

# **Perspektive und Visuelles System**

**Wege zur Wahrnehmung des Raumes**  
(Die „Eroberung“ des Raumes in der Renaissance)

**Georg Eisner**  
**2019**

# Inhaltsverzeichnis

**Vorbemerkungen**

**Einleitung**

**Einführung in das Thema**

**Grundlagen unseres Sehens**

**Programme**

**Raum und Räumlichkeit**

**Intuition und strukturierte Raumkonzepte**

**Konstruierte Perspektive**

**Beobachtete Perspektive**

**Gestaltete Perspektive**

**Betrachtete Perspektive**

**Schlussbemerkungen**

**Literatur**

**Verdankungen**

**Bilderliste**

# Vorbemerkungen

## *Grundsätzliches*

„Eine Schrift, die lange Vorbemerkungen zu ihrer Rechtfertigung erheischt, ist nicht lesenswert“ pflegte einer meiner Lehrer zu sagen. Warum tue ich es dennoch? Wie meine Leserinnen und Leser feststellen werden, unterscheidet sich meine Schrift von anderen Texten zum Thema. Deshalb möchte ich mein Vorgehen begründen.

## *Zum Ziel*

Das Thema ist vielfältig und weitläufig, und es ist nicht einfach, die Ziele zu formulieren.

Zuerst werde ich schildern, was ich *nicht* darlegen werde. Es geht hier weder um ein Lehrbuch für perspektivisches Zeichnen, noch um eine Geschichte der Perspektive, noch um die philosophischen und psychologischen Betrachtungen, die im Laufe der Jahrhunderte zur Perspektive angestellt wurden.

Es gibt auch keine Bewertungen des Wahrgenommenen, und ich spreche z.B. auch nicht über Kunst. Zu all diesen Themen gibt es hervorragende Werke in Büchern und neuerdings auch im Internet, und ich will hier nicht repetieren, was anderswo bereits ausführlich behandelt worden ist. Die geometrischen Aspekte sind längst Allgemeinwissen. Was ich hier beibringe, ist meine Sicht als Augenarzt, der sich mit der Arbeitsweise des Visuellen Systems (Auge- Gehirn) beschäftigt.

Ich stelle hier auch keine These auf, die den Leserinnen und Lesern nach der Lektüre das Gefühl gibt, hier eine Theorie gefunden zu haben, die alle Aspekte der Perspektive übergreifend zu einer Einheit zusammenschweist. Eine solche Theorie gibt es nicht, aber ich kann zumindest zeigen, *warum* dem so ist.

Was ich jedoch anhand der Perspektive vermitteln möchte, ist ein Einblick in die faszinierende Art und Weise, in der unser visuelles System die Welt in unserem ICH repräsentiert:

- wie die unermesslich weite Welt in der Pupille des Auges zu einem Punkt verschmilzt und dann in unserem ICH in ganzer Fülle wieder neu konstruiert wird.
- warum wir „die Welt nicht so sehen, wie sie ist“ - und warum wir sie dennoch „richtig“ wahrnehmen.

Aus solchen Überlegungen kommen wir zu Erkenntnissen über die komplizierten Beziehungen zwischen der objektiven realen Welt und unserem subjektiven ICH. Wir lernen wie unsere Sinne die Realität wiedergeben; wir lernen die Gesetze der Konstruktionen kennen - aber auch deren Grenzen.

Meine Ziele sind erreicht, wenn diejenigen, die

- als Lesende sich mit der Literatur zum Thema beschäftigen, diese besser verstehen und die dort vertretenen Thesen kritischer werten können
- als Zeichnende ihre Bilder bewusster und mit schärferem Blick gestalten können
- als Betrachtende von Bildern diese nunmehr anders, intensiver und bereichernder wahrnehmen können

Mit diesen Zielen vor Augen lohnt es sich, das Thema der Perspektive nicht nur in den Hauptlinien zu verfolgen, sondern auch in Nebenlinien zu erweitern.

#### *Zu Kontroversen*

Das Thema ist seit Jahrhunderten Gegenstand von Kontroversen. Ich beabsichtige hier jedoch nicht, bisher Publiziertes der Kritik zu unterwerfen. Ich bin mir bewusst, dass ich dadurch auf ein bewährtes Mittel, den Text spannender zu machen, verzichte. Aber ich glaube nicht, dass die Leser und Leserinnen daraus viel Gewinn ziehen würden. Ich ziehe es vor, meine Argumente durch Selbstversuche zu untermauern und es dadurch den Lesern zu überlassen, sich selber zu überzeugen.

#### *Zum Inhalt*

Es gibt noch eine weitere Aussage eines meiner Lehrer, die ich nicht berücksichtigen werde: „Überlade dein Werk nicht, sonst ermüden die Leser und brechen die Lektüre ab“. Um mein Thema verständlich zu machen, ist ein gewisses Ausmass an Informationen unabdingbar, und deren Reduktion würde meinem Ziel zuwiderlaufen. Es handelt sich hier nicht um ein narratives, sondern um ein deskriptives Werk. Es ist kein Text für Schnellleser, denn fast jeder Satz enthält Informationen, interagiert mit Schemata und Abbildungen von einschlägigen Kunstwerken.

#### *Zum Stil*

Das Thema bewegt sich auf einem schmalen Grat zwischen Naturwissenschaft und Geisteswissenschaft. Jede pflegt ihren eigenen Publikationsstil, und so muss ich damit rechnen, dass manche Leser und Leserinnen den Stil meiner Schrift – sagen wir einmal – „ungewohnt“ empfinden.

Ich hoffe jedoch auf Nachsicht, insbesondere da es sich um eine *private* Publikation handelt. Die Schrift ist das Werk eines Einzelautors mit entsprechenden Vor- und Nachteilen.

#### *Zu den Illustrationen*

Die von Experten benutzten perspektivisch-geometrischen und optischen Schemata sind für Nicht-Fachleute schwer lesbar. Zum einen werden mehrere Prozesse, die nacheinander ablaufen, ineinander gezeichnet. Zum andern werden Sehstrahlen- und Konstruktionslinien in gleicher Farbe und gleicher Stärke dargestellt, obwohl sie in jeder Hinsicht verschieden sind: Die einen Linien repräsentieren physikalisch-optische, die anderen geistig-mentale Daten. Wer mit den Regeln solcher Darstellungen nicht vertraut ist, kann sich in den Liniennetzen nur schwer orientieren.



Deshalb habe ich die Schemata sequentiell aufgebaut, damit man sie Schritt für Schritt verfolgen kann. Dank der elektronischen Form ist es möglich, beliebig viele Abbildungen zu verwenden, und ich habe dies ausgenutzt, um den Text reichlich mit Bildern unterstützen. So versuche ich, den Lesegewohnheiten der heutigen Leser und Leserinnen Rechnung zu tragen. Ausserdem erlaubt die elektronische Form den Lesern, Abbildungen beliebig zu vergrössern und so Details auszumachen, die im Druck entgehen.

#### *Wiederholungen*

In der Annahme, dass kaum jemand meine Schrift in einem Zug durchlesen wird, und möglicherweise auch einige Abschnitte überspringt, füge ich bei Wiederholungen die einschlägigen Textstellen und Abbildungen erneut ein, um dem Leser das mühsame Zurückscrollen zu ersparen.

#### *Zur Bibliographie*

Da die Suche nach Literatur dank den elektronischen Medien effizienter geworden ist, beschränkt sich hier die Bibliographie auf den Nachweis derjenigen Quellen, die ich persönlich benutzt habe. Einzelne, schwer auffindbare, Literaturstellen sind als Fussnoten aufgeführt.

#### *Die Strafe für Klarheit*

Noch ein Rat eines Lehrers, den ich in den Wind geschlagen habe: „Wenn Du so klar schreibst, dass man alles unmittelbar versteht, so wird dich die *Strafe für Klarheit* treffen. Was leicht verständlich dargestellt wird, weckt den Anschein, tatsächlich leicht verständlich zu sein. Deine Leser werden nicht ermessen können, wieviel Anstrengung es dich kostete, Kompliziertes einfach werden zu lassen. *Wer simpel schreibt, wird als Simpel gelten.*“

Dessen ungeachtet ist es meine Absicht, so klar wie möglich zu sein. Falls es die *Strafe für Klarheit* tatsächlich geben sollte, bin ich bereit, sie auf mich zu nehmen.

#### *Zu guter Letzt*

Ich bin meinen Lesern und Leserinnen dankbar, wenn sie mich auf allfällige Fehler aufmerksam machen. Die hier gewählte elektronische Form der Publikation erlaubt es, jederzeit Korrekturen anzubringen.

# Einleitung

**Dimensionswechsel im Sehprozess**

**Deformationen bei Dimensionswechsel**

**Die Korrektur im Visuellen System**

***Sehen* unterscheidet sich von *Wahrnehmung*,  
indem wir Dinge wahrnehmen können,  
die wir nicht gesehen haben,  
und Dinge sehen  
ohne sie wahrzunehmen**

Geben die perspektivischen Konstruktionen die Welt massstabgerecht wieder oder verzerren sie die Realität? Die Antwort ergibt sich aus einfachen geometrischen Gesetzen: Verzerrt<sup>1</sup>.

Dann aber stellt sich die Frage: Wenn wir die Welt verzerrt sehen, warum nehmen wir sie nicht verzerrt wahr? Die Antworten ergeben sich aus der Analyse des Sehprozesses.

## Dimensionswechsel im Sehprozess

Eine der Verzerrungen entsteht durch den Dimensionswandel, der beim Übergang von einer Stufe zur nächsten abläuft.

Im Sehprozess wird einer ersten Stufe die Aussenwelt im Auge auf der Netzhaut abgebildet und dann in weiteren Stufen im Visuellen System (im Gehirn/ICH, siehe **Exkurs E1**) als räumliche Wahrnehmung rekonstruiert.

### **Exkurs E1: Zum Begriff „Visuelles System“, resp. „Gehirn/ICH“**

Unsere Innenwelt besteht zum einen aus dem Gehirn, das eine materielle Basis hat, und zum anderen aus der Wahrnehmung, die immateriell ist. Obwohl beide grundsätzlich verschieden sind, ist es vernünftig, sie hier als Einheit zusammenzufassen, denn bei unserem Thema kommt es auf den Eintritt der Signale ins Gehirn/ICH und ihren Austritt an, nicht aber auf die inneren Verarbeitungswege (→ „Black Box“).

Deshalb lohnt es sich im Rahmen dieser Arbeit nicht, Gehirn und ICH systematisch scharf zu trennen. Ich werde sie – ausser in Spezialfällen, in denen sich die Trennung aufdrängt - gesamthaft als „Visuelles System“ bezeichnen.

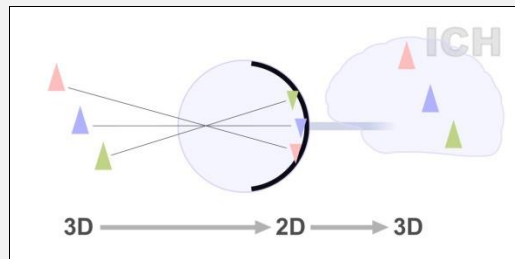
---

<sup>1</sup> Der Anlass zu dieser Arbeit war eine Diskussion mit Peter Schneider (wissenschaftlicher Zeichner an der Universität Bern, Schweiz), der mich auf die Verzerrungen hinwies und mich veranlasste, der Sache nachzugehen. Ihm sei hier für seinen Denkanstoss gedankt.

Beim Übergang von einer Stufe zur nächsten wandeln sich die Dimensionen:

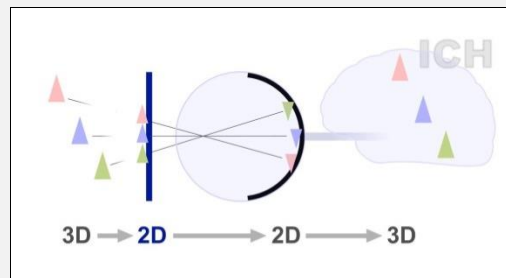
- In der *realen Welt* gibt es einen einzigen Dimensionswechsel: Die räumliche Aussenwelt wird im Auge in eine Fläche (Netzhaut) und dann im Visuellen System wieder in eine räumliche Innenwelt umgewandelt (**Abb. E1**)
- Bei einem *Bild* gibt es zwei Dimensionswechsel: Die reale Welt wird zuerst auf einer Fläche (Bildfläche) reproduziert. Diese wird dann auf einer Fläche im Auge (Netzhaut) abgebildet und schliesslich räumlich rekonstruiert (**Abb. E2**).

**Abb. E1: Dimensionswechsel im Verlaufe des Sehprozesses**



Die Welt ist dreidimensional. Abgebildet wird sie im Auge auf der zweidimensionalen - wenn auch gewölbten - Netzhaut. Im Gehirn/ICH wird sie erneut umgewandelt in die dritte Dimension. Dies bedeutet, dass die *dreidimensionale* Wahrnehmung aus einer *zweidimensionalen* Stufe rekonstruiert wird<sup>2</sup>.

**Abb. E2: Dimensionswechsel bei Betrachtung eines Bildes**



Wird die Welt auf einer flachen Projektionsfläche (z.B. einem Gemälde) abgebildet, kommt es zu einer zusätzlichen Wandlung der Dimensionen. Die Vorlage, die von der flachen Netzhaut aufgenommen wird, ist bereits flach, und dies bedeutet, dass nunmehr das Visuelle System die dreidimensionale Wahrnehmung über *zwei* zweidimensionalen Vorlagen rekonstruiert<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Siehe später im Kapitel: „Beobachtete Perspektive“

<sup>3</sup> Siehe später in den Kapiteln: „Konstruierte Perspektive“, „Gestaltete Perspektive“ und „Betrachtete Perspektive“

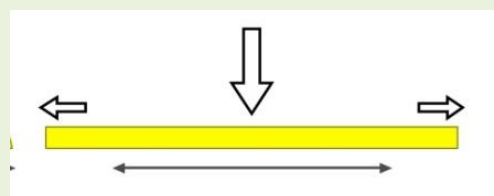
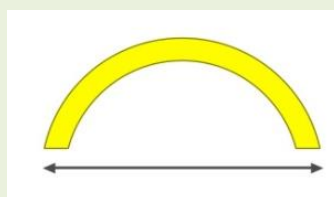
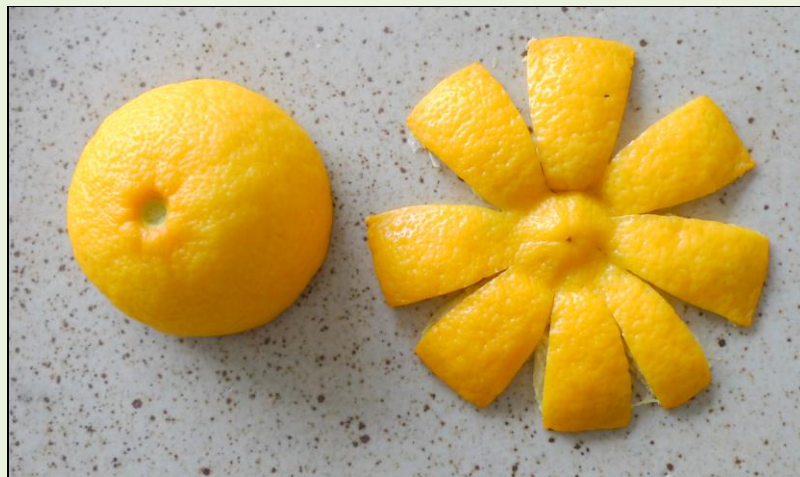
## Deformationen bei Dimensionswechsel

Der Wandel ist verbunden mit Deformationen, die sich von einfachen geometrischen Gesetzen herleiten (siehe **Selbstversuch E1**, und **Abb. E3**).

### Selbstversuch E1: Verformung bei Dimensionswechsel

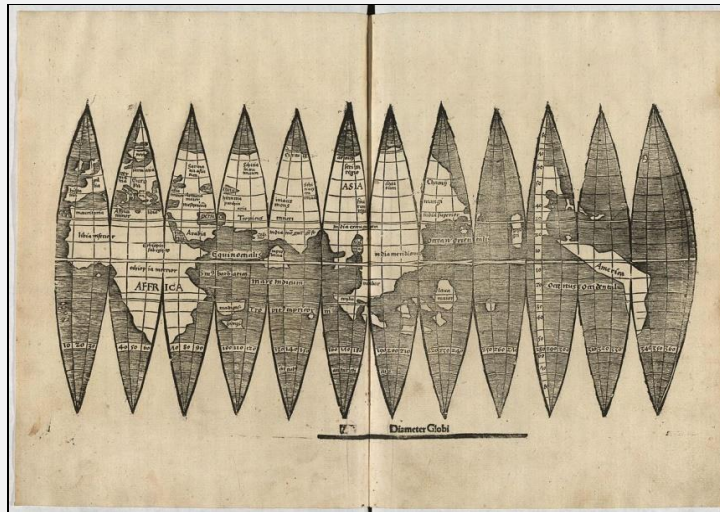
Man schneide eine ausgepresste Zitronenhälfte radiär in mehrere Segmente ein und breite sie flach aus. Die von ihr bedeckte Fläche wird dann grösser, wobei aber Lücken zwischen den Segmenten entstehen. Um diese zu eliminieren, müsste man die Segmente seitlich dehnen.

Man stelle sich nun vor, die Segmente trügen Muster. Bei der Dehnung würden diese dann peripherwärts in zunehmendem Masse verformt.



Bei einer Halbkugel ist die gewölbte Oberfläche grösser als ihr Durchmesser, und das wirkt sich aus, wenn sie abgeflacht wird.

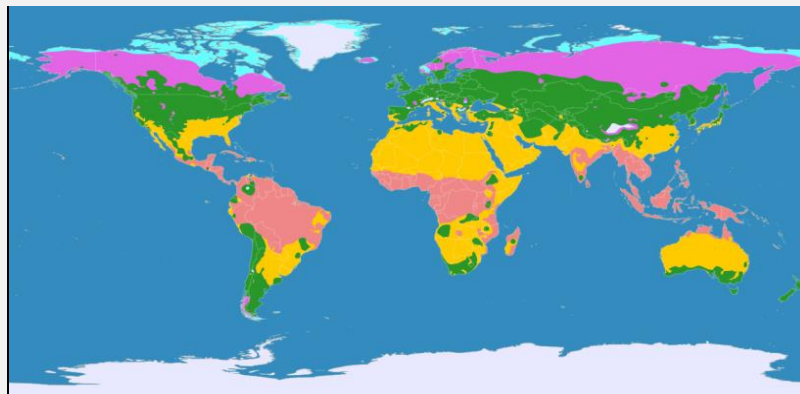
Abb. E3: Deformationen beim Darstellen der Weltkugel auf einer Fläche



*Zweiecke für den Erdglobus von Martin Waldseemüller (nach 1507)*

Durch Zusammenkleben der Zweiecke lässt sich eine Kugel bilden<sup>4</sup>.

Wenn man aus ihnen jedoch flache Landkarten bilden will, muss man die Spitzen an den Polen so weit dehnen, bis sie sich vereinigen. Dadurch wird die Karte oben und unten verzerrt, und die Kontinente nördlich und südlich des Äquators erscheinen weit grösser, als ihrer tatsächlichen Fläche entspricht.



wiki/Weltkarte

Deformiert *sehen* wir demnach die Umwelt auf der Netzhaut unseres Auges, und deformiert müssten wir sie denn auch *wahrnehmen*. Das Erstaunliche jedoch ist, dass dem nicht so ist. Wir werden uns keiner Verformung bewusst und sehen die Welt „normal“.

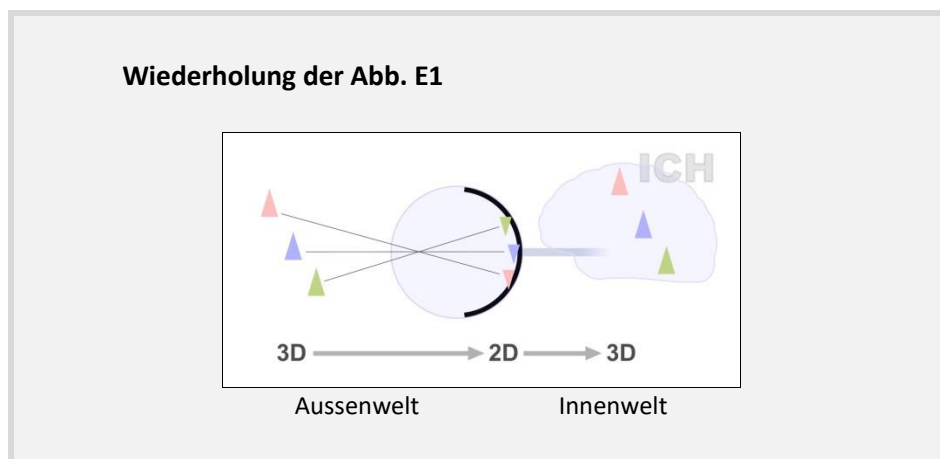
<sup>4</sup> Siehe auch [http://www.boehmwanderkarten.de/kartographie/is\\_netze\\_globussegmente.html](http://www.boehmwanderkarten.de/kartographie/is_netze_globussegmente.html)

## Die Korrektur im Visuellen System

Wenn das Sehen obligat mit Deformationen verbunden ist, stellt sich die Frage: „Wie ist es möglich, dass wir die Welt „falsch“ sehen, sie aber „richtig“ wahrnehmen?“

Die Antwort finden wir durch eine Analyse des Visuellen Systems, in der die physikalischen und geometrischen Daten aus der Aussenwelt verwandelt werden in immaterielle Daten, die im ICH als Wahrnehmung gelten.

Einen weiteren Aspekt gilt es dabei zu beachten: Das Visuelle System arbeitet nicht nur als Empfänger (von unten nach oben: „*Bottom Up*“), sondern auch als Befehlsgeber (von oben nach unten: „*Top-Down*“). Das ICH kann in der Innenwelt Räume erfinden und sie in der Aussenwelt zu Bildern gestalten. Dabei sind zahlreiche, vielfach verzweigte und rückgekoppelte Befehlswege involviert, die sich nicht auf einfachen Schemata, wie etwa **Abb. E1**, wiedergeben lassen.



Wenn das, was ich hier in der Einleitung in Stichwörtern aufgeführt habe, auch Kompliziertes verspricht, so soll es die Leser und Leserinnen nicht entmutigen, weiterzulesen. Ich werde im Folgenden, Schritt für Schritt, ausführlicher – und, wie ich hoffe, verständlicher – auf das Thema eingehen.

Zuerst werde ich die Funktionsweise des Visuellen Systems schildern, zumindest soweit dies zum Verständnis des Themas nötig ist. Dann werde ich die Grundregeln des perspektivischen Zeichnens erklären, wobei es genügen dürfte, altes Schulwissen wieder in Erinnerung zu rufen. Und schliesslich habe ich ausführlich räumliche Geometrie und Visuelles System einander gegenübergestellt und gezeigt, wie aus ihrer Kombination schliesslich das entsteht, was unser bewusstes ICH als Raum wahrnimmt.



# 1 Einführung ins Thema

**Physik vs. Gehirn**

**Die „Schulperspektive“**

**Probleme der Terminologie**

**Optik und Physiologie**

**Sehen ist Interpretation**

**Lernprozesse der Wahrnehmung**

**Wie einst die Schrift  
unser Denken  
veränderte,  
hat die Perspektive  
unsere Wahrnehmung  
verändert**

## Physik vs. Gehirn

Alle Menschen sehen mit ihren Augen Gleiches gleich, aber sie nehmen es nicht gleich wahr. Oder anders ausgedrückt: Wenn mehrere Personen das gleiche Bild betrachten, so sind bei jedem die Pixel auf der Netzhaut der Augen gleich verteilt – aber nicht jeder sieht das Bild gleich.

Was unsere Augen auf einer Bildfläche sehen, sind lediglich Farben und Kontraste. Ihre Bedeutung ergibt sich erst aus bestimmten Regeln, die wir erlernen müssen<sup>5</sup>.

