

## Textauszug aus + verschiedene Bilder am Ende

Völz, H.: Das Mensch - Maschine - System. Expert - Verlag, Renningen - Malsheim 1999 Linde - Verlag, 399 S. 190 Abb., 67 Tab.

### 9.2.10 Stereobildtechniken

Wir sehen im Raum Objekte. Das wird besonders an jenen Bildern deutlich, die unmögliche räumliche Objekte darzustellen scheinen. Einige typische Beispiele zeigt **Bild 9.16**. (vgl. S. 44, Bild 3.23) Das ganz rechte Bild versucht sogar, einen „technischen“ Transformator für den Übergang von 1- nach 3-Phasenstrom zu demonstrieren. Sehr umfangreich und bewußt hat sich der holländische Maler M. C. Escher in vielen Bildern mit falschen Perspektiven und Ansichten auseinandergesetzt. Dies beweist, daß es genau genommen falsch ist, von Stereo-, Raum- oder 3D-Bildern zu sprechen. Bilder sind stets zweidimensional. Da diese Begriffe nun aber einmal üblich sind, werden sie auch hier weiter verwendet. Die Ursache dieser Begriffsbildung liegt darin begründet, daß unsere beiden Augen ja *nur* zwei Ansichten (Bilder?!) der Objekte ermöglichen. Dennoch konstruieren wir offensichtlich (immer) auf höherer Nervenstufe fast immer Objekte. Es ist nämlich nahezu unmöglich, selbst bei den obigen falschen Bildern die dritte Dimension zu unterdrücken. Die zentrale Ursache dürfte darin begründet sein, daß wir uns (offensichtlich) immer im dreidimensionalen Raum bewegen und dafür sehen, hören und fühlen zur Hilfe nehmen müssen. Um so erstaunlicher ist es, daß an einigen Stellen erwähnt wird, daß nur etwa 20 % der Bevölkerung überhaupt räumlich, also stereoskopisch sehen kann [HEN1]. Hinzu kommt, daß wirkliches räumliches Sehen – mittels zweier unterschiedlicher Teilbilder – nur im Nahbereich bis zu wenigen Metern möglich ist. Durch künstliche Änderung des Augenabstandes kann allerdings die sichtbare Raumentiefe verändert werden. Im Theaterglas wird sie verringert, um die Kulissen nicht flächig erscheinen zu lassen. Beim Fernglas wird sie erweitert, um auch in der Ferne noch Tiefen wahrzunehmen. Andererseits sehen wir auch indirekt – also mit einem Auge – räumlich. Hierzu trägt zunächst die Perspektive bei. Im einfachsten Fall geschieht dies dadurch, daß bekannte Objekte in der Nähe groß und in der Entfernung klein erscheinen. Dann können vordere Objekte die hinteren verdecken. Schließlich haben neueste Untersuchungen gezeigt, daß auch die optisch immer begrenzte Tiefenschärfe erheblichen Einfluß hat. Wenn wir mit einer Kamera oder unserem Auge ein Objekt in bestimmter Entfernung fixieren | fokussieren, dann sind nähere oder fernere Objekte mehr oder weniger unscharf. Der Grad der Unschärfe ist ein gewisses Maß für den Abstand vom fixierten Objekt. Weiter ist zu beachten, daß wir auch nur in einem begrenzten Winkelbereich wirklich räumlich sehen können, nämlich nur dort, wo die beiden Teilbilder der Augen den gleichen Raumbereich erfassen (s. S. 24, Bild 3.3c). Unter Berücksichtigung dieser Fakten lassen sich drei wichtige Klassen für Stereobilder ableiten:

- Arten der Bilder mit räumlicher Wirkung,
- Herkunft der Bilder, also z. B. Stereophoto oder 3D-Modelle und
- Methoden der Erzeugung der Bilder, die wir betrachten.

Alle drei Klassen müssen noch weiter zerlegt werden. Für die Bilder mit räumlicher Wirkung ergibt sich dann:

1. Der räumliche Eindruck wird durch die *Perspektive* eines zweidimensionalen Bildes hervorgerufen (wird hier nicht weiter behandelt).
2. Der räumliche Eindruck entsteht indirekt durch „Schielen“ bei speziellen Bildern („Magisches Auge“  $\approx$  *SIRDS* = single image random dot stereogram; s. S. 230). Dem Auge wird also nur suggeriert, räumliche Bilder zu sehen.
3. Es wird eine echte Raumentiefe dadurch erzeugt, daß den beiden Augen *zwei Bilder* aus entsprechend unterschiedlicher Sicht angeboten werden. Diese Bilder können herrühren von
  - a. zwei Photographien oder Kameras bzw.
  - b. durch Berechnungen aus einem Modell oder einer dreidimensionalen Funktion.
4. Es ist zusätzlich möglich, *verschiedene Raumansichten* zu betrachten;
  - a. dies wird durch manuelle Steuerung, z. B. mittels Maus erreicht,
  - b. dies wird durch Bewegung von Kopf, Körper und | oder Augen automatisch bewirkt oder
  - c. es liegt ein Hologramm (s. S. 231) vor, um das ich etwas „herumgehen“ kann.
5. Ein möglichst *großes Blickfeld* läßt einen Anwesenheitseffekt ( $\approx$  Immersion) aufkommen. Hierauf wird weiter unten eingegangen.
6. Statt der zwei Teilbilder für beide Augen wird ein *virtuelles Raumbild* erzeugt. Dies ist bei der Holographie der Fall.
7. Es wird ein *filmisches Geschehen* erzeugt, das dann automatisch ablaufen kann. Da dies nur eine spezifische Erweiterung der obigen Punkte darstellt, wird hier darauf nicht weiter eingegangen.

