenzwelle.
- b)** Für die Betrachtung genügt die Referenzwelle, und man kann aus verschiedenen Standpunkten unterschiedlich auf das virtuelle blicken.
- c)** Neben dem virtuellen Bild entsteht aber auch ein reelles Bild, das auf einem Schirm (nicht räumlich) sichtbar zu machen ist. Mit einer dicken Fotoplatte kann hier aber eine Kopie des Hologramms angefertigt werden.

Varianten für Hologramm-Aufzeichnungen

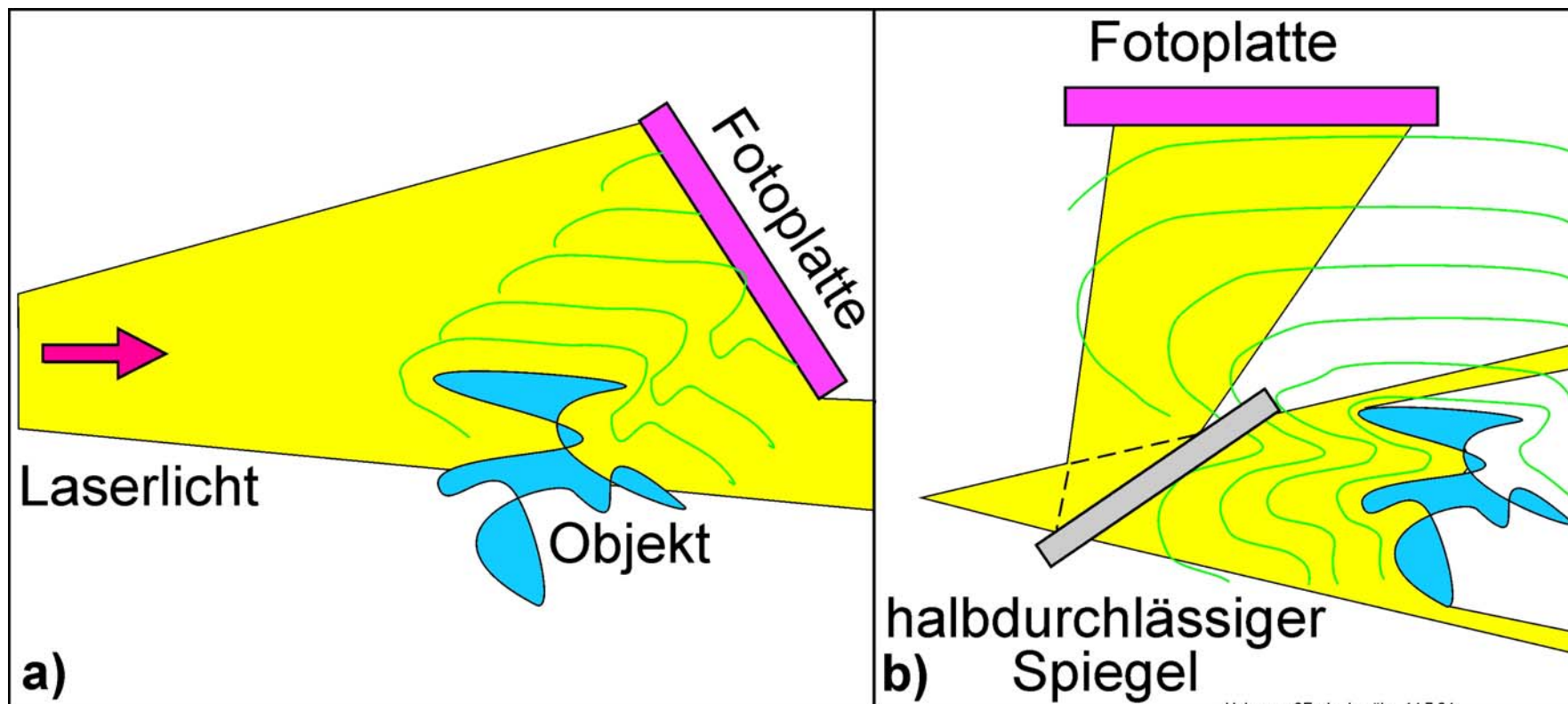
Für Transmissions-Hologramme gibt es einfache Aufbauten:

1. Die Referenzwelle kann auch leicht divergiert sein

Sie kann ebenfalls direkt zum Objekt und zur Fotoplate gelangen
ein Problem ist dabei eine gewisse gegenseitige Abschattung

2. Trennung von Referenzstrahl und Objekt-Beleuchtung mit teildurchlässigem Spiegel

In beiden Fällen muss bei Wiedergabe Referenzstrahl aus gleicher Richtung und Divergenz auf das Hologramm fallen



Grundlagen und Vorteile

Das Hologramm ist eine spezielle (mathematische) **Abbildung, Transformation** des Objektes

Die Hologrammwiedergabe entspricht der **Rücktransformation**.

Die mathematischen Zusammenhänge sind recht kompliziert

Transmissions-Hologramme bedeuten dann eine erhebliche Vereinfachung, wenn Objekt-Hologramm-Abstand » Objekt-Größe

Dann ist Hologramm **FOURIER-Transformierte** der Objektgestalt = FRAUNHOFER- bzw. FOURIER-**Holografie**.

JOSEPH VON FRAUNHOFER (1787 – 1826), JEAN-BAPTISTE JOSEPH BARON DE FOURIER (1768 - 1830)

Wird Hologramm mit Wellenlänge λ_a **aufgenommen und λ_w wiedergegeben:**

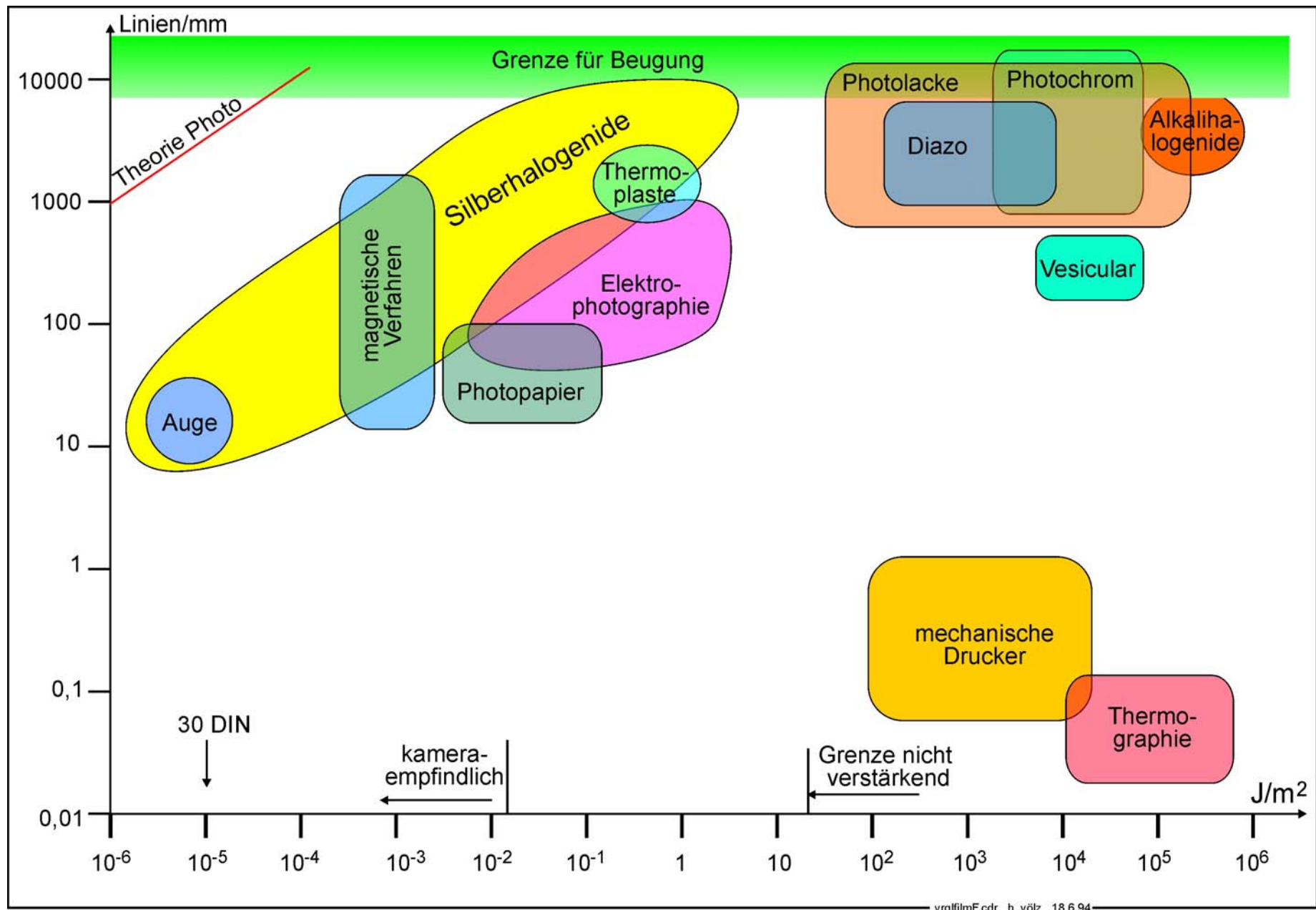
Dann ist das Bild zu Original um Faktor $V = \lambda_w / \lambda_a$ vergrößert bzw. verkleinert → **Mikroskop-Holografie**

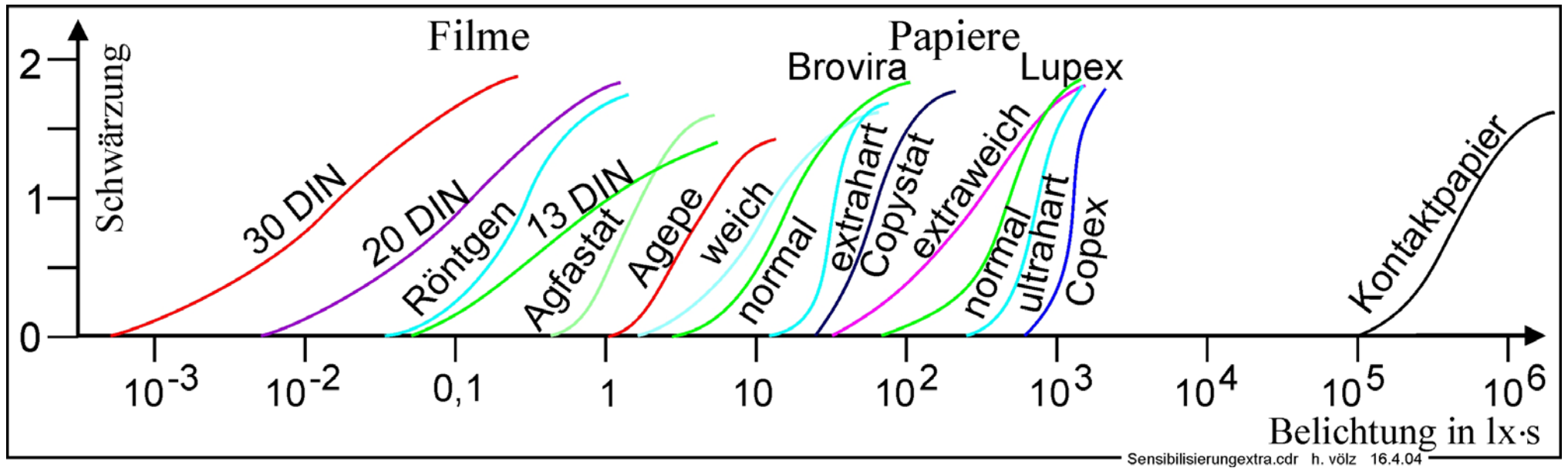
Vorteile:

- sphärische Aberration und Koma = Null
- viel größeres Beobachtungsfeld erreichbar
- etwas Astigmatismus bleibt aber

Bedingungen und Einschränkungen

- Für **Interferenz** müssen Referenz- und Objektwelle die gleiche *monochromatische* Wellenlänge besitzen, die *Kohärenzlänge* muss mindestens so lang sein, wie die größte Entfernung in der gesamten Apparatur
Das verlangt einen guten und leistungsfähigen *Laser*
- **Auflösung** der Photoplatte muss ein sehr hoch auflösendes Speichermedium ≥ 5000 Linien/mm
Das bedeutet eine extrem geringe Lichtempfindlichkeit, sowie
lange Belichtungszeiten. Während dieser Zeit muss die Anordnung auf Abmessungen $\ll \lambda$ stabil sein
stabiler mechanischer Aufbau sowie gute Temperatur- und Feuchtekonzanz





Typische Empfindlichkeiten und Gradationskurven einiger Filmmaterialien

Nachteile und Weiterentwicklung

Nachteile führen zu neuen Techniken, die anschließend einzeln behandelt werden

- Hologramme sollten wie **Bilder an der Wand** hängen, Beleuchtung von vorn gewünscht
= **Reflexions-Hologramme**
- Hologramme sollten zur Betrachtung **kein monochromatisches** bzw. Laserlicht benötigen, gewünscht
gewöhnliches **Tages- oder Kunstlicht**
= Volumen- bzw. Regenbogen-Hologramme
- **Herstellung** von Hologrammen sehr aufwendig, daher Massen-Kopiertechniken gewünscht
- Hologramme ähneln Blitzlichtfotos, gewünscht **ausgewogene Beleuchtung** mit mehreren „Lichtquellen“
- Hologramme sollten auch **farbig** sein und/oder einen Rundblick, wie bei einem **Panorama** ermöglichen

Dünnschicht $\Leftrightarrow$ Volumen-Hologramm

Zonenlinsen existieren im gesamten Interferenzraum mit Abstand $\lambda/2$

Nur eine **extrem dünne Platte** trägt **eine einzige Zonenlinse** = **ebenes** oder **Dünnschicht-Hologramm**

Übliche **Foto-Platten deutlich dicker** – typisch 5 bis 30 μm ,

das bewirkt 20 bis 100 Zonenlinsen hintereinander = **Volumen-Hologramm**

Ein Volumen-Hologramm ist vorteilhaft nur für Durchlichthologramme geeignet

Bei **Wiedergabe addieren sich die Wirkungen der Zonenlinsen** wie bei einem Gitter = BRAGG-Reflexion

SIR WILLIAM HENRY BRAGG (1862 – 1942) und Sohn SIR WILLIAM LAWRENCE BRAGG; (1890 - 1971)

Es treten hauptsächlich -1., 0. und +1. Beugungsordnung auf, Bild in der 1. Ordnung

20er Jahre spezielle **Farbfotographie** nach GABRIEL JONAS LIPPMANN (1845 - 1921)

Bei weißem (Tages-) Licht ließen die stehenden Wellen nur jeweils richtige Farbe zu.

Derartige **Reflexions-Hologramm** $\rightarrow$ **Weißlichthologramm** nur in aufgezeichneter Wellenlänge sichtbar

Notwendig ist jedoch eine **noch höhere Auflösung** des Fotomaterials

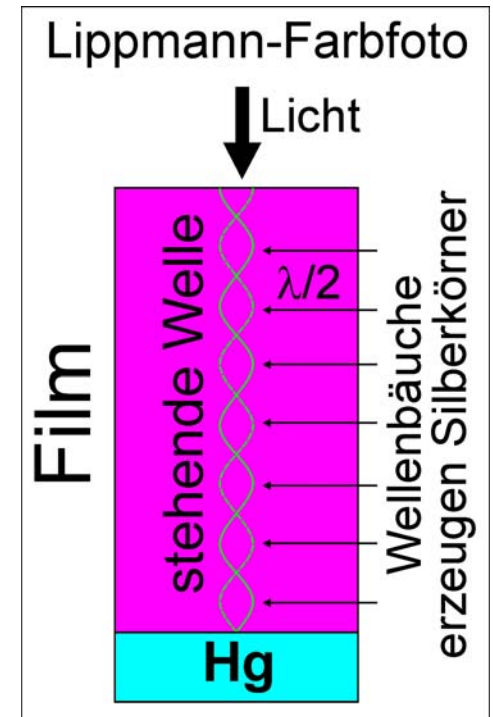
Sie erscheinen meist **grüngelb bis orange**, obwohl mit roten Laser aufgenommen.

Ursache:

Entwicklung und Fixierung **schrumpfen die Gelatine** und verringern Abstände

Bei zunehmender Feuchtigkeit wird Bild rötlicher,

Das gilt aber nicht für Dünnschicht- speziell Regenbogenhologramme



Reflexions-Hologramm

Durchlichthologramm: Referenzstrahl und Objekt auf der gleichen Seite der Fotoplatte

Dünne durchsichtiger Fotoplatte auf transparenter Unterlage bietet Möglichkeit, **beidseitig** anzuordnen

Dennoch **Interferenz auf Fotoplatte**

Für **Betrachtung** muss Hologramm wie bei Aufzeichnung beleuchtet werden

Das virtuelle Bild entsteht dort, wo sich das Objekt befand

Für ein **Reflexions-Hologramm** muss sich der Betrachter aber **auf der Seite der Lichtquelle** befinden

Geradeaus- und **In-Line-Technik**, Nachteil (=Durchlichthologramm)

Nachteil: Betrachter und Lichtquelle können sich verdecken

Vorteilhaft ist **Off-Axis-** oder **Seitenband-Technik**, sie erfolgt bewusst mit divergierendem Licht.

Dennoch ist die Wiedergabe mit **punktförmigen Lichtquelle** möglich

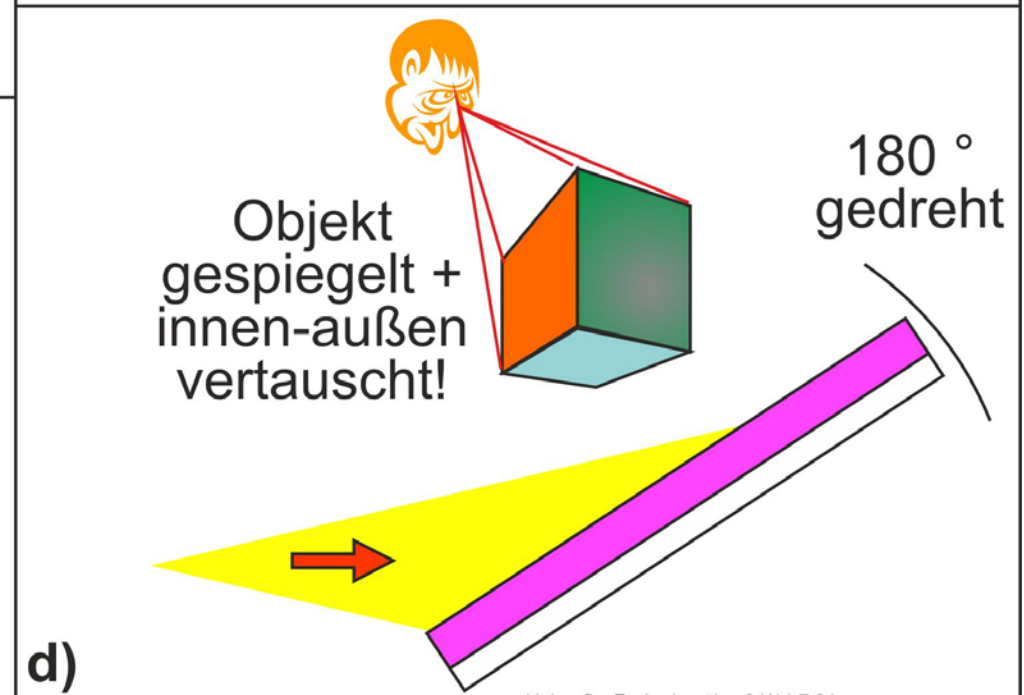
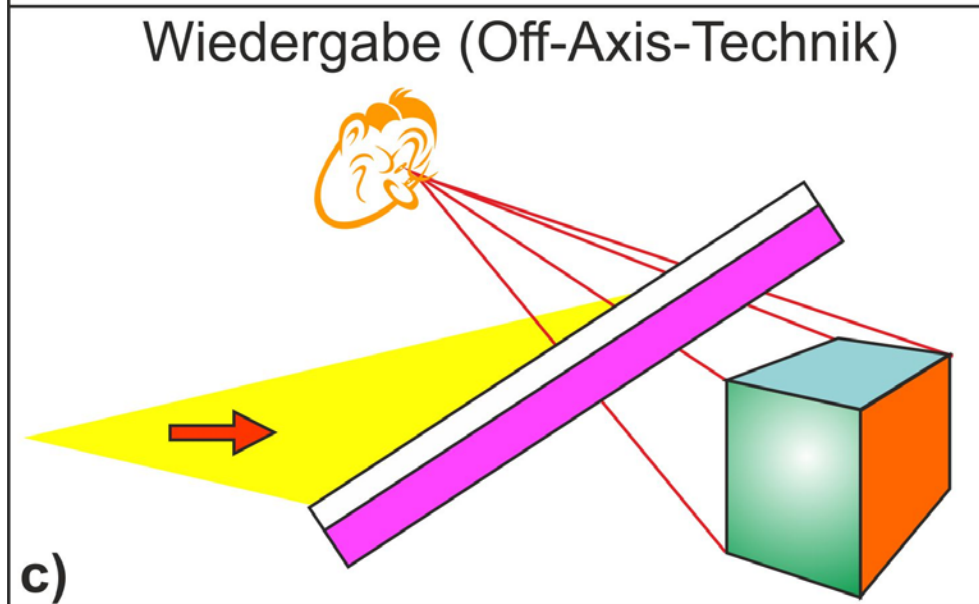
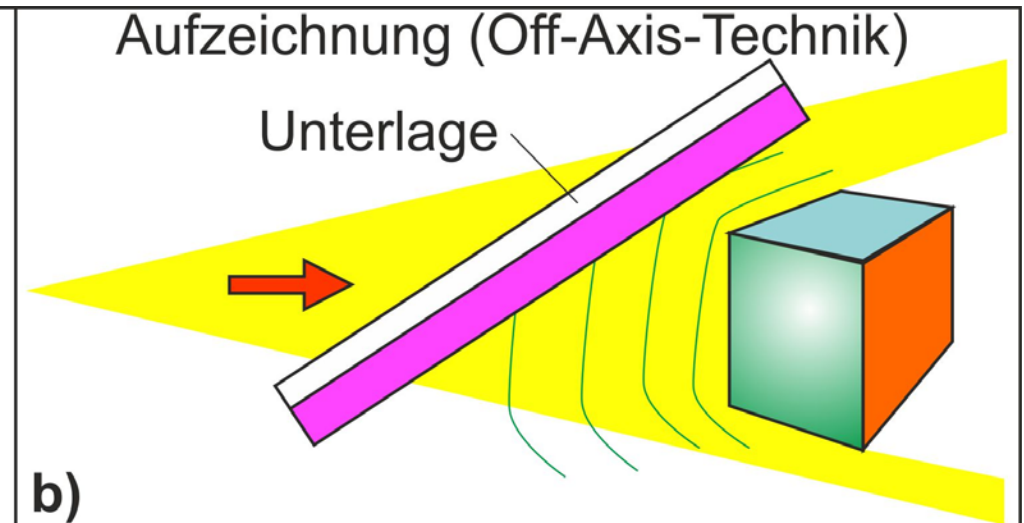
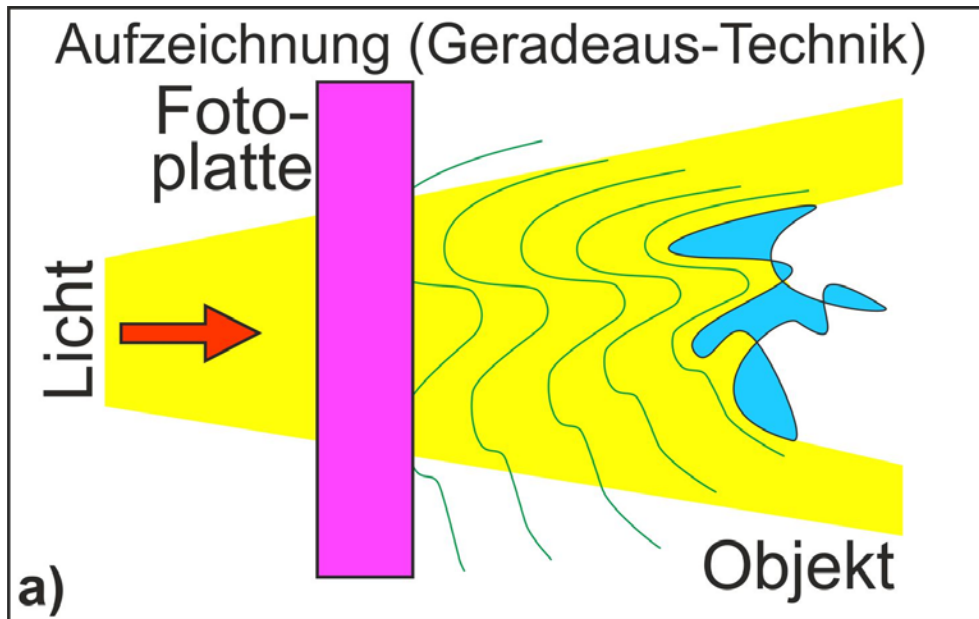
Reflexions-Hologramm (2)