Damit man räumlich sehen kann, braucht es ebenfalls Regeln, die man erlernen muss. Menschen, die nie gelernt haben, wie man Raum darstellt, nehmen ihn anders wahr, als diejenigen, die mit den Regeln vertraut sind. Erstere können sich gar nicht vorstellen, wie letztere ihn sehen – und vice versa.

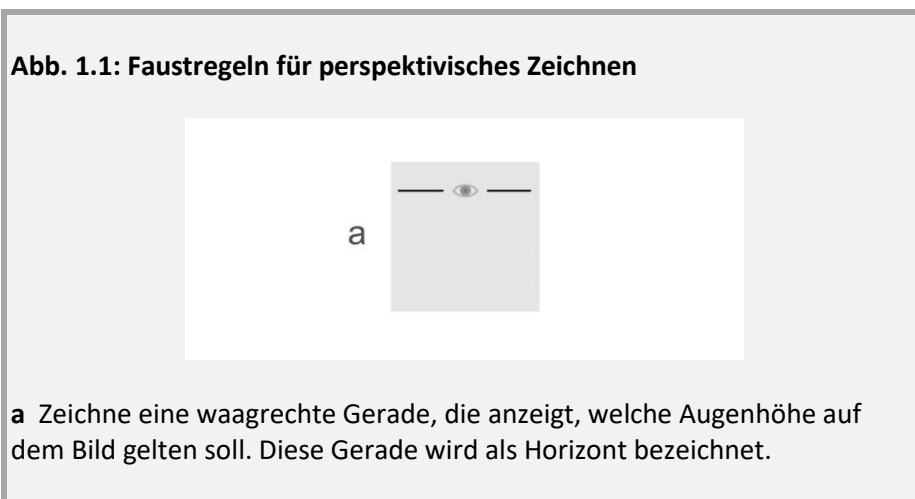
Wir können sogar Bilder von Räumen schaffen, die wir nie gesehen haben, vorausgesetzt, wir kennen die einschlägigen Regeln.

Welche Regeln sind das?

## Die „Schulperspektive“

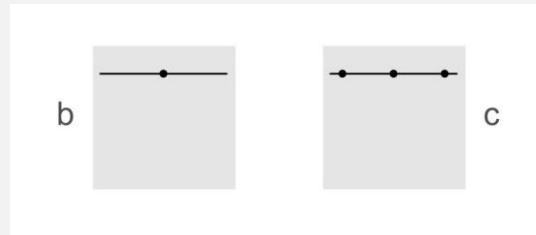
Als Einstieg scheint es mir zweckmässig, mit den Faustregeln zu beginnen, wie sie im Rahmen des Zeichenunterrichts in der Schule vermittelt werden.

Die eine Gruppe von Regeln betrifft den *Verlauf* von tiefengerichteten Linien, horizontalen Linien und vertikalen Linien (**Abb. 1.1**).



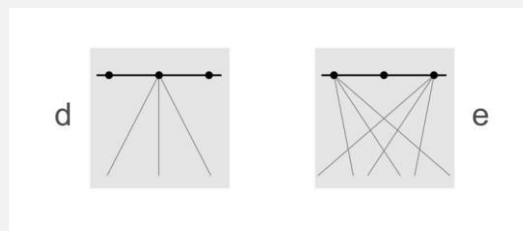
---

<sup>5</sup> Die Bedeutung des Lernens, resp. des Nicht-Gelernthabens werde ich in einem späteren Kapitel erläutern am Beispiel Blindgeborener, die erst spät im Leben durch eine Operation zum Sehen gebracht werden konnten.



**b** Setze ungefähr in der Mitte einen Punkt, den zentralen Fluchtpunkt.

**c** Plane evtl. zu beiden Seiten weitere Fluchtpunkte.



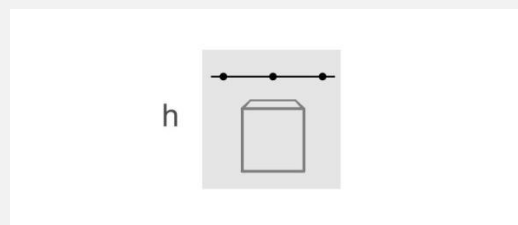
**d** Alle tiefengerichteten Geraden, die beim Blick geradeaus *parallel* zur Sehachse verlaufen („Fluchtlinien“), konvergieren auf einen zentralen Fluchtpunkt hin.

**e** Schräge tiefengerichtete Parallelen konvergieren auf andere Fluchtpunkte.

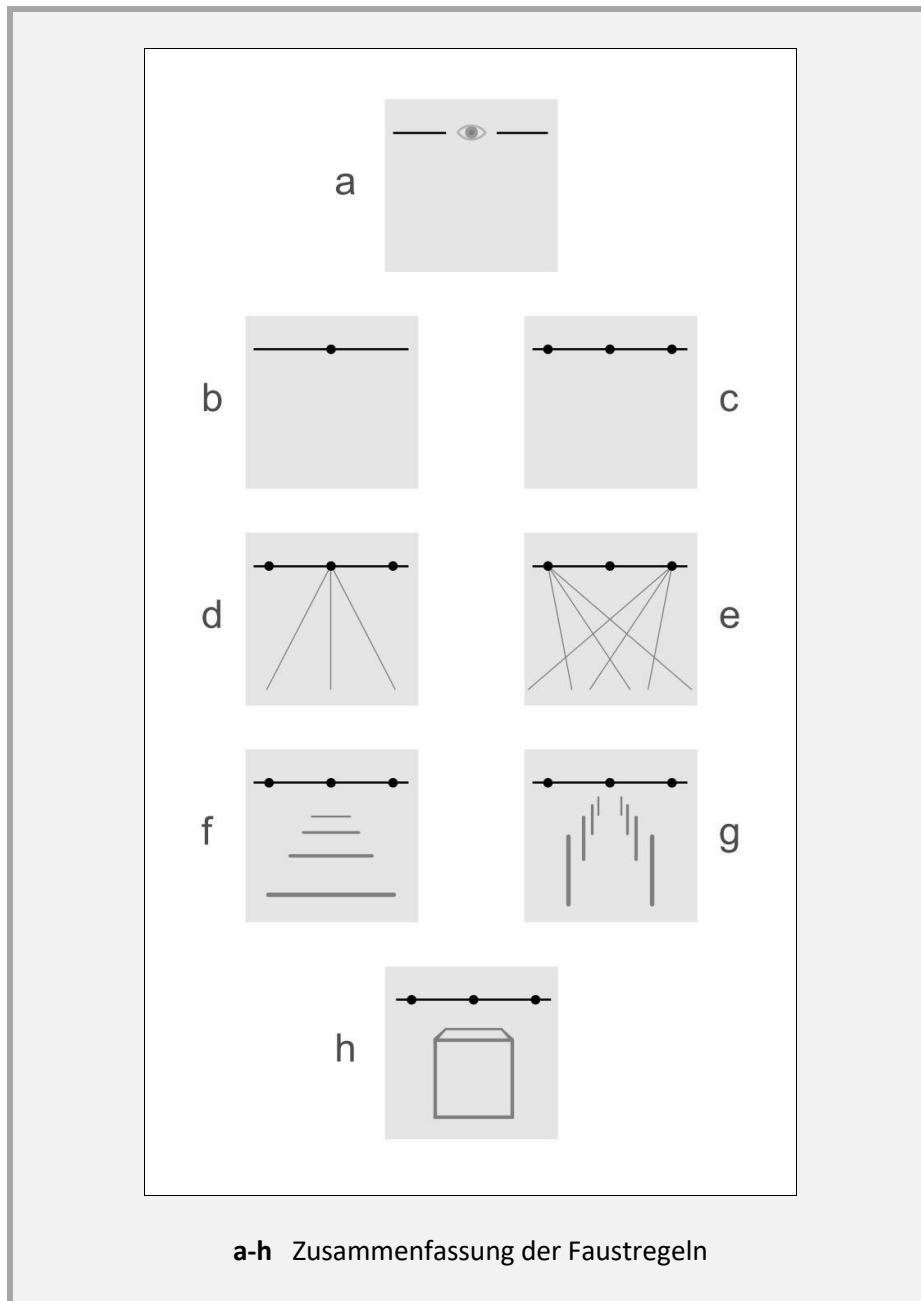


**f** Alle horizontalen Geraden, die parallel zum Bildrand verlaufen, bleiben im Bild horizontal.

**g** Alle Vertikalen bleiben im Bild vertikal.



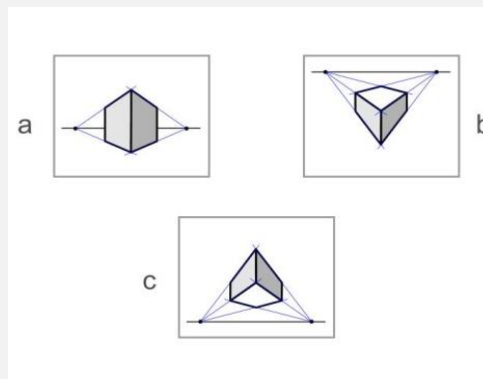
**h** Konstruktion eines Würfels aus den Elementen d, f und g.



Eine andere Gruppe von Regeln betrifft die Veränderungen der Perspektive, wenn wir unseren Standort ändern, d.h. die Beziehungen von Horizont und Fluchtpunkten (**Abb. 1.2**).

*Beachte:* Der Begriff Horizont bezieht sich auf „horizontal“. In der Perspektivlehre bezeichnet er die Horizontale durch den Fluchtpunkt, d.h. eine Konstruktionslinie, die das, was man von oben sieht, trennt von dem, was man von unten sieht. Man darf ihn nicht verwechseln mit etwas anderem, das man ebenfalls Horizont zu nennen pflegt, nämlich der Grenzlinie („Silhouette“), die in einer Landschaft Himmel und Erde trennt - es sei denn, es gehe um den Spezialfall des Blicks auf eine freie Meeresfläche, wo beides zusammenfällt (siehe später: *Beobachtete Perspektive*).

**Abb. 1.2: Abhängigkeit der Perspektive von Horizont und Fluchtpunkten**



**a Frontalperspektive:** Die Augen des Betrachters – und damit der Horizont - stehen auf gleicher Höhe wie das Objekt.

**b Vogelperspektive:** Der Horizont steht hoch. Der Betrachter blickt auf das, was tiefer steht.

**c Froschperspektive:** Der Horizont steht tief. Der Betrachter blickt auf das, was höher steht.

Die Regeln der Perspektive sind praktische Anweisungen zur Gestaltung von Gemälden. Was uns hier beschäftigt, geht aber darüber hinaus. Wie kommt es, dass wir flache Zeichnungen als Darstellung von Raum akzeptieren, bloss weil sie nach diesen Regeln erstellt wurden? Oder anders ausgedrückt: Wie kommt es, dass wir zweidimensionale Vorlagen als dreidimensionale Realität wahrnehmen können? Oder noch anders: Gibt es Grenzen? In wieweit können wir flache Vorlagen räumlich wahrnehmen?

### Probleme der Terminologie

Viele Begriffe haben sich im Laufe der Zeit verändert, da sich die Entwicklung der Perspektive über mehrere Jahrhunderte hingezogen hat. So wird in der Literatur ein und dasselbe Wort für Verschiedenes benutzt, resp. für Verschiedenes das gleiche Wort. Beispielsweise war „perspectiva“ in der Antike und der arabischen Überlieferung schlicht das, was man später „optica“ nannte. „Perspectiva naturalis“ und „perspectiva artificialis“ waren in der Zeit von Leonardo da Vinci etwas anderes als für uns Heutige; dasselbe gilt auch für „Fluchtpunkt“, „Augspunkt“, „Zentralpunkt“, „Fernpunkt“, „Verschwindungspunkt“ usw.<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Gewiss wäre es interessant, die Wandlung der Begriffe im Zusammenhang mit den jeweiligen geisteswissenschaftlichen Entwicklungen genauer zu analysieren, aber dies würde den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen.

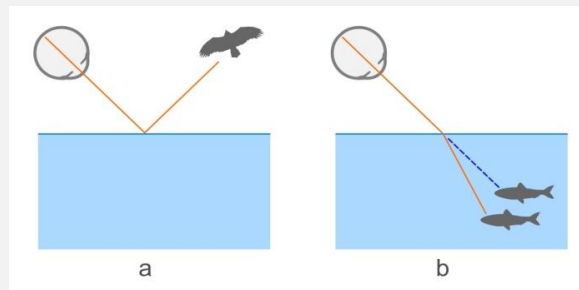
In dieser verwirralichen Situation werde ich im Folgenden – wohl wissend, dass man nicht ständig neue Begriffe einführen sollte - einfache, rein deskriptive Bezeichnungen verwenden, die selbsterklärend sind.

## Optik und Physiologie

Auf zwei Begriffe will ich hier schon zu Beginn genauer eingehen, denn sie ziehen sich wie ein roter Faden durch das ganze Thema hindurch: *optisch* und *visuell*. Beide Wörter werden im heutigen Sprachgebrauch oft synonym angewendet, verwechselt und vertauscht<sup>7</sup>, obwohl es sich bei „optisch“ und „visuell“ um zwei völlig getrennte Bereiche handelt. Sie koexistieren zwar, sollten aber nicht miteinander vermengt werden. Der Unterschied zwischen optisch und visuell ist fundamental. Die Verarbeitung *optischer* Signale betrifft die Physik der elektromagnetischen Strahlung, d.h. die Aussenwelt. Die Verarbeitung von *visuellen* Signalen hingegen erfolgt im Gehirn, d.h. in unserer Innenwelt, und wird von anatomischen Strukturen, elektrochemischen Prozessen und schliesslich von der immateriellen Psychologie des ICH bestimmt.

*Optische* Phänomene („Täuschungen“) sind z.B. die Spiegelungen an der Oberfläche eines Wassers oder die scheinbare Knickung eines Stabes, der ins Wasser getaucht wird. Beide beruhen auf der Brechkraft von unterschiedlichen physikalischen Medien, d.h. von Wasser und Luft (**Abb. 1.3**). Die optischen Phänomene kann man messen, fotografieren und ihre Effekte voraussagen.

**Abb. 1.3: Optische Phänomene: Physik**



**a** Lichtreflexion an einer Wasseroberfläche, d.h. an der *Grenze* eines Mediums mit niedrigem Brechungsindex (Luft) und einem Medium mit hohem Brechungsindex (Wasser).

**b** Lichtbrechung beim *Übertritt* der Lichtstrahlen von einem Medium mit niedrigem Brechungsindex in ein Medium mit hohem Brechungsindex.

<sup>7</sup> Man gebe z.B. im Internet auf einem Suchprogramm „Optische Täuschungen“ (optical illusions) und „Visuelle Täuschungen“ (visual illusions) ein und vergleiche die Ergebnislisten

Dies gilt nicht für *visuelle* Phänomene, die bei der Verarbeitung der Signale im Visuellen System Auge-Gehirn/ICH entstehen (siehe später: „*Der Aufbau des Visuellen Systems*“).

Den Unterschied zwischen optischen und visuellen Phänomen kann man z.B. anhand der *Spiegeltäuschung* erklären, bei der beide Komponenten beteiligt sind. Was wir in einem Spiegel sehen, kann man als Täuschung bezeichnen, denn hinter dem Spiegel befindet sich nichts. Sie folgt physikalischen Gesetzen, welche das Abbild im Spiegel verkleinert erscheinen lassen und ist deshalb eine *optische* Täuschung. Die Verkleinerung nehmen wir jedoch nicht wahr, und dass wir das Gespiegelte in normaler Grösse sehen, ist eine visuelle Täuschung. Wir stellen sie erst fest, wenn wir speziell darauf aufmerksam gemacht werden (siehe **Selbstversuch 1.1**).

**Selbstversuch 1.1:**

**Optische und visuelle „Täuschungen“ in einem Spiegel**

Man stelle sich in etwa 20-30 cm. Abstand vor einen flachen Spiegel und betrachte sich im Spiegelbild.

Auf den ersten Blick nehmen wir darin unseren Kopf in „normaler“ Grösse wahr. Nun tauche man seinen Finger in Seifenwasser und umfahre damit die Kontur des Spiegelbildes.

Grosses Erstaunen! Überrascht stellen wir fest, dass im Spiegel unser Kopf stark verkleinert erscheint.

Wenn wir langsam zurücktreten und unsern Abstand zum Spiegel vergrössern, verkleinert sich das Spiegelbild, und irgendwann werden wir uns der Verkleinerung spontan bewusst.

Die Spiegeltäuschung ist so wirksam, dass ihr die Maler, obwohl sie gewohnt sind, genau zu beobachten, fast alle erliegen. Nur selten findet man Bilder, welche die Spiegelbilder in korrekter Verkleinerung wiedergeben (**Beispiele in Abb. 1.4.**)



**Abb. 1.4: Beispiele von Spiegelbildtäuschungen auf Gemälden**



a

**a** Honoré Daumier: *Der Maler* 1842

Im Spiegel sollte der Kopf des Malers verkleinert dargestellt sein. Daumier hat ihn aber in realer Grösse wiedergegeben.

*Beachte:* Auf diesem Bild gibt es noch eine zweite visuelle Täuschung: Der Kopf des Malers kann sowohl von hinten (d.h. dem Gemälde zugewandt) als auch von der Seite (d.h. dem Spiegel zugewandt) wahrgenommen werden („Kippfigur“)

\*\*\*



b

**b** *Diego Rodríguez de Silva y Velázquez: Venus vor dem Spiegel, 1647*  
Der Kopf der Venus ist im Spiegel in falscher Grösse abgebildet. Dies fällt uns aber nicht auf.

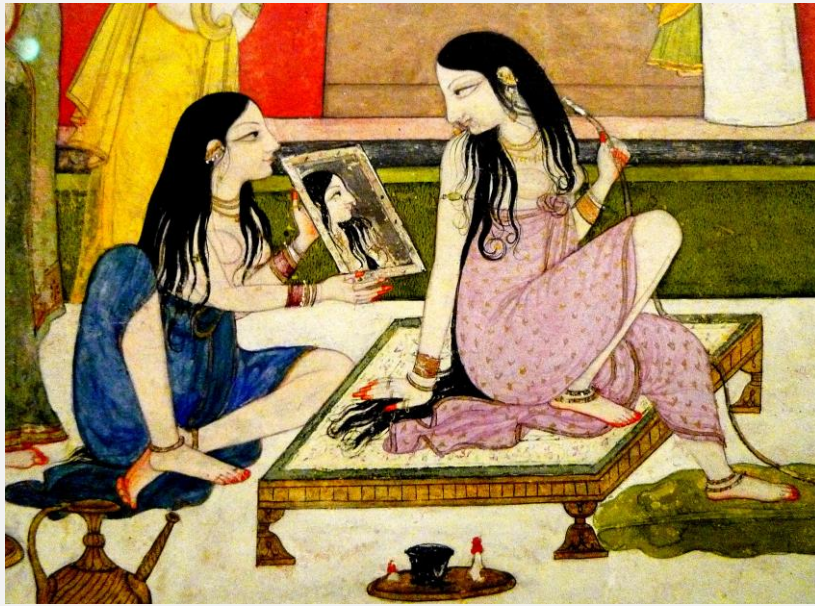
*Beachte:* Das Abbild im Spiegel ist – im Gegensatz zum übrigen Gemälde – undeutlich gemalt. Dies nicht etwa wegen mangelnder Sorgfalt, sondern als exakte Wiedergabe der schlechten Abbildungsqualität der damals verfügbaren Spiegel

\*\*\*



c

**c** *Kitagawa Utamaro: Frau mit Spiegel, Ende 18. Jhd. Japan*  
Das Bild im Spiegel ist nicht verkleinert, erscheint uns aber dennoch natürlich.



D

d Indien, Guler um 1800

Korrekte Verkleinerung im Spiegel

\*\*\*



e

e Edgar Degas: Mme. Jeantaud im Spiegel (1875)

Keine Verkleinerung



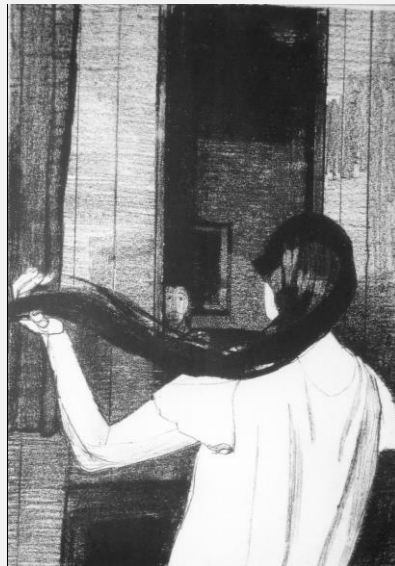


d

d Edgar Degas: *La leçon de ballet* (1870)

Korrekte Verkleinerung des Spiegelbildes auf einem Gemälde, das Degas – erstaunlicherweise - einige Jahre vor dem nicht verkleinerten Spiegelbild von Mme. Jeantaud geschaffen hatte (Gemalt nach einem Foto?).

\*\*\*



e

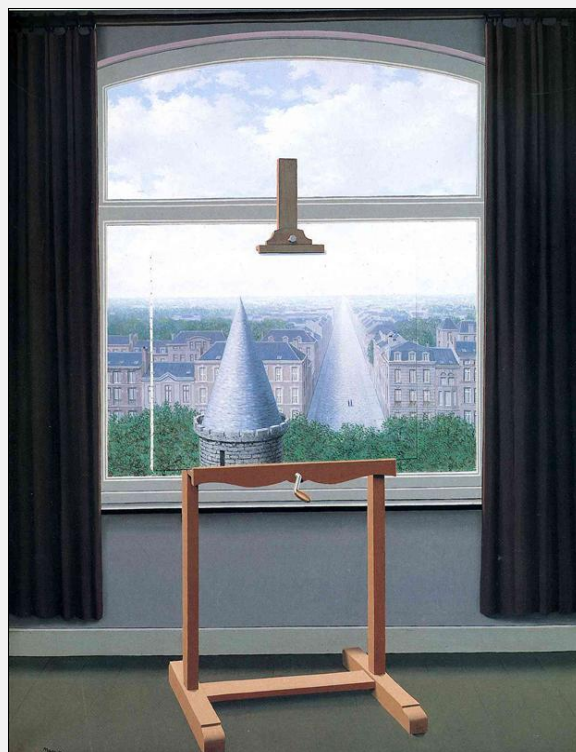
e Albert Schnyder (1898–1989): *Frau vor Spiegel*  
Grosser Abstand zwischen Frau und Spiegel → starke Verkleinerung.

## Sehen ist Interpretation

Kommen wir zurück zur ursprünglichen These: Die Welt ist nicht so, wie wir sie sehen. Unser *Auge* sieht die Welt anders als unser *ICH* sie wahrnimmt. Dabei unterliegen wir gewissermassen einem Zwang, eine „falsche“ Welt „richtig“ wahrzunehmen. Aber was ist richtig und was ist falsch?

Geometrische Projektionen können, seien sie noch so präzise, die Wahrnehmung des Raumes nicht schlüssig erklären. Die Bilder, die auf der Netzhaut des Auges entworfen werden, sind mehrdeutig (siehe später: „*Wie wir sehen*“). Es bedarf einer Reihe von *unbewussten* Entscheidungen, um *bewusst* wahrzunehmen, denn ein und dieselbe Information (→ *Optik*) kann verschieden ausgelegt werden (→ *ICH*). Die *wahrscheinlichste* Interpretation pflegen wir als „wahr“ zu bezeichnen (**Abb. 1.5**). Dazu sind wir auf Zusatzinformationen angewiesen, welche die Wahrscheinlichkeiten einschätzen und so die Interpretation der Wahrnehmung unterstützen.

**Abb. 1.5: Verschiedene Interpretations-möglichkeiten ein- und desselben Bildmotivs**



**a**

**a** René Magritte: *Les Promenades d'Euclide* 1955

Die zwei spitzen Dreiecke sehen ähnlich aus, aber: Das linke ist das Dach eines Turmes und dreidimensional, das rechte eine perspektivisch verkürzte Strasse und zweidimensional.