Die beiden Varianten 4a und 4b verlangen analog zu 3a und b entweder die Steuerung der Aufnahmekamera oder es erfolgt eine Berechnung aus dreidimensionalen Modellen der dargestellten Objekte. Bei den Modellen sind meist nur die Koordinaten für Punkte und deren Verbindungen gegeben. Zur Erzeugung der Objekte sind dann für jede gewählte Ansicht auch Verfahren für das Erzeugen von Oberflächen und Rendering erforderlich. Dabei sind auch Beleuchtungsarten und -richtungen von großem Einfluß. Je nach der gewählten Sicht werden also bei 3b, 4a und 4b die beiden jeweils aktuellen, zweidimensionalen Teilbilder neu berechnet. Ob die Steuerung bzw. die Berechnung der Ansichten dann nach 4a oder 4b erfolgt, ist vor allem eine technische Frage der gewählten Schnittstellen und Anwendungen. Für die **Herkunft der Bilder** sind vier Wege wichtig:

- Die Bilder werden | wurden über eine Aufnahmetechnik von *realen Objekten* gewonnen. Das kann u. a. durch Photographieren oder mittels Videokameras erfolgen.
- Die Bilder werden aus einem *formalen, mathematischen Modell*, z. B.  $z = f(x, y)$  gewonnen. Das kommt vor allem in der Wissenschaft vor.
- Die Bilder werden aus einem Modell gewonnen, das *Koordinaten* von Punkten und deren Verbindungen enthält (s. o).

- Die Koordinaten für Bilder werden durch *3-dimensionales Scannen* (mittelbar) erhalten und dann in ein Modell eingebaut (vgl. S. 193).

Ein systematischer Überblick zu den **Prinzipien der Bilderzeugung** ist erheblich komplexer. Deshalb ist er im Schema von **Bild 9.17** (nächste Seite) zusammengestellt. Die einzelnen Verfahren lassen sich zunächst dadurch unterscheiden, ob sie nur eine oder gleichzeitig mehrere Personen nutzen können. Die direkte Projektion in beide Augen gilt eindeutig nur für eine Person. Z. T. ist das auch beim Helm oder der Brille gegeben. Andere Verfahren, insbesondere das mit der Spirale und die Holographie, lassen aber die Möglichkeit zu, daß viele Personen gleichzeitig das Raumbild sehen können. Auch bei Brillen ist dies dann möglich, wenn die Bilder so großflächig projiziert werden, daß mehrere Beobachter mit je einer Brille zuschauen können. Für die weitere, unabhängige Untergliederung sind die Varianten mittels Perspektive und die SIRDS hier nur noch der Vollständigkeit halber aufgenommen. Entscheidend ist die Dreiteilung nach *Brille, Helm und unbewaffnet* (ohne Brille, auch autostereoskop genannt). Die untere Zeile im Bild weist noch auf Besonderheiten von drei Verfahren hin, die etwas später noch genauer behandelt werden. Durch die Spezifik der Rot-Grün-Brille ist es praktisch nicht möglich, hiermit farbige Raumbilder zu erreichen. Die Auflösung für holographische Bilder muß so hoch sein, daß sie nur bei extrem hohem Rechneraufwand und sehr spezieller Hardware möglich ist. Der Helm bietet als einziger die Möglichkeit, einen hinreichend großen Raumwinkel für die Immersion zu erreichen. Hierzu ist zu beachten, daß unsere beiden Augen einen Bereich von 180° horizontal und 80° vertikal erfassen (s. S. 25, Bild 3.3c). Der Stereobereich beträgt dabei jedoch nur etwa 45° in beide Richtungen. Gut scharf sehen wir sogar nur innerhalb von 40°. Alle diese Bereiche können wir ohne Bewegung des Kopfes dadurch erweitern, daß wir die Augen um 60° horizontal und 40° vertikal bewegen. Folglich sind maximal 300° horizontal und 160° vertikal erreichbar. Selbst ohne Raumeffekt ermöglichen dies nur spezielle Panoramakinos. Mit der Photographie sind entsprechende Aufnahmen mittels Fischaugenoptiken möglich. Auf den damit gemachten Bildern sind aber erhebliche „perspektivische“ Verzerrungen vorhanden. Werden derartige Aufnahmen von zwei Standorten für spätere Stereobilder gemacht, so stören die Verzerrungen noch mehr. Daher hat vor längerer Zeit die Firma LEEP spezielle Optiken entwickelt, welche die Verzerrungen beim Betrachten weitgehend aufheben. Jede Optik enthält drei asphärische Linsen mit etwa 6facher Vergrößerung. Diese Optiken werden heute in ähnlicher Weise bei den Datenhelmen eingesetzt. Für das Field of view (FOV = horizontaler und vertikaler Blickwinkel) ermöglichen sie Werte von 20° bis 140° horizontal und 14° bis 66° vertikal. Die besseren Werte (größer als 90°×40°) bewirken deutliche Immersionseffekte. Für die Überlappung beider Bilder (Raumeffekte) wird meist empfohlen, sie zu 80 % für einen Winkel um 180° und zu 100 % bei einem Winkel  $\leq 120^\circ$  zu wählen.