Nachteile

Winkel für Beleuchtung und Beobachtung bzgl. Hologramm müssen **genau eingehalten** werden
Abweichungen machen das Hologrammbild zumindest **unscharf**, gilt vor allem für **entfernte Bildteile**
Wichtig ist, dass bei der Betrachtung von hinten kein Licht kommt → **rückseitige Schwärzung**
Trotzdem sind Reflexionshologrammen **immer deutlich flacher und unschärfer** als Durchlichthologramme

Pseudoskopisch

Reflexionshologramm bietet Möglichkeit, es von der „falschen“ Seite zu beleuchten und zu betrachten
Dadurch entsteht das Bild *vor* dem Hologramm. Es ist reell und **pseudoskopisch**
Griechisch pseudos Täuschung; *skopein* betrachten = **Tiefenverhältnisse** gegenüber dem Original **invertiert**
Vorn und hinten sind vertauscht, bei hohlen Objekten auch innen und außen
Ein gewölbtes Original erscheint umgestülpt
Bild verhält sich zum Objekt wie ein Gipsabdruck zum Original
Vordergrund kann Hintergrund verdecken
Solche Bilder sind oft schwer zu erkennen und zu interpretieren, sie widersprechen unseren Seh-Erfahrungen



HoloreflexF.cdr h. vözl 94/14.7.04

Mehrfachbeleuchtung und -Bilder

Blitzlicht bewirkt „**harte**“ **Bilder** mit Schlagschatten. *Mehrfachbeleuchtung* wirkt „schöner“
Daher sind für besser ausgeleuchtete Hologramme auch *mehrere Lichtquellen* vorteilhaft

Wegen der **Kohärenz** müssen sie aber **von einem Laser abgeleitet** sein → Strahlteilung (Splitting)
Anwendung sowohl für Durchlicht- als auch Reflexionshologramm

Bei Reflexhologramm ist zu beachten, dass der zweite Strahl nicht direkt die Fotoplatte trifft,
und dass zweite Referenzwelle stört

Mehrfachbilder

Achtung! Nicht verwechseln mit üblichen Wackelbildern.

Volumenhologramm können gleichzeitig *mehrere Bilder* ohne gegenseitige Störung aufgezeichnet werden

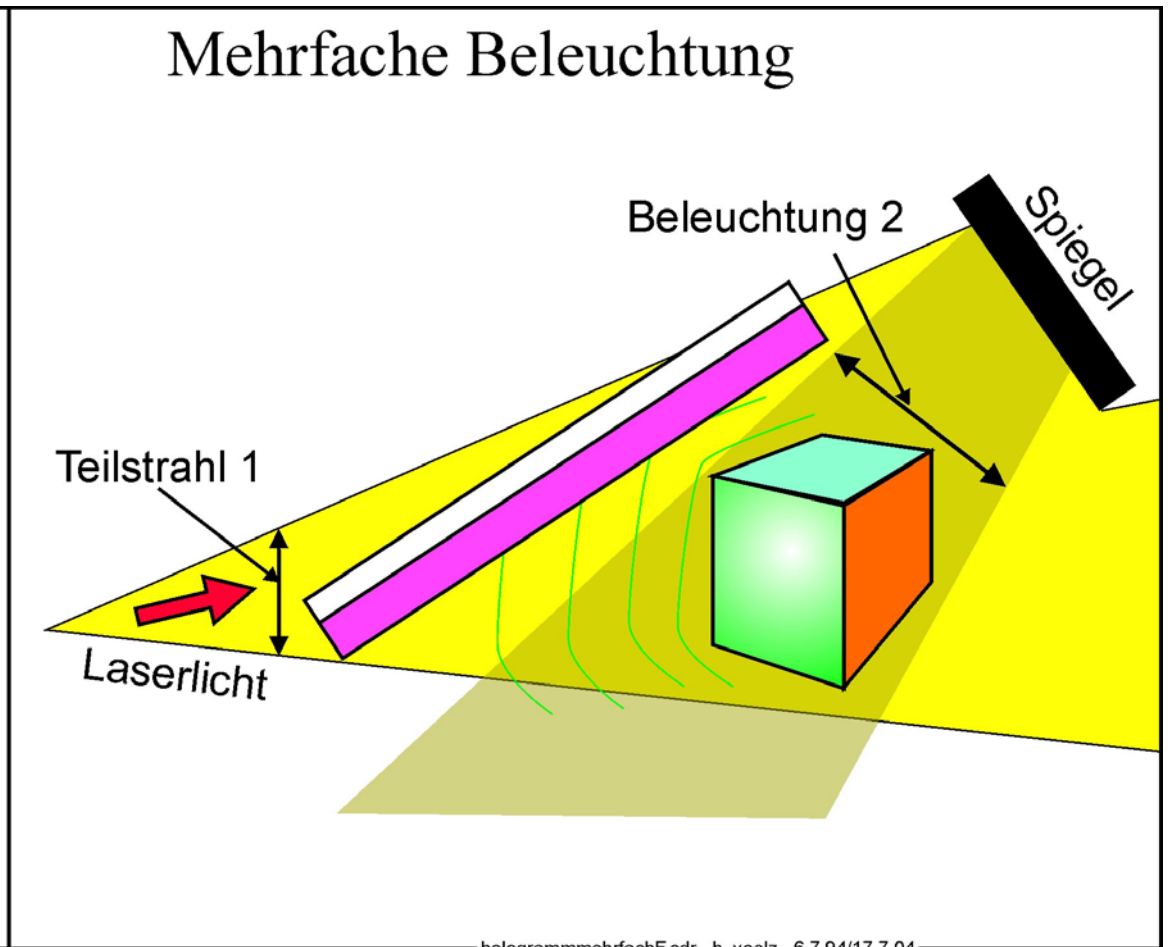
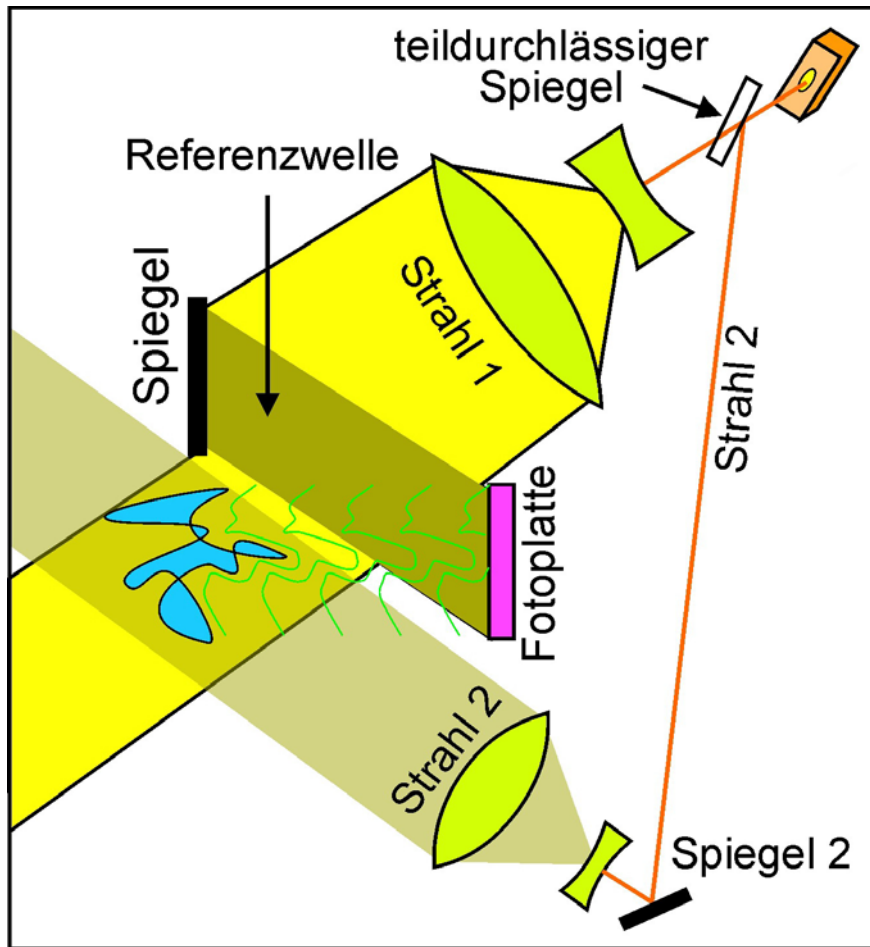
Jedes Teilbild erfordert für **Referenzstrahl andere Richtung** und/oder andere **Polarisation**

Im Multi- = **Vielfach-Hologramm** entstehen für jedes Bild individuell geneigte Folgen von Zonenlinsen

Zur **Betrachtung** ist auch die Beleuchtung entsprechend dieser Zonenlinsenfolgen vorzunehmen

Das jeweilige Bild wird dabei durch Interferenz an den Folgen der Zonenlinsen selektiert

Zuweilen genügt sogar ein einfaches Kippen des Hologramms (nicht verwechseln)



hologrammmehrfachF.cdr h. voelz 6.7.94/17.7.04

Farbige Hologramme

Achtung! Nicht verwechseln mit Regenbogen-Hologrammen (s.u.)

Mit drei Lasern entsprechender Frequenz sind auch **farbige Durchlicht-Volumen- Hologramme** möglich
Wurden erstmalig 1965 B. T. CATHY verwirklicht, Wiedergabe ist mit weißem Licht möglich
Entsprechen drei Farbausügen mit unterschiedlichen Zonenlinsen bzgl. Abstand der Ringe und gegeneinander

Drei **Schwierigkeiten:**

Drei richtig abgestimmte Laserfrequenzen. Sonderfall zwei Gaslaser
weil spezieller Argon-Gaslaser zwei Frequenzen abstrahlt
Bei Halbleiterlaser bereitet zuweilen noch der blauen Laser Probleme

Fotoplatte muss für alle drei Wellenlängen etwa gleich empfindlich sein
Sonst Ausgleich durch Laser-Intensität

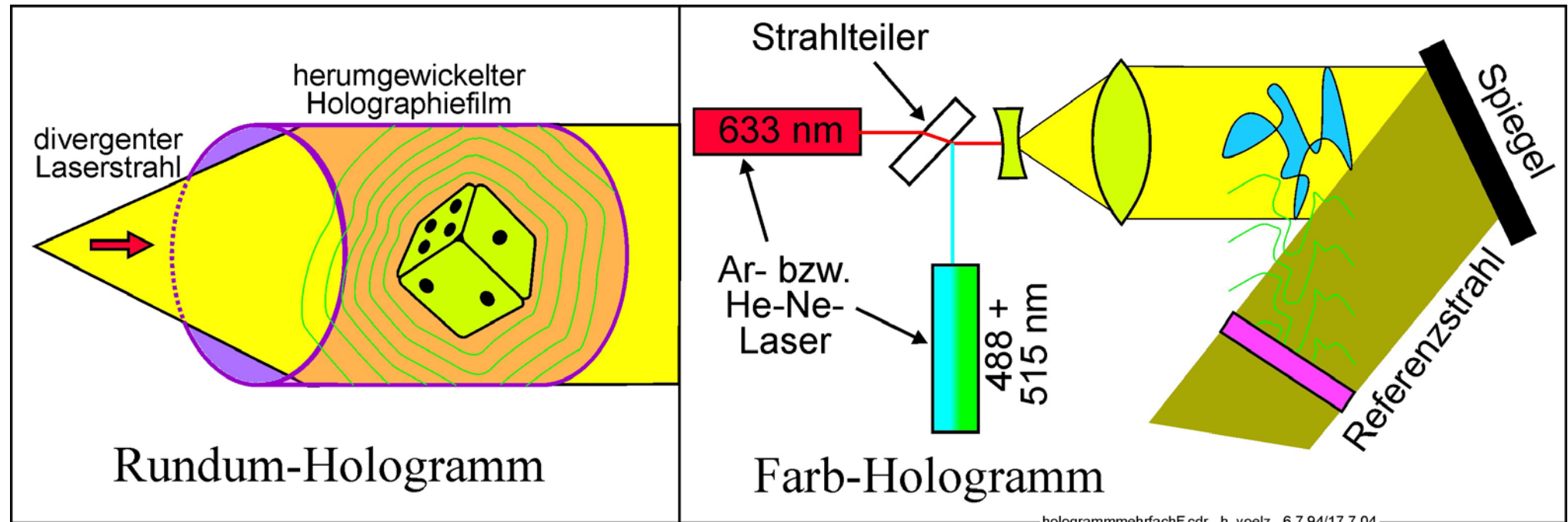
Bei der Entwicklung und Fixierung darf das Fotomaterial nicht schrumpfen
Sonst tiefere Laserfrequenzen notwendig

Zylinder- bzw. 360°-Hologramm

Hierbei wird Foto-Material um das Objekt „herumgewickelt“

Laserbeleuchtung erfolgt von einer offenen Seite, trifft gleichzeitig als Referenzwelle direkt auf das Fotomaterial

Gleiche Beleuchtung für Wiedergabe, dadurch kann man um das Bild herumgehen



Kopieren und Vervielfältigen (1)

Hologramme sind nur mit **großem technischen Aufwand** und **langer Belichtungszeit** herzustellen
Kopien und Vervielfältigungen meist etwas einfacher und schneller als das Herstellen von Originalen
Gilt ähnlich für das Hologramme, es bleibt aber immer der **Aufwand für das erste Master- oder Mutter-Hologramm**

An den Ort des **reellen Bildes** kommt die Kopie-Foto-Platte und wird dort mit einer **zusätzlichen Referenzwelle** überlagert

Durch Interferenz entstehen dann erneut die dem Muttergramm ähnlichen Zonenlinsen in der Fotoplatte

Methode ist sowohl für Durchlicht- als Reflex-Hologramme möglich

Unterschiedliche Anordnungen bewirken verschiedene Hologramm-Kopien, auch **pseudoskopische**

In fast allen Fällen ist die **Qualität geringer**, meist ist nur ein Teil des reellen Bildes nutzbar

Methode ist **nicht für eine massenweise Herstellung** von Hologrammen geeignet,

benötigt ebenfalls viel Zeit, lediglich Ansprüche an Laser (Koheränzlänge) und Stabilität der Anlage sind geringer

Kopieren und Vervielfältigen (2)

Es existiert jedoch eine viel bessere Methode, die der *Vervielfältigung von CD, DVD* entspricht

In *Dünnschicht-Holgrammen* existiert nur eine Ebene mit Zonenlinsen

Sie können daher durch *Tiefen-Interferenz* ersetzt werden

$\lambda/2$ bei Durchlicht und $\lambda/4$ bei Auflicht-Hologrammen

Statt der Foto-Platte wird ein entsprechender *Fotolack, Fotoresist* benutzt

Nach seiner Belichtung und „Entwicklung“ kann ein Master aus *hartem Metall*, z. B. Ni erstellt werden

Mit ihm können dann massenweise *im Sekundentakt Hologramm-Kopien gepresst* werden

Heute wird dies Verfahren bei Regenbogen-Hologrammen benutzt (s. u.)

1984 in $1,1 \cdot 10^7$ Exemplaren des Märzheftes der „Geographic“ das Hologramm des Adlers, $11 \times 11 \text{ cm}^2$

Dennoch bleiben auch diese Hologramme hochwertige *Sicherheitskennzeichen*

Sie befinden sich u.a. auf Banknoten, Kreditkarten und Softwareverpackungen.

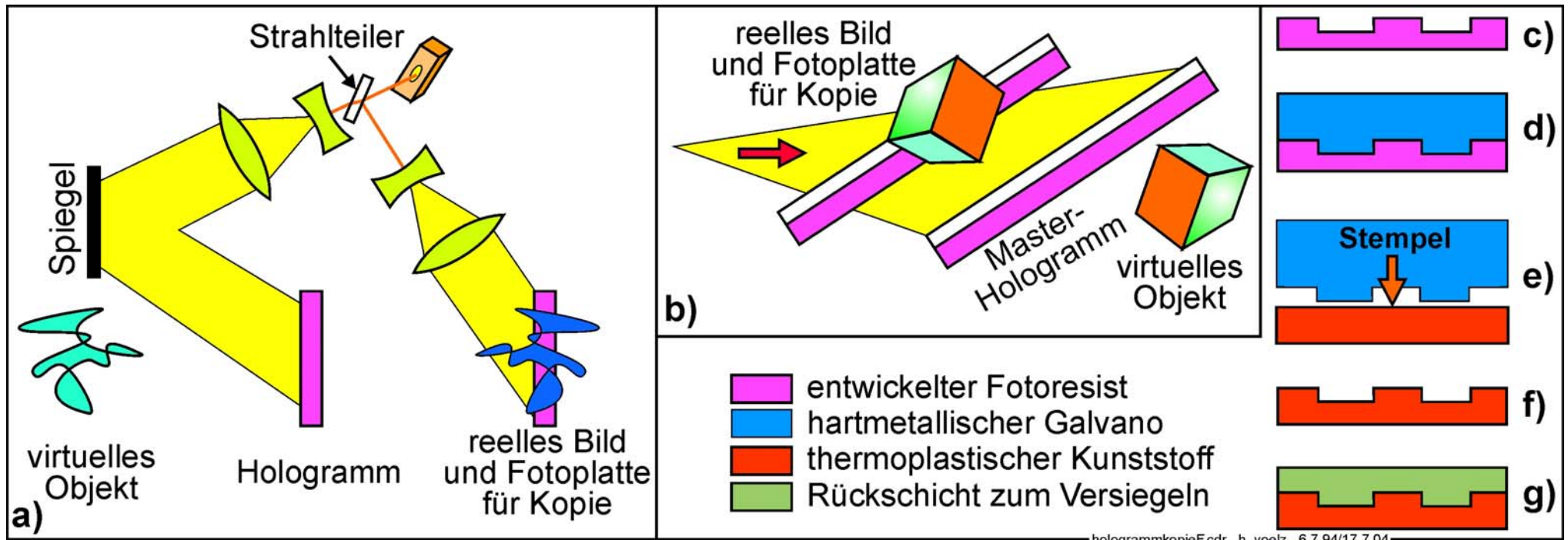
Die Sicherheit ergibt sich aus den Schwierigkeiten und dem *Aufwand das Master-Hologramme herzustellen*

Dies erfordert Speziallabore, und die *Vervielfältigungen* erfolgen dann im *Hochsicherheitstrakt*