Die entscheidenden Zusatzinformationen sind die Rundmauer des Turms links, die perspektivische Verkürzung der Hausfassaden rechts, sowie die Lage der Schatten (Eigenschatten am Turm, Schlagschatten der Gebäude entlang der Strasse)<sup>8</sup>.

\*\*\*



**b**

**b** *Strasse in Ägypten*

Auf der Netzhaut des Auges werden einfach dunkle Dreiecke verschiedener Grösse abgebildet. Es ist das Gehirn/ICH, das ihnen eine unterschiedliche Bedeutung zuschreibt wobei hier die Zusatzinformationen nicht visuell sind, sondern auf unserer Kenntnis der Szenerie (Form und Abstand) beruhen.

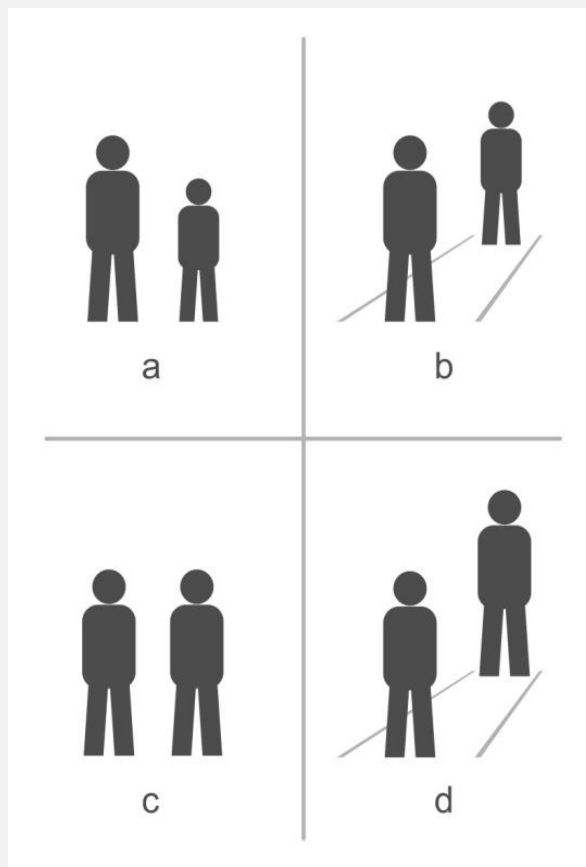
Einige Faktoren, die für perspektivische Raumdarstellungen relevant sind, mögen dies illustrieren:

*Mehrdeutigkeit von Grössen<sup>9</sup>*: Was klein ist, wird im Auge klein abgebildet. Auf Grund optischer Gesetze werden aber auch grosse Objekte, die weit von uns entfernt sind, in unseren Augen klein abgebildet. Das Visuelle System steht also jeweils vor dem Entscheid: Sehen wir ein Objekt klein, weil es nahe gelegen und klein ist, oder handelt es sich um ein grosses Objekt in grossem Abstand? Wenn wir z.B. eine kleine Person sehen, ist sie ein Zwerg, uns nahe, oder ein Riese, weit entfernt? (**Abb. 1.6**)

<sup>8</sup> Ausserdem: Das auf einer Staffelei stehende Gemälde erscheint durchsichtig. Es ist so realistisch gemalt, dass man nicht entscheiden kann, was Bild und was Wirklichkeit ist. Die entscheidenden Zusatzinformationen kommen von der senkrechten weissen Linie parallel zum Fensterrahmen links (Kante) und von dem oberen, scheinbar frei schwebenden Teil der Staffelei vor dem Querbalken des Fensters

<sup>9</sup> Suchbegriff im Internet: „Grössenkonstanz“

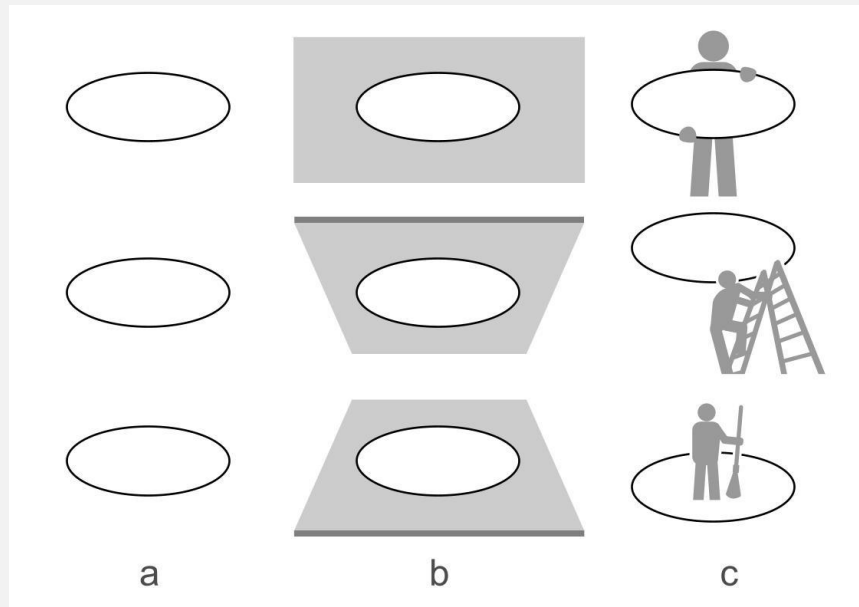
**Abb. 1.6: Mehrdeutigkeit: Klein oder weit entfernt?**



- a** Ein kleiner und ein grosser Mensch, nebeneinander gestellt.
- b** Wird die kleine Figur zwischen zwei konvergenten Linien schräg in die Höhe verlagert, so wird sie perspektivisch als weiter entfernt interpretiert und gleich gross wie die vordere Figur wahrgenommen.
- c** Zwei gleich grosse Menschen
- d** Wird die rechte Figur verlagert, so erscheint sie in unserer Wahrnehmung als Riese.

*Mehrdeutigkeit der Formen:* Beinahe alle Objekte werden nach geometrischen Gesetzen „falsch“ ins Auge projiziert. Runde Tische werden z.B. auf der Netzhaut nicht rund, sondern oval abgebildet; wenn wir aber wissen, dass sie rund sind, empfinden wir sie auch so. Bei jeder Form, die unser Auge sieht, muss unser Gehirn entscheiden, ob sie realitätsgetreu oder perspektivisch verzerrt ist (**Abb. 1.7 und 1.8**).

**Abb. 1.7: Mehrdeutigkeit: Oval oder perspektivisch deformierter Kreis?**



**a** Alle drei Ovale haben die gleiche Form. Aber sind sie tatsächlich gleich?

**b** *Oben*: Echtes Oval, frontal gesehen; *Mitte*: Kreis perspektivisch deformiert, von unten gesehen; *Unten*: perspektivisch deformierter Kreis, von oben gesehen.

Der als Referenz dienende rechteckige Rahmen wird *oben* als Rechteck, in der *Mitte* und *unten* perspektivisch deformiert als Trapez wahrgenommen.

**c** Wie **b**, die Figuren dienen hier als Zusatzinformationen für unsere Entscheidungen.



**Abb. 1.8: Mehrdeutigkeit: Spielerische visuelle Täuschung**

*Raffinierte Ausnützung der Mehrdeutigkeit*



*Sandro del Prete: Schachbrett*

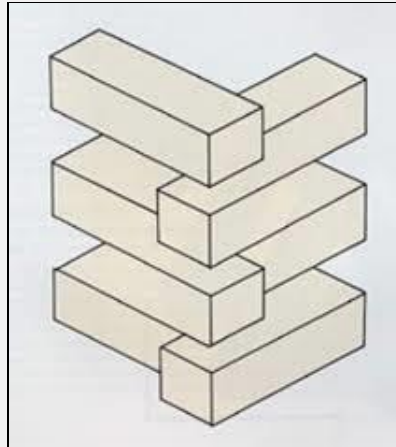
Was sehen wir von oben, was von unten? Unser Auge sieht beides zugleich, aber unser Visuelles System entscheidet, ob es die eine oder die andere Variante akzeptiert – und kann bei längerer Betrachtung spontan vom einen zum anderen wechseln.

Beide Versionen *sehen* wir zwar gleichzeitig, können sie aber nicht gleichzeitig *wahrnehmen*.

*Mehrdeutigkeit von Raum:* Bei der Wahrnehmung des Raumes werden verschiedene Pfade der Informationsverarbeitung durchlaufen. Wie bereits dargelegt, verwandelt ein *optischer* Pfad unsere *dreidimensionale* Umwelt auf der flachen Netzhaut des Auges in ein *zweidimensionales* Bild. Daraus rekonstruiert unser Gehirn/ICH auf anatomisch-physiologischen-psychologischen Pfaden das *dreidimensionale* Bild, das wir wahrnehmen.

Wenn wir nun von flachen Vorlagen ausgehen (Papier, Leinwand oder Mauerwerk) gerät unser Gehirn/ICH in einen Zwiespalt und muss entscheiden, ob es sich um ein zwei- oder dreidimensionales Motiv handelt (**Abb. 1.9**).

**Abb. 1.9: Mehrdeutigkeit: Räumlichkeit vs. Fläche**



**Unmögliche Figur**

Das auf der Vorlage Dargestellte ist völlig flach, gleichwohl nehmen wir es dreidimensional wahr. Der Zwang zu dieser Interpretation geht so weit, dass wir nicht bemerken, dass die Figur etwas Unmögliches darstellt (wie lange müssen wir sie betrachten, bis wir die Täuschung realisieren?)

Dass wir Flaches als Tiefes empfinden können, ist gewiss erstaunlich. Aber noch erstaunlicher ist, dass wir deswegen nicht einmal erstaunt sind. Alles verläuft so tief im Unbewussten, dass kaum jemand auf die Idee kommt, darüber zu staunen.

### **Lernprozesse der Wahrnehmung**

Wenn auch alle Augen die Welt in gleicher Weise sehen, so nehmen – wie bereits erwähnt - die Menschen diese nicht gleich wahr. Dies gilt insbesondere für Abbildungen auf flachen Unterlagen (Papier, Leinwand, etc.).

Historisch hat sich in unserem Kulturraum die Fähigkeit, auf flachen Vorlagen einen „realen“ dreidimensionalen Raum wahrnehmen zu können, erst in der Renaissance als Perspektive, im Rahmen der „globalen Eroberung der Wirklichkeit“, entwickelt. Im Laufe der Entwicklung ist diese Bildlesekompetenz ein intuitiver Lernprozess geworden, der seit frühester Kindheit automatisch und unbewusst abläuft. Es ginge zu weit, alle Schritte, in denen dies geschah, hier im Einzelnen abzuhandeln. Ich werde mich im Folgenden auf die Pionierleistungen in den Anfängen beschränken.

Vergleichen wir zuvor die Eroberung des Raumes mit einer anderen Eroberung der Wirklichkeit, mit der „Eroberung der Landschaft“. Seit je hatten Menschen die Landschaft gesehen, jeweils aber zweckbestimmt, als Böden zum Überbauen, als Wiesen zum Mähen, als Wasserstrassen zum Befahren.

Als eigenständiges Thema „Landschaft“ wurde sie aber erst in der Renaissance bewusst wahrgenommen, als Poeten und Maler sie als Sujet übernahmen und als Gegenstand vertieft bearbeiteten. Und seither gilt Landschaft an sich als etwas Besonderes, zu dessen Betrachtung man eigens anreist, um sie danach in einem Fotoalbum abzulegen.

Bei der „Eroberung des Raumes“ ist die Situation ähnlich. Auch „Raum“ hatte man selbstverständlich seit je gekannt. Man bewegte sich in ihm, man wusste, wieviel Zeit man brauchte, um ihn zu durchqueren, man konnte ihn ausmessen, um Besitz zu markieren. Man wusste auch, wie man in Gemälden einzelne Objekte räumlich darstellt (Siehe später: *„Raum und Räumlichkeit“*). Aber *an sich* wurde der Raum erst in der Renaissance zum Thema.

Neu war die Erkenntnis, dass der Raum mathematisch erfassbar ist, d.h. dass man ihn dank der Perspektive in seiner Dreidimensionalität auf flachem Grund abbilden kann, resp. dass er sich aus einer flachen Abbildung wieder als Raum rekonstruieren lässt (siehe später: *Konstruierte Perspektive*).

Man kann sich heute kaum mehr vorstellen, was dieser gedankliche Schritt für die Erkenntnis der Menschheit bedeutete: *„...the most important thing that happened during the renaissance was the emergence of the ideas that led to the rationalisation of sight<sup>10</sup>“*. Dass es möglich ist, Entferntes, das man selbst nie berühren und taktil erforschen, geschweige denn direkt ausmessen kann, unabhängig von seiner Distanz exakt, d.h. in rekonstruierbaren Massen wiederzugeben - dies war einer der Faktoren, die seit der Renaissance das Denken verändert haben<sup>11</sup>.

Interessanterweise betraf die Entwicklung der Perspektive lange Zeit nur Europa. In anderen Kontinenten waren, zumindest bis zur Begegnung mit Europäern, wirklich realitätsgetreue Abbildungen kein Thema. Aus alten Reiseberichten geht hervor, dass Einwohner in gewissen Teilen Asiens, Afrikas, Nord- und Südamerika, denen man Fotos oder Reproduktionen vorlegte, anfänglich darauf „nichts“ wahrnehmen konnten<sup>12</sup>.

---

<sup>10</sup> William M. Ivins Jr. : On the Rationalisation of Sight, 1938

<sup>11</sup> Die mathematischen Grundlagen waren schon in der Antike weitgehend bekannt. Seltsamerweise aber verschwanden sie danach während Jahrhunderten aus dem Wissensschatz der abendländischen Kulturen, und erst in der Renaissance wurden sie neu entdeckt und weiter ausgebaut.

<sup>12</sup> Siehe auch Wright, S.23

In diesem Kapitel wurde gezeigt, dass bei der Eroberung des Raumes nicht allein mathematische Gesetze eine Rolle spielten, sondern auch das Visuelle System: Zur Bewusstwerdung des Raumes braucht es nicht nur abstrakte Konstruktionen unabhängig von Personen, sondern auch die Menschen mit ihren spezifischen Sehgewohnheiten. Deshalb müssen wir uns als Erstes eingehend mit der Funktion des Visuellen Systems befassen.

**Was** sehen wir, wenn wir sehen?

**Wie** sehen wir, wenn wir sehen?

## 2 Wie wir sehen

### Sehtheorien:

*Sehgeradenillusion 1: Distanzprobleme*

*Sehgeradenillusion 2: Winkelprobleme*

### Der Aufbau des Visuellen Systems

*Das Kameramodell*

*Die Grenzen des Kameramodells*

*Das Gesichtsfeld*

*Das beidäugige Gesichtsfeld*

*Das zentrumsbetonte Gesichtsfeld*

*Das geteilte Gesichtsfeld*

### Grundlagen der weiteren, neuronalen Verarbeitung visueller Signale

#### Klassifikation von Bildern

*Reell vs. virtuell*

*Real vs. imaginär*

**Sehen betrifft das *Auge*,  
Wahrnehmung betrifft das *Gehirn/ICH*.**

## Sehtheorien:

Wenn auch die physikalischen Grundlagen des Sehens seit langem bekannt sind, so geistert immer noch eine alte, längst widerlegte, Vorstellung herum: Die Emissionstheorie.

Die *Emissionstheorie* postuliert, dass das Auge Lichtstrahlen aussendet (emittiert), die dann vom angepeilten Objekt reflektiert und zurück ins Auge geworfen werden. Obwohl bereits in der Antike Argumente dagegen vorgebracht worden waren (z.B. dass man dann im Dunkeln sehen müsste), sind erstaunlicherweise solche Auffassungen noch heute verbreitet<sup>13</sup>. Beim Studium einschlägiger Literatur muss man deshalb heute noch die Wahrscheinlichkeit abschätzen, ob die Autoren eventuell von derartigen Vorstellungen beeinflusst sind.

Dass die Emissionstheorie immer noch Anhänger findet, hat seinen Grund wohl darin, dass wir die Rolle unserer Augen als aktiv empfinden, wenn wir unseren Blick auf etwas – wie schon die Wortwahl zeigt – „werfen“<sup>14</sup>. Auch dass heute noch der Begriff „Sehstrahlen“ verwendet wird, wo es doch nur Lichtstrahlen gibt, ist ein Relikt der Emissionstheorie.

Der Hauptgrund für die Beständigkeit der Emissionstheorie ist vermutlich, dass diese einfach und für Laien leicht zugänglich ist.

Demgegenüber setzt die *Immissionstheorie* physikalische Kenntnisse voraus

- über die Art und Weise, wie Licht von externen Lichtquellen *produziert* wird
- über die Reflexionsgesetze, nach denen die Strahlen an den Oberflächen von Objekten *reflektiert* werden;
- über die Blendengesetze, die bestimmen, welche der reflektierten Strahlen ins *Auge* hinein gelangen (immittiert werden) (**Abb. 2.1**).

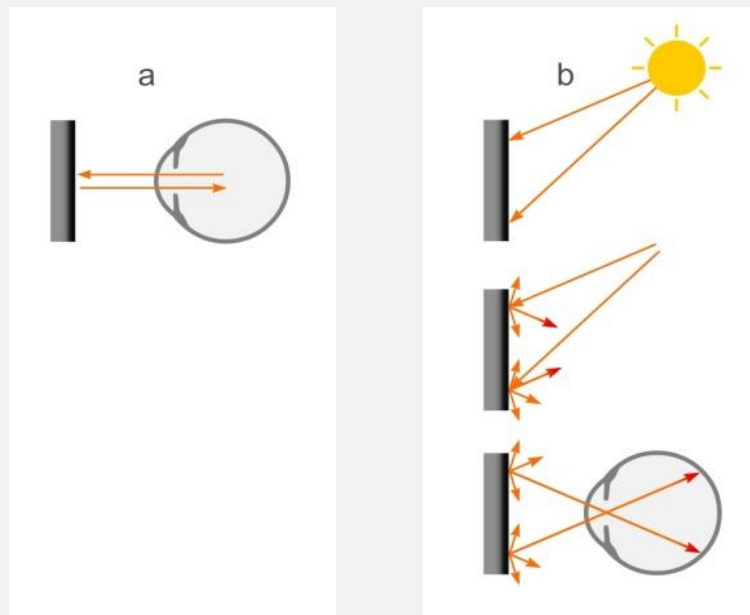
Ob Emissionstheorie oder Immissionstheorie, bei beiden sind die Strahlengänge gleich. Auf perspektivischen Konstruktionszeichnungen sieht man deshalb keinen Unterschied.

---

<sup>13</sup> Zum Beispiel glauben nach neueren Untersuchungen an einem amerikanischen College ca. 50% der Studenten an die Emissionstheorie. (siehe Winer, G. A., Cottrell, J. E., Gregg, V., Fournier, J. S., & Bica, L. A. (2002). Fundamentally misunderstanding visual perception: Adults' beliefs in visual emissions. *American Psychologist*, 57, 417-424. [1].)

<sup>14</sup> Den Blick glaubt man sogar fühlen zu können, wenn man von einer Person im Rücken angestarrt wird. In diesen Kontext gehört wohl auch der Begriff des „Bösen Blicks“

**Abb. 2.1: Emissions- und Immissionstheorie**



**a** Nach der *Emissionstheorie* sendet das Auge Lichtstrahlen aus, die vom angepeilten Objekt auf dem gleichen Weg wieder ins Auge reflektiert werden.

**b** Die *Immissionstheorie* impliziert drei Faktoren:

- Äussere Lichtquellen, die Strahlen aussenden (*oben*);
- Oberflächen von Objekten, die diese Strahlen diffus reflektieren (*Mitte*);
- Eine Pupille, die von den diffus reflektierten Strahlen diejenigen selektioniert, die vom Auge erfasst werden (*unten*).

## Eigenschaften des Lichtes (Physik) und Sehgeradenillusion (Visuelles System)

### *Sehgeradenillusion 1: Distanzprobleme*

Lichtstrahlen verlaufen bekanntlich geradlinig. Erst wenn sie auf ein Hindernis stossen, werden sie abgelenkt, d.h. reflektiert oder gebrochen. Ein Lichtstrahl vermittelt dem Auge keine Informationen über die Distanz zu seiner Quelle, wobei die Quelle sowohl der Ort, wo er produziert als auch derjenige, wo er reflektiert wurde, sein kann. Gäbe es nicht Zusatzinformationen, die allgegenwärtig für eine Orientierung sorgen, wäre unsere Umwelt eine totale Wirrnis, denn ohne sie erscheinen alle Strahlenquellen gleich weit entfernt zu sein (siehe **Selbstversuche 2.1**).



**Selbstversuche 2.1:**

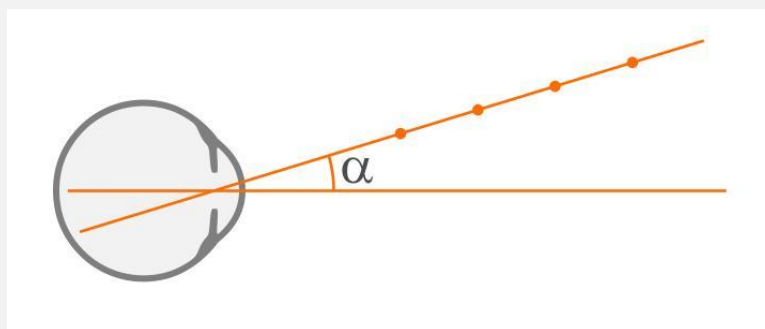
**a:** Betrachten wir den Sternenhimmel, so erscheinen uns alle Sterne in gleicher Distanz, auch wenn wir wissen, dass die Unterschiede immens sind. Die scheinbar gleichen Entfernungen sind dafür verantwortlich, dass alle Sterne auf einer Kugeloberfläche zu liegen scheinen.

**b:** Stehen wir in tiefer Nacht in freier Landschaft auf einem Hügel und blicken auf entfernte Lichter, können wir nicht entscheiden, wie weit sie von uns entfernt sind. Wir haben die Tendenz, die stärkeren Lichter als näher einzuschätzen, aber dass man sich dabei irren kann, weiss jeder Wanderer in der Nacht.

*Sehgeradenillusion 2: Winkelprobleme*

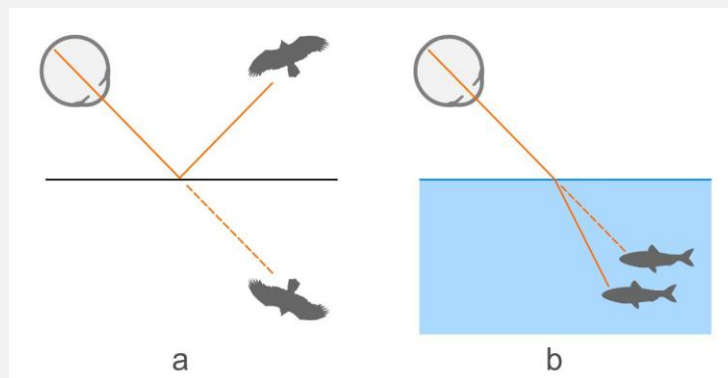
Was unsere Augen registrieren können, sind die Winkel, unter denen die Lichtstrahlen ins Auge einfallen (**Abb. 2.2**). Nicht registrieren können sie jedoch, ob die Strahlen geradlinig zum Auge gelangten. Auch wenn sie auf ihrem Weg irgendwo irgendwie abgelenkt wurden, unterliegt unser Visuelles System der Illusion, dass ihre Quelle in der Richtung liegt, in der sie ins Auge eintreten (**Abb. 2.3**).

**Abb. 2.2: Informationen durch Lichtstrahlen**



Den Abstand von potentiellen Lichtquellen (hier als Punkte eingezeichnet) können wir nicht wahrnehmen, wohl aber den Einfallswinkel  $\alpha$ .