#### **Bild 9.17** Methoden zur Darstellung von räumlichen Bildern

Zu den wichtigsten Raumbildverfahren gibt **Bild 9.18** einen Überblick. Die wohl älteste Methode ist der *Stereobildbetrachter*, wie ihn Bild 9.18a zeigt. Auf einem Blatt befinden sich zwei Bilder, die von verschiedenen Standorten aufgenommen wurden. Über ein Linsen-Prisma-System sind die Bilder nur getrennt den beiden Augen zugänglich. Das Verfahren entstand mit der Photographie um 1835 in mehreren Varianten. Die Geräte und zugehörigen Bilder wurden etwa ab 1850 in großer Stückzahl produziert. Heute ist diese Technik so gut wie vergessen.

#### **Bild 9.18** Verfahren zur Erzeugung von räumlichen Bildern

1850 erfanden unabhängig voneinander Rollmann und D'Almeida die *Anaglyphentechnik*. Sie drucken je ein Bild in roter und grüner Farbe. Mittels entsprechender Farbfilter werden sie dann getrennt den beiden Augen zugeführt. Dies ist wohl die technisch einfachste und zugleich preiswerteste Methode. Ihre Grundlagen enthält z. B. [MUC2]. Auch heute noch werden die Anaglyphen in verschiedenen Büchern zur Illustration räumlicher Zusammenhänge angewendet. Als Beispiele seien nur die darstellende Geometrie [MUC1] und die komplexen räumlichen Stoffstrukturen [MUC3] genannt. Aber auch in der Didaktik und für Sehübungen bei Kindern hat sich die Methode bewährt [SAC]. Daher ist es nicht verwunderlich, daß sie auch bei Computern zum Einsatz kommt. Es gilt dann das Schema von Bild 9.18d. Vereinfachend genügt sogar eine Kamera, der die farbgefilterten Teilbilder über Spiegel zugeführt werden. Natürlich können auch Modelle von 3D-Strukturen oder mathematische Zusammenhänge so dargestellt werden. Statt rot-grün wird zuweilen auch rot-blau benutzt. Dann werden noch weniger Ansprüche an die Brillen gestellt. Jedoch ist unser Auge für blau weniger empfindlich als für grün. Durch die Wahl der beiden Filterfarben kann das entstehende Mischbild etwas in seinem Grundton zwischen golden, grau und bläulich variiert werden.

Ein anderes Prinzip erfand 1945 der Franzose M. Bonnet (Bild 9.18e). Es verwendet nebeneinander liegende *Zylinderlinsen*. Es heißt auch Lentikularverfahren. Die beiden getrennt erzeugten | aufgenommenen Teilbilder werden senkrecht in viele schmale Streifen geschnitten und rechts-links-verschachtelt ineinander gefügt. Vor jedem Streifenpaar befindet sich eine dünne, aus Kunststoff gepreßte Zylinderlinse. Auch kleine Prismen sind statt der Linsen möglich. Durch sie sind die rechten und linken Streifen der Bilder jeweils nur für das entsprechende Auge sichtbar. Lange Zeit wurde dieses Verfahren im größeren Rahmen nur für Ansichtskarten genutzt. Seit einigen Jahren hat es auch in der Rechentechnik Einzug gehalten. Die beiden Teilbilder werden dann ähnlich verschachtelt z. B. auf einem LCD-Display angeordnet. Zur Trennung genügt sogar ein einfacher „Image-splitter“, der ähnlich einem Gartenzaun aus periodischen, undurchsichtigen Stegen besteht (Bild 9.18f). Dieses Prinzip läßt sich auch zur Projektion für viele Personen nutzen. Mit einem doppelseitigen Linsenraster entsteht dann eine Anordnung wie sie Bild 9.18g zeigt. Hier werden die beiden Bilder von hinten auf die Mattscheibe projiziert und von vorne beobachtet. Damit ist prinzipiell eine Beobachtung für mehrere Personen möglich. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß die Positionen für ein einwandfreies Raumbild begrenzt sind. Je ein Auge muß sich dabei in einer Raute des Bildes 9.18k befinden. Bewegt man sich von dieser Position weg, so entstehen neue Raute, die aber auch eine Position des vorderen Rasterschirmes erfordern. So entsteht eine Anordnung wie sie Bild 9.18h zeigt. Durch Beobachtungskameras wird der jeweils aktuelle Standort des Beobachters erfaßt. Daraus leitet das System dann die zugehörige Position der Linsenrasterplatte vor dem Großdisplay ab. So ein System wurde u. a. im Heinrich-Hertz-Institut-Berlin (HHI) im vom Bonner Forschungsministerium geförderten Projekt „Blick“ entwickelt. Es verwendet u. a. ein 50-Zoll-Rückprojektions-Display.