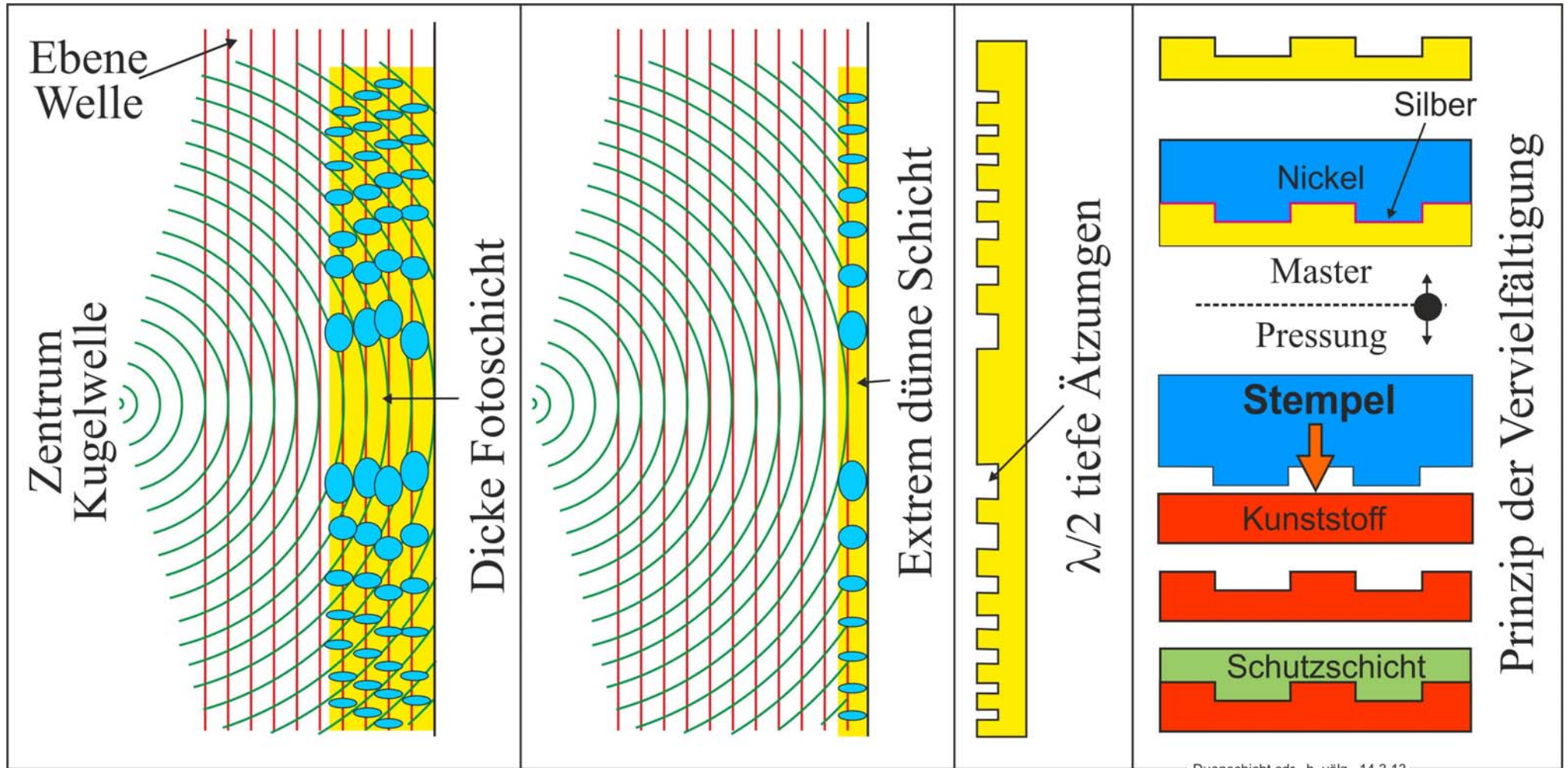
Die *Kunststofffolien sind so dünn*, dass sie nicht zerstörungsfrei abgetrennt werden können

Dennoch kamen **1992 Softwarepiraten** durch Überfall an Kopien des *Hologramms von Microsoft*

Sie konnten so scheinbare „Original-“ Software in den Handel bringen



Mehr detailliert im Folgenden



Vom Laser- zum Tageslicht

Sowohl das übliche Durchlicht- als auch Reflexhologramm verlangt einen Laser zum Betrachten.

Besonders erwünscht ist eine Betrachtung mit Tageslicht.

Je nach der Wellenlänge ändern sich dabei jedoch die **Brennweiten der Zonenlinsen**.

So entstehen unterschiedlich gefärbte, große Bilder an verschiedenen Orten. **Es ist nichts zu erkennen.**

Daher wurde 1969 durch STEVE BENTON das **Regenbogen**-Hologramm erfunden.

Beim Kopieren wird nur ein **schmaler horizontaler Streifen** des Originalholgramms benutzt.

Dadurch geht die Betrachtung aus verschiedenen „Höhen“ verloren, **die seitlichen Betrachtungen** bleiben erhalten.

Mit Schräglagen des Hologramms erscheint das **Objekt** nacheinander in den **Farben des Regenbogens** mit leicht **veränderten Größen**.

Diese Farben des Regenbogenhologramms haben aber nichts mit Farben des Originals zu tun.

Der große **Vorteil** ist jedoch, dass diese Hologrammkopie **mit weißem Licht** beleuchtet werden kann.

Die optimale Breite des Streifens für Masterhologramm entspricht unserer mittleren Pupillenöffnung, etwa 4 mm

Ist er breiter, so wird das virtuelle Bild unscharf; ist er schmaler wird es lichtschwächer

Zweiter Vorteil: Für entsprechende Dünnschicht-Hologramme ist **massenweise Vervielfältigung** möglich

Zum Regenbogenhologramm gehört auch ein **reelles, pseudoskopisches** Bild

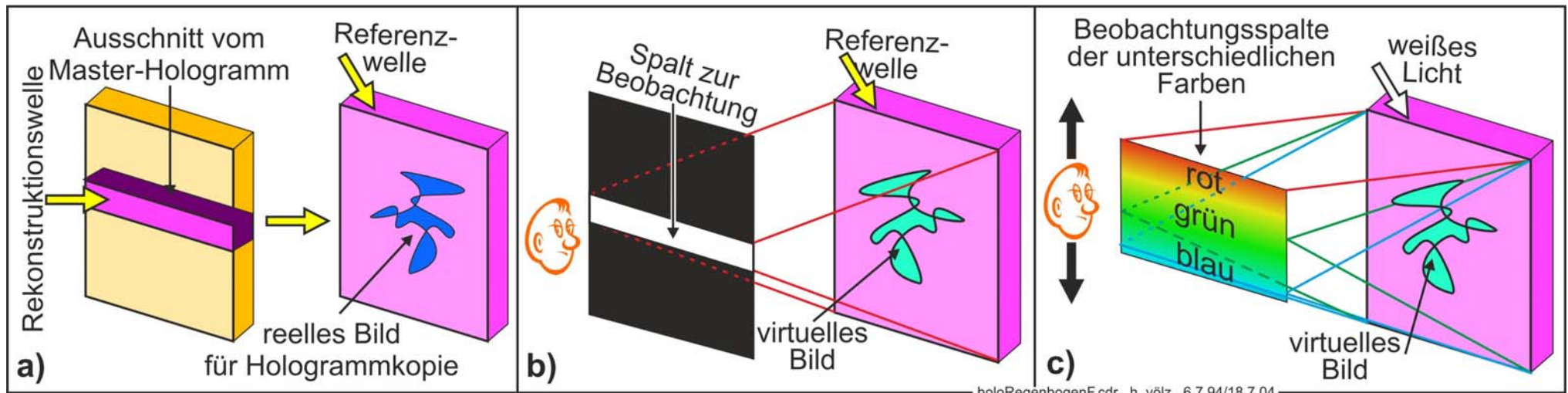
Es wird sichtbar, wenn das Hologramm um 180° in seiner Bildebene – nicht Vorder-Rückseite – gedreht wird

Auch **Mehrfachhologramme** sind nach dieser Methode möglich

Ferner kann es mittels **zwei Lichtquellen in komplementären Farben** beleuchtet werden

Die beiden virtuellen Spalte müssen dabei an der gleichen Stelle entstehen → weißes Bild

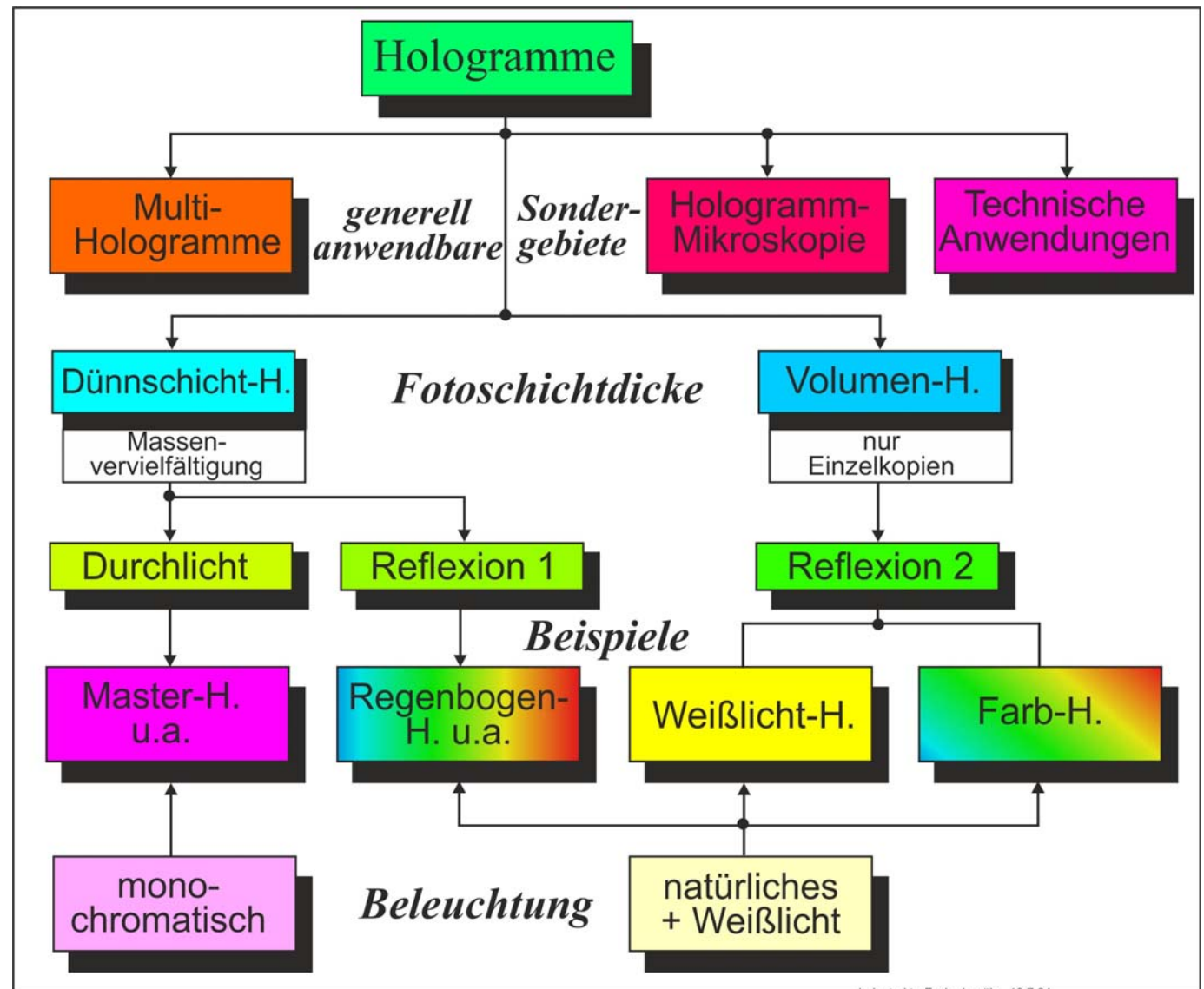
Es hat jedoch farbige Ränder, denn die beiden Teilbilder besitzen unterschiedliche Größe.



Klassifikation von Hologrammen

Versuch eines **Überblicks** zu den verschiedenen Verfahren der Holografie.

Die **holografische Datenspeicherung** ist hier nicht gesondert aufgelistet. Sie gehört zu den technischen Anwendungen,



Neue technische Anwendungen (1)

Messtechnisch: durch *Mehrfachbelichtungen* ist u. a. ein **Nachweis** von μm -Änderungen möglich:

Abnutzung, Druck-Zug Belastungen usw. = *Hologramm-Interferometrie*

Zonenlinsen lassen sich überlagern. So können in einem Hologramm **mehrere Bilder** gespeichert werden.

Aus verschiedenen Betrachtungswinkeln werden dann unterschiedliche Bilder sichtbar.

Im Prinzip lassen sich so auch Hologramme **mit wenigen Farben** erzeugen.

Zeichenerkennung: Auf einem Kleinst-Hologramm sei z. B. der Buchstabe E gespeichert,

Ein Text wird abgebildet und dieses Kleinst-Hologramm als Filter in die FOURIER-Ebene ($\approx$ Brennpunkt) gelegt

In der Projektion des Textes werden dann alle Orte hervorgehoben, wo ein E steht

Größe oder Drehung der jeweiligen E sind dabei von **untergeordneter** Bedeutung

Schriftfont geht etwas ein: ähnliche Zeichen, wie *E*, **E**, *E*, *E*, *E*, usw. werden etwas weniger hervorgehoben.

Teilweise werden auch F, L, Σ , Γ , Z, [, T, $\perp$ usw. entsprechend Ähnlichkeit, auch bei Rotation etwas sichtbar.

Vorteilhaft ist dieses Verfahren bei der **Suche nach komplexen Strukturen und Gebilden**

Schallanalyse:

bei Ultraschall überlagert sich eine Referenzwelle mit der Reflexion vom zu untersuchenden Objekt

Die entstehenden Schalldruckknoten werden mit einem bewegten Mikrophon gescannt und aufgezeichnet

Die bildliche Aufzeichnung der Intensitäten ergibt ein Hologramm, das optisch betrachtet werden kann.

Wird später genauer betrachtet unter Sonifikation.

Neue technische Anwendungen (2)

Hologramm-**Mikroskopie**. Aufnahme und Wiedergabe mit unterschiedlicher Wellenlänge ermöglicht eine Vergrößerung mit beliebig großer Tiefenschärfe.

Synthetische Hologramme werden z. B. für Röntgenstrahlen, Mikrowellen oder Schall berechnet

Holografisch-optische Elemente (HOE) sind keine eigentlichen Hologramme

Sie beeinflussen Lichtstrahlen in vordefinierter Weise, z. B. als spezielle Spiegel oder Linsen, u. a. mit chromatischer Korrektur

Ihre Mikrostruktur wird berechnet, größer hergestellt und dann optisch verkleinert gespeichert

Die **Trägerfrequenz-Fotografie** ist eine abgewandelte Methode

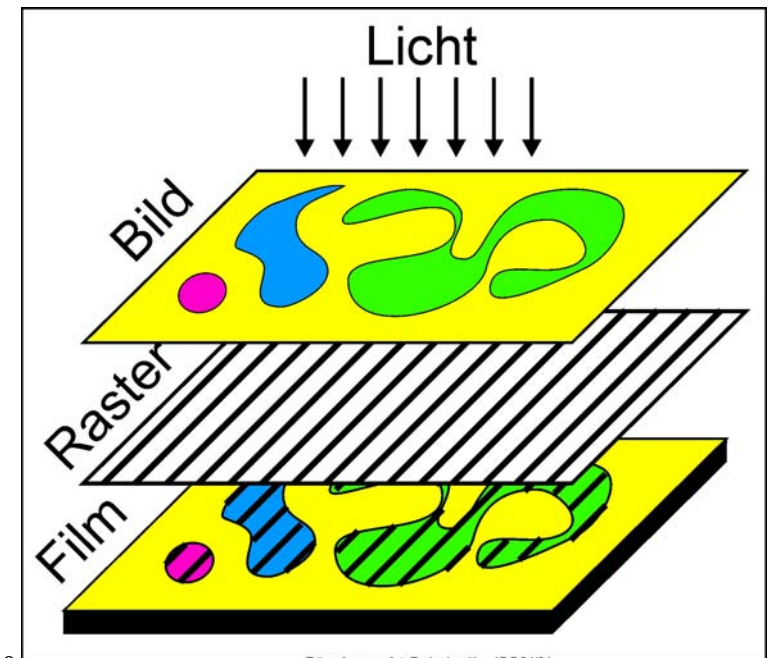
Das Originalbild wird über ein **feines Streifenraster** auf eine photographische Platte aufgezeichnet.

Bei **Drehung und Abstandsänderung** des Rasters sind so auf die gleiche Fotoplate mehrere Bilder übereinander zu speichern

So wird (angeblich) die **Speicherkapazität** der Platte besser ausgenutzt

Die Wiedergabe der einzelnen Bilder muss mit gleichen Rastern und Drehungen erfolgen.

Das Verfahren hat keine größere Anwendungsbreite erreicht



Computer-Hologramme $\Rightarrow$ neue Speicher

Lichtablenkung durch ***bewegliche Spiegel*** ist für elektronische Anwendungen zu ***langsam***

Vielfach auch dann, wenn spezielle mikroelektronische ***MEM***, wie sie bei einigen ***Beamern*** und Filmprojektoren benutzt werden

Auf alle Fälle, wäre aber zusätzlich eine ***Ablenkung auf diskrete Punkte*** (digital) vorteilhaft

Dieses Prinzip ist in 60er Jahren entstanden und wird zumindest in der Forschung erfolgreich angewendet

Schon früher gab es Bauelemente zur ***Drehung der Polarisationssebene*** und ***elektronischen Lichtablenkung***

Wesentlich ist dabei der Unterschied von ***ordentlichem*** $\Leftrightarrow$ ***außerordentlichem Strahl***

Sie sind unterschiedlich bzgl. Kristallstruktur und Lichtpolarisation (s. u.)

Völlig anders ist das ***PHSCgram*** (gesprochen ***skologrä***m; Photography, Holography, Sculpture, Computer).

Ein Objekt wird für 13 Perspektiven berechnet und jedes der 13 Bilder in 8000 vertikale Streifen ($\Sigma=104\,000$) zerlegt.

Sie werden zu einem Bild nebeneinander angeordnet. So entsteht eine räumliche Wirkung. Chip 8/97, 304/5.

Drehung der Polarisationssebene

Polarisiertes Licht erleidet beim Durchdringen eines **optisch aktiven Stoffes** eine Drehung der Polarisation

Diese Drehung kann bei einigen Stoffen durch elektrische Felder verändert werden

Viele Anwendungen hierzu, u.a. **magneto-optische Speicher, elektro-optisch bei Flüssigkristallen** (LCD)

Beim alten Tonfilm diente die **Kerrzelle** zur Schallaufzeichnung, 1875 von JOHN KERR (1824 – 1907) erfunden

Sie enthält eine geeignete Flüssigkeit (oft Nitrobenzol) in einem Gefäß

Bei der elektrischen Feldstärke E über die Länge l , erleiden ordentlicher $\leftrightarrow$ außerordentlicher Strahl einen Gangunterschied, der mittelbar eine Drehung um α von polarisiertem Licht der Wellenlänge λ bewirkt

$$\frac{\Delta l}{\lambda} = K_K \cdot l \cdot E^2 \rightarrow \alpha = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot K_K \cdot \lambda \cdot E^2 ..$$

Typische Werte für die Kerr-Konstante K_K bei 550 nm bei Zimmertemperatur.