**Abb. 2.3: Die Sehgeradenillusion**



**a Lichtreflexion an einem Spiegel**

Der Strahl des vom Objekt ausgestrahlten Lichtes wird an der Spiegeloberfläche reflektiert. Wir aber sehen das Objekt in der Verlängerung des im Auge eintreffenden Lichtstrahls. Dass es sich um Illusionen handelt, lässt sich leicht feststellen, denn hinter dem Spiegel findet man keine Lichtstrahlen.

**b Lichtbrechung an einer Wasseroberfläche**

Lichtstrahlen werden an der Wasseroberfläche „gebrochen“. Das Visuelle System jedoch nimmt sie ungebrochen wahr, sodass wir im Wasser befindliche Objekte höher lokalisieren, als sie tatsächlich sind. Dass auch dies Illusionen sind, erfährt man beim Versuch, Objekte unter einer Wasseroberfläche zu greifen.

Aus den Sehgeradenillusionen geht hervor, dass wir uns im Raum nicht orientieren können, wenn wir nicht über Zusatzinformationen verfügen. Das gilt auch für die Wirkung von Bildern. Das Auge kann nicht entscheiden, ob ein einfallender Lichtstrahl von einem Gemälde oder von einer Realität stammt. Der Maler weiss natürlich, ob diese Realität existiert, oder ob er sie erfunden hat. Der Betrachter hingegen braucht Zusatzinformationen (z.B. Bildrahmen, Buchseiten), um zu beurteilen, ob es sich um eine Abbildung handelt oder nicht.

## Der Aufbau des Visuellen Systems

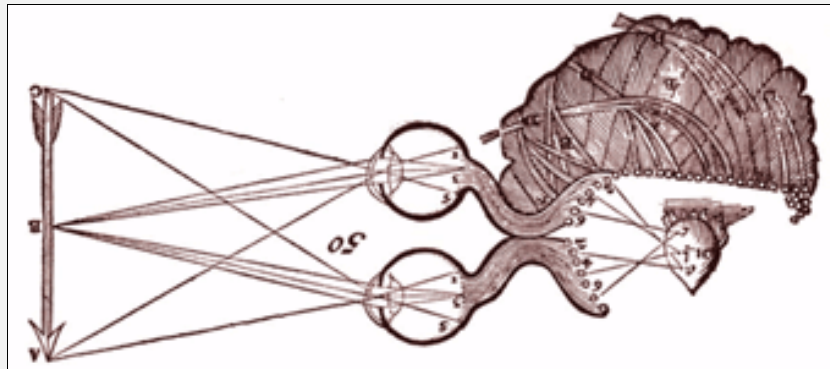
*Anatomisch* besteht das Visuelle System aus den Augen, den Sehnerven, und dem Grosshirn (**Abb. 2.4**).

*Physiologisch* unterscheidet man einen optischen, einen neuralen und einen psychologischen Anteil. Der optische Teil befindet sich in den vorderen Abschnitten des Auges (Hornhaut und Linse). Der neurale Teil beginnt an der Rückseite des Auges (Netzhaut) und setzt sich fort über die Sehnerven ins Grosshirn. Der psychologische Teil führt zum ICH.

Die Informationen werden in der optischen Phase als *elektromagnetische* Signale, und im Gehirn als *elektrochemische* Signale transportiert. Die Umschaltstelle ist die Netzhaut. Der Umschaltungsmodus von der Elektrochemie des Gehirns zum Bewusstsein (ICH) ist unbekannt.

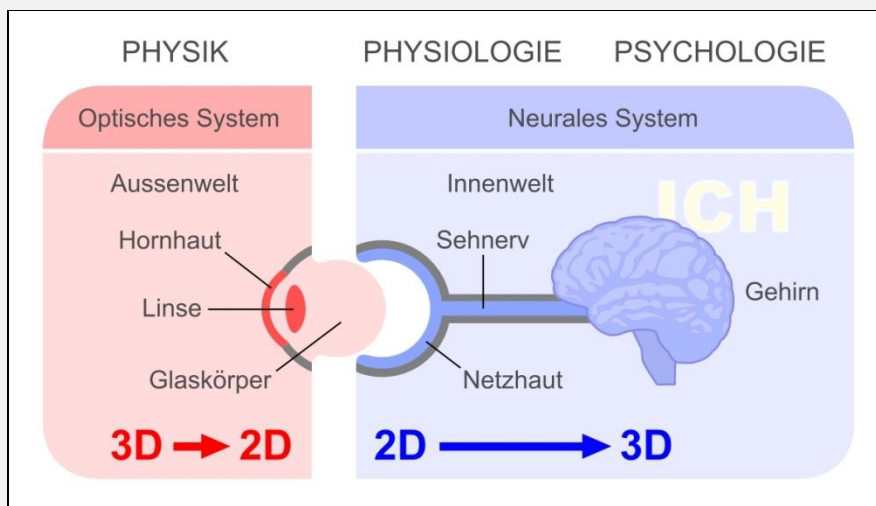
*Funktionell* geht es – wie eingangs erwähnt - um die Transformation von Dimensionen: Der optische Teil verwandelt die dreidimensionale Umwelt in ein zweidimensionales Abbild auf der Netzhaut. Der neurale Teil rekonstruiert dann aus dem zweidimensionalen Netzhautbild wieder eine dreidimensionale Welt in unserem ICH.

**Abb. 2.4: Aufbau des Visuellen Systems**



*Optik und Visuelles System nach René Descartes (1596 - 1650)  
(Vertikal gekippt)*

Lichtstrahlen gelangen von einem Objekt (senkrechter Pfeil *links*) ins Auge. Von dort gibt es Verbindungen zum Gehirn, nach damaliger Auffassung fälschlicherweise zur Zirbeldrüse



*Moderne Interpretation*

Im *optischen* Abschnitt (*rot*) wird *elektromagnetische* Energie verarbeitet. Die einfallenden Lichtquanten (Photonen) bilden die Aussenwelt ab.

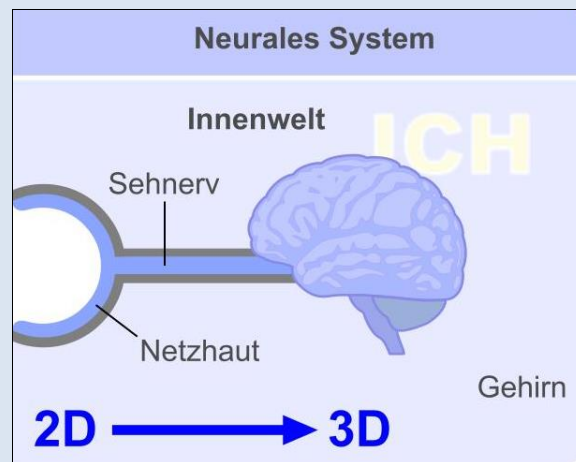
Im *neuralem* Abschnitt (*blau*) hingegen geht es um *elektrochemische* Signale. Diese werden entlang anatomischer Strukturen (Rezeptoren, Nervenfasern, Synapsen („Hardware“) geleitet und mittels Programmen („Software“) verarbeitet.

Die Umschaltstelle ist die Netzhaut des Auges, ein vorverlagerter Teil des Gehirns, deren Sinneszellen (Zäpfchen und Stäbchen) die elektromagnetischen in elektrochemische Signale umwandeln.

Der *psychische* Abschnitt (*weiss*) ist das immaterielle ICH.

Fliessen die Informationen vom Auge zum ICH, so spricht man von *Bottom-Up* Prozessen. Fliessen sie hingegen in umgekehrter Richtung, so werden sie als *Top-Down* Prozesse bezeichnet (siehe **Exkurs 2.1**).

### Exkurs 2.1: Top → Down / Bottom → Up



**Bottom** ⇒ ⇒ ⇒ ⇒ ⇒ **Up**  
**Down** ⇐ ⇐ ⇐ ⇐ ⇐ **Top**

*Bottom-Up* sind Impulse, die in der Netzhaut gestartet werden und im ICH zur Wahrnehmung werden, z.B. die Bilder, die wir sehen.

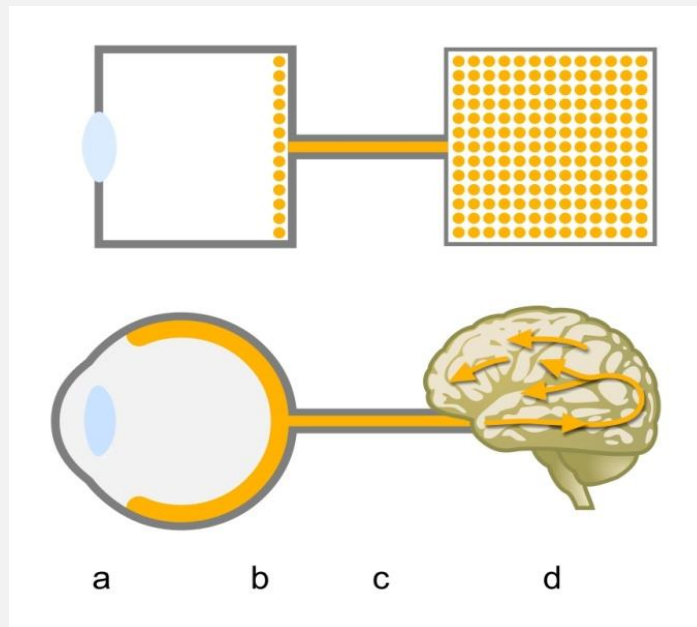
*Top-Down* sind Befehle, die das ICH dem Körper erteilt, z.B. die Augen mittels der Augenmuskeln auf ein Ziel auszurichten.

Die beiden Prozesse sind eng ineinander verwoben: Das ICH kann ein Ziel nur wahrnehmen, wenn es die Augen dorthin richtet – aber es kann die Augen nicht dorthin wenden, wenn es das Ziel nicht bereits wahrgenommen hat<sup>15</sup>.

### Das Kameramodell

Um die Abläufe zu erklären, liegt ein Vergleich mit einer Kamera nahe. Wie diese enthält das Auge ein Linsensystem, eine Blende, eine lichtempfindliche Schicht an der Rückwand und schliesslich Verbindungen zu einem Empfänger (**Abb.2.5**).

**Abb. 2.5: Gegenüberstellung von Videokamera und Visuellem System**



**a** Optik

**b** Lichtaufnahme

**c** Verbindung

**d** Empfänger

**Kamera:**

Linsensystem

Sensor

Verkabelung

Monitor

**Auge:**

Hornhaut und Linse

Netzhaut

Sehnerv

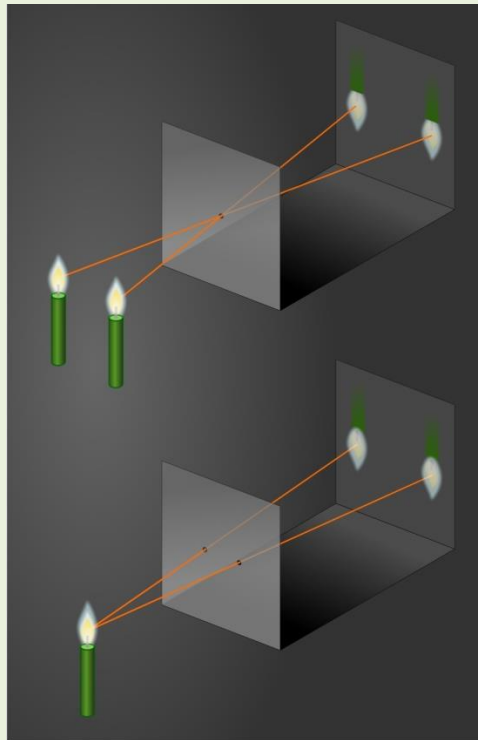
Gehirn

<sup>15</sup> Wie komplex die Interaktionen der beiden Prozesse sind, zeigen Messungen in neuerer Zeit (siehe z.B. <http://gepris.dfg.de/gepris/projekt/210252637/ergebnisse> )

Voraussetzung für die Entstehung einer Abbildung ist, dass die Lichtstrahlen/Lichtquanten präzise gebündelt werden, und zwar so, dass diejenigen, die von einem bestimmten Punkt der Umwelt stammen, auf einer Bildfläche wieder als Punkt erscheinen (siehe **Selbstversuch 2.2**). Dies geschieht mittels Blenden und Linsensystemen nach den gleichen optischen Gesetzen sowohl in Kameras als auch in Augen.

### **Selbstversuch 2.2: Abbildungsprinzip, demonstriert anhand einer Lochkamera**

*Oben:* Man nehme eine Schachtel und bringe an einer der Wände ein Loch an. Dann zünde man vor ihr zwei Kerzen an. Verdunkelt man dann den Raum, werden beide Flammen an der Rückwand - auf dem Kopf stehend - abgebildet.



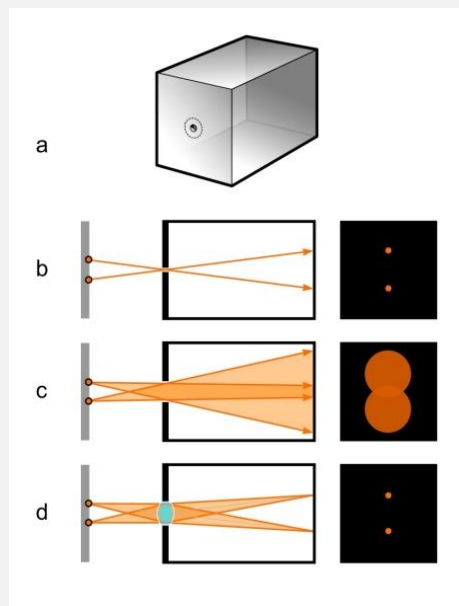
*Unten:* Man bringe nun ein zweites Loch an und benütze dieses Mal nur eine einzige Kerze. Wiederum entsteht ein Doppelbild.  
Verblüffend: Es genügt, ein zweites Loch anzubringen, und es entsteht ein zweites Bild in genau gleicher Qualität!

*Variationen:*

1. Man setze den 1-Kerzenversuch mit beliebig vielen Löchern fort und beobachte den Effekt.
2. Man vergrößere den Abstand der Kerzen vom Loch und beobachte den Effekt.
3. Man vergrößere den Abstand vom Loch zur Rückwand und beobachte den Effekt.

Aus **Abb. 2.6** wird ersichtlich, dass für die *Entstehung* von Abbildern - im Gegensatz zu weitverbreiteten Ansichten - nicht die Linsen, sondern die Blenden massgebend sind. Die Aufgabe der Linsen ist lediglich, die *Qualität* der Abbildungen, d.h. ihre Schärfe, zu verbessern. Im Folgenden werden deshalb in den Augenschemata die Linsen nicht mehr dargestellt, sondern nur die Blenden, d.h. die Pupillen.

**Abb. 2.6: Optische Grundlagen zur Entstehung von scharfen Abbildungen:**



#### Organisation der Lichtstrahlen mittels Blenden und Linsen

**a** Lochkamera (camera obscura): Dunkelkammer mit Lochblende

**b** Bei *punktförmiger* Blende tritt von jedem Punkt auf der Oberfläche eines Objektes nur ein einziger Lichtstrahl ins Innere, und dieser entwirft auf der Rückseite der camera obscura wieder einen einzelnen Punkt. Die resultierende Abbildung wird scharf („Punkt für Punkt“), aber lichtschwach.

**c** Bei *weiter* Blende werden breite Strahlenbüschel durchgelassen, und dadurch wird die Abbildung lichtstärker. Die Büschel sind jedoch divergent und entwerfen breitere Lichtflecken. Da sich diese überlappen, wird die Abbildung unscharf.

**d** Mittels einer Sammellinse in der Blende lässt man die divergenten Strahlenbündel konvergieren, sodass sie auf der Rückseite wieder zu Punkten werden. Die Abbildung wird sowohl lichtstark als auch scharf, dies allerdings nur in einem genau definierten Abstand von der Linse (Fokus).

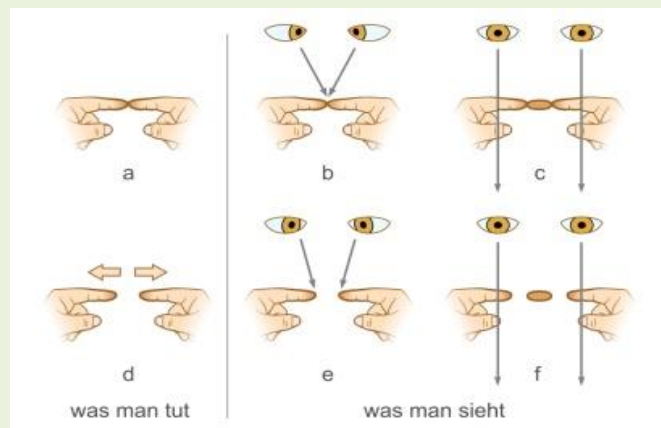
### Die Grenzen des Kameramodells

Bei der Netzhaut des Auges endet allerdings die Analogie. Das visuelle System funktioniert im Gegensatz zu einer Kamera nicht wie ein Reproduktionsapparat, der eingehende Informationen Bit für Bit, d.h. eins zu eins, wiedergibt. Vielmehr arbeitet es selektiv, indem es wichtige Signale hervorhebt und andere als überflüssig unterdrückt.

An keiner Stelle des Visuellen Systems, der Innenwelt, entsteht etwas, das man als Abbildung auffassen könnte. Was man – zumindest bis heute – nachweisen kann, sind multiple Zentren, verteilt im Gehirn, die bei bestimmten Stimulationen der Netzhaut reagieren. Aus der Menge der Signale entsteht dann im immateriellen ICH der *Eindruck* eines Bildes.

Allein, das visuelle System kann auch Bildeindrücke erzeugen, die nicht mit den Abbildungen auf der Netzhaut übereinstimmen. Ein verblüffendes Beispiel zeigt der einfache **Selbstversuch 2.3**.

**Selbstversuch 2.3:**  
**Demonstration der Aktivierung und Unterdrückung visueller Signale**  
**(„Fliegende Wurst“)**



**a** Man halte die beiden ausgestreckten Zeigefinger in ca. 25 cm Abstand vor das Gesicht, und zwar so, dass sie sich berühren.

**b** Wenn man direkt (mit konvergierenden Augen) auf die Finger blickt, sieht man sie in ihrer normalen Form.

**c** Blickt man hingegen durch die Finger hindurch (mit paralleler Augenstellung) weit in die Ferne, erscheint zwischen den Fingerkuppen eine Wurst.

**d-f** Man ziehe jetzt die Finger auseinander und wiederhole das Procedere. In **f** erscheinen nun die Fingerspitzen verkürzt und dazwischen schwebt die Wurst frei.



Der Selbstversuch beweist, dass wir

- Dinge *nicht* sehen, die da sind (Teile der Finger)
- Dinge sehen, die *nicht* da sind (eine Wurst)
- Dinge *falsch* sehen (Leerstellen an Stelle der Finger)
- Dinge sehen, die gar *nicht existieren* können (frei *schwebende* Wurst)

## Das Gesichtsfeld

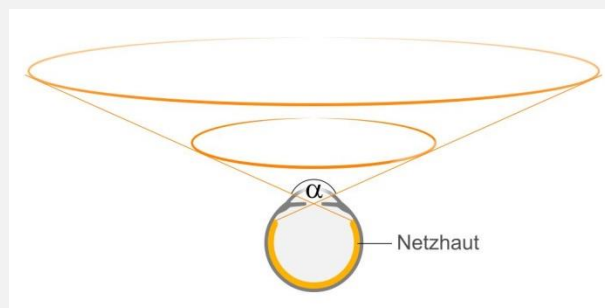
### Gesichtsraum vs. Gesichtsfeld

Was man als Gesichtsfeld bezeichnet, ist eigentlich ein Gesichtsraum, der denjenigen Teil der Umwelt umfasst, den wir mit unbewegtem Auge überblicken – d.h. der Teil, der bei unbewegtem Auge auf der Netzhaut abgebildet wird. Er liegt innerhalb eines Kegels, dessen Spitze im Auge liegt. Daraus folgt, dass man von Nahegelegenem nur einen kleinen Ausschnitt der Umwelt, von Fernem hingegen ein weites Feld sieht (→ *Optik*). Dessen nicht bewusst interpretieren wir jedoch den ganzen Raum als Einheit, obwohl wir davon in der Nähe nur wenig und in der Ferne viel sehen (→ *Visuelles System*).

(Siehe später: „Beobachtete Perspektive,“)

Das Gesichtsfeld, wie man es auf Papier aufzeichnet, ist ein Querschnitt durch den Gesichtsraum. Entsprechend ist es nahe dem Auge enger als in weiter Entfernung (**Abb. 2.7**).

**Abb. 2.7: Das Gesichtsfeld**



**a**

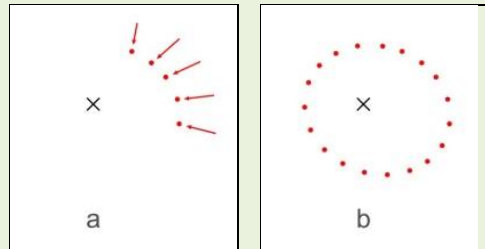
**a** Das Gesichtsfeld ist, geometrisch formuliert, die Projektion der Netzhaut (*gelb*) in die Aussenwelt, definiert durch den Winkel  $\alpha$  an der Kegelspitze.

Je grösser der Abstand vom Auge, desto grösser wird das Gesichtsfeld.

**Selbstversuch 2.4:**

**Untersuchung der Aussengrenzen des Gesichtsfeldes:**

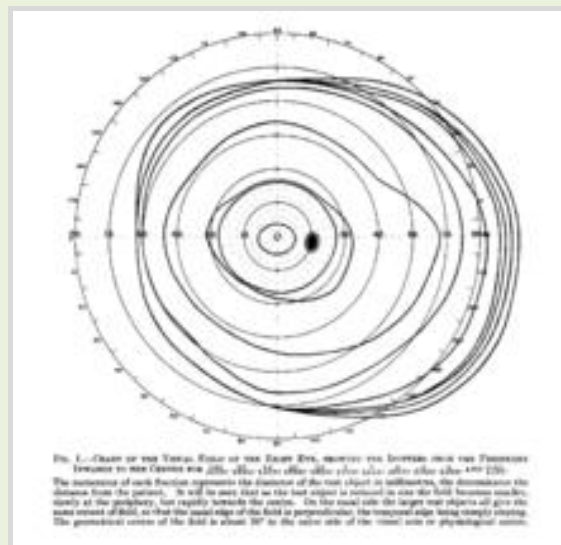
Man bezeichne auf einer Wand den Fixierpunkt (X) und fordere den Beobachter auf, das eine Auge zu schliessen und mit dem anderen starr auf den Punkt zu blicken.



**a** Dann bewege man ein kleines, aber markantes Objekt (z.B. den Lichtfleck eines *Laserpointers*) von weit aussen gegen den Fixierpunkt zu. Sobald der Lichtfleck erkannt wird, markiert man die entsprechende Stelle auf der Wand.

**b** Die gleiche Prozedur führt man in mehreren Meridianen durch und erhält so die Gesichtsfeldaussegrenzen.

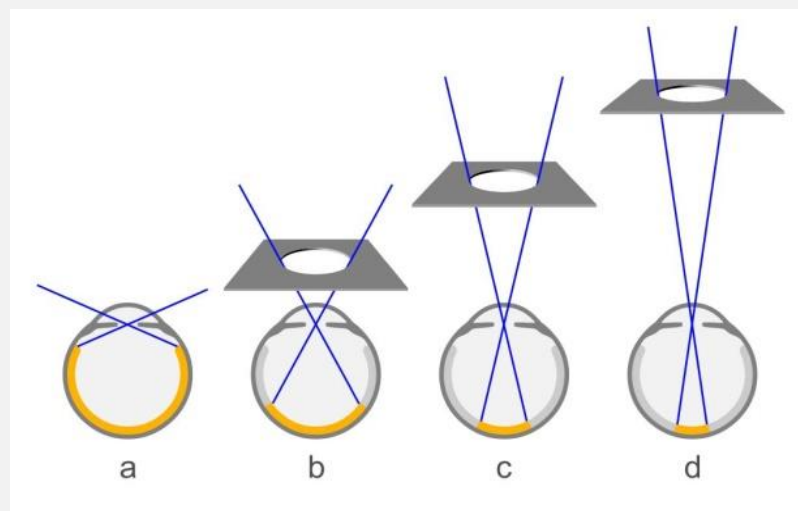
Wiederholt man das Ganze in verschiedenen Abständen von der Wand, wird das Gesichtsfeld proportional zum Abstand grösser oder kleiner.