Eine andere Methode mit Brille nutzt polarisiertes Licht aus. Die beiden Teilbilder werden durch *Polarisatoren* waagrecht bzw. senkrecht orientiert (Bild 9.18c). Eine entsprechende Brille vor den Augen realisiert dann die Trennung.

Dieses Verfahren wird u. a. in speziellen Kinotheatern und bei DIA-Vorträgen viel benutzt. Seitdem die dichroitischen Polarisationsfolien preiswert herzustellen sind, ist es eine günstige Alternative zu den Anaglyphen und ermöglicht zusätzlich auch farbige Raumbilder. Die Brille ist kaum teurer und genauso leicht. Bei einer Bildübertragung werden die Signale von den beiden Aufnahmekameras je einem Monitor zugeführt. Vor jedem Monitor befindet sich eine Polarisationsfolie. Ihre Polarisationsachsen sind senkrecht zueinander justiert. Über einen halbdurchlässigen Spiegel sind beide Monitore in einem Bildfeld zusammengeführt. Die Filter der Brille des Beobachters sind analog ausgerichtet.

Technisch einfacher ist das *sequentielle Verfahren* nach Bild 9.18b und i. Bei ihm wird auch von Tachistoskopie gesprochen. Hier werden die beiden Teilbilder nacheinander übertragen. Auf ein rechtes Bild folgt immer ein linkes usw. Die Trennung für die Augen erfolgt durch eine elektronisch gesteuerte LCD-Shutter-Brille (z. B. i-glasses und CrystalEyes), die erstmalig 1981 von der Lenny Lipton's Stereo Graphics Corporation vorgestellt wurde. Sie sperrt abwechselnd den Lichtdurchgang zum linken und rechten Auge. Das Hauptproblem dieser Technik besteht darin, daß Flimmern zu reduzieren. Die Bildfrequenz muß nämlich mindestens doppelt so hoch wie beim üblichen Monitor sein.

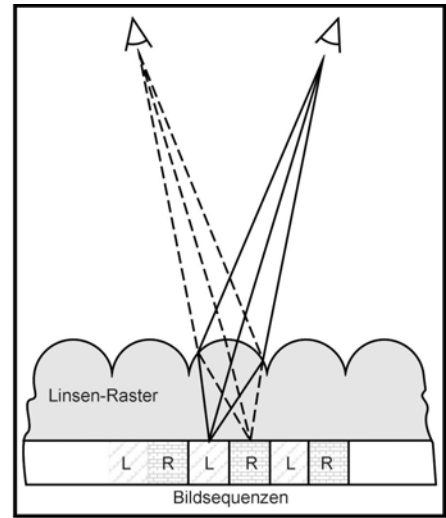
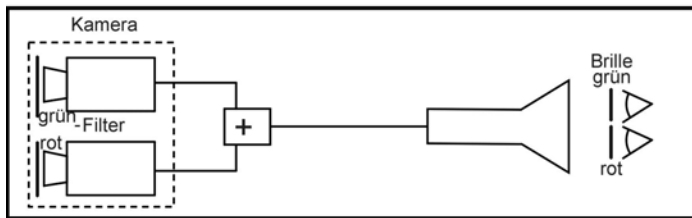
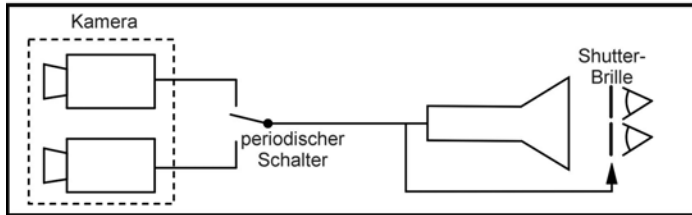
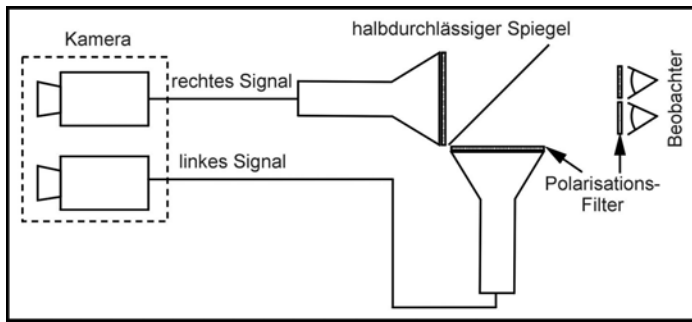
Eine Variante des Retinadisplays, also der direkten Projektion ins Auge (s. S. 225), zeigt Bild 9.18j. Hier ist das System möglich gut ineinander gefaltet. Dadurch fällt es relativ klein aus. Diese Technik verfolgt u. a. Sharp.