Material	K_K in 10^{15} m/V^2
Benzol	8
Schwefelkohlenstoff	40
Chloroform	34
Wasser	50
Chlorbenzol	117
<i>m</i> -Nitrotoluol	2500
Anilin	4000
Nitrobenzol	4500

Doppelbrechendes Prisma, Ablenkung und Speicher

Zweites Bauelement der diskreten elektronischen Lichtablenkung ist das **doppelbrechende Prisma**

Je nach Polarisationsrichtung verlässt eine eintreffende Welle das Prisma in zwei unterschiedliche Richtungen

Durch Kombination von **n Kerrzellen** und **n Prismen** lassen sich so **2^n Positionen** ansteuern

Heute sind im Labor mit 2×10 Baugruppen $2^{20} = 1\,048\,576$ **diskrete Positionen** (x-, y-Richtung) ansteuerbar

Bei mehr Baugruppen machen sich Toleranzen, Streuungen usw. zu stark bemerkbar

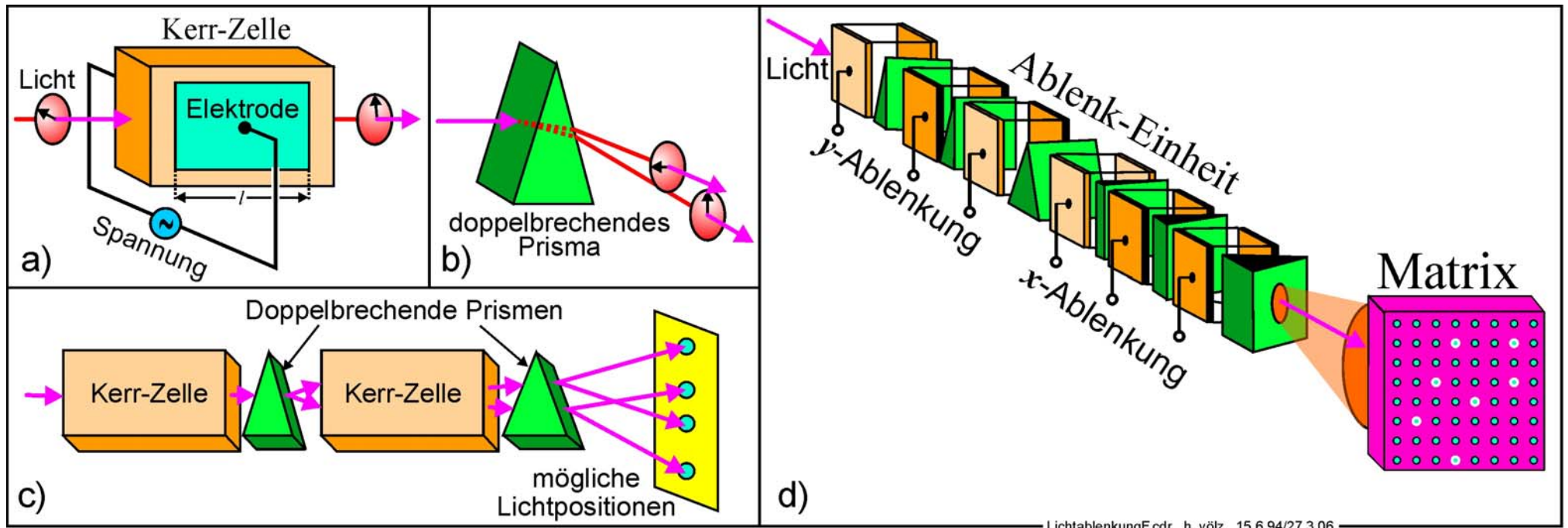
In **Kombination mit der Holografie** entsteht dann ein **Hochleitungsspeicher**, der seit den 70er Jahren ständig verbessert wird

Typische Labordaten 2012 sind:

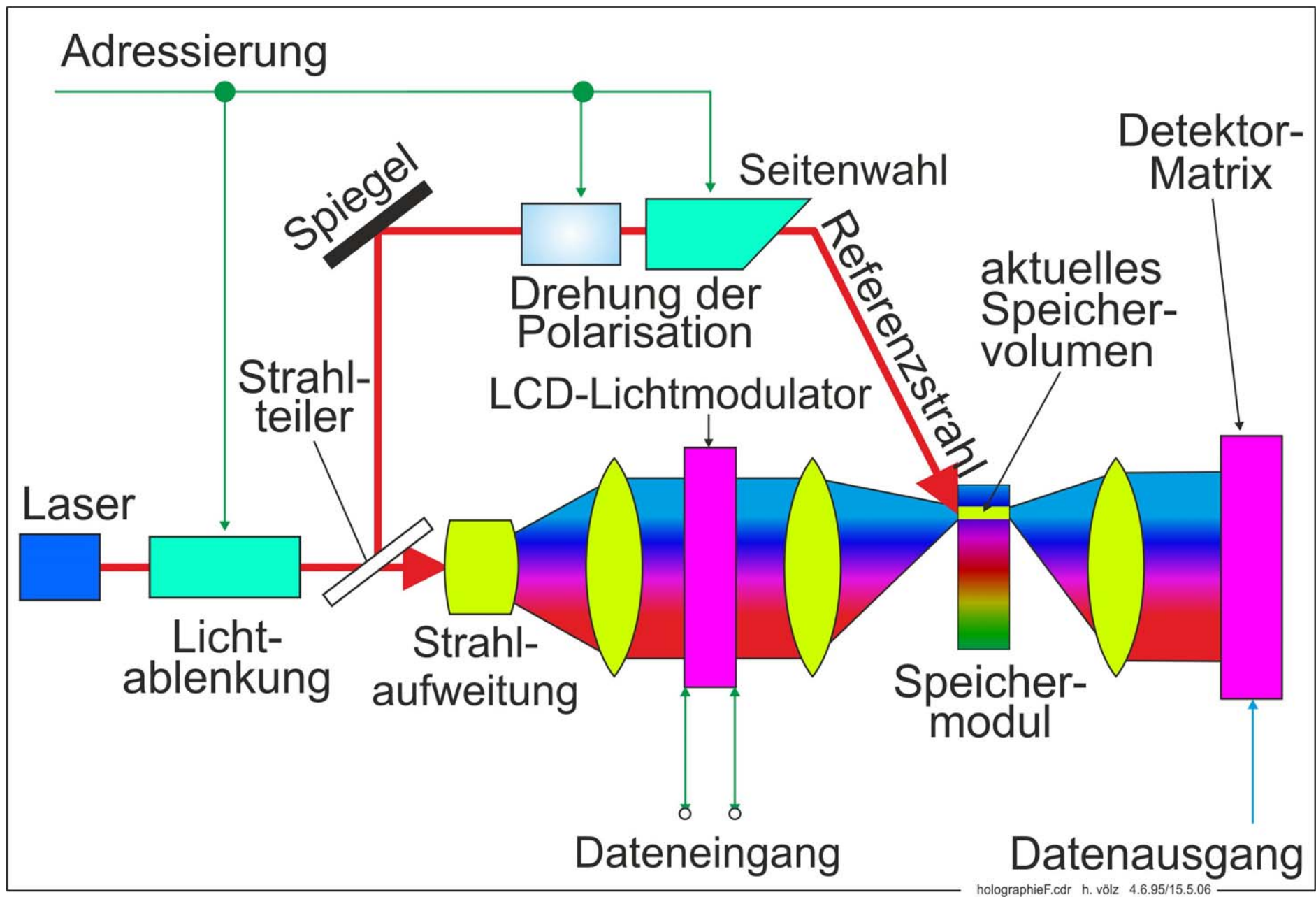
10^6 Speicherorte, 10^6 Pixel, 10^3 Winkel $\approx 10^{15}$ Bit ≈ 100 TByte auf etwa 1 cm^3 auswechselbar

Datenrate liegt bei 10^{12} Bit/s = 1 TBit/s

Probleme bestehen hauptsächlich immer noch im geeigneten Speichermaterial



LichtablenkungF.cdr h. vözl 15.6.94/27.3.06



Holografische Platten

Als Nachfolge der DVD waren und sind viele Nachfolger mit höherer Speicherkapazität angekündigt worden
Darunter auch mehrere mit Volumen-Holografie →, mehrere Daten auf einer Pit-Fläche ≈ 1 mm Dicke

MICA (multilayered imprinted card) von NTT für Backup, Bisher nicht kommerziell verfügbar
WORM-Platten (Karten) $25 \times 25 \text{ mm}^2$ aus Kunststoff, ≈ 1 GByte, später 100 Schichten 10 GByte
Schichten mit alternierendem Brechungsindex wirken sie als Wellenleiter

Ende 2005 **Tapestry** von **InPhase** Technologies vorgestellt

2000 aus Lucent Technologies + Bell Labs hervorgegangen

Platte 300-GByte-Laufwerk mit 160 MBit/s, Speicherdichte $\approx 10 \text{ GByte/cm}^2$, später $> 1 \text{ TByte}$
Laser bei 407 nm, Drehrichtungen von 0,067 Grad als Stufen, Belichtungszeit je Hologramm (Datenseite) $\approx 3 \text{ ms}$

Medium = Scheibe 1,5 mm Dicke, 13 cm $\varnothing$ von Hitachi, Maxell

Zwei klare Kunststoffscheiben hält durchsichtige Polymer-Schicht auch als Leim zusammen

2 Komponenten: Ein Polymer bildet ein stabiles Gitter

in Zwischenräumen befindet sich zweite, lichtempfindliche Komponente

Bei **Aufzeichnung** verbinden sich Moleküle zu langen Ketten (Photo-Polymerisation)

andere optische Eigenschaften

Leere Medien halten sich nur 3 Jahre, Aufzeichnungen dagegen 50 Jahre (Stand etwa 2010?)

HVD (holographic versatile disc) (1)

Optware mit Fuji Photo and CMC Magnetics, „HVD Allianz“: Nippon Paint, Pulstec Industrial und Toagosei
Erste Spezifikationen 2004. weitere Firmen schlossen sich 2005 an
≈ **AHVD** (advanced) nichts genaueres bisher bekannt

Wegen vieler holographischer Aktivitäten 2004 Industrievereinigung **ECMA** ein *technisches Komitee* gegründet
U. a. Canon, Fujitsu, IBM, Intel, Microsoft, Panasonic, Sony und Toshiba.
Soll Standardisierung eines holographischen Speichers vorantreiben soll
Varianten **HVC** (holographic versatile card) und **read-only HVD**

Speichermaterial

Kunststoff der **Bayer-Material-Science AG**, liegt seit Ende der 90er Jahre vor
Er besteht aus zigarren-artigen Molekülen, die durch „Bänder“ verbunden sind
Gelöscht sind alle „Zigarren“ gleich ausgerichtet

Aufzeichnung: Laser-Erwärmung, Moleküle nehmen zunehmend stabile, statistische Ausrichtungen an

Wiedergabe: je nach Molekülrichtungen, linear polarisiertes Licht absorbiert ≥ 64 Graustufen

Platte $\varnothing = 120$ mm, Kapazität ≈ 4 TByte, Transferrate ≈ 1 GBit/s, nicht rotierend, sondern schrittschaltend

HVD-Technik

Blau-grünen Schreib-Lese-Laser (532 nm) + **roten** Positionierungs- = Adressierungs-Laser (650 nm)

Blau-grüner Referenz- und Informations-Strahl für Hologramm aus gleicher Richtung auf die Polymer-Schicht

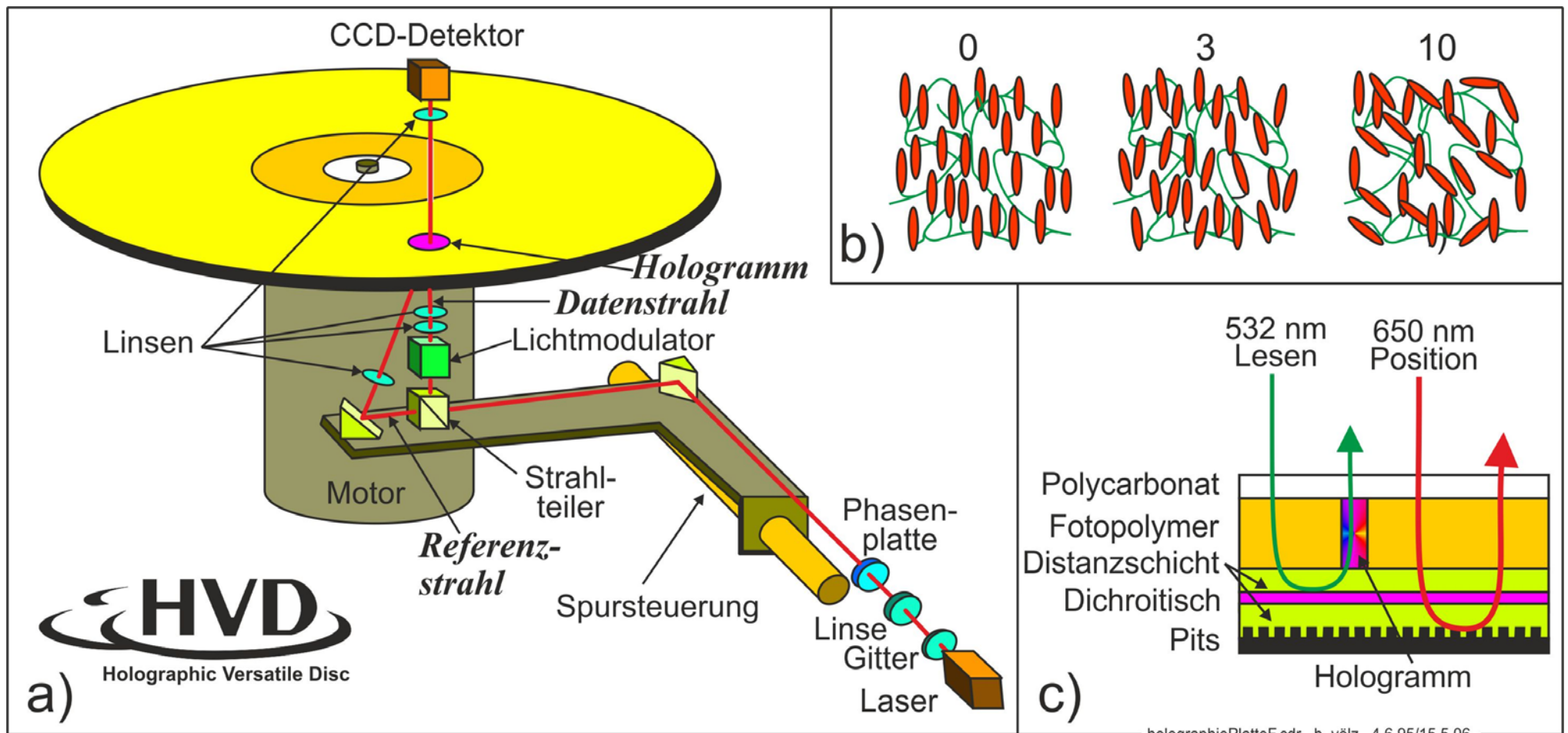
Darunter liegende **dichroitische Schicht** reflektiert gut blau-grünes Licht, lässt rotes passieren

Rotes Licht gelangt zu den **tiefer liegende Pits** (Al) mit Sektor-, Kopf- und Segment-Informationen

Organisation = Festsplatte, ermöglicht schnelle Adressierung

Zu speichernde Information erzeugt eine **Digital Mirror Device** (DMD), ähnlich den DLP-Projektoren

Technik sollte 2007 marktreif sein, erste Recorder $\approx 10\,000$ \$, Leselaufwerke $\approx 2\,000$ \$. Platten ≈ 150 \$



Geschichte der Holografie

Die Geschichte der Holografie ist wesentlich durch die Entwicklung des Lasers bestimmt

Daher dauerte es ca. 15 Jahre, bis die Ideen von Gábor praktisch nutzbar wurden

Bis zur ersten Massenherstellung vergingen sogar fast 40 Jahre

Zur ersten Nutzung in der elektronischen Speichertechnik vergingen weitere 30 Jahre

1948 Ungar DENNIS GÁBOR (1900 - 1979) entwickelt in den USA die Idee der Holografie

1954 NH₃-Laser von BASOV und PROCHOROV

1960 Rubinlaser von THEODORE H. MAIMAN

1961 YURI DENISYUK experimentiert mit Weißlicht-Reflex-Volumenhologrammen

1962 GaAs-Injection-Laser von R.N. HALL und unabhängig von M. I. NATHAN

1963 PIETER J. VAN HEERDEN schlägt dreidimensionalen holographischen Speicher vor

1963 erste öffentliche Hologrammvorführung von E. N. LEITH und J. UPATNIEKS

1965 Farbhologramme mit mehrfarbigen Lasern durch B. T. CATHY

1969 STEVE BENTON erfindet das Regenbogen-Hologramm

1970 ca. erste Versuche zur digital-holografischen Speicherung

1973 JAN RAJCHMANN demonstriert einen holographischen Speicher für Rechner

1984 11·10⁶ Exemplare des Märzheftes der „Geographic“ enthalten ein großes Hologramm vom Adler

1992 Softwarepiraten benutzen das Hologramm von Microsoft

2006 Beginn der **HVD** (holographic versatile disc) durch InPhase mit Bayer-Medium

Literatur Holografie

Ernst, B.: Holografie - Zaubern mit Licht. Wittig-Fachbuch, Hückelhoven 1986/7

Heiß, P.: Die neue Holografie-Fibel. 4. Aufl. Wittig-Fachbuch, Hückehofen 1995

Ostrowski, J. I.: Holografie - Grundlagen, Experimente und Anwendungen. Harri Deutsch, Thun - Frankfurt/M. 1989

Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 2 Technik und Geschichte vorelektronischer Medien.
Shaker Verlag Aachen 2005

Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 3 Geschichte und Zukunft elektronischer Medien. Shaker
Verlag Aachen 2007

Panorama

Griechisch *pãn* alles, *hórama* das Geschaute

Der Begriff hat heute mehrfache Bedeutung:

1. Ein **guter Rundblick** über die Umgebung, der z. B. von einem Berg oder hohem Gebäude möglich ist.
2. In einem viele Meter **großem, zylindrischen Raum** gemaltes und perspektivisch wirkendes Bild (s. u.).
3. Rein flächige Bilder oder (**zusammengesetzte**) **Fotographien**, deren Länge viel größer als die Höhe ist und so einen Rundblick über größeres Gebiet ermöglichen. Die Rechentechnik bietet hierfür spezielle Panaroma-Programme (Stitcher). Eine stark vereinfachte Version ist u.a. das *9 : 16-Format*.
4. Übertragen wird der Begriff auch für einen **zusammenfassenden Überblick** eines (Fach-) Gebiete verwendet.

Eine **Vorstufe** zu heutigen Panoramen (nach 2.) ist das **antike Mausoleum**.

Z. B. das römische Kaisermausoleum der Engelsburg in Rom. und die Anastasis-Rotunde (Jerusalem, Auferstehungskirche, 335 geweiht). Sie wurde im Auftrag von KONSTANTIN I., dem Großen gebaut.

Die ersten eigentlichen Panoramen entstanden kurz vor 1800 für eine spezielle Bilddarstellung.

Sie stammen von ROBERT BARKER (1739 - 1806) und (unabhängig?) von JOHANN ADAM BREYSIG (1766 - 1831).

In [2] sind bis zum Jahr 2000 über **36 historische Panoramen aufgelistet**.

Sehr bekannt ist das 1808 von KARL FRIEDRICH SCHINKEL (1781-1841) geschaffene von **Palermo** mit $5 \times 30 \text{ m}^2$.

Das **Bauernkriegs-Panorama** in Bad Frankenhausen schuf WERNER TÜBKE (1929 - 2004) von 1979 - 1988.

Inzwischen sind, insbesondere mit Hilfe elektronsicher Verfahren, viele weitere Panoramen geschaffen worden.

Sie erlauben meist einen 360°-Rundblick und besitzen Durchmesser bis zu 50 m sowie Höhen bis zu 20 Meter.

Panorama $\Rightarrow$ Rotunde, Diorama

Lateinisch **rotundus** rund, *Griechisch* **hora-ma** Sehen, Anblick, Geschautes, Erscheinung; pan alles, gesamt, völlig

Die **Rotunde** ist das umfassende Gebäude zum Panorama und wurde teilweise nur dafür errichtet.
Heute wird stattdessen z. T. auch das Innere alter Gasspeicherbehälter genutzt.

Beim **Dioramas** werden zur Steigerung der Wirkung reale Gegenstände (Sand, Büsche usw.) im Vordergrund eingefügt.
Ferner werden akustische Effekte (Musik und Geräusche) sowie Lichteffekte (Aussehen bei Tag und Nacht) hinzugefügt.

Beim **Panorama-Kino** werden die Filme rundherum auf eine zylindrische Wand projiziert.
Dies geschah z. B. bei der ehemaligen Volkswirtschaftsausstellung in Moskau um 1980.
Ferner gibt es das „**Moving Panorama**“, welches geraffte Reisen durch Raum und Zeit vermittelte.
Das erfolgt z. B. beim **Planetarium** mit der Projektion des veränderlichen Sternenhimmels auf eine Halbkugelfläche.
Nicht ganz 360° erreichen die Rundfilm-, bzw. **Breitwandkinos** mit kreisförmigen Bildwänden.
Bei all diesen Verfahren werden mehrere Aufnahmekameras und Projektoren benutzt.

Betrachtung von zwei Bildern

Lateinisch **par** gepaart, Paar; **dispar** verschieden; **disparat** ungleichartig, getrennt
Lateinisch **vergere** sich neigen, eingießen, zusammenlaufen; **convergere** sich hinneigen

Unser typischer **Augenabstand** beträgt etwa 65 - 70 mm

Um ein Objekt (Punkte A, B oder C) zu betrachten, ist daher eine **Konvergenz** (Richtung) der Sehstrahlen notwendig.

Auch bei gleicher Entfernung sind die Winkel aAa , bBb bzw. cCc unterschiedlich.

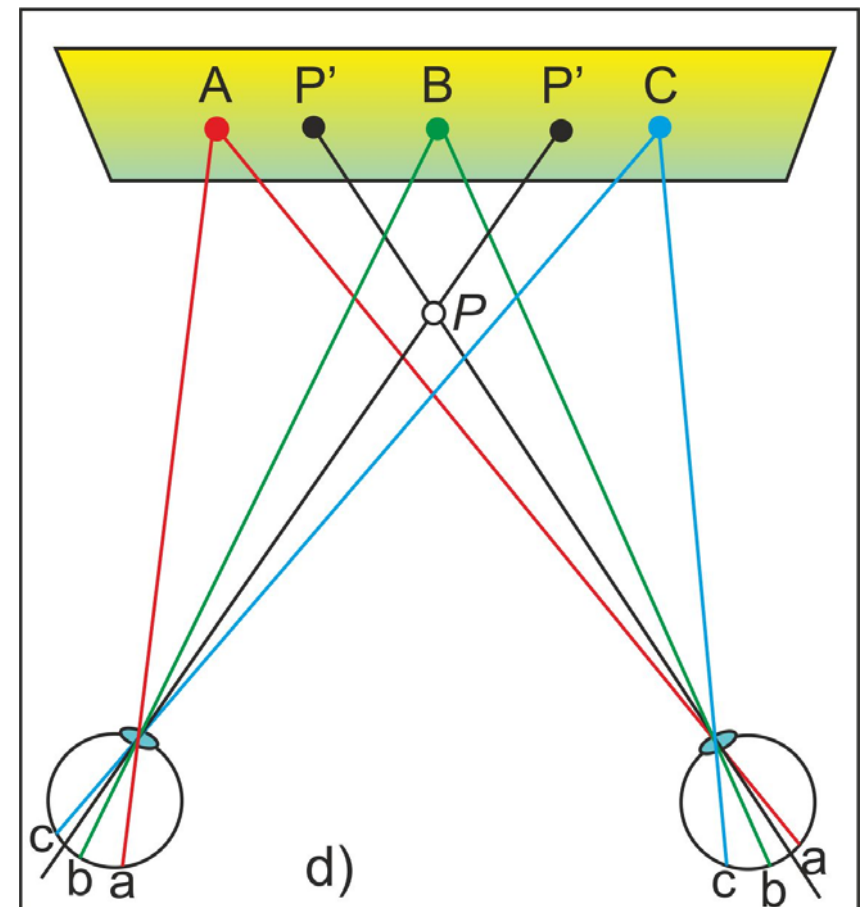
Bei einer Fläche wird der Unterschied durch Erfahrung „herausgerechnet“. Sie erscheinen gleich weit entfernt.

Ein näher liegender Punkt P wird dabei doppelt in Richtung der beiden **(disparigen) Punkten P'** gesehen.

Ihr Abstand wird im Vergleich zu A, B, C als Entfernung „errechnet“. Das bewirkt unser räumliches Sehen; dabei sehen wir aber nur P.

So verkoppelt unsere Seh-Erfahrung automatisch neben Konvergenz, Disparation und Akkomodation weitere Effekte.

Für das Magic Eye (s. u.) müssen sie aber bewusst entkoppelt werden.