**d** Bei der Untersuchung des Gesichtsfeldes hängen die Aussengrenzen von den Eigenschaften der zur Prüfung verwendeten Reizmarke (Stimulus) ab. Je nach Grösse, Form, Helligkeit, Kontrast zur Umfeldbeleuchtung werden die Grenzen („Isopteren“) eng oder weit



*Künstliche Blenden:*



**a** Die Pupille wirkt als Blende, ist aber- technisch ausgedrückt - keine *Gesichtsfeldblende*, sondern eine *Aperturblende*, d.h. sie reguliert die Menge des einfallenden Lichtes, beeinflusst aber nicht die Größe des Gesichtsfelds (gelb: beleuchtete Netzhautfläche → Gesichtsfeld)<sup>16</sup>.

**b** Sobald eine Blende in einem Abstand vor der Pupille steht, wird sie zur Gesichtsfeldblende und verkleinert den Gesichtsfeldwinkel.

**c und d** Je weiter entfernt die Blende, desto stärker wird das Gesichtsfeld eingengt.

**Selbstversuch 2.5:**

Man nehme einen Karton von der Größe eines Brillenglases und schneide in dessen Mitte ein Loch von ca. 1 cm Durchmesser.

Zuerst halte man den Karton so nahe ans Auge als möglich, dann vergrößere man den Abstand und beobachte, wie das Loch das Gesichtsfeld immer mehr einengt („*Schlüsselloch-Phänomen*“).

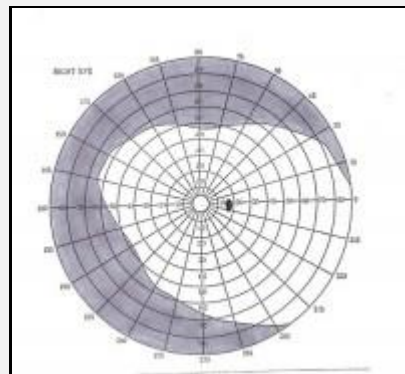
<sup>16</sup> Als Vergleich eine Kamera: Wenn man deren Blende verändert, so ändert sich die Größe der Bilder nicht, sondern nur ihre Helligkeit

## Das beidäugige Gesichtsfeld (Grundlage des stereoskopischen Sehens)

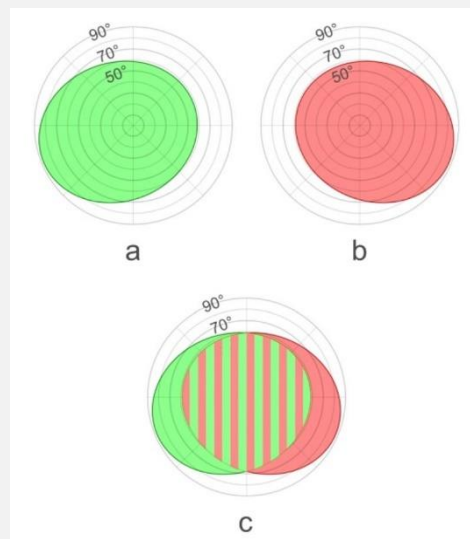
Blickt man mit beiden Augen gleichzeitig, so überlappen sich Teile der beiden Gesichtsfelder. Dennoch sehen wir nicht doppelt, denn das Visuelle System verrechnet beide miteinander zu einer zweiäugigen (*binokularen*) Einheit (**Abb. 2.9 c**).

(siehe später: Programm *Binokularsehen*)

**Abb. 2.9: Beidäugige und einäugige Gesichtsfeldabschnitte**



Einäugiges Gesichtsfeld,  
(Wiederholung der **Abb. 2.8**)



**a** und **b** Linkes und rechtes Gesichtsfeld, jeweils einäugig gesehen

**c** Mit beiden Augen gesehen, überlappen sich die beiden Felder im zentralen und nasenwärts gelegenen Teil. (Auf die Konsequenzen gehe ich später ein; siehe *Binokularsehen*)

## Das zentrumsbetonte Gesichtsfeld

(Der Einfluss der Netzhautorganisation)

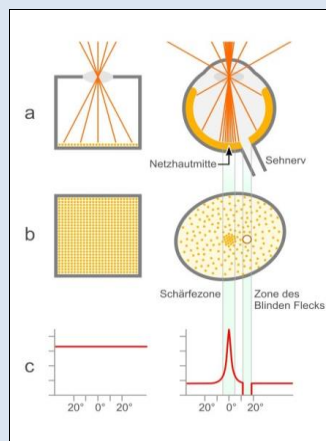
### Anatomische Grundlagen

Der Abstand der Sinneszellen („Fotorezeptoren“) in der Netzhaut bestimmt die *Sehschärfe*, definiert als Auflösungsvermögen (d.h. die Fähigkeit, getrennte Punkte getrennt wahrzunehmen). Je dichter die Zellen nebeneinander stehen, desto höher das Auflösungsvermögen. Im Gegensatz zu einer Kamera sind in den Augen die lichtempfindlichen Elemente (Rezeptoren) ungleichmässig verteilt, mit maximaler Dichte in der Netzhautmitte (siehe **Exkurs 2.2**).

#### Exkurs 2.2: Vergleich von Kamera und Auge in Bezug auf die Rezeptoren

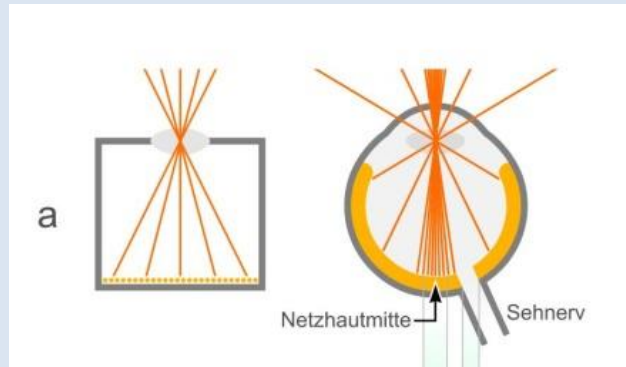
In einer *Kamera* stehen die Rezeptoren überall in gleicher Dichte. In der *Netzhaut* hingegen ist die Konzentration der Sinneszellen im Zentrum am höchsten und fällt in der Peripherie steil ab<sup>17</sup>. Deshalb ist das Auflösungsvermögen nur in der Mitte des Gesichtsfeldes genügend hoch zum Zeichnen, Kupferstechen und Malen, d.h. zur Wahrnehmung der Spitze von Schreibgeräten, Stacheln und feinen Pinseln. Peripherwärts nimmt die Sehschärfe ab und reduziert sich schliesslich auf das Erkennen von Handbewegungen.

Die Aufnahme der Lichtstrahlen (resp. Photonen) in der Netzhaut hängt ab von der Position der Rezeptoren und lässt sich auf verschiedene Weise darstellen:

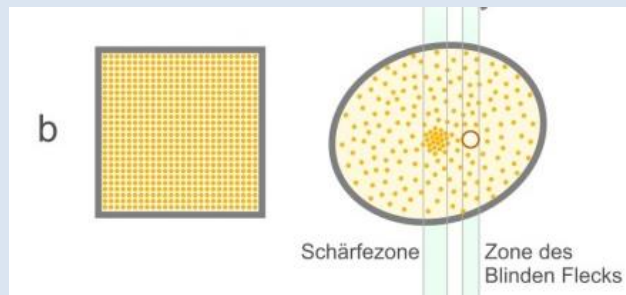


Kamera links, Auge rechts

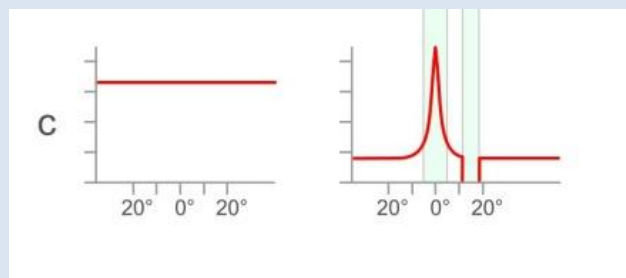
<sup>17</sup> Bei den Sinneszellen unterscheidet man einesteiils die Zapfen für das Sehen bei hohen Lichtintensitäten und für das Farbsehen; anderenteils die Stäbchen für das Dämmerungssehen. Da für unser Thema nicht relevant, wird hier nicht näher darauf eingegangen.



**a** Darstellung als Aufnahme der Lichtenergie: In einer Kamera wird über der ganzen Sensorfläche die Lichtenergie gleichmässig transformiert. In der Netzhaut des Auges hingegen wird die Netzhautmitte betont.



**b** Darstellung als Verteilung der Sinneszellen: In der Kamera ist die Verteilung der Rezeptoren (Pixel) gleichmässig. Im Auge hingegen ist die Dichte der Rezeptoren (Sinneszellen) im Zentrum der Netzhaut höher als in der Peripherie.



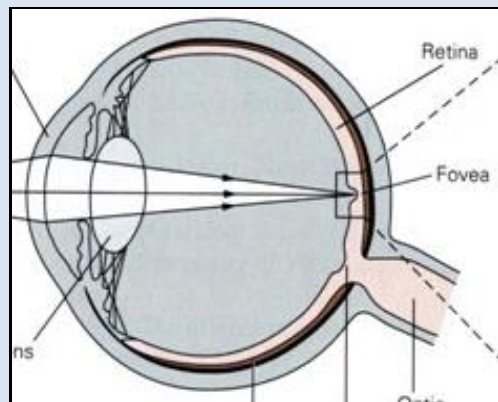
**c** Darstellung als Auflösungskurve: In einer Kamera ist das Auflösungsvermögen über der ganzen Fläche gleich, die Kurve ist eine horizontale Gerade. In der Netzhaut hingegen ist die Auflösung nur in einem kleinen Areal von 10-15 Grad hoch („Schärfefeld“) und nimmt peripherwärts drastisch ab („Orientierungsfeld“).

*Beachte:* Im Schema gibt es einen Nullfleck, der an der Stelle des Sehnervenaustritts liegt (a), wo keine Rezeptoren existieren. Im Gesichtsfeld (b) entsteht dort der *Blinde Fleck*. Im Auflösungsdiagramm (c) sinkt die Kurve auf Null.

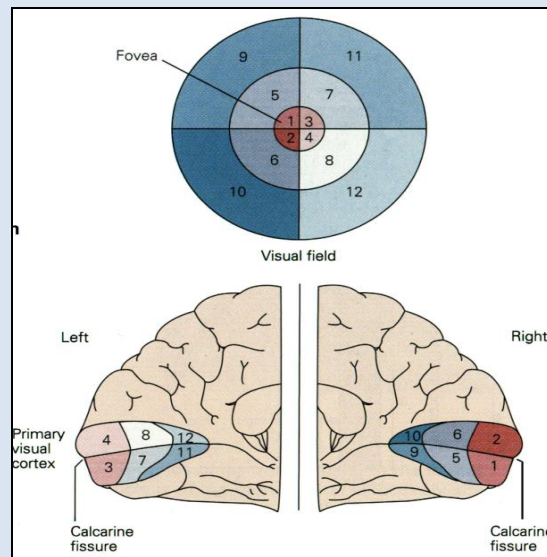
Wie wichtig die Betonung des Gesichtsfeldzentrums für unser Sehen ist, reflektiert sich nicht nur in der Dichte der Sinneszellen in der Netzhaut, sondern auch im Gehirn: Das Areal in der Gehirnrinde, das die Netzhautmitte repräsentiert, ist überproportional gross im Verhältnis zur Repräsentation des übrigen Gesichtsfeldes (siehe **Exkurs 2.3**)

**Exkurs 2.3:  
Überrepräsentation der Netzhautmitte in der Sehrinde des Gehirns  
(Amplifikation)**

Im Vergleich zur winzigen Fläche des Sehschärfefeldes in der *Netzhaut* ist dessen Areal in der Sehrinde des *Gehirns* immens.



Die Zone der höchsten Sehschärfe, die Fovea centralis, nimmt nur 0,1% der Netzhautfläche ein



In der Sehrinde des Gehirns hingegen beträgt ihr Anteil mindestens 8%



*Die Funktion des Gesichtsfeldzentrums*

Die **Abb. 2.10** zeigt anschaulich die Unterschiede in den Abbildungseigenschaften zwischen der Netzhautmitte (foveal vision) mit ihrer Schärfezone und der Netzhautperipherie, die bloss der allgemeinen Orientierung dient<sup>18</sup>.

**Abb. 2.10: Ausdehnung des Schärfefeldes an einem praktischen Beispiel**



Im engen *Schärfefeld* (foveal vision) ist das Motiv scharf und vollfarbig. Im unmittelbaren *Umfeld* bleibt es gerade noch erkennbar. In der *Peripherie* wird das Bild unscharf bis zur Unkenntlichkeit und verliert seine Farbe.

Um sich in einem Selbstversuch eine Vorstellung zu machen, fixiere man in einem Text eine Zeile und versuche die Zahl der Zeichen abzuschätzen, die man scharf sieht. Erstaunt wird man feststellen, dass das Schärfefeld bei Normalschrift knapp ein längeres Wort umfasst. Was daneben steht, ist zwar unlesbar, beim Lesen jedoch unentbehrlich, um die Zeile halten zu können (**Selbstversuch 2.6**).

---

<sup>18</sup> Die Netzhautperipherie hat allerdings noch eine weitere wichtige Funktion, indem sie dem Gehirn die Feedbacks zur Steuerung der Augenmotilität vermittelt. Sie reagiert äusserst empfindlich auf Bewegungen und führt unsern Blick geradezu zwanghaft auf jedes Objekt, das plötzlich in der Peripherie auftaucht.

**Selbstversuch 2.6: Demonstration der Schärfezone im zentralen Gesichtsfeld**

Um die Ausdehnung der zentralen Schärfezone zu erfassen, fixiere man die Mitte der untenstehenden Zeilen und prüfe, wie viele Zahlengruppen man mit unbewegtem Auge aufs Mal lesen kann.

---

234 567 890 543 682 783 433 258 796 209 889 453 752 778 663 231

---

234 567 890 543 682 783 433

---

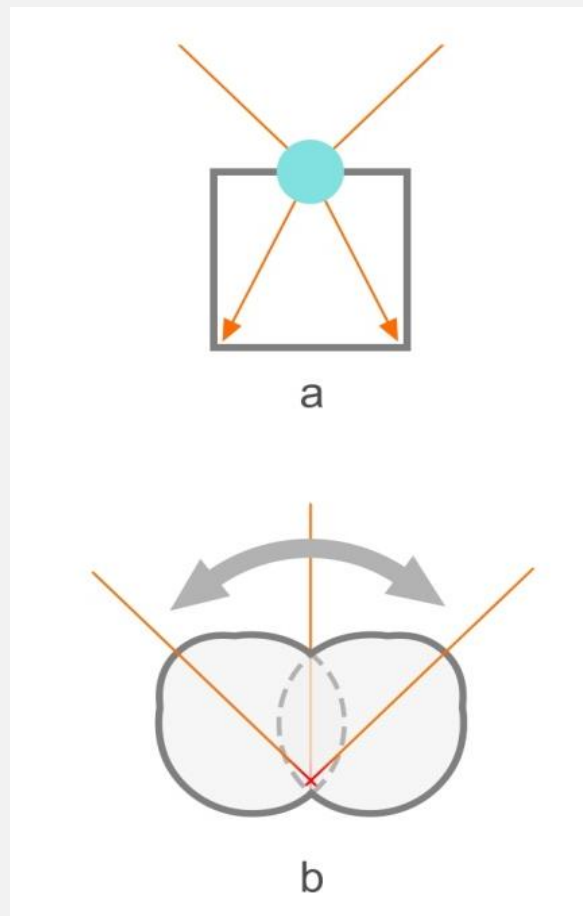
234 567 890 543 682

---

Wenn man die Bedeutung des peripheren Gesichtsfeldes erfahren will, enge man dieses ein, indem man durch eine Röhre mit dem Durchmesser des Schärfefeldes blickt und versucht, mit dem eingeschränkten Gesichtsfeld die Zeilen über eine längere Strecke zu verfolgen.

Die beschriebene Organisation des Gesichtsfeldes bedeutet, dass wir den Raum nicht so wahrnehmen wie eine Kamera. Nur die Netzhautmitte sieht ihn scharf genug. Für die weitere Umgebung braucht es *Augenbewegungen*, die das zentrale Schärfefeld auf den Ort des Interesses lenken (**Abb. 2.11**).  
(siehe später: *Beobachtete Perspektive*)

**Abb. 2.11: Vergleich von Kamera und Auge in Bezug auf Abbildungen ausgedehnter Räume**

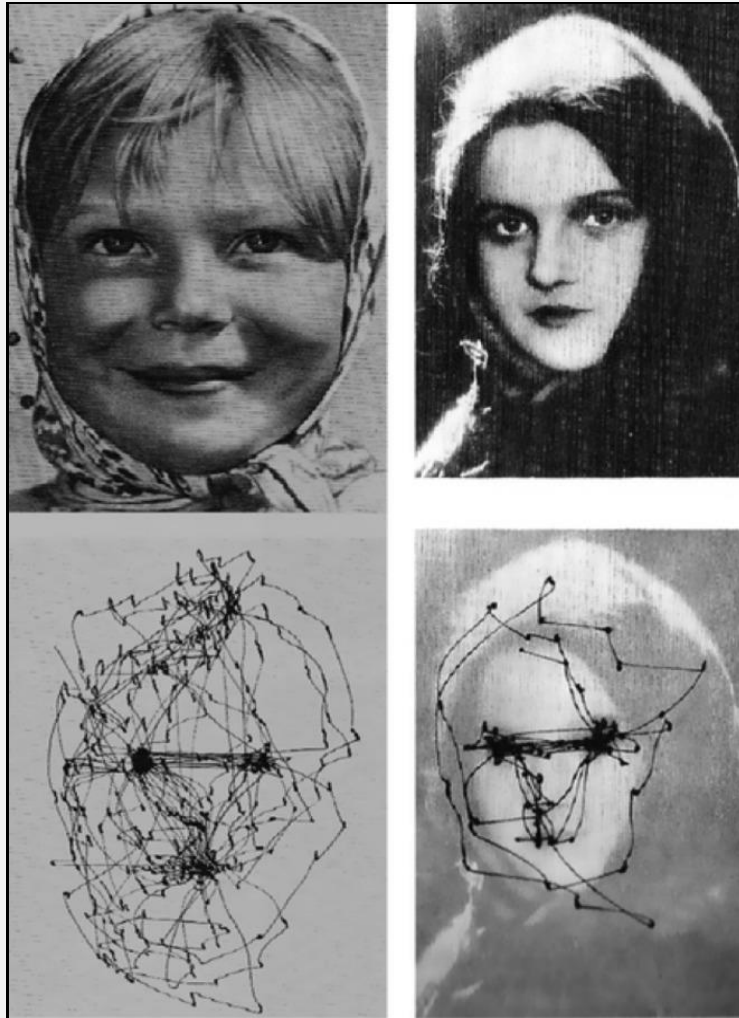


**a Kamera:** Erfassen des Raumes mit optischen Mitteln: Weitwinkellinse („Fischaug“). Das Resultat ist eine Momentaufnahme des ganzen Feldes.

**b Auge:** Erfassen des Raumes durch Augenbewegungen, welche das Schärfefeld auf den Ort des jeweiligen Interesses lenken. Das Gesamtbild entsteht aus einer Analyse der räumlichen und zeitlichen Bildsequenzen.

Im Gegensatz zu einer Kamera sehen wir somit unsere Umwelt nicht als momentanes Standbild, sondern in Segmenten, die erst in unserem Gehirn zu einem Gesamtbild zusammengefügt werden. Unser Sehen ist somit gekoppelt an Augenbewegungen (**Abb. 2.12**). Was wir sehen, sind zeitlich und räumlich verschobene Sequenzen, die wir dank speziellen visuellen Programmen (*siehe später*) als Einheit wahrnehmen.

**Abb. 2.12: Absuchen eines Bildes mit dem Schärfefeld**



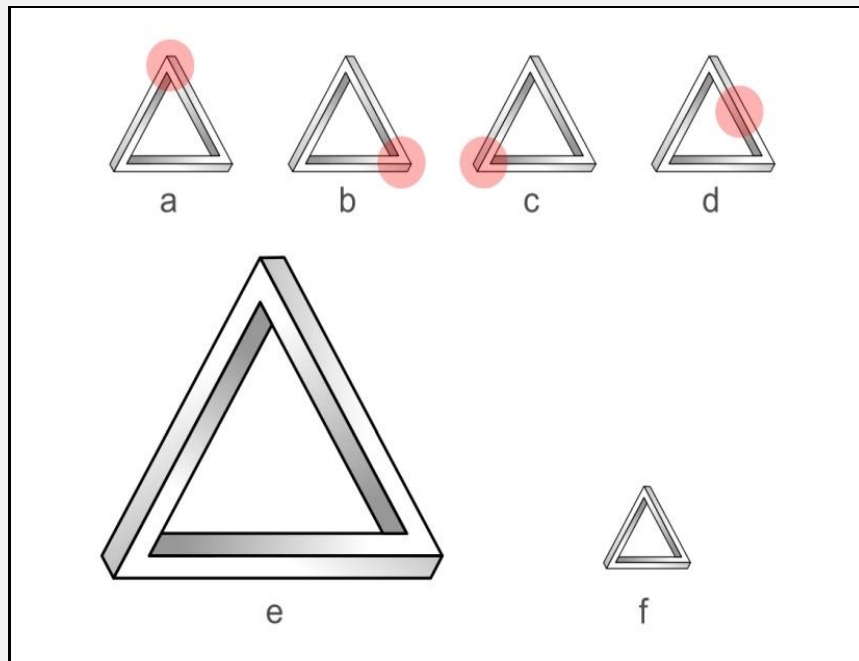
*Registrierung von Augenbewegungen beim Betrachten von Gesichtern.*  
Die Augenbewegungen erfolgen nicht etwa zufällig, sondern sind zielgerichtet auf Merkmale, die besonders „wichtig“ erscheinen, wie z.B. Augen und Mund.

#### *Visuelle Täuschungen als Beispiele*

Als eindruckliche Beispiele für segmentales Sehen mögen visuelle Täuschungen dienen, bei denen sich das Gehirn beim Zusammensetzen der Zentralfelder irrt: „Unmögliche Figuren“, die wir als korrekt wahrnehmen und dabei übersehen, dass sie unmöglich sind (**Abb. 2.13**).