Schließlich sei noch ein besonders leistungsfähiges Verfahren mittels Bild 9.18l beschrieben. Hier rotiert eine räumlich *spiralförmige Projektionsfläche*. So wird es möglich, ein echt räumliches Bild in dem Zylindervolumen darzustellen. Es ist zugleich für viele Personen in einem relativ großen Winkelbereich gut zu betrachten. Mit der Bildablenkung durch einen Klappspiegel werden quasi die Zeilen – also die Höhe im Volumen – ausgewählt. Das Spiegelrad schreibt dann die Punkte in den Bildzeilen. Die drei Laser (rot, grün und blau) mit ihren Modulatoren erzeugen die Bildpunkte innerhalb der Zeilen. Um geringes Flimmern zu erreichen, muß die Drehung der Spirale mit etwa 50 Hz erfolgen. Der Ablenkspiegel und das Spiegelrad müssen daher je nach Anzahl der Bildpunkte im dreidimensionalen Raum deutlich schneller als beim „einfachen“ Fernsehen erfolgen. Daher stellt das Verfahren große Ansprüche an den technischen Aufwand. Es befindet sich bestenfalls in der Erprobungsphase.

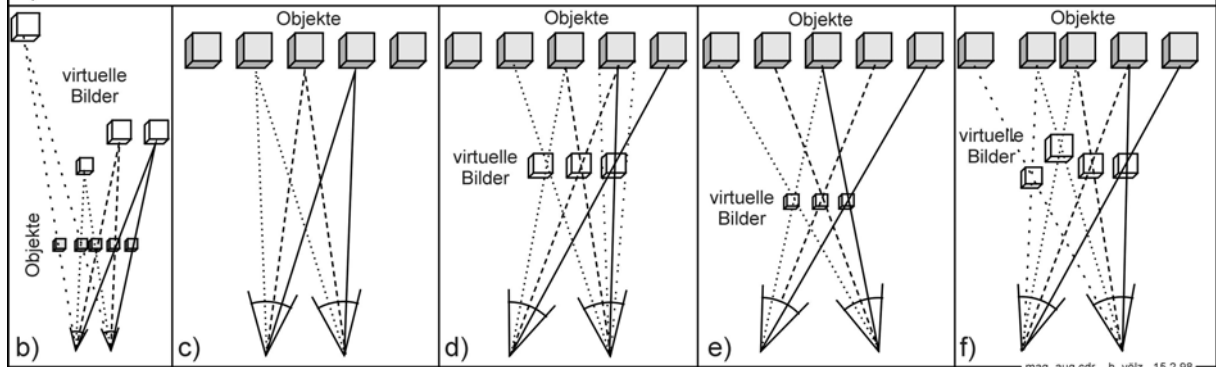
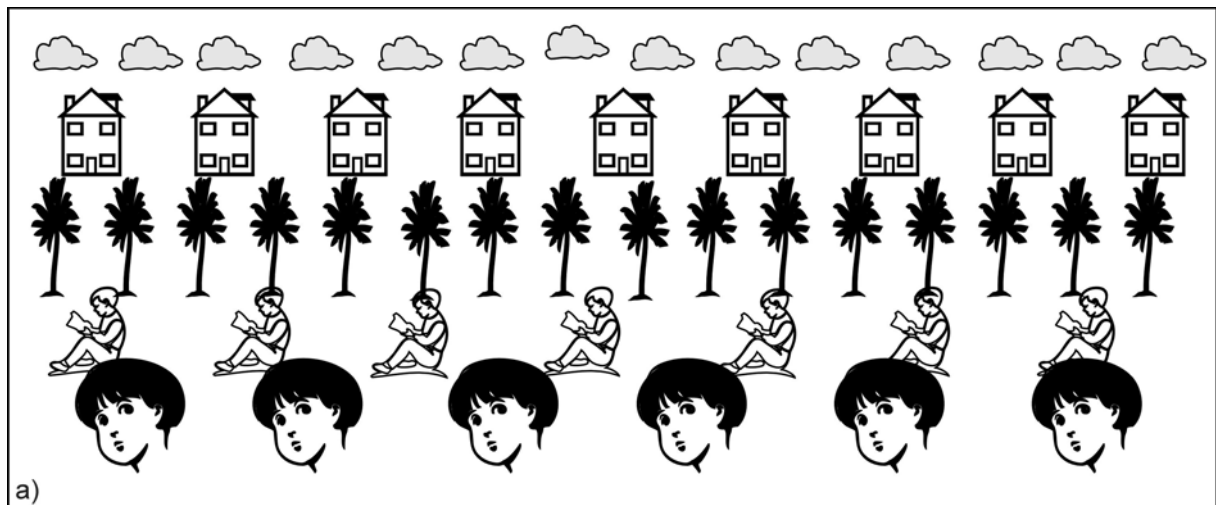
Eine ganz ungewöhnliche Form der Raumbilderzeugung sind die *Autostereogramme*. Im größeren Rahmen wurden sie erst durch das 1992 erschienene Buch „*Magic Eye*“ bekannt. Es enthält eine größere Anzahl solcher Bilder. Erst später zeigte sich, daß solche Versuche nachweisbar bereits 1883 gemacht wurden. Zwei wichtige Vorläufer der heutigen Technik sind dann Masayuki Ito (1970) und Bela Julesz (1971). Beide erzeugten unabhängig derartige Zufalls-Stereobilder (SIRDS = single image random dot stereogramm). 1973 schreibt Salvador Dali ein Buch über stereoskopische Malerei. 1976 schafft David Marr die Berechnungsmodelle für Autostereogramme. Drei Jahre später stellt auf dieser Basis Christo Tyler das erste „berechnete“ Autostereogramm her. Zur gleichen Zeit erscheinen die grundlegenden Arbeiten von Christopher Tyler und Maureen Clarke. Doch erst 1990 werden solche Bilder in den USA kommerziell vermarktet. Mehrere Jahre sind sie dann eine wirkungsvolle Modeerscheinung. Sie werden nur sichtbar, wenn es uns gelingt, zwei Fähigkeiten unseres Sehens zu entkoppeln. Das vollbringt nicht jeder. Einen Gegenstand *fixieren* wir, indem wir beide Augen auf ihn richten (*Konvergenz*). Zusätzlich werden die Linsen so gewölbt, daß scharfe Netzhautbilder entstehen (*Adaption*). Durch die Seherfahrung erfolgt beides automatisch und fest gekoppelt. Eine Entkopplung ist nur in Sonderfällen möglich. Besonders geeignet sind hierfür periodische Strukturen. Sie werden im „Normalfall“ so gesehen, wie es **Bild 9.19c** zeigt. Die Augen können aber auch willentlich und durch Training so gestellt werden, daß sich jeweils benachbarte Würfel bezüglich