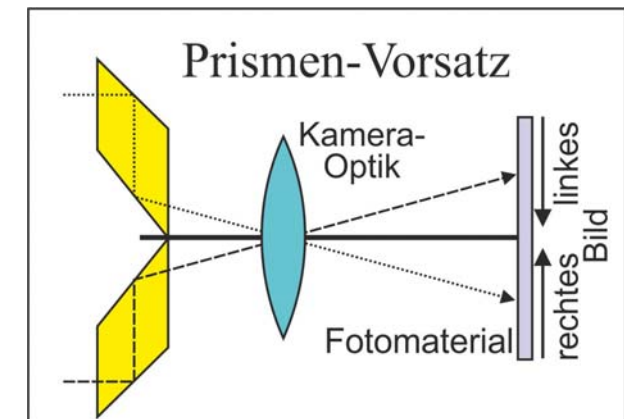
Stereo-Bilder

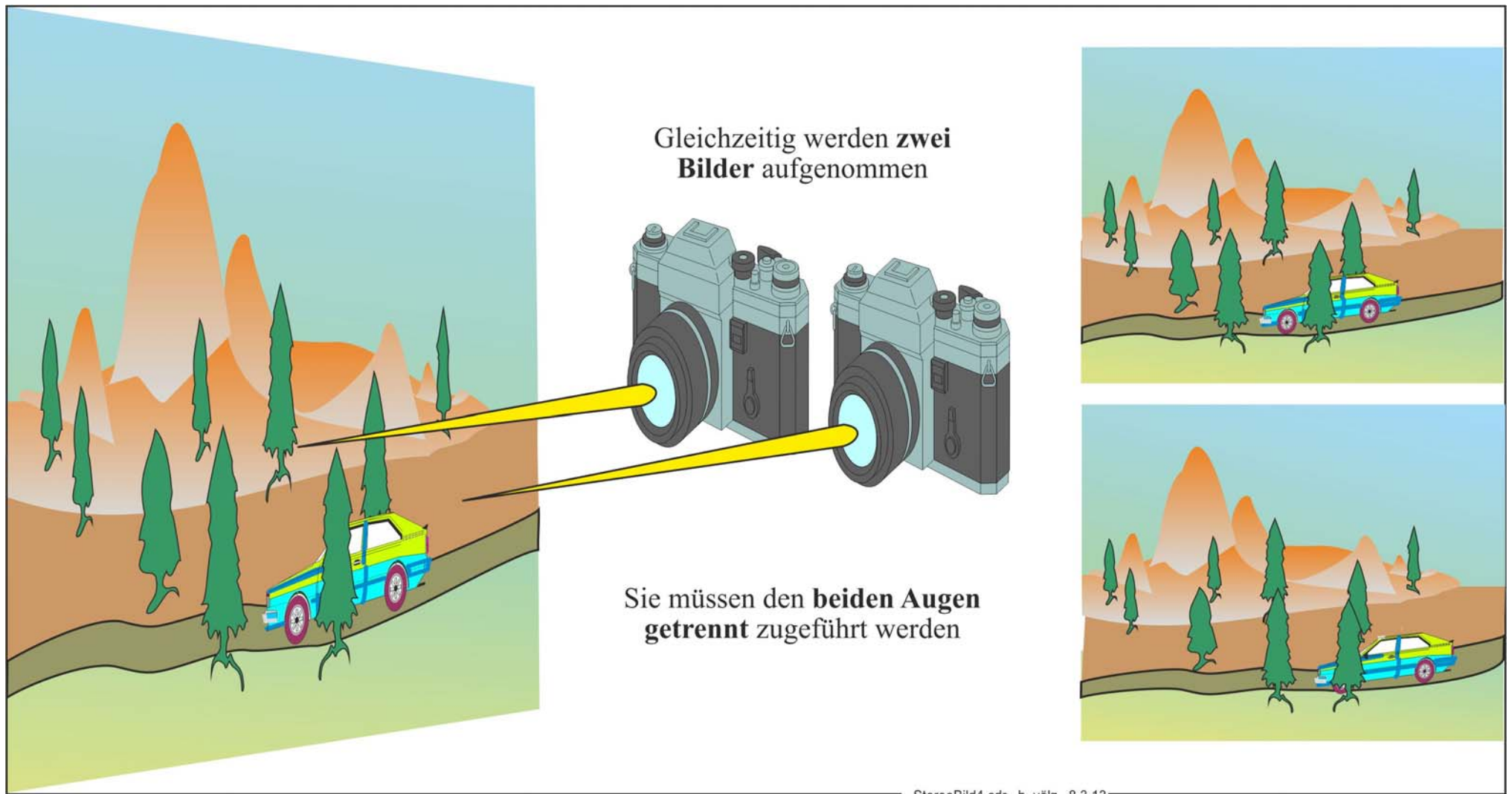
Griechisch *stereos* fest, räumlich

Stereo-Bilder sind zwei flächige Bilder, die den Bildern in beiden Augen entsprechen. Sie müssen speziell **erzeugt** werden und dann beiden **Augen getrennt zugeführt** werden. Hiefür entstanden mehrere Techniken:

Herstellung, Aufnahme	Wiedergabe, Betrachtung
• 2 Fotoapparate • Fotoapparat mit 2 Objektiven • Fotoapparat (Scanner) verschieben • Stereovorsatz (s. Bild) • 2 Zeichnungen, Bilder durch Künstler, Konstrukteure oder Berechnung	• Brillen, Betrachter mit Prismen oder Spiegel • Polarisation • Rot (Gelb)-Grün (Blau)-Trennung = Anaglyphen • Image-Splitter bzw. Raster-Bilder • Zeitliche (Shutter) Darbietung • Spiralprojektion • Schielen, insbesondere bei Magic Eye

Die **Wiedergabe**-Verfahren werden im Folgenden beschrieben. Zur Verbreitung der Stereo-Bilder mussten sie hauptsächlich **preiswert** werden. Auf eine Beschreibung der Aufnahme oder Herstellung wird verzichtet.



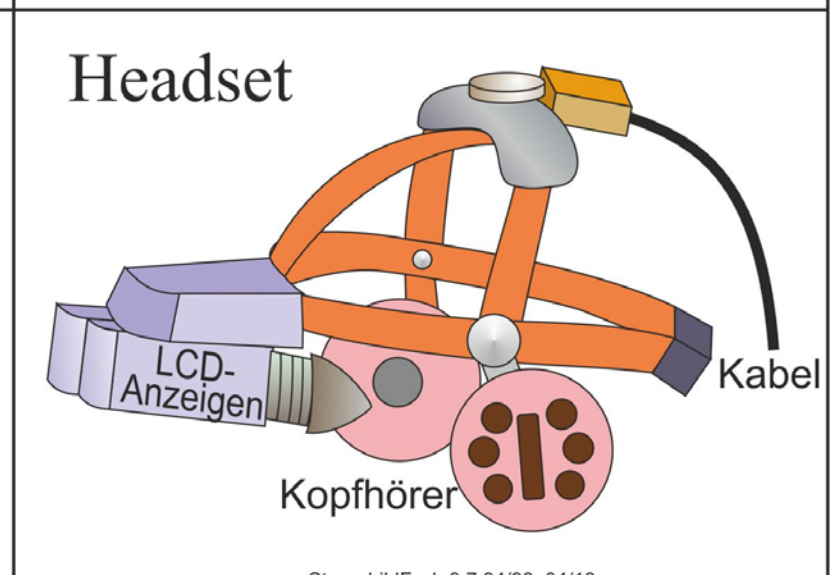
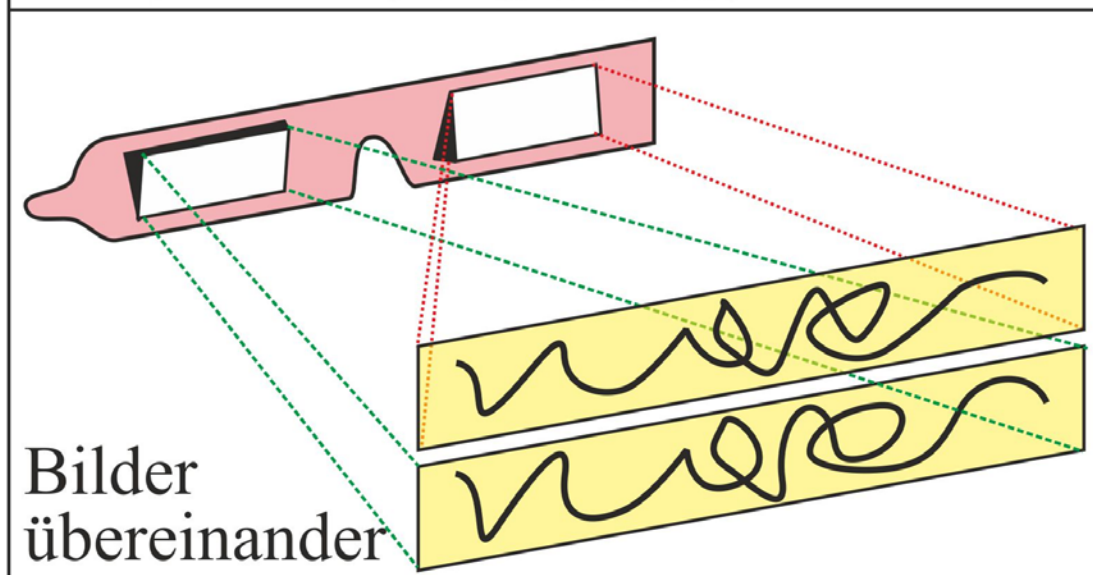
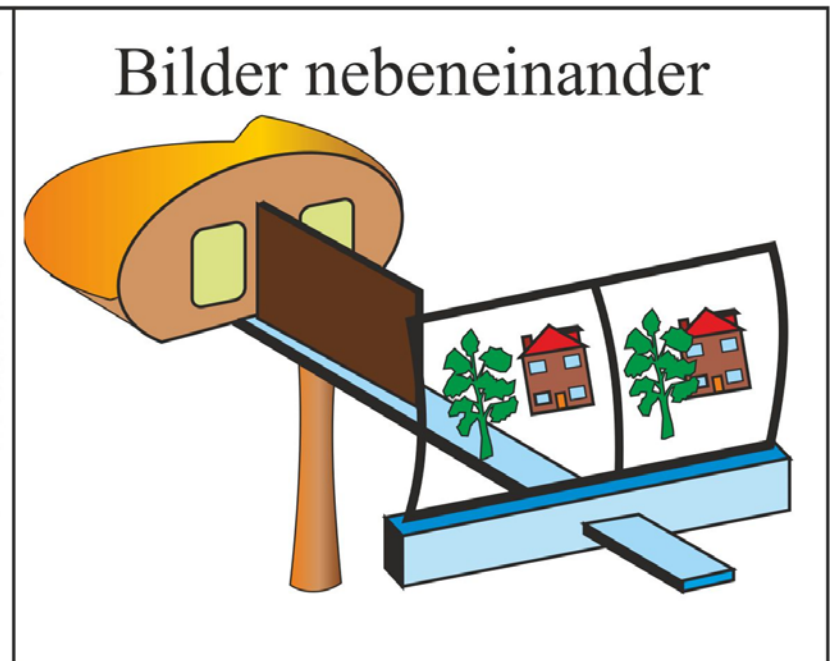
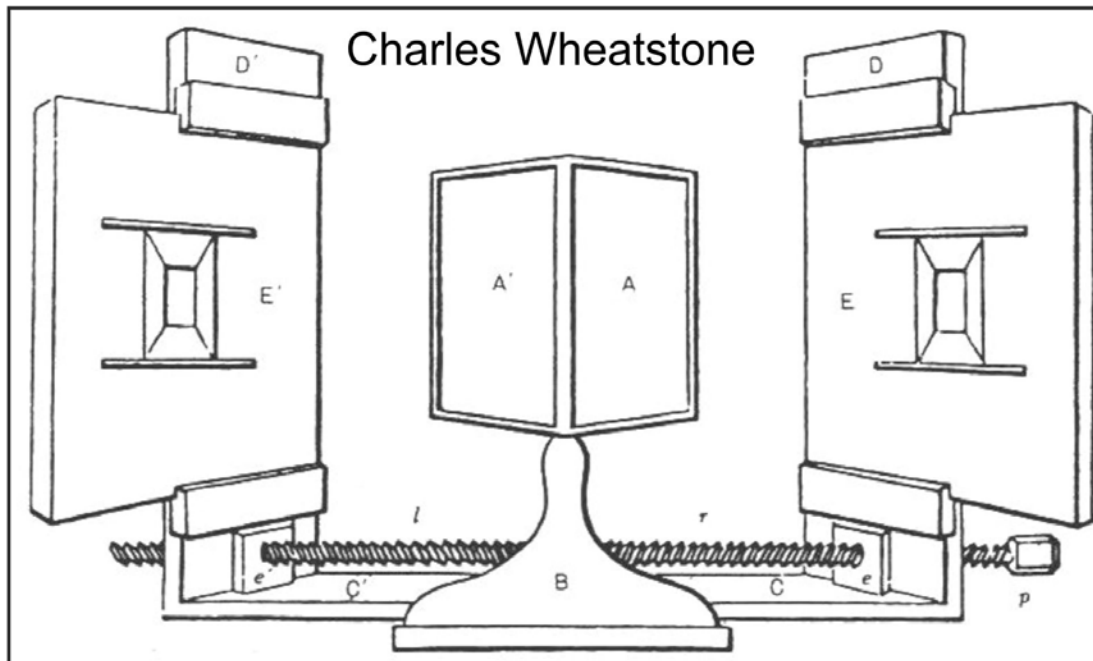


Aufnahme der 2 (Stereo-) Bilder mit zwei Kameras oder durch Verschieben einer Kamera um den Augenabstand.

Zur Entwicklung der Wiedergabetechniken

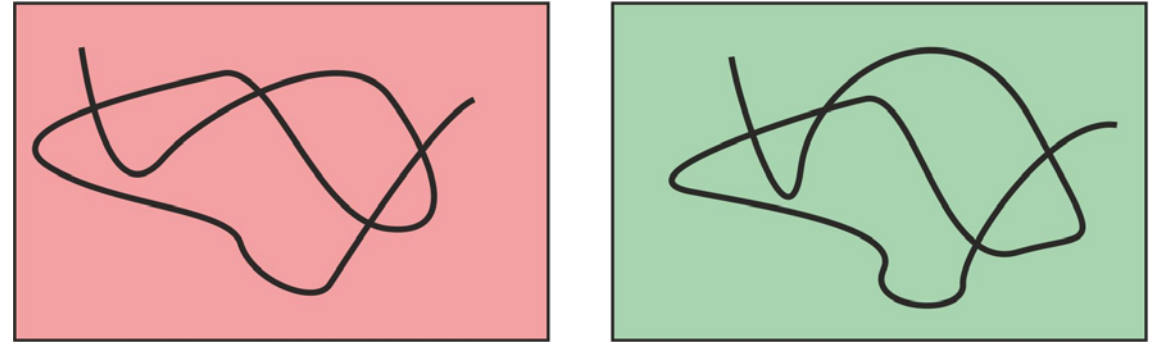
- 1838 schuf SIR CHARLES WHEATSTONE (1802 - 1875) die erste Anordnung für Stereo-Bilder, mit Spiegeln.
- 1839 fügte CLAUDET hier erstmalig zwei Daguerre-Fotographien ein.
- 1847 schuf SIR DAVID BREWSTER (1781 - 1868) eine passende Kamera mit 2 Objektiven.
- 1850 erfand er auch den **Stereobetrachter** mit Prismen
- 1851 Durch die **Weltausstellung** werden der derartige Stereobilder allgemein bekannt.
- 1851 beschreibt MARC ANTOINE GAUDIN (1804 - 1880) in der Zeitschrift „La Lumière“ u. a. viele Details eines Betrachter des Optikers JULES DUBSCQ.
- 1853 WILLHELM ROLLMANN (1821 bis nach 1890) entwickelt die **Anaglyphen**-Technik (s. u.).
- 1856 Einfache Stereobetrachter mit dazu passenden Bildern sind käuflich zu erwerben.
- 1893 wird die Londoner **Stereoskopische Gesellschaft** gegründet.
- 1896 entwickeln EUGÈNE ESTANAVE (*1867) und A. BERTHIER das Prinzip der **Streifenbilder** (später Lenticular).
- 1930 entwickelt OLIVER WENDELL HOLMES das **heute gebräuchliche Stereoskop**
- 1942 MAURICE BONNET (1907 - 1994) setzt die **Lenticular**-Technik (*französisch **lentille*** Linse ***culer*** rückwärts) in die Praxis um. Heute werden solche **Rasterbilder** oft für Stereo-Postkarten verwendet.
- 1945 Polaroid produziert sehr einfache **Polarisationsfilter** und schafft so preiswerte Brillen fürs Stereo-Kino.
- 1972 wird in Osaka auf der Polarisationsbasis das erste **IMAX-Kino** eröffnet.
- 1981 Lenny Lipton's Stereo Graphics Corporation stellt die elektronisch gesteuerte LCD-Shutter-Brille vor (i-glasses, Crystel-Eyes).
- 1995 entwickeln KOSCHNITZKE, MEHNERT, QUICK die **KMQ-Brille** für breite Bilder (s. u.)

Mit der **Fernseh**- und besonders der **Rechtechnik** entstehen viele weitere Verfahren, u. a. mittels Projektion und Headsets.



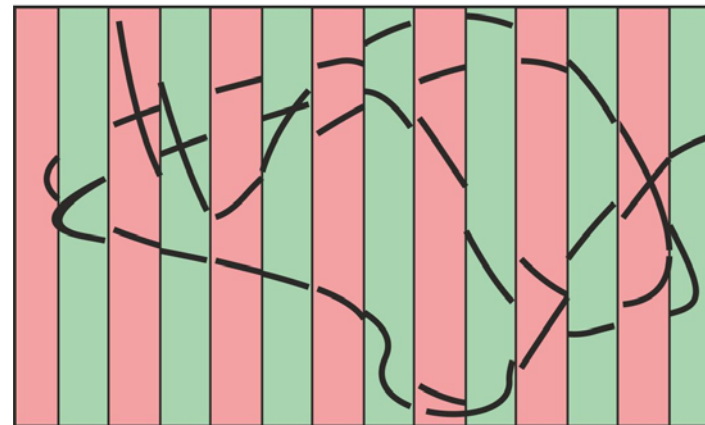
StereobildF.cdr 3.7.94/98; 04/13

Für eine übliche Prismen-Brille werden die beiden Bilder nebeneinander gelegt.



nebeneinander

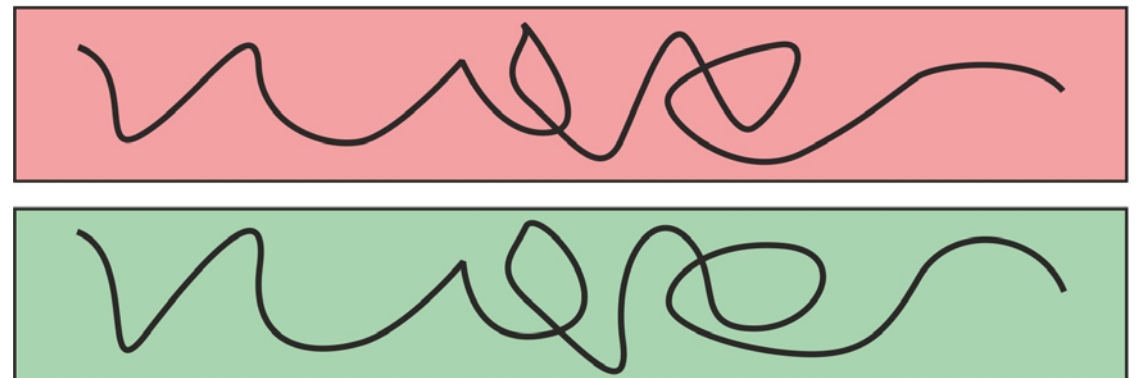
Für das Rasterverfahren werden die beiden Bilder in schmale Streifen geschnitten und abwechselnd aneinandergefügt. Die Wiedergabe kann dann nach mehreren Prinzipien erfolgen (s. u.).



Für
Rasterbild
in Streifen
zerlegt

untereinander

Da sich das übliche Prismen-Verfahren nur für das Hochformat eignet, entstand die KMQ-Brille. So können die Bilder untereinander angeordnet werden. Der Höhenversatz wird durch die geeigneten Prismen ausgeglichen.