**Abb. 2.13: Visuelle Täuschungen als Beispiele für segmentales Sehen**

*Das „unmögliche“ Penrose-Dreieck*



**a** Richten wir das Schärfefeld auf die obere Spitze, so erscheint uns diese korrekt.

**b** und **c** Wenden wir nun das Schärfefeld auf die beiden anderen Spitzen, so erscheint jede einzelne ebenso korrekt zu sein, obwohl sie geometrisch nicht dem gleichen Dreieck angehören kann

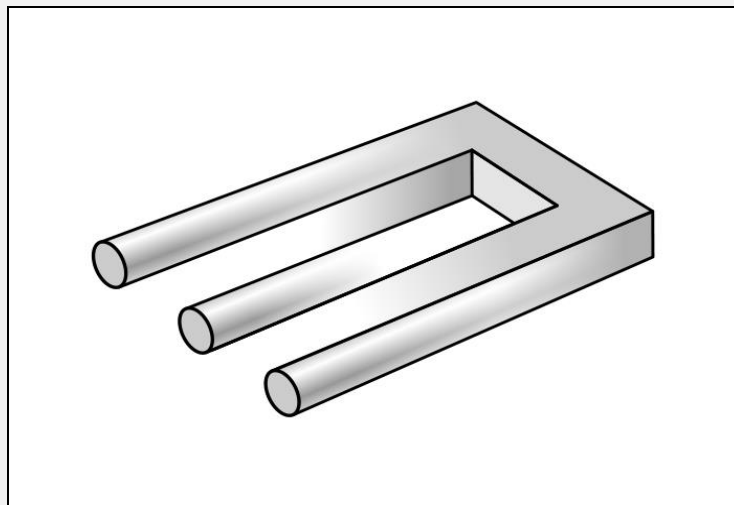
**d** Die drei Spitzen werden durch Verbindungsgeraden zusammengehalten, die wir im Schärfefeld ebenfalls korrekt wahrnehmen.

**e** Ist das Dreieck so gross, dass wir davon jeweils nur Segmente sehen können, so wird uns seine Unmöglichkeit nicht bewusst, es sei denn, wir seien speziell darauf aufmerksam gemacht worden.

**f** Ist das Dreieck jedoch so klein, dass es praktisch als Ganzes ins Schärfefeld fällt, erkennt man die Fehler auf einen Blick.

\*\*\*

*Die unmögliche Stimmgabel*



Richtet man das Schärfeld auf die linke Seite der Figur, so ist die Gabel dreizinkig, blickt man auf das rechte Ende, so ist sie zweizinkig. Es braucht geraume Zeit, bis man hinter das Geheimnis der Konstruktion kommt. Man versuche, sie nachzuzeichnen!

Dass zum Visuellen System nicht nur der Sehapparat in engerem Sinne, sondern auch die Bewegungen gehören, ist ein Faktor, der gerne übersehen wird. Zum einen sind es gezielte *Fixierbewegungen*, für die das Gehirn die Befehle gibt. Zum anderen sind es spontan ablaufende *Suchbewegungen* („Scanning“), die unbewusst und ungezielt ablaufen<sup>19</sup>, jedoch dem Gehirn die Informationen liefern, die die gezielten Suchbewegungen auslösen<sup>20</sup>.

Die Erkenntnis, dass unser Sehen auf einer Verarbeitung von Suchbewegungen des zentralen Schärfeldes beruht, ist entscheidend für das Verständnis der Raumwahrnehmung. Die Vorstellungen einer „statischen“ Perspektive (siehe später: „*Konstruierte Perspektive*“) mit unbeweglichem Auge müssen ergänzt werden durch eine „dynamische“ Perspektive (siehe später: „*Beobachtete Perspektive*“), bei der die Bewegungen des Abbildes auf der Netzhaut eine zentrale Rolle spielen.

<sup>19</sup> Diese Arten von Augenbewegungen sind zu unterscheiden von den ruckartigen Minibewegungen, die am Ende einer Suchbewegung die exakte Justierung des Fixierpunktes regulieren

<sup>20</sup> Zur *Erinnerung* das früher beschriebenen Paradox: Wir können ein Ziel nur wahrnehmen, wenn wir die Augen darauf richten – aber wir können die Augen nicht darauf richten, wenn wir das Ziel nicht kennen, d.h. bereits wahrgenommen haben.

## *Das geteilte Gesichtsfeld* (Der Einfluss der Hirnorganisation)

### *Anatomische Grundlagen*

Netzhaut und Sehnerv sind (vorverlagerte) Teile des Gehirns. Im Gegensatz zu einer Kamera mit einem einzigen Sensorfeld und einem einzigen Empfänger, geht es im Visuellen System um zwei Augen und zwei Hirnhälften („Hemisphären“). Beide sind zusammengekoppelt, die Augen durch die Sehnervenkreuzung („*Chiasma opticum*“), und die Hemisphären durch eine breite Nervenfaserverbrücke („*Corpus callosum*“).

Im Schaltschema des Visuellen Systems sind die beiden Hemisphären mit der gleichseitigen Hälfte der Netzhaut der Augen verbunden, d.h. die rechte Hemisphäre mit der rechten Netzhauthälfte und die linke mit der linken. Bei zwei Augen impliziert dies eine Kreuzung der Fasern aus den nasal gelegenen Netzhauthälften (**siehe Exkurs 2.4**).

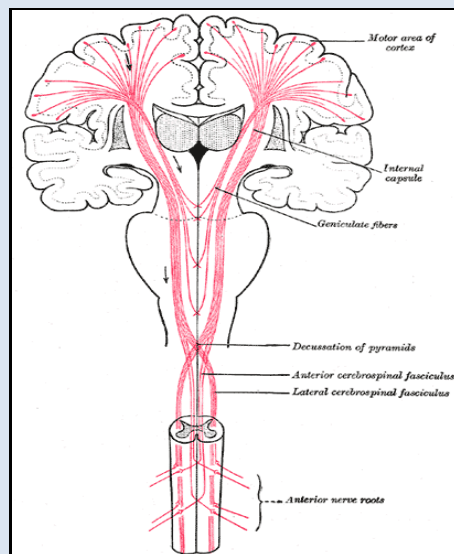
### **Exkurs 2.4: Unterschied zwischen Sehnervenkreuzung und der Kreuzung der Innervation des übrigen Körpers**

#### *Für anatomisch Interessierte:*

Auf Antrieb scheint das Schaltschema des Visuellen Systems mit demjenigen des Ganzkörpers übereinzustimmen. Im Körper stammen die Informationen an das Gehirn (*Sensorik*) von der Gegenseite des Körpers, und die Befehle des Gehirns (*Motorik*) werden an die Gegenseite erteilt. Die Nervenschaltung ist somit gekreuzt.

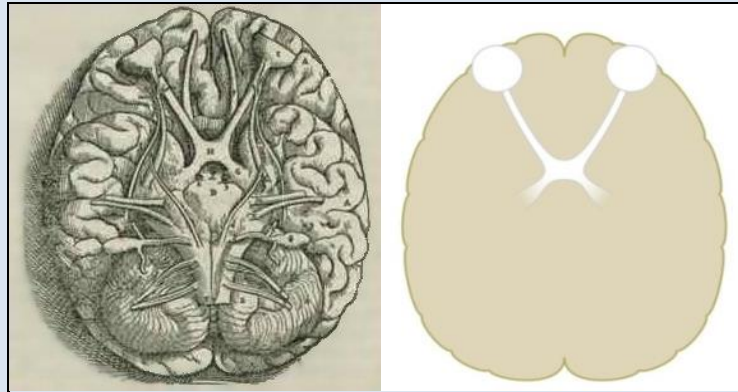
#### **Kreuzung der Körperinnervation:**

Die sensorischen Nerven kreuzen am Eintritt ins Rückenmark zur Gegenseite, die motorischen Pyramidenbahnen *kreuzen* sich am oberen Ende des Rückenmarks.



### Kreuzung der Sehnerven

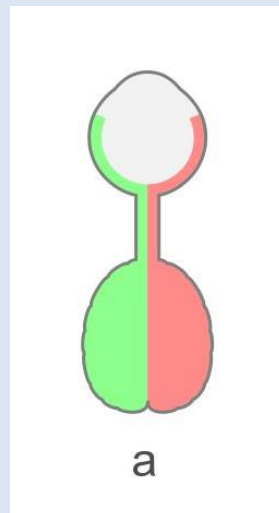
Auch die Gesichtsfeldhälften werden auf den gegenseitigen Hemisphären repräsentiert, und die Kreuzung der Sehnerven auf der Unterseite des Gehirns scheint dies zu erklären.



Ansicht der Unterseite des Gehirns

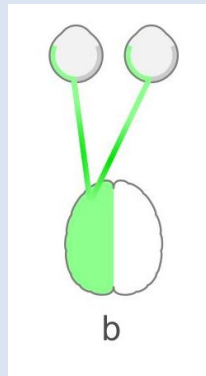
So plausibel dies auch erscheinen mag, dem ist nicht so:  
Die Sehnervenkreuzung ist keine Schaltung auf die Gegenseite, sondern vielmehr ein Mittel zur Faserverteilung aus zwei Augenhälften auf zwei *gleichseitige* Hirnhälften.

### Entstehung der Sehnervenkreuzung.

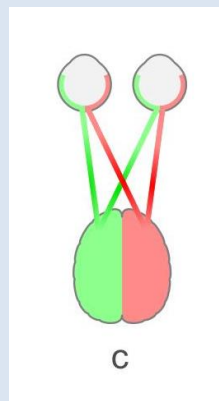


**a** Wenn wir nur ein einziges Auge („Zyklopeauge“) hätten, so würden die Bahnen der Nerven von jeder Netzhauthälfte direkt zur gleichseitigen Gehirnhälfte ziehen.

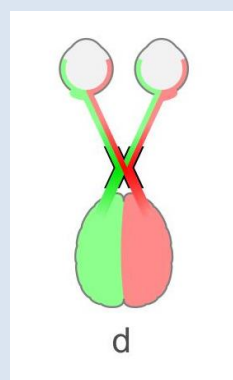




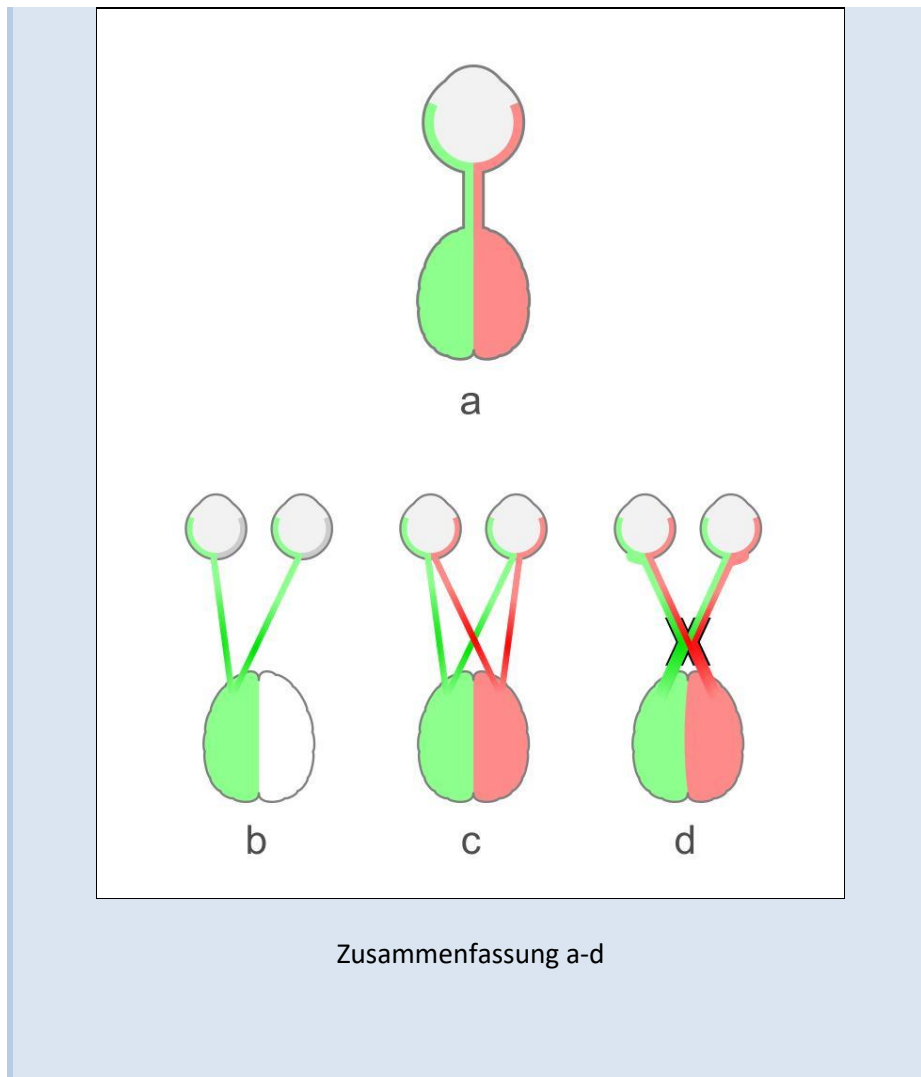
**b** Bei zwei Augen muss ein Teil der Nervenfasern zur gegenseitigen Hemisphäre geführt werden. Aus beiden Augen verlaufen die Nervenfasern von den linken Netzhauthälften zur linken Hemisphäre: Vom linken Auge gelangen sie dorthin *direkt*, vom rechten Auge ziehen die Fasern zur *Gegenseite*.



**c** Von der rechten Netzhauthälfte verlaufen die Fasern analog. Daraus folgt, dass sich diejenigen aus beiden *nasalen* Netzhauthälften kreuzen müssen



**d** Anatomisch wird das Schaltschema so umgesetzt, dass alle Faserbündel sich zu einer Sehnervenkreuzung vereinigen.

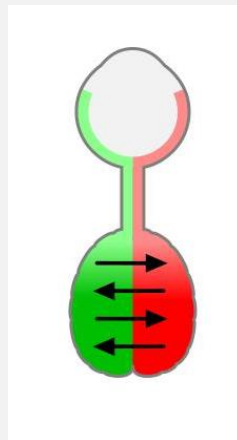


Die Sehnervenkreuzung ist also keine echte neurale Kreuzung – analog dem Nervensystem des Ganzkörpers - sondern sie ist vielmehr ein Mittel, um die Gleichseitigkeit von Netzhauthälften und Hirnhälften zu gewährleisten.

#### *Die Teilung des Gesichtsfeldes*

Als Folge der anatomischen Teilung des Gehirns ist auch das *Gesichtsfeld* in zwei Hälften geteilt. Im Gegensatz zur Anatomie ist es jedoch gekreuzt, indem die linke Hälfte in der rechten Netzhauthälfte repräsentiert wird, resp. die rechte Hälfte links. Der Grund für diese Kreuzung ist die *optische* Bildkreuzung im Auge (**Abb. 2.14**). Die Trennlinie verläuft genau in der Mitte, senkrecht durch den Fixierpunkt.

**Abb. 2.14: Die Zweiteilung des Visuellen Systems**

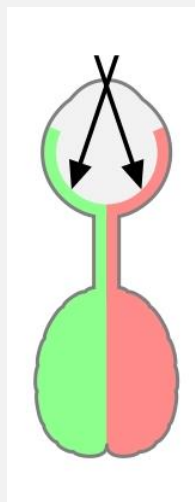


**a**

**a** Das Prinzip der Schaltung geht von einem Einaugen-Prinzip („Zyklopaenge“) aus.

Die Fasern der linken Hälfte der Netzhaut ziehen zur linken und diejenigen der rechten Hälfte zur rechten Hemisphäre. Die *Netzhauthälften* werden dadurch in den gleichseitigen *Hirnhälften* repräsentiert.

Die Hirnhälften sind ihrerseits so intensiv miteinander verbunden, dass man sich der Zweiteilung in keinerlei Weise bewusst wird.



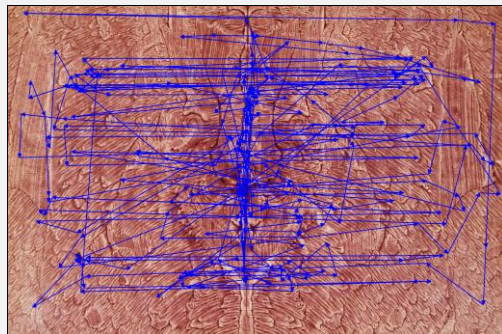
**b**

**b** Die Gesichtsfelder hingegen werden gekreuzt, was nicht anatomisch bedingt ist, sondern auf der optischen Bildumkehr beruht, d.h. auf der Kreuzung der einfallenden Strahlen in der Pupille des Auges (Aussenwelt).

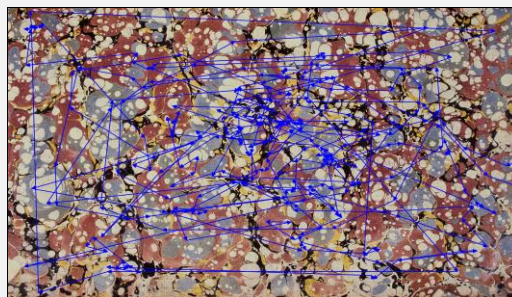
Erstaunlicherweise fällt uns die Gesichtsfeldspaltung nicht auf. Wenn ein Mensch quer an uns vorbeiläuft, wenn ein Fahrzeug an uns vorbeirast, so sieht man beim Übergang von der einen zur anderen Gesichtsfeldhälfte keinen Unterschied. Die Bewegungen werden an der Mittellinie nicht unterbrochen, und die Zweiteilung wirkt sich deshalb im Alltag nicht aus. Sie könnte jedoch der Grund dafür sein, dass senkrechte axiale Symmetrien in unserem Umfeld eine Sonderstellung einnehmen (**Abb. 2.15**).

**Abb. 2.15: Blickverhalten bei axialsymmetrischem und asymmetrischen Vorlagen**

*Registriert mit einem Eye tracker*



**a** Alle Sakkaden (Blicksprünge) einer Versuchsperson, die zwei Minuten lang ein Kleisterpapier mit symmetrischem Klappdruckmuster (18. Jh.) betrachtet.



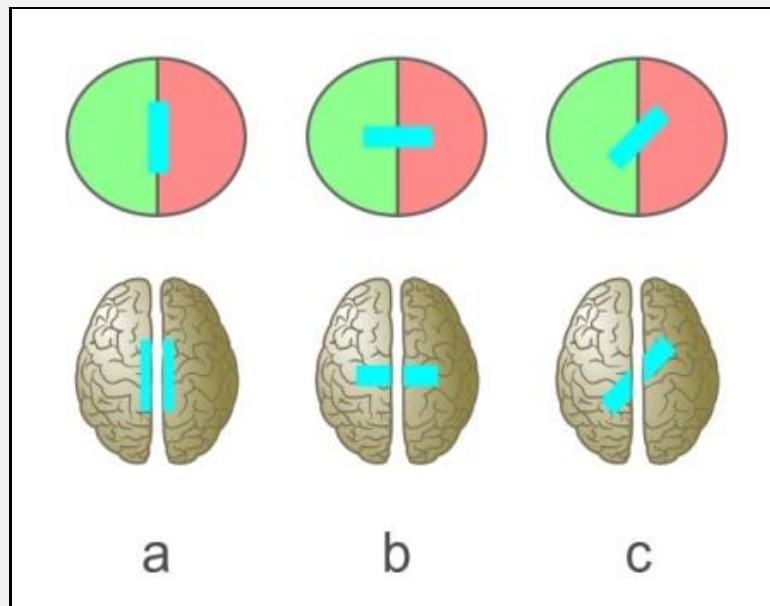
**b** Alle Sakkaden derselben Versuchsperson, die zwei Minuten lang ein Zufallsmuster auf einem marmorierten Papier (18. Jh.) betrachten<sup>21</sup>.

<sup>21</sup> raphael.rosenberg@univie.ac.at. CReA, Institut für Kunstgeschichte, Universität Wien.

*Die Sonderstellung der senkrechten axialen Symmetrie*

Die psychologische Wirkung von vertikal-axialsymmetrischen Objekten könnte darauf beruhen, dass die beiden Hemisphären in genau gleicher Weise stimuliert werden, d.h., dass sie sich gewissermassen in einem „neuralen Gleichgewicht“ befinden (**Abb. 2.16**). Diesen Zustand empfinden wir unbewusst als attraktiv, und dies mag unsere Tendenz erklären, den Blick geradezu zwanghaft auf vertikale Mittelachsen zu richten.

**Abb. 2.16: Axialsymmetrische Repräsentation von Senkrechten und Waagrechten in den beiden Gesichtsfeldhälften und korrespondierenden Grosshirnhemisphären.**



*Oben: Darstellung als Gesichtsfelder:* Präsentation von senkrechten, waagrechten und schrägen Balken in den beiden Hälften der Gesichtsfelder.

*Unten: Darstellung auf den Hirnhemisphären:* Repräsentation dieser Balken in den rechten und linken Hirnhälften.

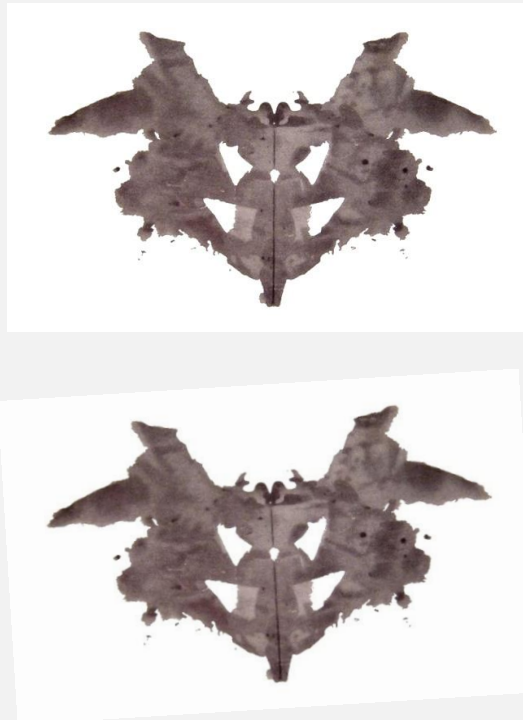
- a** Der vertikale Balken verläuft auf der Mittelachse der beiden Gesichtsfeldhälften (*oben*) und ist somit in beiden Hemisphären genau gleich repräsentiert (*unten*).
- b** Dasselbe gilt für horizontale Balken.
- c** Bei schrägen Linien hingegen ist die Repräsentation in den beiden Hirnhälften asymmetrisch

Die symmetrische Stimulation ist möglicherweise auch der Grund für unsere Fähigkeit, vertikal-axialsymmetrische Anordnungen mit grosser Präzision zu diagnostizieren. Schon kleine Abweichungen können wir mit Leichtigkeit registrieren<sup>22</sup> (**Abb. 2.17**).

Wie empfindlich wir gegenüber Störungen der *vertikalen* Axialsymmetrien sind zeigt ein Vergleich mit *horizontalen* Symmetrien, bei denen die oben gemachten Aussagen nicht gelten. Im Gesichtsfeld können wir auf Anhieb beurteilen, ob links und rechts vom Fixierpunkt Gleichgewicht herrscht; oben und unten ist dies weit schwieriger.

**Abb. 2.17: Beispiele von vertikal-axialsymmetrischen Figuren**

*Rorschachtest*<sup>23</sup>:



Ob Formen symmetrisch liegen oder nicht, ist unmittelbar erkennbar. Schon geringfügige Schrägstellungen – nicht zuletzt auch beim Bildrahmen – fallen uns sofort auf.

<sup>22</sup> Man erinnere sich z.B. auch daran, wie empfindlich wir auf minimale Schrägstellungen von aufgehängten Bildern reagieren und wie wir fähig sind, sie allein schon nach Augenmass mit höchster Genauigkeit zu korrigieren

<sup>23</sup> Im Rorschachtest (1921) versucht man, aus der Deutung von symmetrischen Tintenklecksen Rückschlüsse auf die Persönlichkeitsstruktur zu ziehen.

*Psychologische und kulturelle Aspekte*

Interessanterweise ist die vertikale Axialsymmetrie in allen Kulturen von einer speziellen *Aura* umgeben<sup>24</sup>. Sie verleiht z.B. Geländeformationen, die Pyramiden ähnlich sehen, eine mystische Ausstrahlung (**Abb. 2.18**). Frontal stehende Menschen wirken majestätischer als solche in asymmetrischer Haltung (**Abb. 2.19**). Paläste und Tempel werden mit axialsymmetrischen Fassaden gebaut, um Macht auszudrücken (**Abb. 2.20**). Und möglicherweise beruht auch die spezielle Stellung der Zentralperspektive auf dieser psychischen *Aura*.

(siehe später: *Gestaltete Perspektive: Zentralperspektive*).