der beiden Netzhautbilder decken. Dann sind zwei Fälle zu unterscheiden. Im Bild 9.19d sind die Augen so verdreht, daß sich die Sehstrahlen vor den eigentlichen Würfeln kreuzen. Die Folge ist, daß je zwei benachbarte echte Würfel zu einem scheinbaren Würfel verschmelzen, der näher zu liegen scheint. Da seine Größe auf der Netzhaut aber erhalten bleibt, erscheint er – weil näher – zugleich kleiner. Voraussetzung für dieses Sehen ist aber, daß die Adaption auf die wirkliche Entfernung erhalten bleibt. Auch der umgekehrte Fall ist möglich (Bild 9.18b). Wir verringern den Winkel der beiden Augen und bringen dadurch ebenfalls benachbarte Würfel zur Deckung. Dann kreuzen sich die Sehstrahlen in größerer Entfernung. Dieser Effekt ist meist leichter zu erreichen. Wenn wir nämlich entspannt in die Ferne blicken, sind unsere Sehstrahlen parallel. Dann wird von unten das Blatt vor die Augen gebracht und wir brauchen nur noch zu adaptieren, ohne jedoch die Stellung der Augen zu ändern. Im Bild 9.19b ist aber auch der wesentliche Effekt erkennbar. Wenn nämlich die Würfel nicht ganz exakt periodisch angeordnet sind, dann befinden sich die scheinbaren Würfel in unterschiedlicher Entfernung. Sie stehen unterschiedlich im Raum. Im Bild 9.19f ist dies deutlicher für den Fall gekreuzter Sehstrahlen erkennbar. Bild 9.19e zeigt schließlich noch eine weitere Möglichkeit. Es lassen sich nicht nur benachbarte Würfel zu einem Bild ergänzen, sondern auch solche mit einem Abstand zwei, ja sogar drei, vier usw. Diese Verfahren funktionieren bei allen regelmäßigen Strukturen und sollen zuerst an Tapetenmustern entdeckt worden sein. Solche Strukturen findet man an Wänden (in Wartezimmern!). Diese Wände lassen sich dann näher oder ferner (und damit kleiner oder größer und oft in mehreren Stufen) je nach Stellung der Augen betrachten. Die eigentlichen Raumbilder werden aber erst durch die leichten Unregelmäßigkeiten in den Abständen erzeugt. Als Beispiel hierfür kann das Bild 9.19a dienen. Bei gekreuzten Sehstrahlen befinden sich alle Strukturen vor der Papierebene: ganz nahe die Portraits, dann der lesende Junge, dahinter der Reihe nach die Bäume, die Häuser und ganz hinten die Wolken. Nur die Häuser stehen exakt in einer Entfernung. Bei allen anderen wurden die Abstände, und damit die subjektiv erscheinenden Entfernungen, verändert. Eine Wolke wurde bewußt „höher“ gesetzt, um eine solche „Störung“ zu erkennen. Bei entspanntem Blick sind alle Figuren hinter dem Papier. Man blickt quasi durch das Fenster „Papier“. Dann ist die Reihenfolge anders: Junge, Portrait, Bäume, Wolken Haus. Es ist nicht abzusehen, ob das Autostereogramm jemals eine praktikable Anwendung findet [RIC4; THI; NN16].