Stereobild2.cdr h. voelz 21.7.04

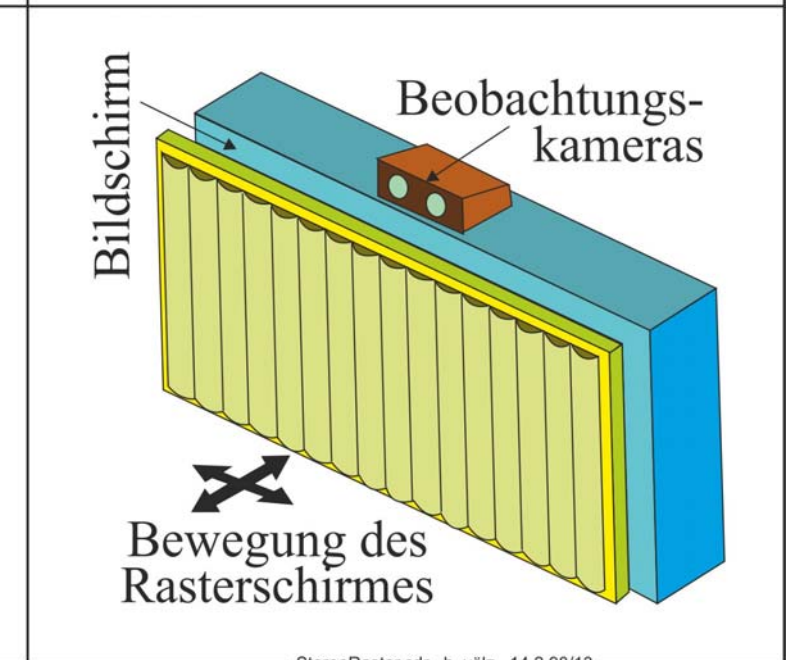
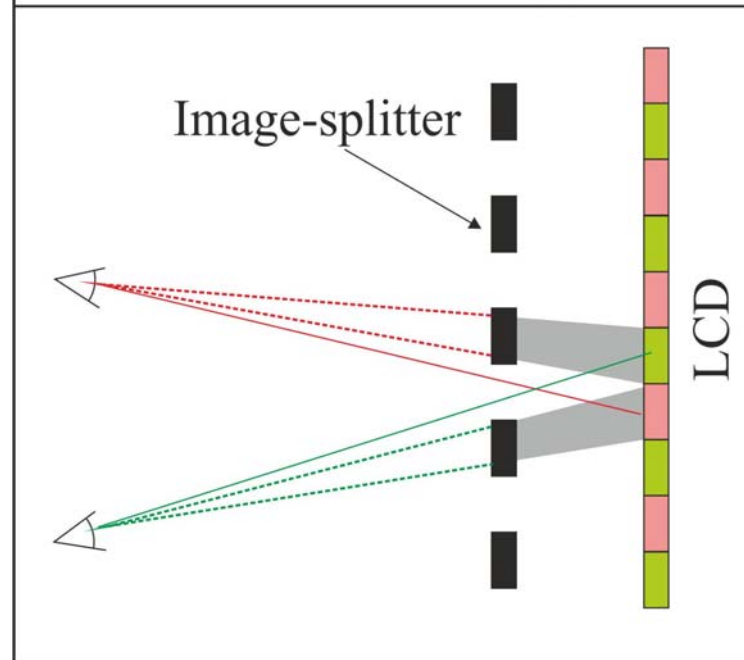
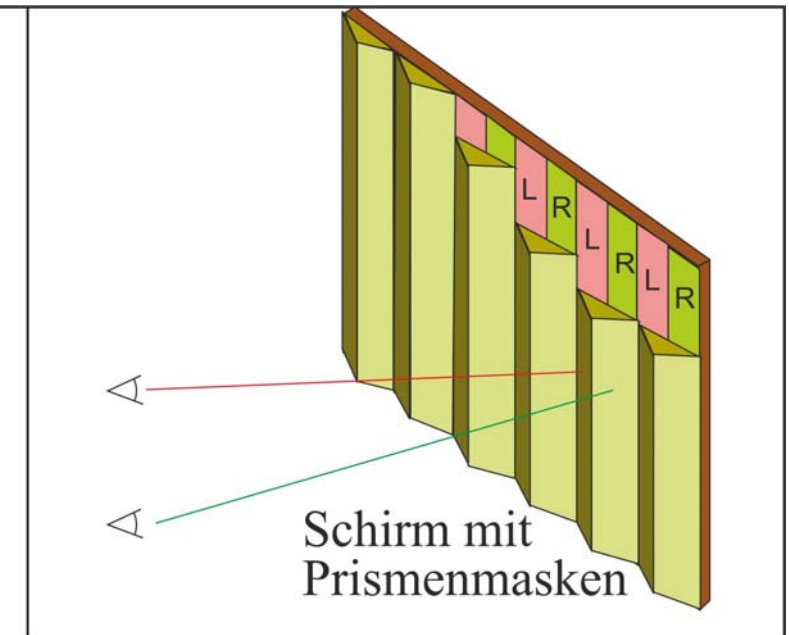
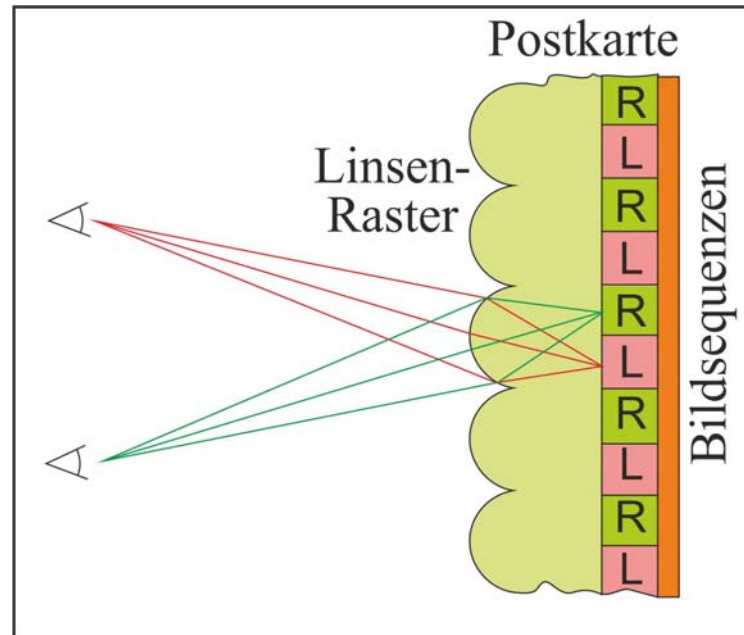
Bei den Stereo-Postkarten bzw. -Bildern trennen über die Streifen gelegte **Zylinderlinsen** die beiden Teilbilder für das Auge.

Auch **Wackelbilder** beruhen hierauf. Sie verwenden statt der Stereo- 2 verschiedene Bilder.

Bei einigen Bildschirmen werden dafür auch **aufgesetzte Prismen** verwendet.

Ein anderes Prinzip ist der **Image-Splitter**. Er trennt die Bilder für das Auge durch Schattenwirkung.

Damit die Streifenbilder auch für **mehrere Personen** und an verschiedenen Orten im Raum sichtbar werden, wird der Rastervorsatz durch eine Beobachtungskamera nachgesteuert.



Die Anaglyphen-Technik

Griechisch *ana* hinaus, wieder; *Glyphein* Stein

Ursprünglich wurde Anaglyph für halberhabene, reliefartige Bildhauerarbeiten verwendet.

Für die Stereobilder wurde dem Begriff ein erheblich abgewandelter Inhalt zugewiesen.

Sie ist nur für **unfarbige Bilder** nutzbar, denn die beiden Teilbilder werden in verschiedenen Farben übereinander gedruckt.

Bis heute ist sie daher eine recht wichtige Methode für gedruckte Stereobilder.

Mittels **Farbfilter** vor den Augen können dann die Bilder getrennt den Augen zugeführt werden.

Das Prinzip führte 1853 WILLHELM ROLLMANN ein; er verwendete noch Gelb und Blau.

1858 benutzte CHARLES D'ALMAIDA die **Komplementärfarben** Grün und Rot. Heute sind auch Rot und Blau üblich.

1919 gelingt es LÉON GIMPEL (1878 - 1948) zwei übliche Stereobilder nahezu automatisch in Anaglyphen umzuwandeln.

In der DDR hat sich um die Anaglyphen-Technik HELMUT MUCKE u. a. mit den Büchern [5] - [7] Verdienste erworben.

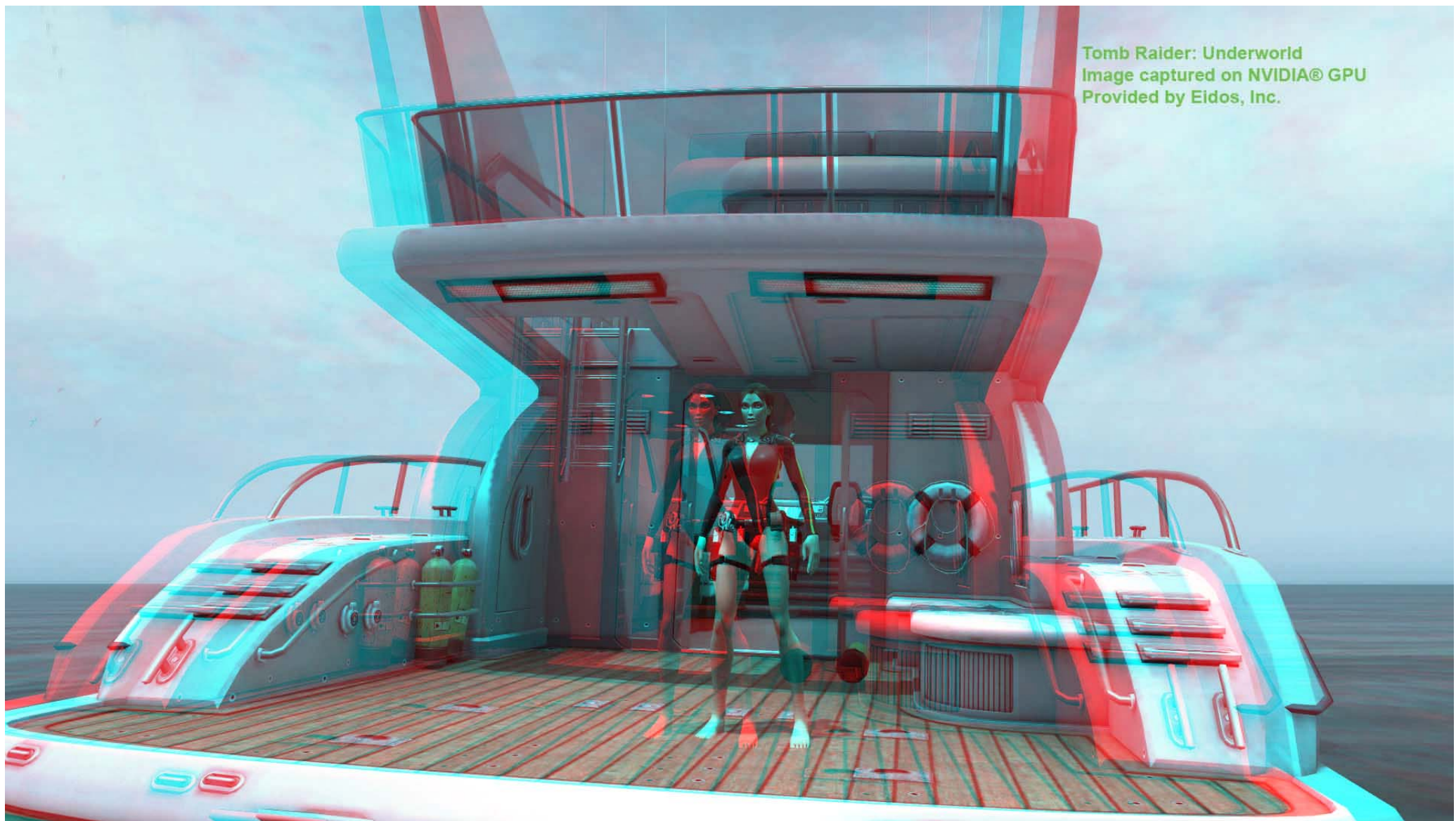
Ferner sind **Stereo-Sehübungen für Kinder** nach dieser Methode vorhanden [8].

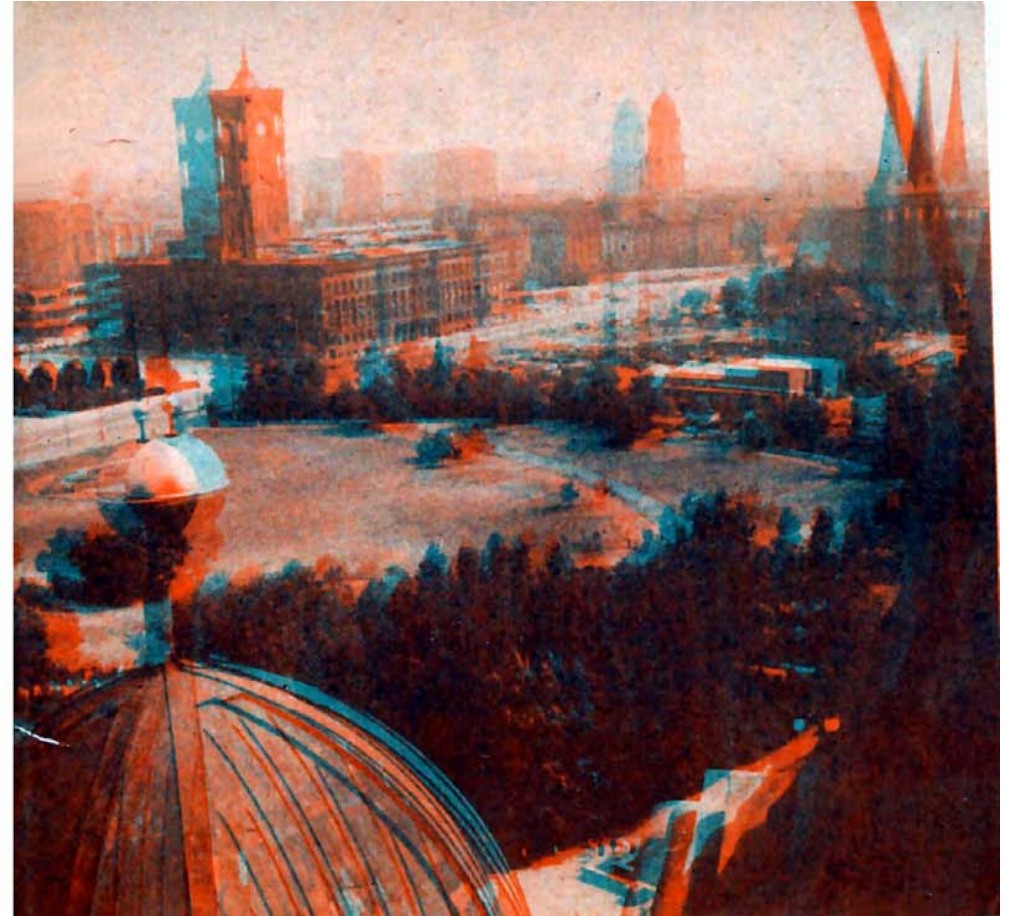
Es ist erstaunlich, dass die Anaglyphenverfahren auch bei starker **Farbblindheit** funktionieren.

Auch **Künstler** – insbesondere SALVADOR DALI (1904 - 1989) – haben sich in dieser Technik versucht.

1973 beschreibt er sie in seinem Buch „Dix recettes d'immortalité“

Auch die „Olympia“ von ÉDOUARD MANET (1832 - 1883) soll Stereo-Komponenten enthalten [9].

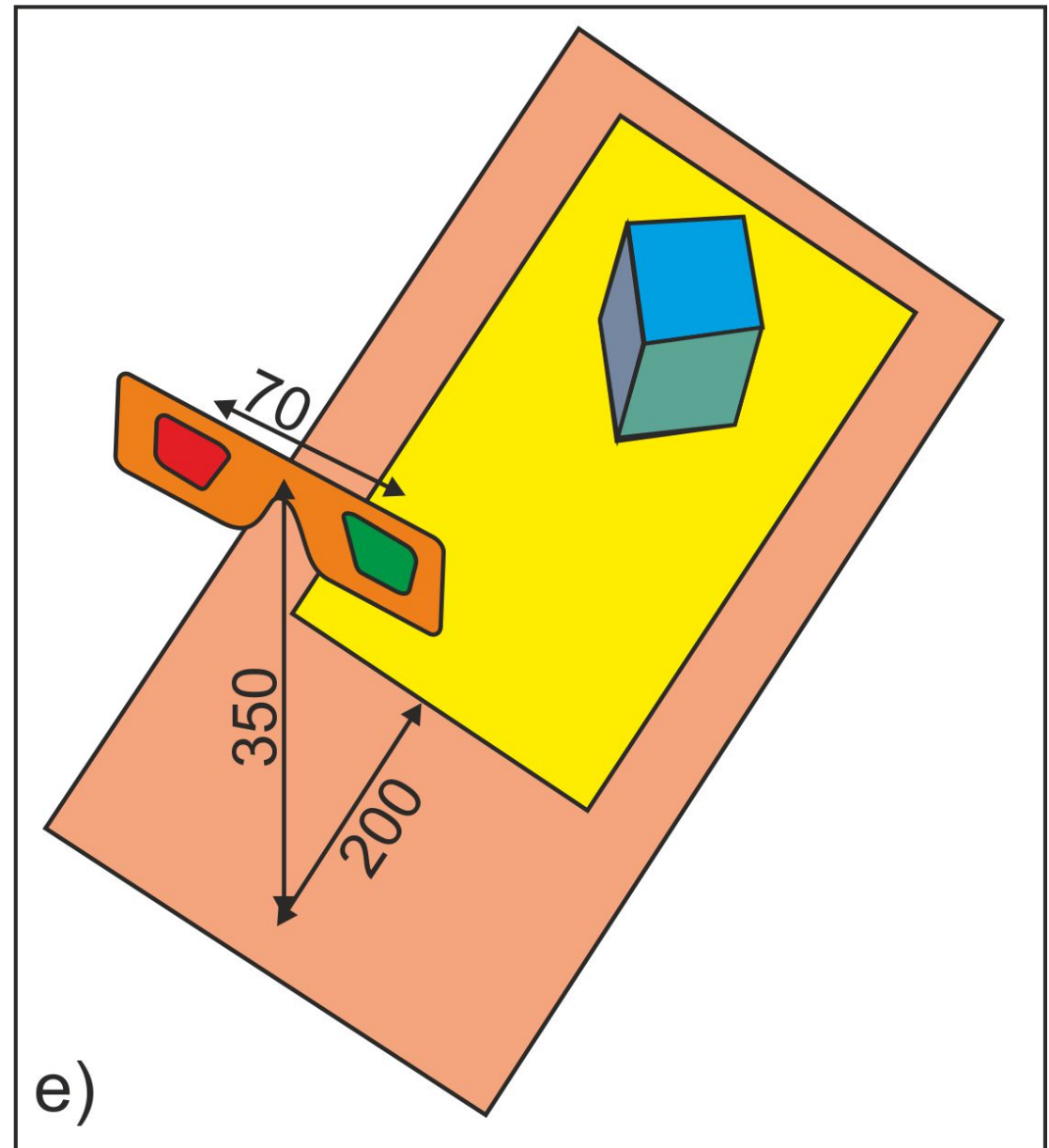


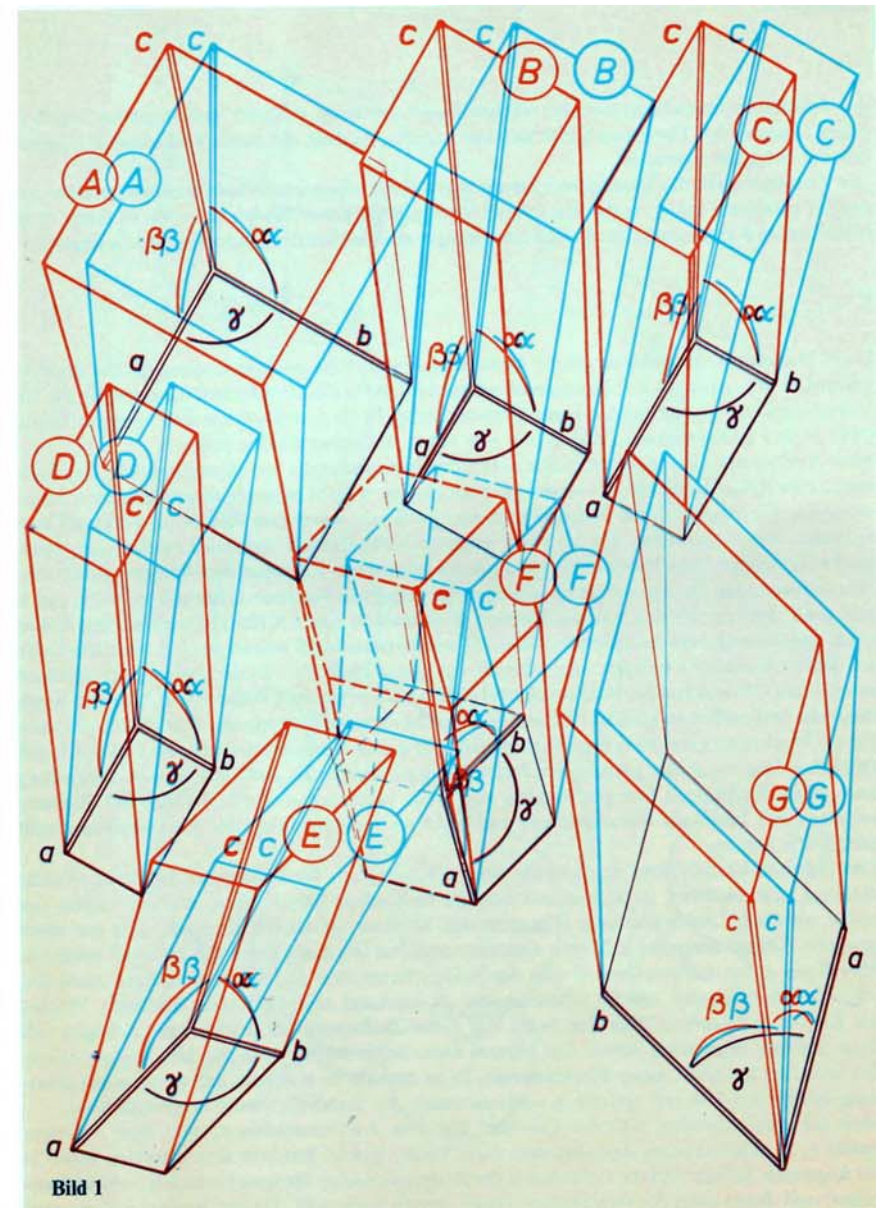
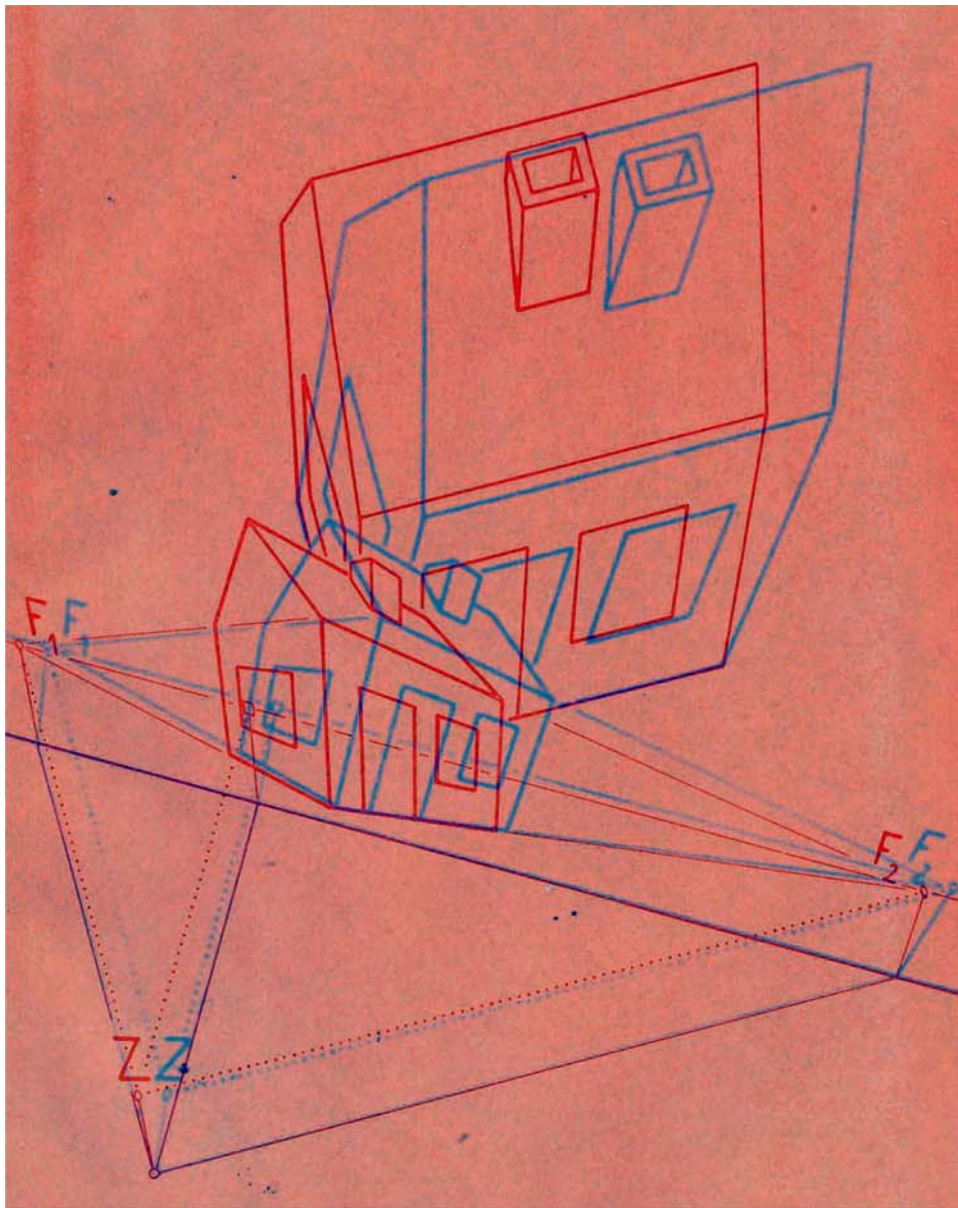