**Abb. 2.18: Der ästhetische Effekt vertikaler axialer Symmetrien in der Natur**



*Stratovulkan Fujisan (Japan)*

Der berühmte Berg ist das beliebteste Landschaftsmotiv Japans. Vulkane sind in allen Kulturen – allerdings nicht nur der Symmetrie allein wegen - mit religiösen Vorstellungen verbunden.

*Beachte:* Die *horizontale* Axialsymmetrie von Berg und Spiegelbild ist weniger auffällig.

<sup>24</sup> Siehe auch: Christopher W. Tyler

[https://www.researchgate.net/publication/241431492\\_The\\_Human\\_Expression\\_of\\_Symmetry\\_Art\\_and\\_Neuroscience](https://www.researchgate.net/publication/241431492_The_Human_Expression_of_Symmetry_Art_and_Neuroscience)

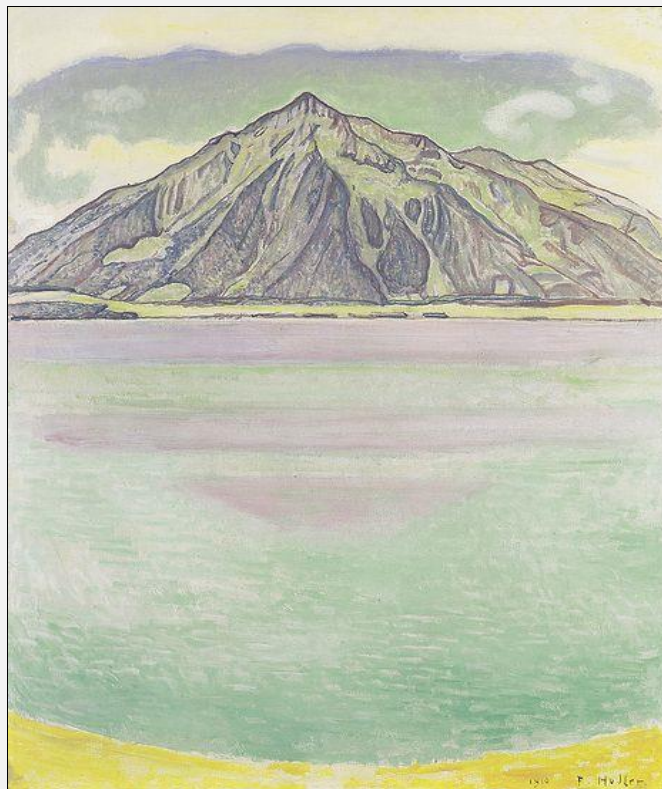




*Hügel im Emmental (Schweiz)*

In dieser Gegend gibt es zahlreiche konische Geländeformationen, die mit einer Linde bepflanzt sind. Aus Vorzeiten überlieferte magische Vorstellungen?

\*\*\*

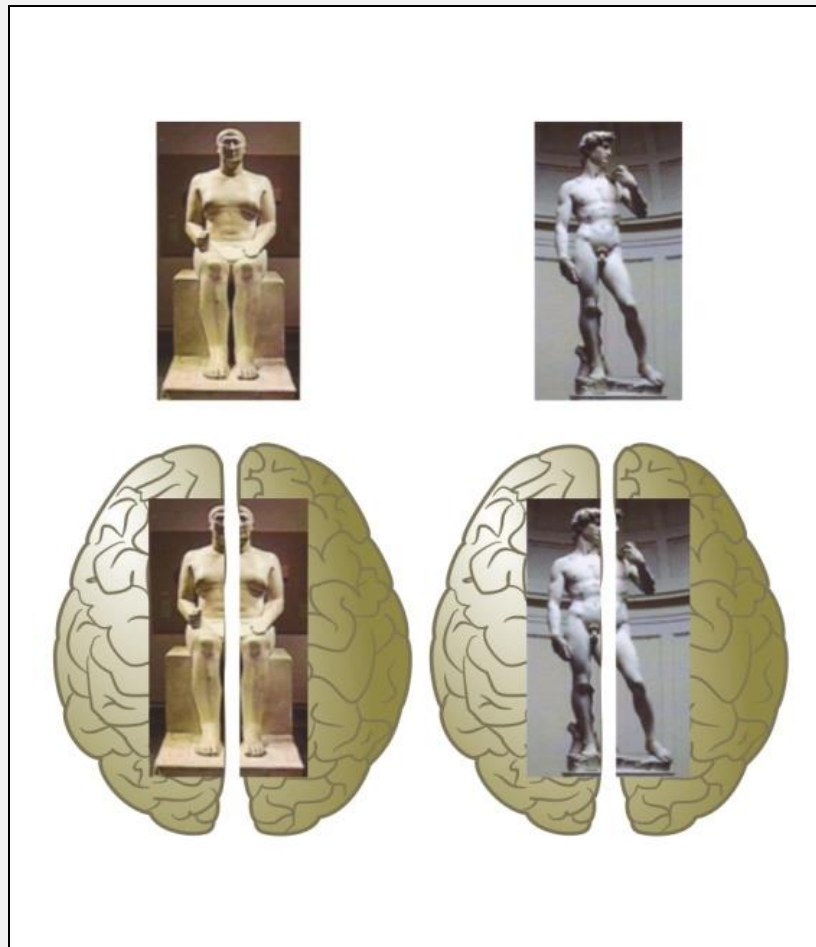


*Der Niesen am Thunersee (Ferdinand Hodler 1910)*

Im Gegensatz zu einem Vulkan erscheint der Berg nur von einer Seite, nämlich vom See aus, axialsymmetrisch, und nur in dieser Ansicht wurde er jeweils gemalt. Sein asymmetrischer Anblick von anderen Standpunkten aus hingegen fand kaum je Interesse.



**Abb. 2.19: Ästhetische Wirkung von axialer Symmetrie bei Darstellungen von Menschen**



Bei der symmetrischen Statue ist die Repräsentation in beiden Hemisphären gleichgewichtig, die Wirkung ist statisch majestätisch.

Die asymmetrische Statue hingegen wirkt dynamisch belebt.

**Abb. 2.20: Vertikale Axialsymmetrien in der Architektur**

Interessanterweise verkörpert die Axialsymmetrie in beinahe *allen* Kulturen die Macht.



Russland: Peterhof Palast, St. Petersburg,



China: Verbotene Stadt, Beijing,



Mali: Grosse Moschee, Djenné



Indien: Taj Mahal, Agra

## Grundlagen der weiteren, neuralen Verarbeitung visueller Signale

Wenn die ständigen Bewegungen des Schärfefeldes zu einem Gesamteindruck verschmelzen sollen, so impliziert dies eine räumliche und zeitliche Koordination von Millionen einzelner Schritte im Gehirn.

Die Verarbeitung beginnt bereits in der Netzhaut, nämlich schon in der ersten Stufe, die den Sinneszellen nachgeschaltet ist<sup>25</sup>. Sie setzt sich über Nervenfasern in vielen weiteren Schritten fort in das Grosshirn und verteilt sich dort in verschiedene Zentren.

Die Signale, die im Gehirn (in der früher erwähnten „Black Box“) verarbeitet werden, sind in der ersten Phase elektrochemische Veränderungen, die durch die Einschläge der Photonen in den Sinneszellen ausgelöst werden. Sie wandern als elektrische Potentialveränderungen in den Nervenfasern, stossen an deren Endigungen chemische Substanzen aus, die von nachfolgenden Nervenfasern aufgenommen werden, um dann wiederum als Potentialveränderungen weitergeleitet zu werden.

Wichtig ist hier einzig das Resultat, nämlich dass auf jeder Stufe der Verarbeitung die Signale *neu geordnet* werden. Die Zellen im Gehirn, die auf ganz spezifische Stimulationen reagieren, registrieren in frühen Stufen Helligkeitsunterschiede und Kanten, in nachfolgenden Stufen Linien in bestimmten Richtungen, Ecken, Rundungen, sowie Bewegungen von Objekten, horizontal, vertikal, schräg, rotatorisch, langsam, schnell, etc..

Entgegen den Erwartungen lässt sich allerdings im Gehirn nirgends etwas aufdecken, das man als Bild bezeichnen könnte. Alles, was man nachweisen kann, sind die elektrischen und chemischen Signale, ihre Transportwege und Aktivitätszentren.

Diese sind alle – und das kann nicht genug betont werden - völlig wertneutral. In allen Verarbeitungsstufen ist es dem Gehirn völlig gleichgültig, woher die einfallenden Photonen stammten, ob direkt aus der natürlichen Umgebung, aus einem Buch, aus Fotos oder aus Gemälden. Eine Bedeutung erhalten die Signale erst, wenn ihr Gemenge in unser Bewusstsein tritt.

Als Bild entsteht die Welt erst im ICH.

---

<sup>25</sup> Die Verarbeitungen, die noch in der Netzhaut im Auge stattfinden, beginnen mit den Zapfen und Stäbchen, welche die Lichtquanten empfangen. Die nachfolgenden Schaltstellen sind die Bipolarzellen, die die Signale ihrerseits weitergeben an die Ganglienzellen, deren Fasern dann zum Gehirn führen

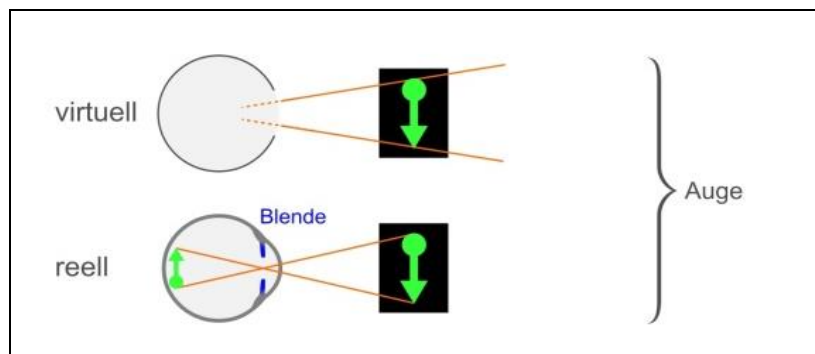
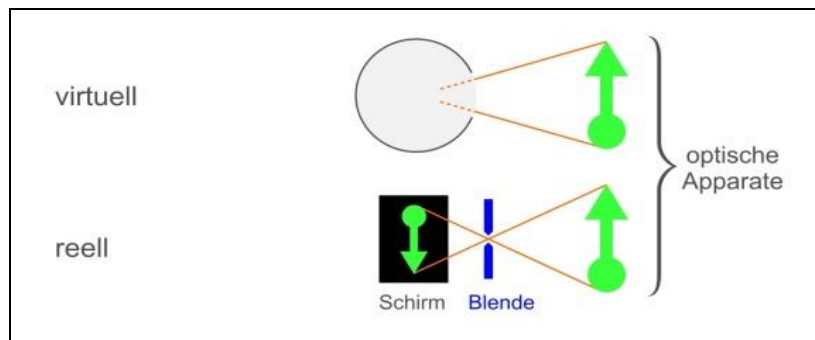
## Klassifikation von Bildern

Bevor wir einen Schritt weitergehen, noch eine Klärung der Terminologie: „*reell und virtuell*“ sowie „*real und imaginär*“.

Die Begriffspaare, so ähnlich sie auf Anhieb erscheinen mögen, verkörpern Grundverschiedenes:

- reell / virtuell sind Begriffe der *Apparateoptik*,
- real / imaginär sind Begriffe der *physiologischen Optik*.

### reell / virtuell



Die *reellen* Bilder entstehen, wenn die Strahlen, die von den Objekten ausgehen, durch eine optische Vorrichtung (Blende) auf einen Schirm geworfen werden. In der Blende kreuzen sich die Strahlen und erzeugen deshalb invertierte, auf dem Kopf stehende Abbildungen der Objekte: Projektionsapparate, Kameras. Die reellen Bilder existieren in der Luft (auch wenn niemand sie sieht) und sie lassen sich auf einem Schirm (Leinwand, Papier) auffangen. Sie können chemisch oder elektronisch in Fotografien konvertiert werden, und deshalb nennt man sie reell.

Bei *virtuellen* Bildern gelangen die Lichtstrahlen direkt ins Auge. In der Aussenwelt entsteht nirgends eine sichtbare Abbildung. Die virtuellen Bilder entstehen im Auge, und existieren allein für die jeweiligen Betrachter. Sie lassen sich weder abbilden, noch in irgendeiner Weise verarbeiten. Wenn wir die Augen schliessen, existiert nichts (Beispiele: Direktanblick, Spiegel, Lupen, in Fotoapparaten: Durchsichtsucher)<sup>26</sup>.

Als Beispiel seien hier die Unterschiede zwischen camera prospettiva („Guckkasten“) und camera obscura (Lochkamera) erwähnt:  
Bei einem Guckkasten blickt der Betrachter von aussen direkt auf ein Bild und dieses ist dann *virtuell*. Bei einer camera obscura steht der Betrachter innen, und er blickt auf ein *reelles* Bild, das auf die Gegenseite der Öffnung projiziert wird.

Die Gesichtspunkte der Apparateoptik sind für unser Thema wenig relevant, aber ich führe sie hier gleichwohl an, weil die einschlägigen Begriffe in der Literatur häufig mit den folgenden Begriffen vermischt oder verwechselt werden.

### **real / imaginär**

Dieses Begriffspaar bezieht sich allein auf den *Beobachter*.

*Real* sind die Bilder der Umwelt, die wir mit unseren Augen sehen.

*Imaginär* hingegen sind diejenigen Bilder, die in unserem Gehirn/ICH entstehen. Dieses konstruiert sie nach Programmen, d.h. ohne Input von aussen „nach freier Phantasie“ (Beispiele: Die Schöpfungen des Geistes bei der Gestaltung von Gemälden, dann aber auch Träume und Halluzinationen).

---

<sup>26</sup> Wenn man das Auge einbezieht, wird die Situation komplizierter. Die *reellen* Bilder auf einer Projektionswand oder einer Foto sehen wir *virtuell*. Diese *virtuellen* Bilder sind aber insofern reell, als sie im Auge durch die Pupillenblende - analog einer Kamera - auf die Netzhaut projiziert werden.

## **3 Die Rolle von „Programmen“**

**Das Konzept von Programmen**

**Programm „Bildinversion“**

**Programm „Bildschärfung“**

**Programm „Bildstabilisierung“**

**Programm „Der Zwang zur Ergänzung“**

**Programm „Der Zwang zur Gestalt“**

**Programm „Der Zwang zur Dreidimensionalität“**

**Programm „Binokularsehen“**

**Umprogrammieren und Neuprogrammieren**

**Fehlerkorrektur**

**Fehlertoleranz**

**Aspekte der kognitiven Endverarbeitung**

**Warum wir die Welt „richtig“ wahrnehmen, obwohl wir sie „falsch“ sehen**



## Das Konzept von Programmen

Wenn das, was die Netzhaut des Auges registriert und das, was das ICH als Realität wahrnimmt, nicht Pixel für Pixel übereinstimmen, so muss es Verarbeitungsprogramme geben, welche die Beziehungen zwischen Netzhautbild und ICH regeln. Diese Programme modifizieren das Netzhautbild zu dem, was wir für die reale Welt halten. Sie sind dafür verantwortlich, dass in unserer Wahrnehmung die Welt, obwohl ihr Bild auf der Netzhaut ständig wechselt, *konstant*<sup>27</sup> bleibt.

Die Programme sind weder streng hierarchisch gestuft noch scharf voneinander abgrenzbar. Sie sind komplexe Netzwerke, in denen sich die Wege vielfach überschneiden, und in denen die Informationen auf unterschiedliche Weise navigieren. Entscheidend ist, dass sie experimentell überprüfbar sind, und neuerdings versucht man sogar, sie maschinell zu imitieren mit der Absicht, Robotern das Sehen zu vermitteln.

Viele der einschlägigen Experimente stützen sich auf das, was man als optische oder visuelle „Täuschung“ bezeichnet. Dieser Begriff ist jedoch irreführend. Es handelt sich nicht um echte Täuschungen, sondern schlicht um normale Signalverarbeitungen unseres Visuellen Systems, deren Resultate uns verblüffen („Pseudotäuschungen“).

Echte Täuschungen – d.h. *bewusste* Irreführungen - wären z.B. die Tricks, bei denen Zauberkünstler die Verarbeitung visueller Signale ausnützen, um uns zu verwirren. Hat man den Trick einmal verstanden, wirkt die Täuschung nicht mehr und wird bei jeder Wiederholung unmittelbar erkannt.

Demgegenüber sind die Pseudo-Täuschungen *unbewusst*. Man kann sich ihren Effekten nicht entziehen, und man unterliegt ihnen bei wiederholter Betrachtung jedes Mal erneut. Freilich kann man lernen, gewisse Programme zu unterdrücken oder zu modifizieren, nicht aber wie man die darin enthaltenen Pseudo-Täuschungen zum Verschwinden bringt.

Auch die Wahrnehmung der Perspektive lässt sich als Programm interpretieren, und dies ist der Grund, weshalb dieses Konzept hier ausführlich behandelt wird.

An Stelle langwieriger theoretischer Erläuterungen ziehe ich es vor, im Folgenden einige Beispiele zu zeigen. Diese erlauben es den Leserinnen und Lesern, in den späteren Kapiteln selbst zu erkunden, inwiefern man die perspektivischen Sichtweisen als Programme interpretieren darf.

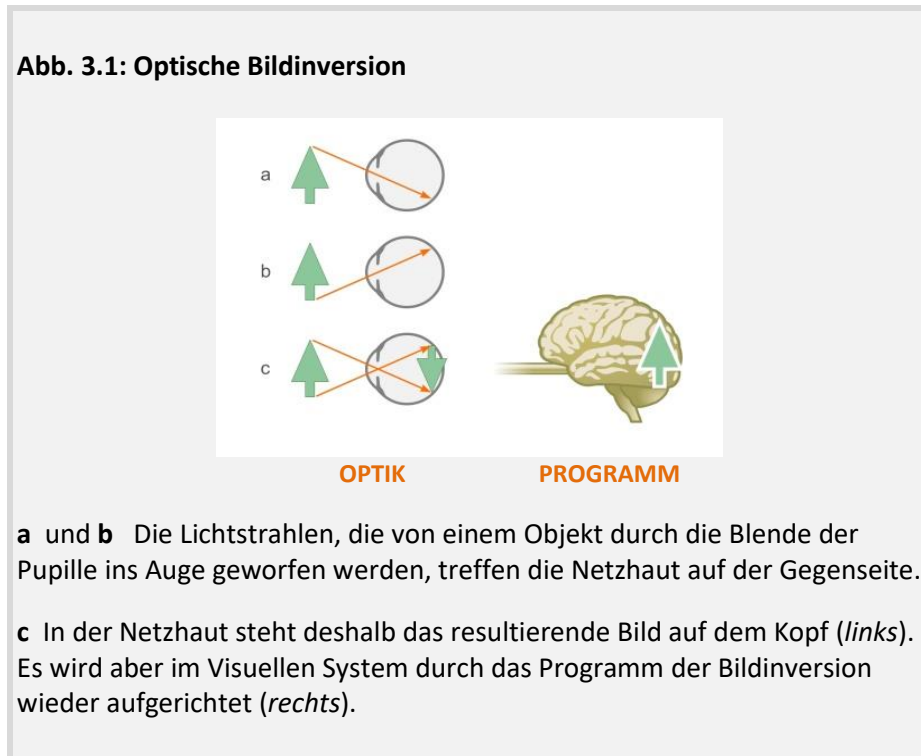
---

<sup>27</sup> Deshalb werden in der Fachsprache solche Programme als „...-konstanzen“ bezeichnet, z. B. Größenkonstanz, etc.

## Programm „Bildinversion“

Warum nehmen wir die Umwelt aufrecht wahr, obwohl ihr Netzhautbild auf dem Kopf steht?

Auf Grund optischer Gesetze wird das Bild der Aussenwelt im Auge auf dem Kopf stehend abgebildet (**Abb. 3.1**). Dennoch nehmen wir unsere Umwelt aufrecht – d.h. so, wie sie unter dem Einfluss der Schwerkraft existiert - wahr.



Offenbar kommt es im Visuellen System zu einer Bildumkehr („Inversion“), bei der im Gehirn das Netzhautbild wieder aufrecht gestellt wird. So möchte man vermuten, dass die Nervenbahnen im Sinne einer Bildumkehr fest – anatomisch - miteinander verknüpft sind (→ Hardware). Experimente zeigen jedoch etwas anderes. Wenn man nämlich Versuchspersonen Brillen vorsetzt mit Umkehrprismen, die das Bild der *Umwelt* bereits *vor* dem Eintritt ins Auge auf den Kopf stellen, so entsteht auf der *Netzhaut* ein aufrechtes Bild. Die Versuchspersonen sehen die Welt dann zunächst auf dem Kopf. Aber nach einer längeren Zeitspanne – und dies ist das Resultat des Experiments - erscheint die Welt für die Träger des Umkehrprismas wieder normal. Entfernt man die Prismen wieder, wird der Prozess rückgängig gemacht. Daraus könnte man schliessen, dass die Inversion im Visuellen System offensichtlich nicht fix programmiert ist, sondern sich umprogrammieren lässt (→ Software)<sup>28</sup>.

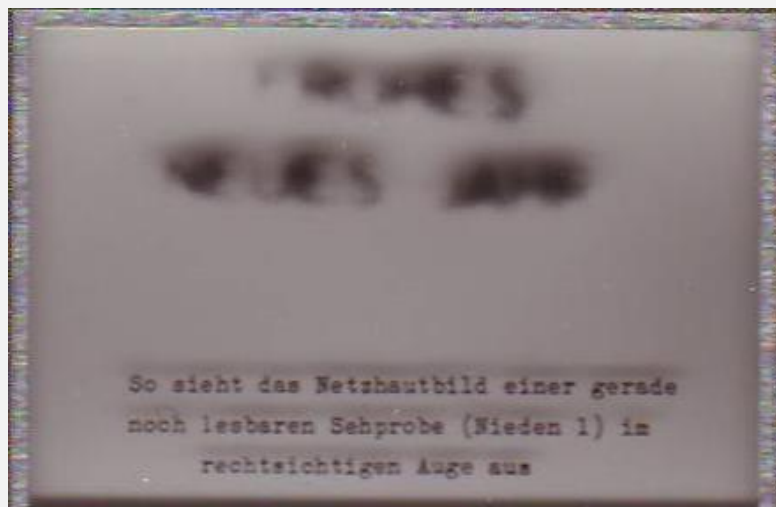
<sup>28</sup> Siehe Ivo Kohler (1951): *Über Aufbau und Wandlungen der Wahrnehmungswelt. Insbesondere über bedingte Empfindungen*; Österreichische Akademie der Wissenschaften, Philosophisch-historische Klasse: Sitzungsberichte, 227, Band 1. Wien: Rohrer.  
Demgegenüber Rolf Reisinger (2010): *Bildumkehr mit Umkehrbrille*; Leuphana Universität Lüneburg <http://www.restderwelt.de/aktiv/index.php?id=4&detailId=38> [2016]

### Programm „Bildschärfung“

*Warum sehen wir scharf, obwohl das Bild auf der Netzhaut unscharf ist?*

Es gibt kein optisches System, das völlig fehlerfrei arbeitet, weder Teleskope, Mikroskope noch Kameras. Auch das Bild, das im Auge auf der Netzhaut entworfen wird, ist – technisch gesprochen – nicht perfekt (**Abb. 3.2**).