**Bild 9.19** Autostereogramm und seine Herleitung

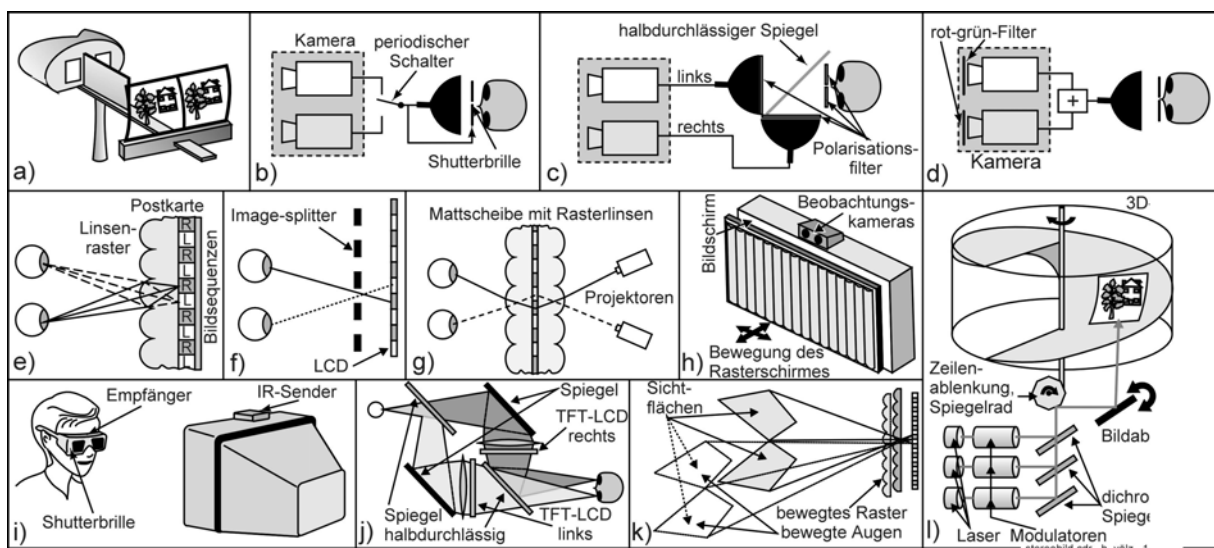
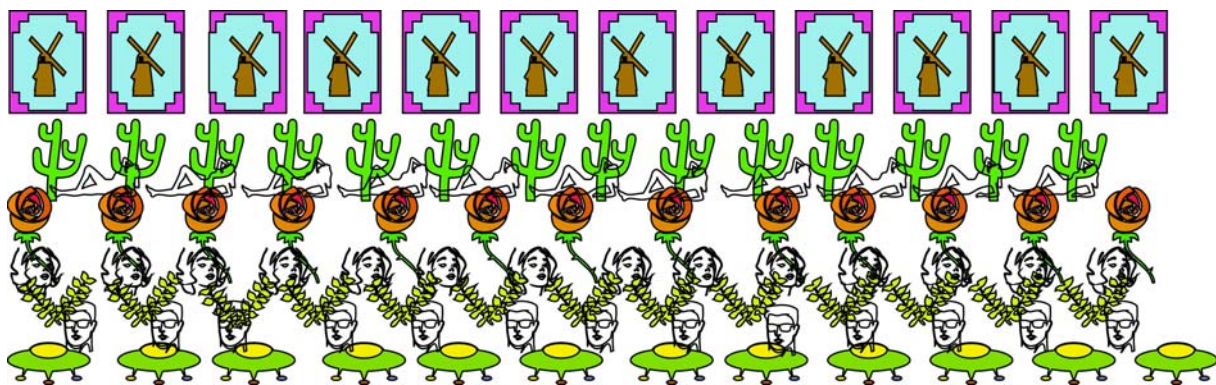
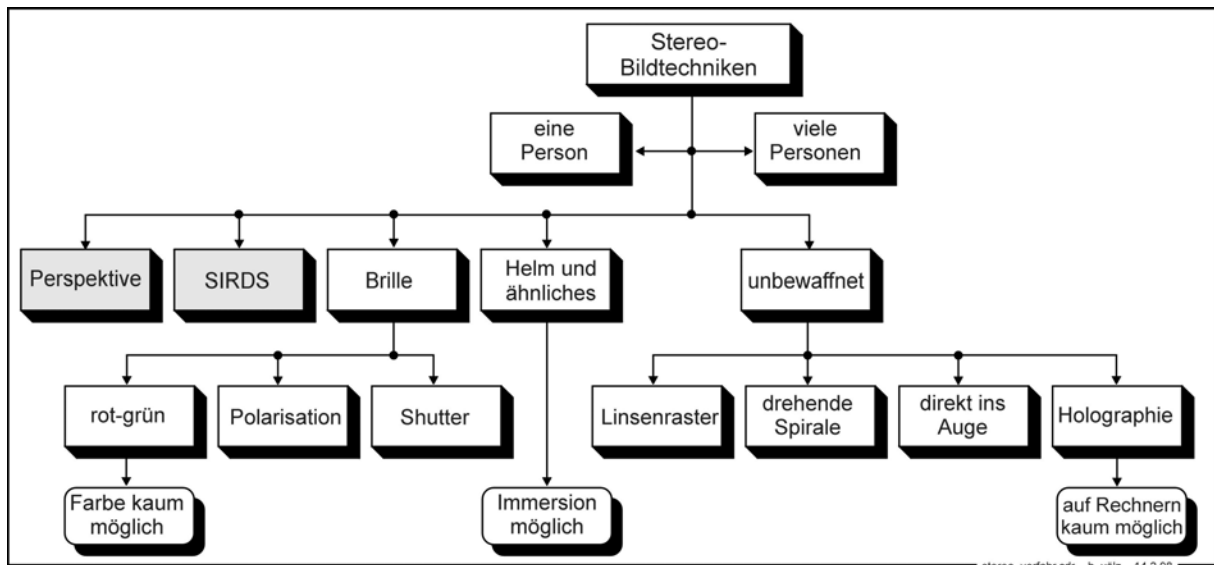
# Bilder