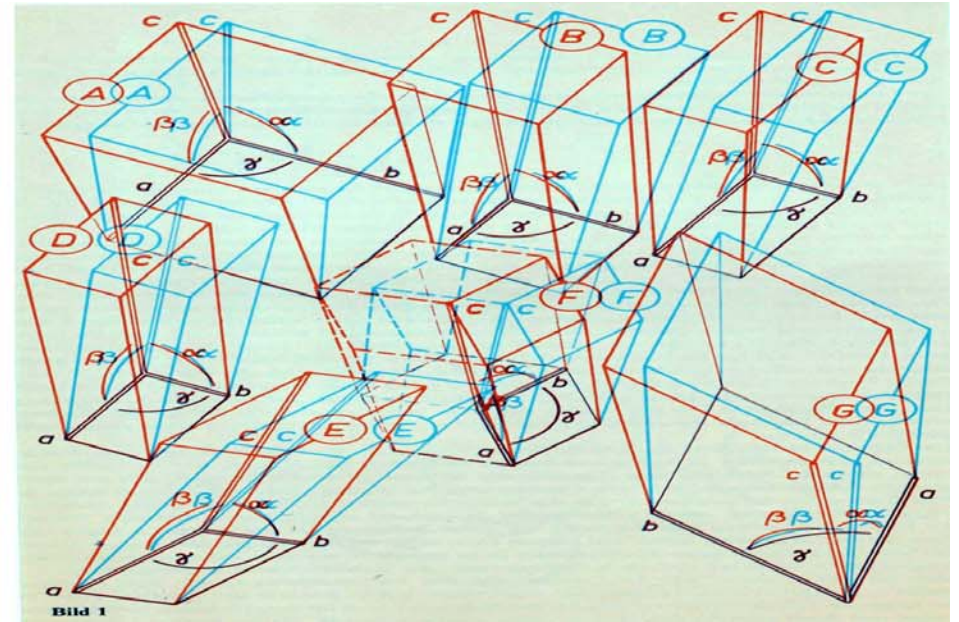
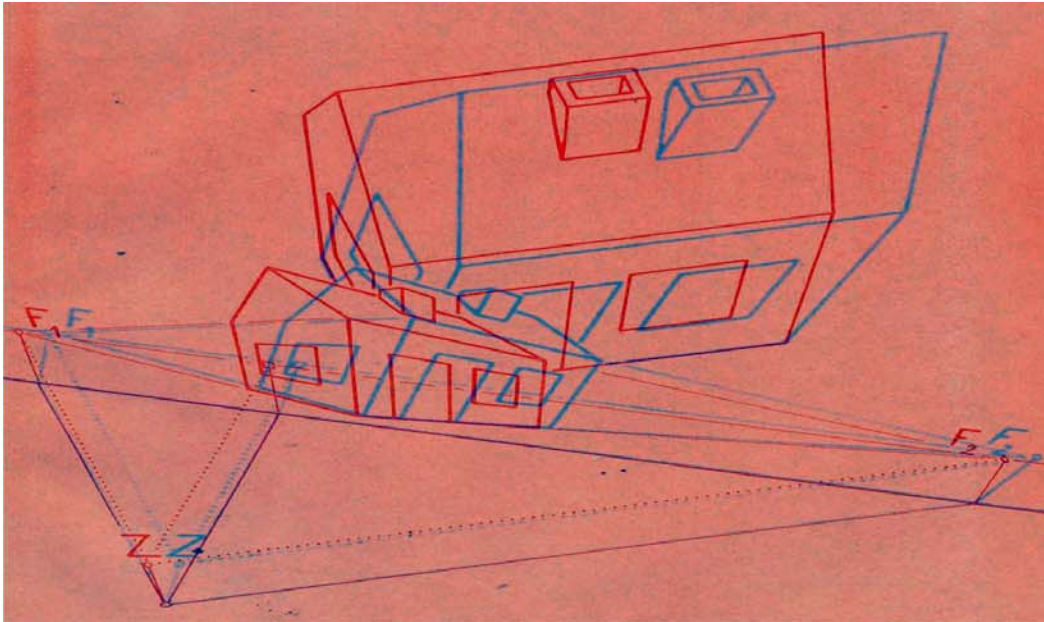
Dies sind zwei sehr alte Zeitungsbilder. Leider kenne ich nicht mehr die Quelle

Beim Buchdruck (MUCKE usw.) wird zum besseren „Lesen“ eine besondere Blickrichtung gewählt.

Daher sind diese Bilder auch nur leidlich durch Verzerrung in die Projektions-Technik zu übertragen.







Zur Anaglyphen-Bilder

Auf der gelben Fläche sind beide Teilbilder überlagert vorhanden.
Dabei gilt

$B = \textbf{Basis}$ = Abstand der beiden Augen

$A = \textbf{Abstand}$ der Augen (Brille) zum Papier mit dem Bild.

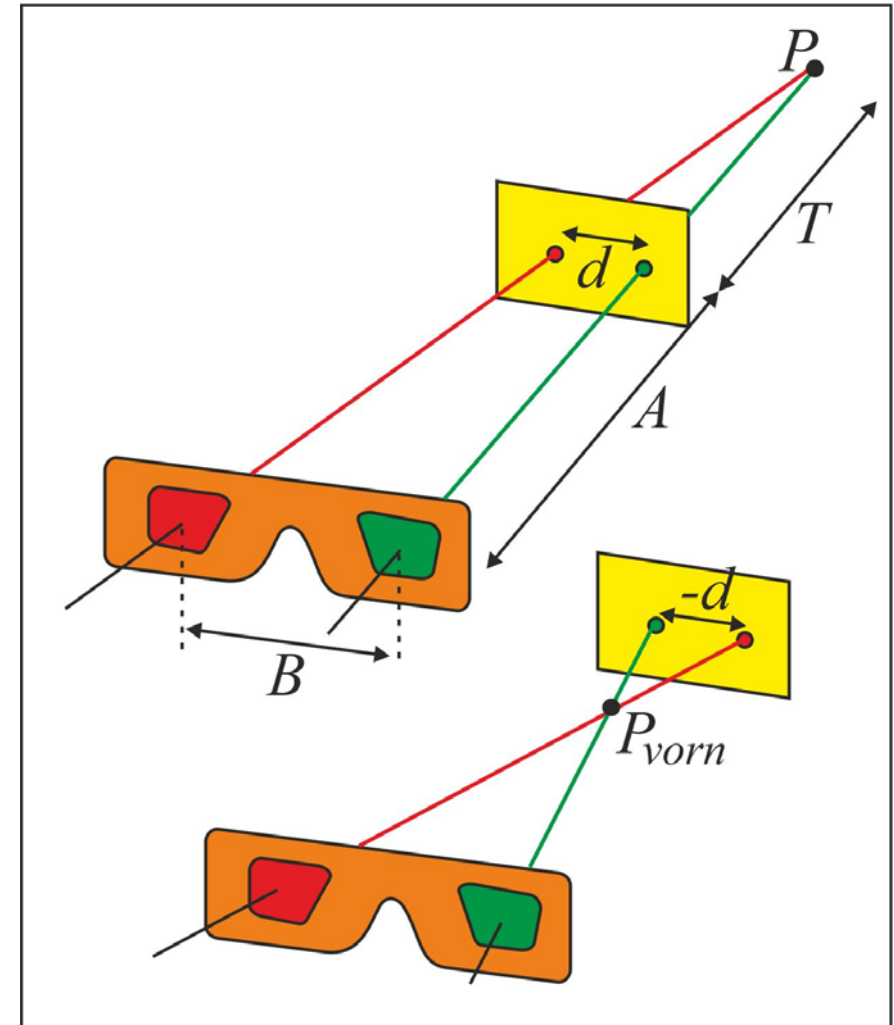
$d = \textbf{Distanz}$ der zusammengehörenden Punkte beider Bildern, sie kann positiv (hinten) und negativ (vorne) sein.

$T =$ Wahrgenommene **Tiefe** des (virtuellen) Punktes P .

Aus den Strahlensätzen folgt:

$$d = \frac{T \cdot B}{A + T} \quad \text{bzw.} \quad T = \frac{A \cdot d}{B - d}$$

Weitere Details enthält [5]. Bei einer Augenhöhe von 350 mm über dem Tisch, sind dann Bildentfernungen von 350 (-30 bis + 60) mm gut darstellbar.



Schielen und periodische Muster

Synonyme sind Autostereogramm, Pseudostereo, SIRDS (single-image random-dot stereogram), ARDS (auto random-dot stereogram), holosion, image-mapped stereogram, SIRT (single-image random-text stereogram) und SINT (single-image normal-text stereogram, hidden-picture stereogram und icon-based stereogram) [10] bis [12].

Beim üblichen Sehen sind **Adaption** (Scharfeinstellung) und **Konvergenz** = Blickwinkel zum Objekt fest gekoppelt. Dies ergibt sich aus der **Erfahrung des Sehens**.

Beim **Schielen** sind beide Vorgänge mehr oder weniger **entkoppelt**.

So etwas kann auch **geübt** bzw. **erlernt** werden. Einige haben hierbei allerdings große Schwierigkeiten.

Augenärzte haben hiergegen meist keine Bedenken. Es wurden bisher auch keine Sehschäden festgestellt.

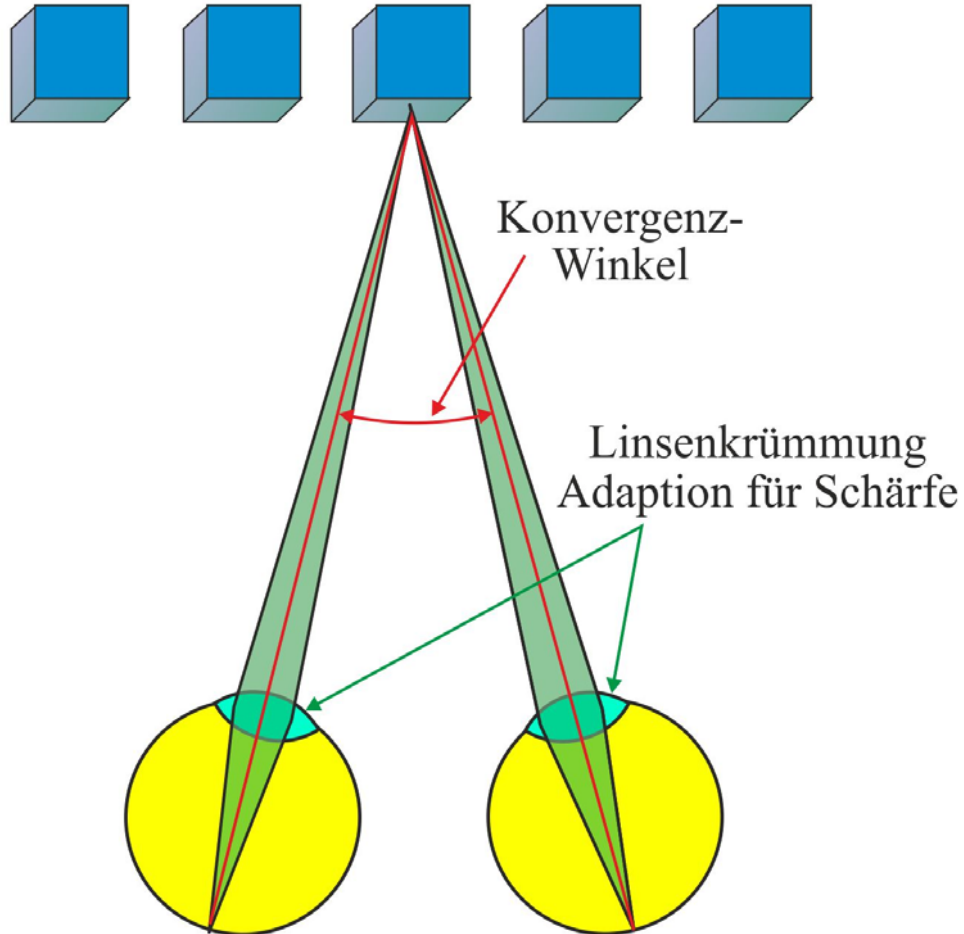
So schielend können z. B: sich **periodisch wiederholende Muster**, wie Tapeten, Ornamenten usw. betrachtet werden.

Dann erscheinen die Muster **virtuell kleiner davor** oder **virtuell größer dahinter**.

Das ist sogar in **mehreren Abstufungen**, in $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ usw. bzw. dem 2-, 3-, 4-fachen der realen Entfernung möglich.

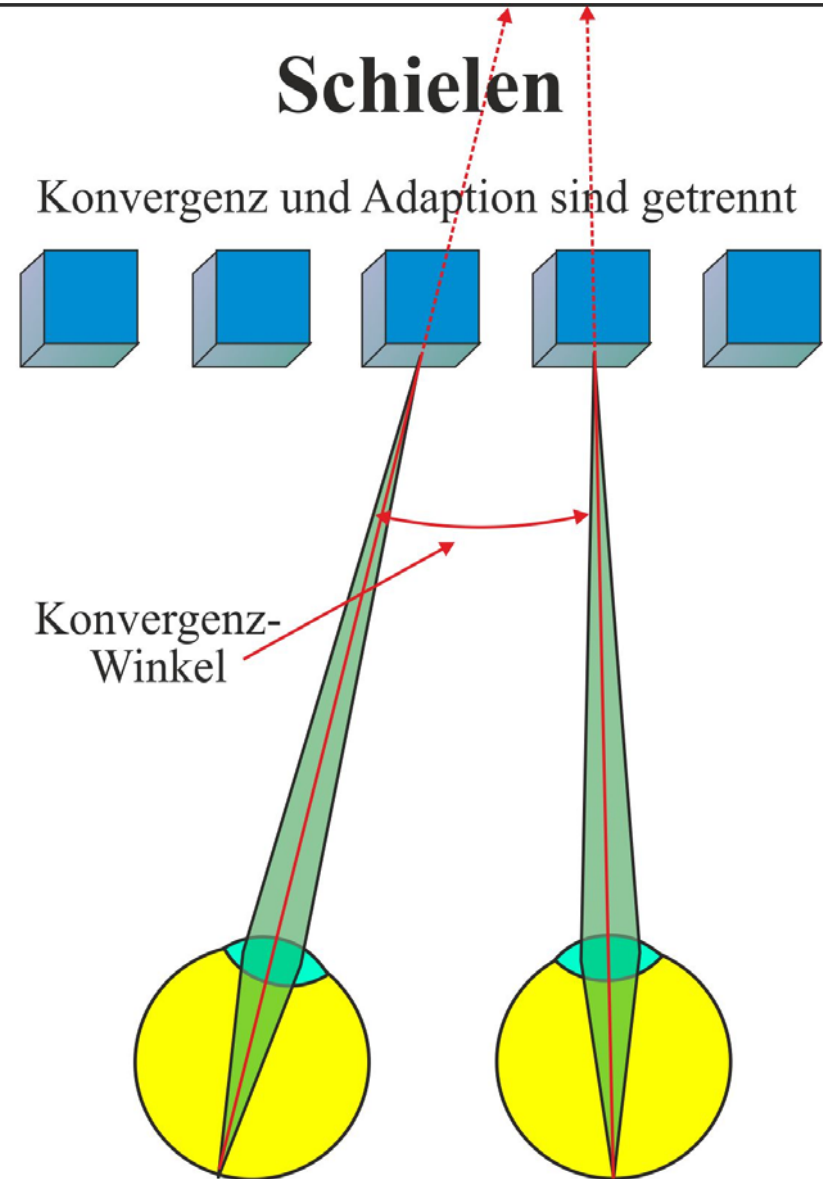
übliches Sehen

Konvergenz und Adaption fest verkoppelt



Schielen

Konvergenz und Adaption sind getrennt



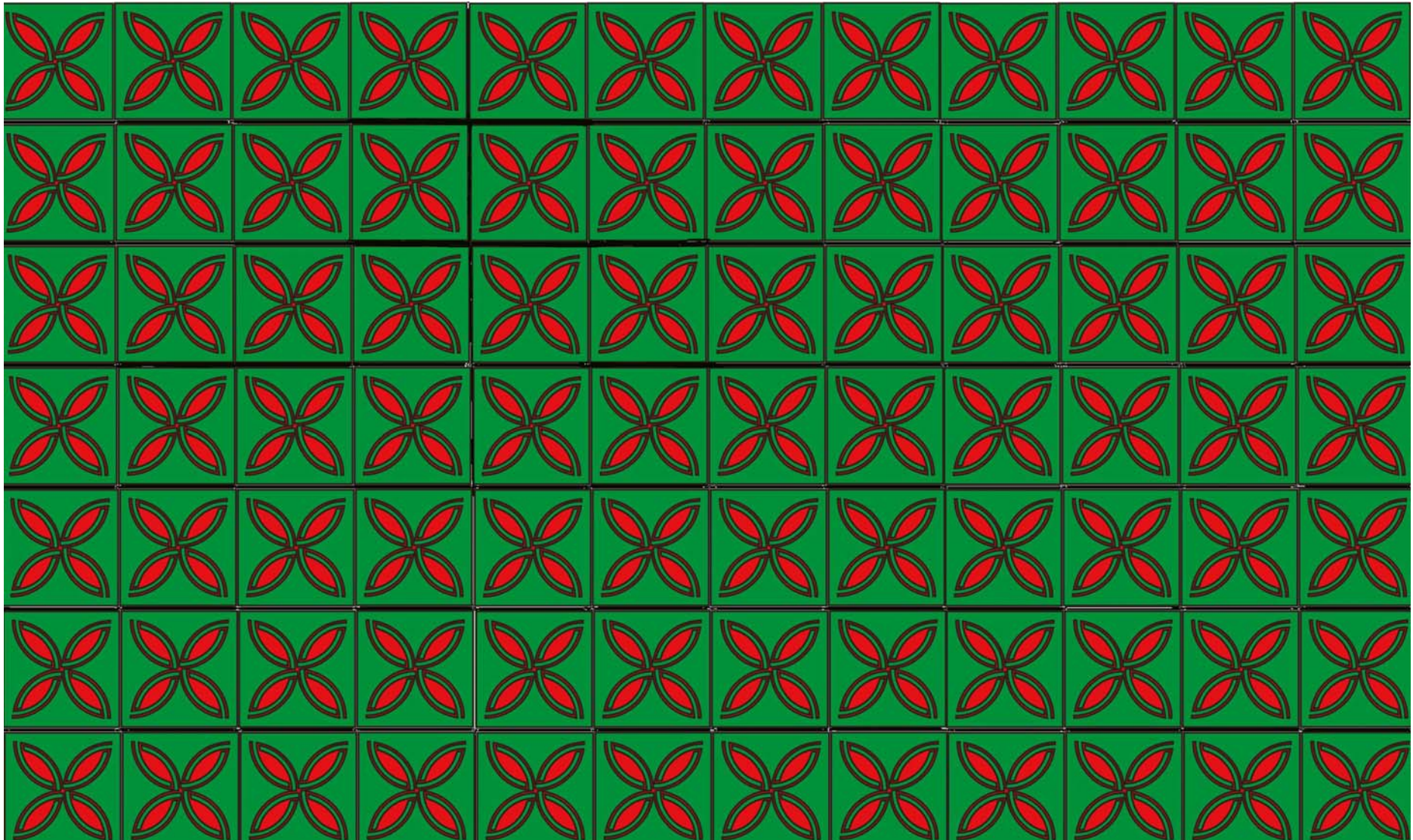
Adaption.cdr h. vözl 13.3.13

Dieses Bild wurde durch Wiederholung eines Bildes von M. C. ESCHER erzeugt.