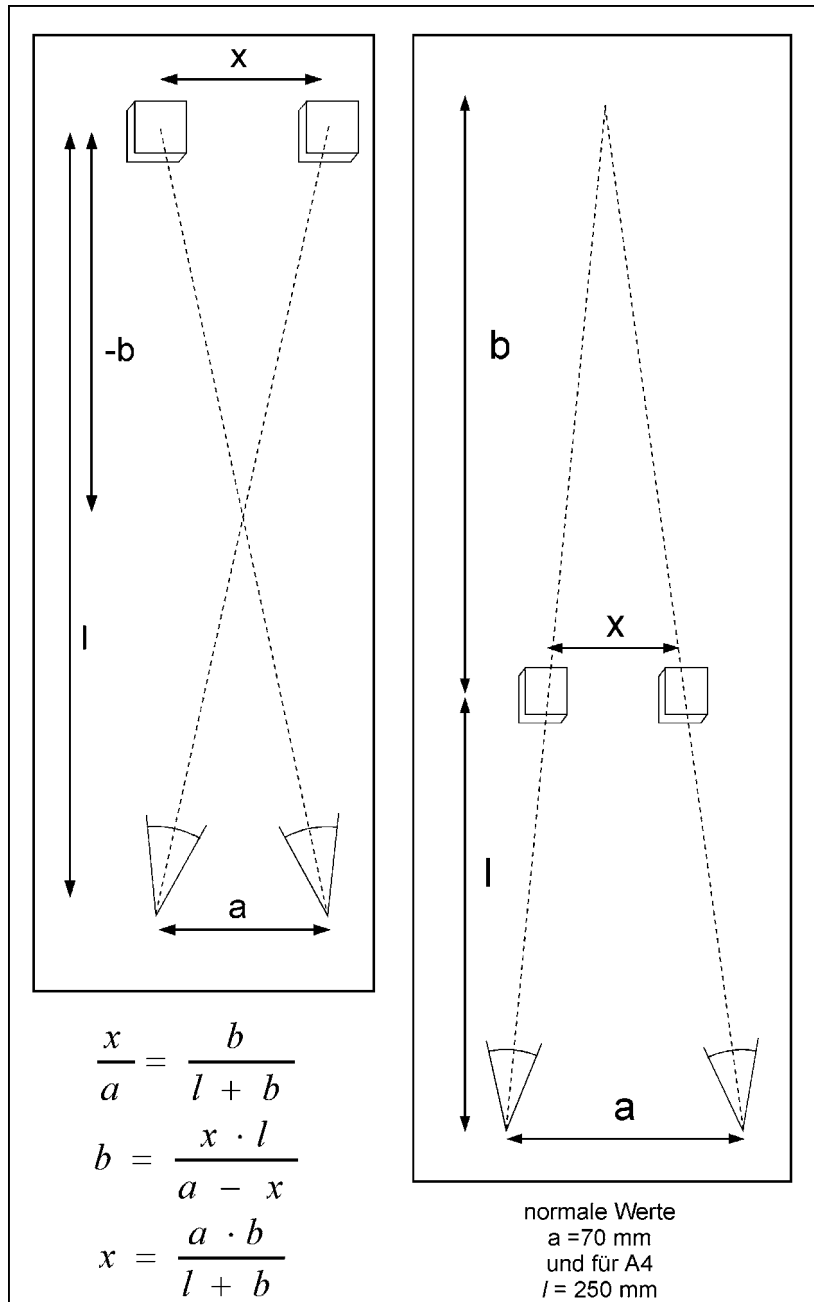


drkmuseu.cdr h. vözl 21.7.94



mag\_aug.cdr h. vözl 15.2.98





stereoqz.odr h. vözl 14.6.94