Ein senkrechter Steifen links und einer fast rechts stehen weiter vorne

Bei diesem Bild ist die Verlagerung wesentlich schwieriger. Es gibt zu wenig Unterschiede!



und damit keine Höhenveränderung

So entsteht das Raumbild

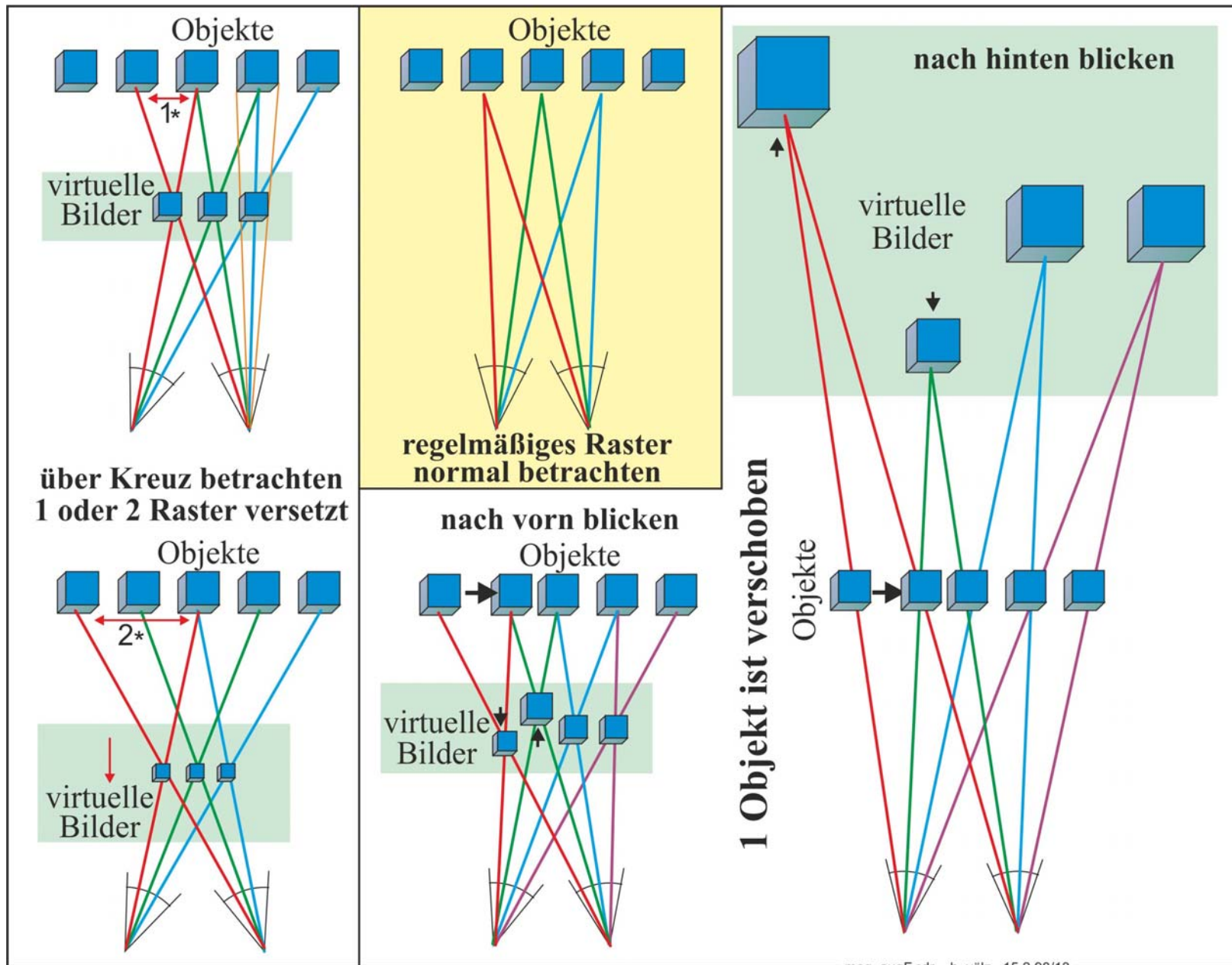
Der Übergang zum räumlichen Bild erfolgt dadurch, dass im periodischen Muster **Fehler** auftreten. So kann z. B. ein Muster (Rasterteil, Würfel) etwas **seitlich verschoben** sein. Die seitliche Verlagerung verändert dann den Abstand zu den beiden benachbarten Mustern. Im virtuellen Bild tritt dann als Folge eine **scheinbare Entfernungsänderung** auf. Hiermit lassen sich im virtuellen Bild gekrümmte Oberflächen oder sogar Objekte gestalten.

Dabei sind wiederum mehrere **Betrachtungsvarianten** möglich. Das virtuelle Bild kann sowohl vor als auch hinter dem eigentlichen Bild und das sogar in mehreren Abstufungen erscheinen. Meist ist der erste hintere Raumeindruck besonders plastisch. Man hat dabei das Empfinden durch ein Fenster in den Raum zu schauen.

Das **Erzeugen** der Stereo-Bilder kann durch Probieren oder nicht ganz einfache Berechnungen erfolgen. Es wurden hierfür sogar mehrere Rechenprogramme entwickelt. Sie benötigen zwei Bilder:

- Ein komplexes, sich wiederholendes Muster
- Das einzubringende Bild, meist in Grauwerten, das sich dann als Tiefeneindruck sehen lässt..

[3] S. 229 ff, [4] S. 533ff, sowie [9] - [12]

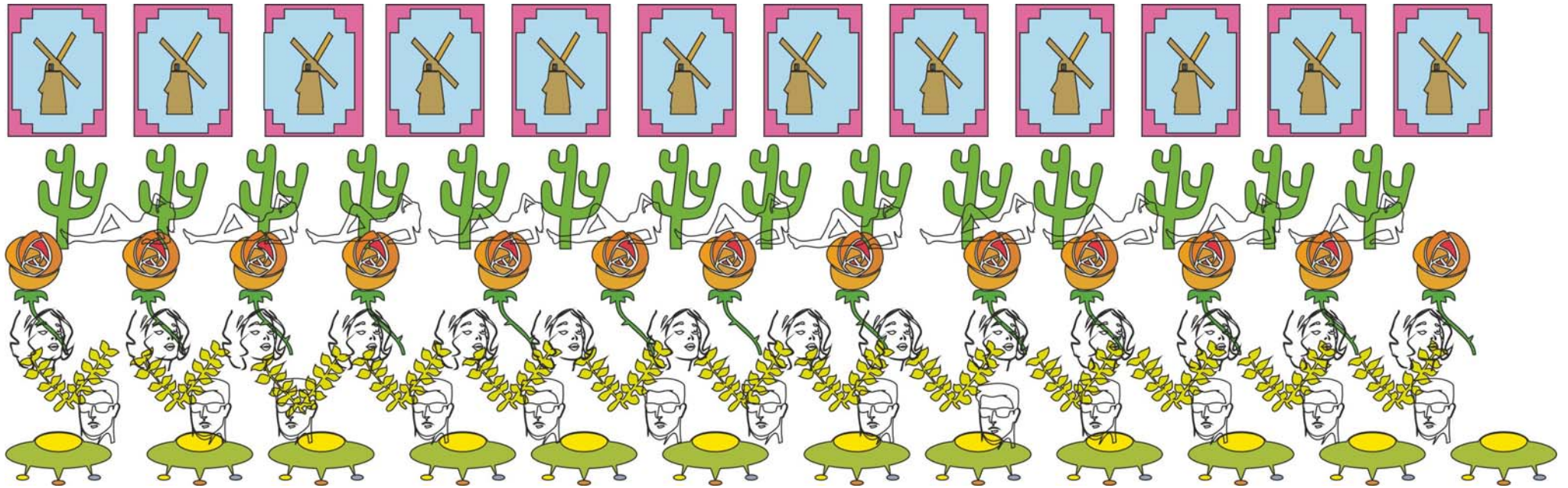




Der Mittelstreifen ist als „Delle“ tief bzw. hoch



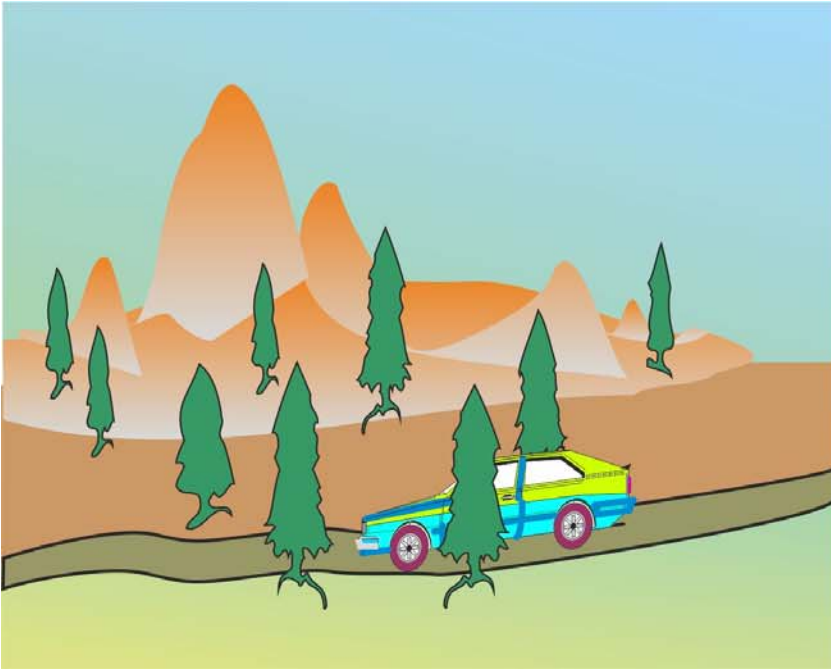
Die Oberfläche hat mehrere Beulen



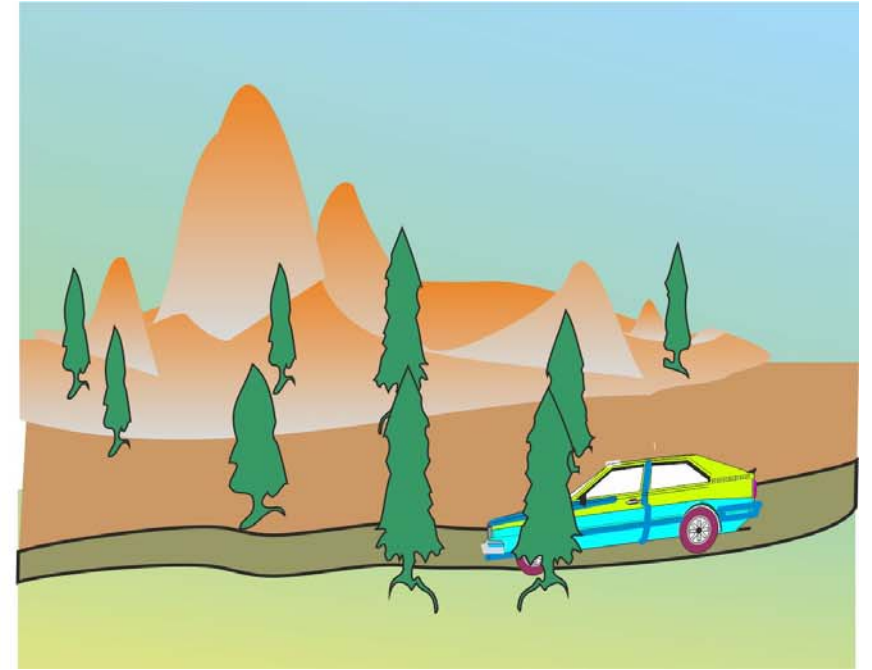
Dieses Bild habe ich manuell manipuliert. Beachten Sie die mehrfachen Tiefenänderungen der Objekte



Dies ist das Titelbild von [5] und besonders leicht zu erkennen. Es besitzt zwei waagrechte Vertiefungen.



StereoBild5.cdr h. vözl 8.3.13



Mit der Schiel-Technik kann auch ein Stereo-Bild direkt betrachtet werden.
Es erscheint dann in der Mitte zwischen beiden Bildern.

Zur Geschichte

1844 entdeckte SIR DAVID BREWSTER (1781 - 1868) das Grundprinzip, wurde über lange Zeit vergessen

1883 sollen ähnliche Versuche durchgeführt worden sein

1939 zeichnet BORIS KOMPANEYSKY das nur so sichtbare Gesicht der Venus in einem gesprenkelten Feld.

Ein erneuter Beginn des Autostereogramms setzt mit der **Rechentechnik** ein.

1960 zeigt BELA JULESZ erste Raumbilder dieser Art. Er berichtet auch, dass es Eidetikern möglich sei, bei zwei zeitlich aufeinanderfolgenden „Rauschbildern“, die Differenz stereoskopisch zu sehen.

1970 Der Graphikdesigner MASAYUKI ITO erzeugt mit Zufallsmustern interessante Raumbilder. Ihm gelingt es sogar, Zufallsmuster zu erzeugen, die nach Drehung um 45° und 90° beim Schielen weitere Bilder enthalten.

1971 führt BELA JULESZ mit dem Buch „Foundation of Cyclopean Perception“ das random-dot Stereogramm (RDS) ein.

1976 entwickelt DAVID MARR **Berechnungsmodelle** für Autostereogramme.

1979 schreiben CHRISTOPHER TYLER (*1943) und MAUREEN CLARKE das erste *Computer-Programm*.

1990 In den USA werden erste Poster mit Zufallspunktmustern vertrieben werden, es beginnt eine breitenwirksame Welle des Interesses. Bald erscheinen viele Artikel, Bücher und Programme hierzu.

1992 Das Buch „*Magic Eye*“ enthält eine größere Anzahl solcher Bilder und bewirkt die Verbreitung der Bilder.

1973 schreibt SALVADOR DALI (1904-1989) ein Buch über stereoskopische Malerei.

1995 Für einige Jahre werden die Autostereogramme eine weit verbreitete Modeerscheinung, die bei Einigen fast zur Sucht entartet. Schließlich ist dieses Sehens mit einer entspannenden „Versenkung“ verbunden. Wohl deshalb finden sie in Japan besonders viele Anhänger und Künstler, die sich hiermit versuchen. So gründen MICHAEL FRANK (*1966) und EFF LUDECKE (*1964) unter dem Pseudonym „DIN“ eine Vereinigung, die vor allem raffinierte Bilder schafft.

Doch diese Bewegung zur Autostereographie hielt (leider) nicht lange an.

Literatur

- [1] Hennig, A.: Die andere Wirklichkeit - Virtual Reality - Konzepte - Standard - Lösungen. Addison-Wesley. Bonn u. a. 1997
- [2] Comment, B.: Das Panorama. Die Geschichte einer vergessenen Kunst. Nicolai, Berlin 2000
- [3] Völz, H.: Das Mensch-Maschine-System. Mit CD-ROM. Expert-Verlag, Renningen - Malsheim 1999
- [4] Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 2: Technik und Geschichte vorelektronischer Medien. Shaker Verlag Aachen 2005
- [5] Mucke, H.: Anaglyphen und Raumzeichnungen. Teubner, Leipzig 1970.
- [6] Mucke, H., Simon, H.: Anaglyphen zur Darstellenden Geometrie. Volk und Wissen, Berlin 1965.
- [7] Mucke, H., Günzler, G., Fischer, Cl.: Anaglyphen zur Struktur der Stoffe. Volk und Wissen. Berlin 1986
- [8] Sachsenweger, R.; Stereo-Sehübungen. Georg Thieme, Leipzig, 1979
- [9] Horobuchi, S.: Stereogramm. ars - Edition, Zug 1994
- [10] Enterprises, N. E. T.: Das Magische Auge. ars Edition, München 1994
- [11] Richardson, D.: Create Stereograms on Your PC. Waite Group, 1994
- [12] N.N.: Das Magische Auge - Sticker Book. ars Edition, München 1994
- [14] Ernst, B.: Holographie - Zaubern mit Licht. Wittig, Hückelhoven 1986/7
- [15] Heiß., P.: Die neue Holographie - Fibel. 4. Aufl. Wittig - Fachbuch, Hückehofen 1995
- [16] Angerer, E. v.: Wissenschaftliche Photographie. Geest & Portig K. - G., Leipzig 1952

Steganographie

stegos griechisch geheim, unsichtbar

Zu den virtuellen Objekten gehört teilweise auch die Steganografie

Sie ist hauptsächlich der Urheberrechtsschutz für Bilder wichtig.

Dabei werden Texte usw. in den niederen Bit eines Bildes so versteckt, dass sie nicht leicht sichtbar werden.

Es gibt aber Möglichkeiten sie wiederzugeben und so den Urhebernachweis zu führen.

Bei guten Programmen funktioniert das sogar noch nach beachtlichen Bildveränderungen.

Virtuelle Realität usw.

Neben den virtuellen Bildern kann mittels der Rechentechnik auch eine virtuelle Realität geschaffen werden.

Der Begriff wurde 1989 von **Jaron Lanier** geprägt.

Mit einem **Headset** (Helm usw.) werden die beiden Bilder direkt ins Auge projiziert und mittels Kopfhörer Stereo-Schall zum Hören angeboten.

Die Bilder und der Schall werden **vom Rechner aus Modellen** (der virtuellen Welt) berechnet.

Durch **Körper-Bewegung und/oder mittels spezieller Handschuhe** usw. kann der Mensch auf diese Modelle einwirken.

So **scheint** er in dieser virtuellen **Welt zu sein und handeln**.

Die Virtuelle Realität wird auch **Cyberspace** genannt. Details u. a. [3] 223ff.

In den letzten Jahren ist hierzu ein großer Fortschritt, insbesondere durch die zusätzliche Nutzung von Smartphones entstanden.

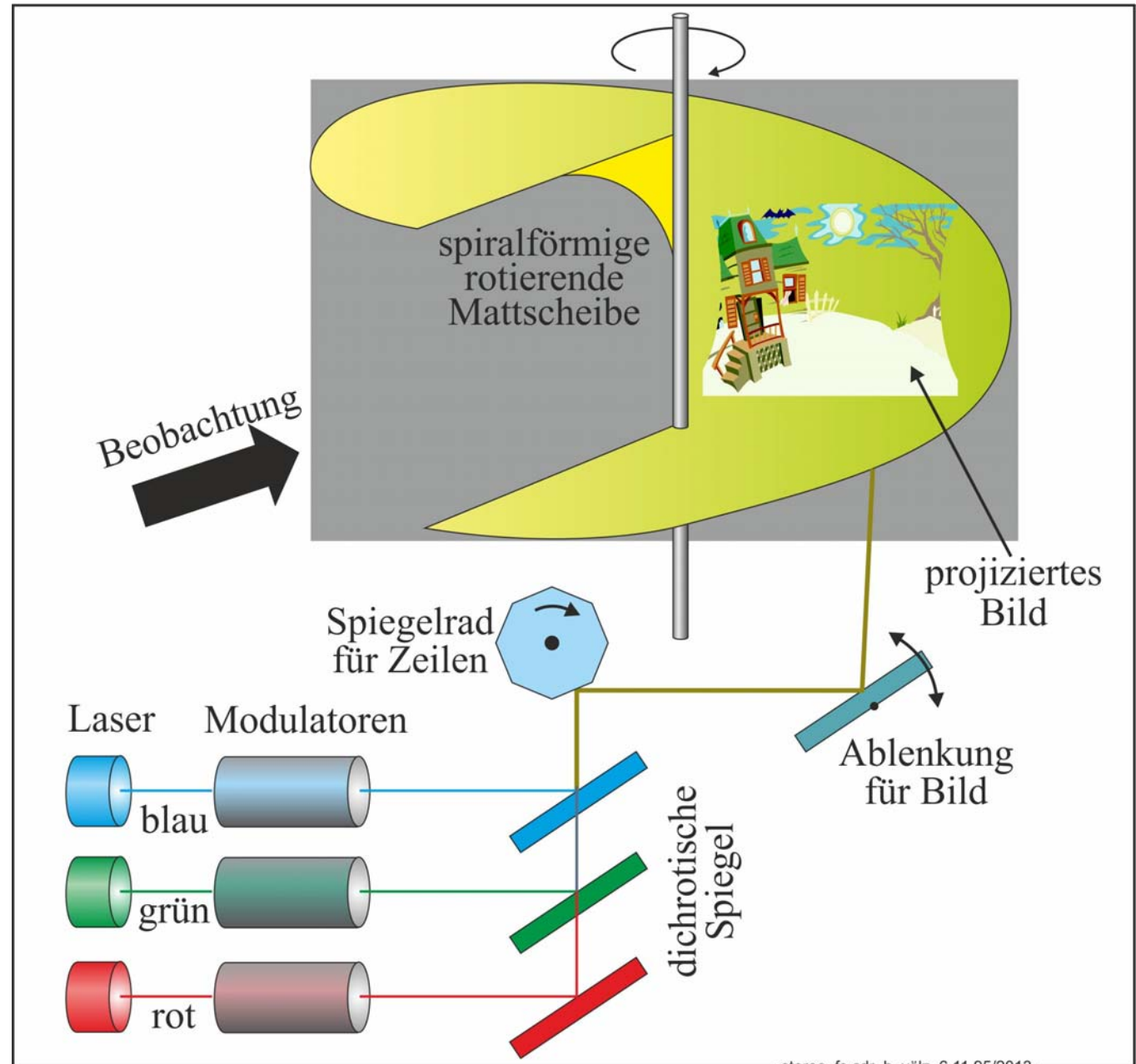
Ein wirklich räumliches Bild

Auf die schnell **rotierende Spiralfäche** (Mattscheibe) wird mittels 3 Lasern (rot, grün, blau), Modulatoren, Spiegelrad und Wackelspiegel ein Bild projiziert. Bei richtiger Berechnung entsteht es dabei im ganzen Zylindervolumen der Spirale und kann von allen Seiten und mehreren Personen gut beobachtet werden.

Das Spiegelrad schreibt die Zeilen und der Wackelspiegel wechselt von Zeile zu Zeile. Die Drehung der Spirale erfolgt mit etwa 50 Hz.

Wegen des hohen Rechenaufwandes stellt das Verfahren große Ansprüche an den technischen Aufwand.

Details z. B.: [3] S. 229/30.



stereo_fs.cdr h. vözl 6.11.95/2013