**Abb. 3.2: Mangelnde Abbildungsqualität des optischen Systems im Auge**



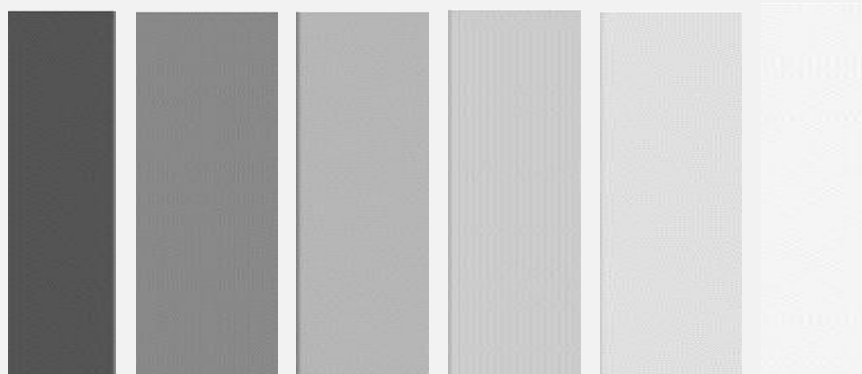
*Oben:* Die optischen Eigenschaften des Auges sind mangelhaft, und entsprechend niedrig ist die Qualität der Abbildung auf der Netzhaut<sup>29</sup>

Dass wir gleichwohl eine gute Sehschärfe erreichen, beruht nicht auf einer Optimierung der anatomischen Faktoren (Hornhaut und Linse), sondern einer Nachbearbeitung des Bildes durch neurale Verarbeitungsmechanismen im Visuellen System. Diese übertreiben an den Grenzflächen die Kontraste und verschärfen so die Ränder (**Abb.3.3**).

---

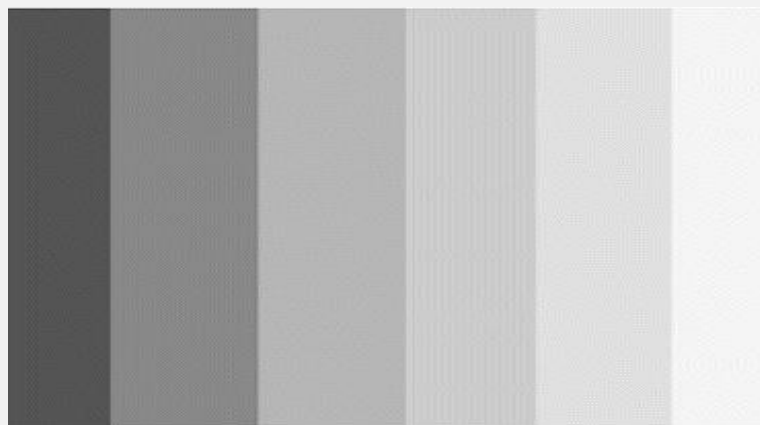
<sup>29</sup> Ob das *Ausmass* der Unschärfe, das nicht gemessen, sondern errechnet wurde, der Realität entspricht, ist allerdings umstritten

**Abb. 3.3: Erhöhung der Bildschärfe durch Verstärkung des Randkontrastes**



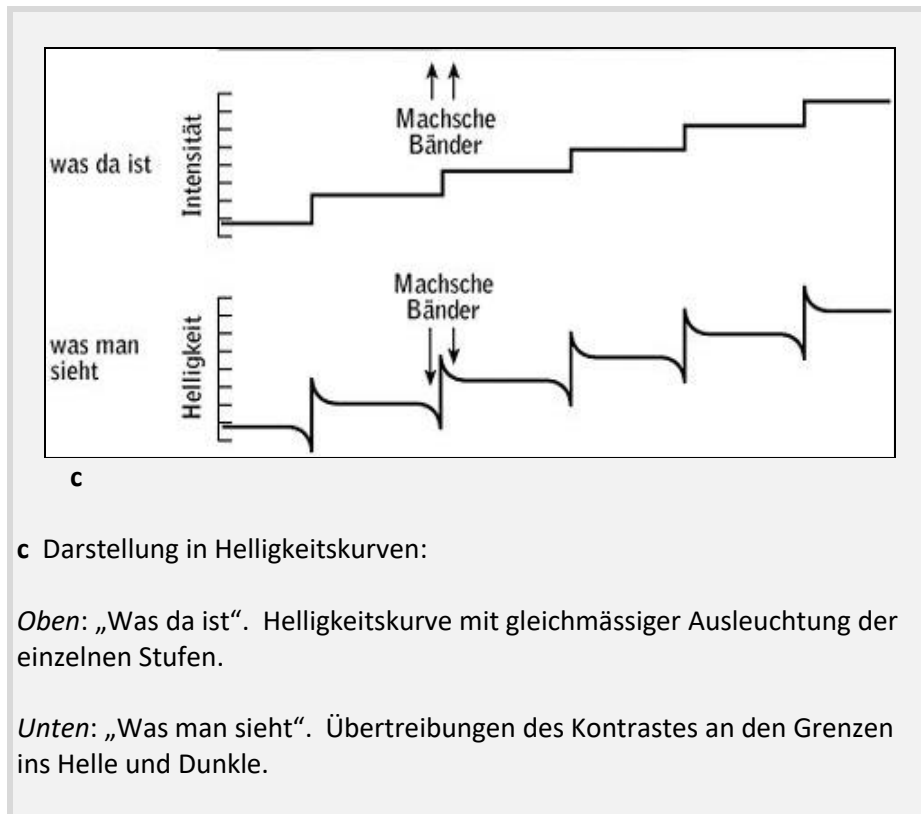
**a**

**a** Muster, bestehend aus einzelnen grauen Streifen, die auf ihrer ganzen Breite von genau gleicher Helligkeit sind.



**b**

**b** Die gleichen Muster in direktem Kontakt, ohne Zwischenräume. Die Streifen erscheinen schattiert, wenn man sie lückenlos aneinander legt. Dass in der Realität jeder Streifen homogen ist, kann man beweisen, indem man seine direkt benachbarten Streifen abdeckt. Sobald man diese wieder frei gibt, wird der Randkontrast erneut verstärkt („Mach'sche Bänder“). Der Illusion dieser Abstufung kann man sich nicht entziehen, auch wenn man die Realität kennt.



c Darstellung in Helligkeitskurven:

*Oben:* „Was da ist“. Helligkeitskurve mit gleichmässiger Ausleuchtung der einzelnen Stufen.

*Unten:* „Was man sieht“. Übertreibungen des Kontrastes an den Grenzen ins Helle und Dunkle.

Im Gegensatz zur *Mathematik*, die von der Sequenz ausgeht

- Punkt → dimensionslos
- Linie → bewegter Punkt
- Fläche → geschlossene Linie

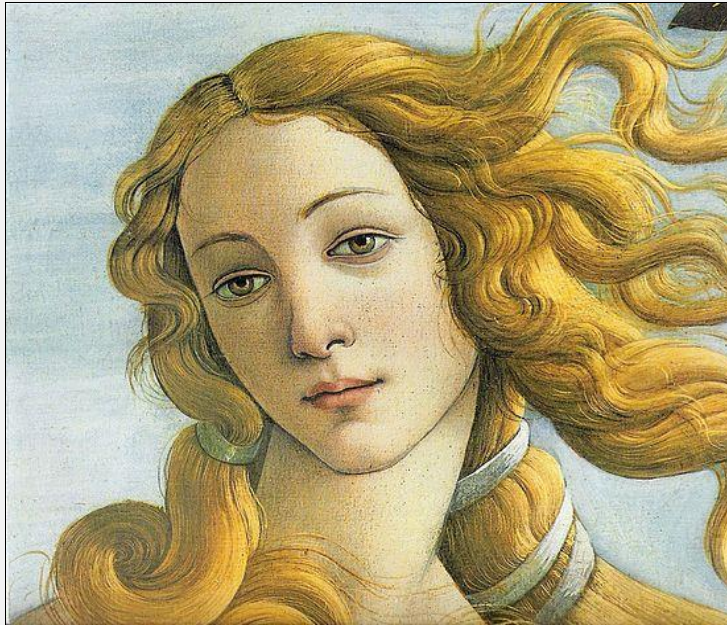
und der *Malerei*, die ausgeht von

- Punkt → wo der Stift ansetzt
- Linie → wohin der Stift bewegt wird
- Fläche → was vom Stift umfahren wird

beruht die subjektive *Wahrnehmung* von Grenzlinien auf Kontrastverstärkungen. Die haarscharf gewordenen Konturen können vom ICH als Linien interpretiert, in der Malerei auch als Linien gezeichnet und von den Betrachtern als linienhafte Grenzen von Objekten aufgefasst werden.

Maler wählen allerdings die Konturen in ihren Gemälden nicht nur nach visuellen Gesichtspunkten, sondern auch nach malerischen Konventionen. In gewissen Epochen sind scharfe Linien eine Voraussetzung, um ein Bild als vollendet gelten zu lassen; in anderen Epochen hingegen werden subtil verwaschene Grenzen akzeptiert als künstlerische Effekte, die bei den Betrachtern spezielle Empfindungen auslösen (**Abb. 3.4**).  
(siehe auch später: *Luftperspektive*)

**Abb. 3.4 Vermeidung und Betonung scharfer Konturen in der Kunst**



**a**

**a** Sandro Botticelli: Ausschnitt aus „Geburt der Venus“ (1486).  
Konturen als scharfe Linien gemäss handwerklicher Konvention

\*\*\*

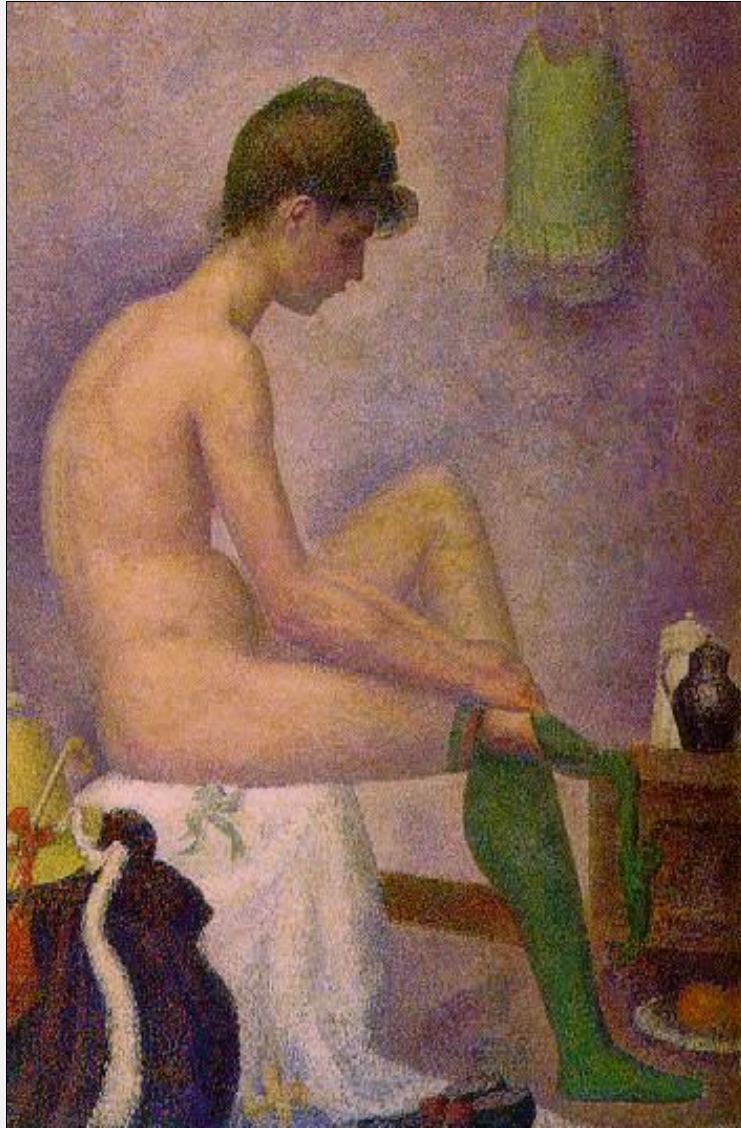


**b**

**b** Leonardo da Vinci: Ausschnitt aus *Mona Lisa* (1503 – 1517).  
Die Konturen sind weich. Der Maler vermeidet scharfe Grenzlinien, da er als  
Wissenschaftler weiss, dass es sie in der Natur nicht gibt.



\*\*\*



c

**c** *Georges Seurat: Ausschnitt aus Les Poseuses (1888)*

Übertriebene Kontraste: An den Rändern werden die hellen Partien betont heller, die dunklen hingegen dunkler. Dadurch erscheinen die Konturen scharf, obwohl sie aus lauter einzelnen Punkten bestehen.

Die Randschärfung im Visuellen System (siehe **Abb. 3.3**) hat der Künstler mit malerischen Mitteln vorweggenommen, da er bereits Kenntnis hatte von den Gesetzen der Randkontraste.

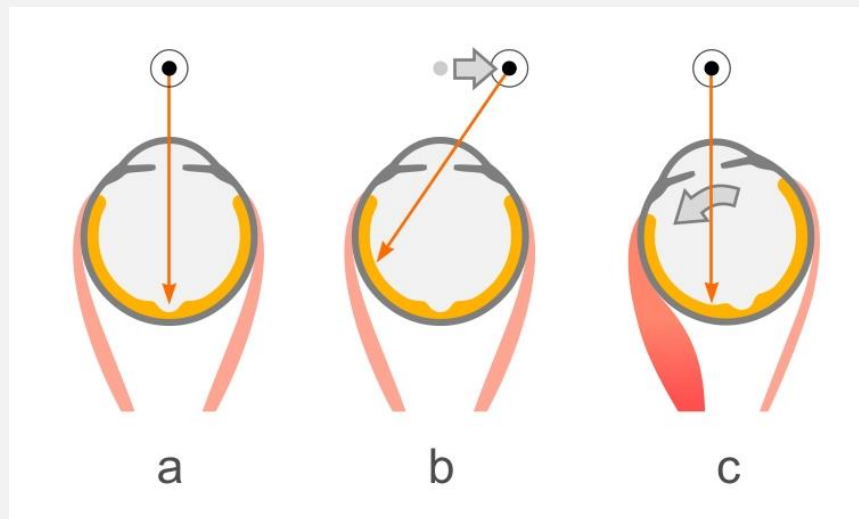
### Programm „Bildstabilisierung“

*Warum nehmen wir unsere Umwelt stabil wahr, obwohl sich ihr Abbild auf der Netzhaut bewegt?*

Wenn sich ein Abbild auf der Netzhaut des Auges bewegt, steht das Visuelle System vor dem Entscheid: Haben *wir* uns bewegt oder war es das *Umfeld*?

Bei allfälligen Bewegungen zeichnet eine Videokamera schwankende Bilder auf, während für unser Visuelles System die Welt statisch bleibt. Dafür sorgen Stabilisierungsprogramme, welche sich auf Rückmeldungen („Feedbacks“) stützen, die das Gehirn von den Augen- und Körpermuskeln erhält (**Abb. 3.5**).

**Abb. 3.5: Unterschiedliche Feedbackmechanismen bei Umweltbewegungen und Augenbewegungen**



**a Stabile Situation:** Die Umwelt (hier symbolisiert durch einen Punkt) und das Auge stehen beide still.

**b Bewegte Umwelt:** Das Auge bleibt unbewegt, der Punkt in der Umwelt jedoch verschiebt sich. Das Gehirn erhält das Feedback, dass die Augenmuskeln nicht aktiviert worden sind, und folgert, dass sich etwas in der Umwelt bewegt.

**c Bewegtes Auge:** Der Punkt steht still, das Auge bewegt sich. Das Gehirn hat die Information, dass gewisse Augenmuskeln sich anspannen und ihre Gegenmuskeln sich entspannen. Daraus folgert es, dass der Grund für die Bewegungen des Netzhautbildes Augenbewegungen sind und demnach die Umgebung still steht.



Das Programm „Bildstabilisierung“ ist zu komplex, um hier in allen Details behandelt zu werden. Hier nur einige der Korrekturmechanismen, die aus der Vielzahl der visuellen Impulse ein Gesamtbild schaffen:

- *Analyse* der Bewegungen von Netzhautbildern. Unterdrückung von denjenigen Bewegungsempfindungen, die die Stabilität unserer Umwelt beeinträchtigen. Wenn wir z.B. ein Bild mit dem zentralen Schärfefeld scannen, können wir es nur dann als ein Ganzes interpretieren, wenn im Gehirn die damit verbundenen Bewegungsempfindungen unterdrückt werden.
- Sofortige *Löschung* eines einmal wahrgenommenen Netzhautbildes, um zu verhindern, dass dieses beim Registrieren des nächsten Bildsegmentes nachwirkt.
- Unterdrückung der *Zeitintervalle* zwischen den aufeinander folgenden Bildsegmenten, damit wir die Gesamtheit der Segmente simultan sehen und unsere Umwelt auch zeitlich stabil bleiben kann.

Die Unterdrückung von Bewegungsinformationen bedeutet indessen keineswegs, dass diese aus unserem Visuellen System ins Nichts verschwinden. Der Prozess des Unterdrückens selbst ist auch Teil des Feedbackmechanismus. Es sind nicht nur die wahrgenommenen, sondern auch die unterdrückten Bewegungsinformationen, die eine dreidimensionale Rekonstruktion unserer Umwelt möglich machen (**siehe Exkurs 3.1**).

### **Exkurs 3.1: Augenbewegungen und Feedbacksysteme**

Von den vielen, im Rahmen unseres Themas relevanten, Bewegungsparametern hier einige Beispiele:

1. *Sprunghafte Augenbewegungen*: Die Augen verlagern ihre zentralen Schärfezonen von einem Ort des Interesses (Fixpunkt“) zum nächsten, wobei sie die Intervalle geradlinig und sprunghaft schnell überbrücken. Die Wahrnehmung der Sprünge von Fixpunkt zu Fixpunkt wird im Visuellen System unterdrückt. Das Gesamtbild entsteht aus den positiven visuellen *Signalen* von den Fixpunkten und aus den negativen *Feedbacks* der aktivierten Unterdrückungsmechanismen.

2. *Gleitende Blickbewegungen:* Die Augen verschieben die zentralen Schärfefzonen langsam entlang vorgegebener Strukturen – beliebig geformten, unterbrochenen, angedeuteten imaginären Linien. Die *Bewegungen* sind das Zentrum des Interesses. Sie bleiben zwar unbewusst, dienen aber dem Visuellen System zur Formung eines Gesamtbildes.  
(siehe später: *Beobachtete Perspektive*)
3. *Änderung der Raumkoordinaten:* Das Koordinatensystem unserer Raumwahrnehmung ist ausgerichtet auf eine aufrechte Körperhaltung und einen horizontalen Geradeausblick. Ändern wir diese Bedingungen, so empfängt das Gehirn veränderte Feedbacks von der Kopf- und Rumpfmuskulatur, ausserdem auch vom Gleichgewichtsorgan. Das Koordinatensystem bewegt sich mit, und entsprechend verändert sich auch das Körperschema, das im Gehirn verankert ist (siehe später: *Betrachtete Perspektive*).

In Situationen, in denen das motorische Feedback fehlt, kommt es zu Scheinbewegungen (siehe **Exkurs 3.2**).

**Exkurs 3.2: Die Eisenbahnillusion als Beispiel für den Einfluss von existierenden und fehlenden motorischen Feedbacks**

Wenn wir uns in einem stehenden Zug befinden und neben uns ein anderer Zug anfährt, kann der – falsche - Eindruck entstehen, dass wir es sind, die fahren. Wie ist das möglich? Auf Grund der Feedbacks von der Muskulatur kann das Gehirn nicht entscheiden, ob unser Zug fährt oder steht<sup>30</sup>, da wir sitzen und uns selbst nicht bewegen. Das Gefühl der Fahrbewegung wird allein durch die visuellen Informationen beim Blick aus dem Fenster vermittelt, und diese sind – wie die Illusion zeigt - mehrdeutig.

Die Verarbeitung der Bewegungen durch das Visuelle System spielt eine wichtige Rolle bei der Eroberung des Raumes und wird uns später noch mehrmals beschäftigen.

---

<sup>30</sup> Allerdings erhält das Gehirn andere, nämlich taktile Feedbacks durch den Druck des Sitzes gegen unseren Rücken beim Anfahren. Interessanterweise glauben wir, diesen Druck auch bei der Illusion zu verspüren. Diese Gesichtspunkte sind aber im hiesigen Kontext nicht relevant

## Programm „Zwang zur Ergänzung“

*Warum nehmen wir Objekte intakt wahr, obwohl sie im Netzhautbild unvollständig sind?*

Der Raum ist erfüllt von Objekten, die hintereinander stehen und sich im Abbild auf der Netzhaut teilweise überdecken. Dennoch haben wir nicht den Eindruck, dass den Objekten etwas fehlt, da das Visuelle System das Fehlende mittels spezieller Programme ergänzt.

### *Ergänzungen von Verdecktem*

Die zerebralen Ergänzungsmechanismen im Alltag beruhen auf Erfahrung. Man muss im Voraus wissen, wie die Wirklichkeit aussieht, damit man das, was verborgen ist, ergänzen kann (**Abb. 3.6.**)

**Abb. 3.6** Ergänzungen von Verdecktem



a

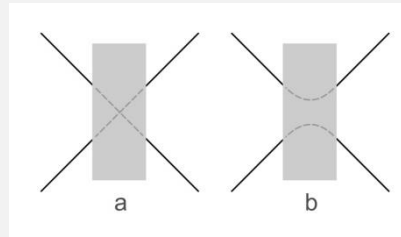
**a** Bouts Dieric *Christus bei Simon* (1440)

### *Ergänzungen von Verdecktem:*

Die Figuren werden vom Tisch zerschnitten, aber niemand wird daraus schliessen, die Personen hätten keinen Unterleib. Bei der Dienerin fehlt der Hinterkopf, aber auch diesen ergänzen wir.

Wo solche Vorkenntnisse fehlen, bleibt nichts übrig, als von den möglichen Hypothesen die *wahrscheinlichste* zu wählen (**Abb. 3.7**).

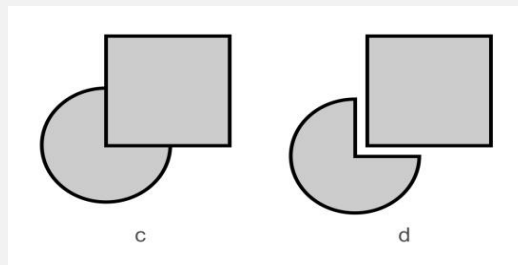
**Abb. 3.7: Wahrscheinlichkeit als Kriterium zur Ergänzung**



**a** Die wahrscheinlichste Hypothese ist, dass die Linien geradlinig verlaufen und sich deshalb kreuzen.

**b** Eine wenig wahrscheinliche Alternative ziehen wir gar nicht in Betracht, auch wenn sie nicht unmöglich ist.

\*\*\*



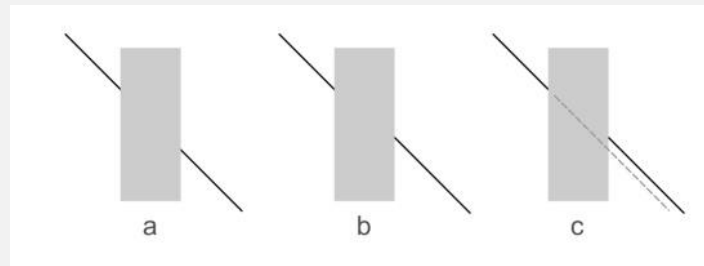
**c** Die Wahrscheinlichkeit, dass es sich beim runden Objekt um einen vollständigen Kreis handelt, ist so gross, dass die Hypothese, dieser sei durch das Rechteck verdeckt, überwiegt.

**d** Die alternative Hypothese, dass im Kreis ein Quadrant fehle, und sich ausgerechnet an dieser Stelle das Rechteck lückenlos anschmiege, ist weniger wahrscheinlich.

Die Ergänzung von Verdecktem ist - neben der Perspektive, und diese unterstützend – ein wichtiger Faktor zur Beurteilung von räumlichen Verhältnissen, denn das, was verdeckt ist, liegt vorn und das was ergänzt werden muss, liegt weiter hinten. Dies erlaubt auf einen Blick, Näheres von Fernerem zu unterscheiden. Im Zweifelsfall genügen leichte Bewegungen des Betrachters, um zu einem Entscheid über die Raumverhältnisse zu kommen. (Siehe später: „Monokulare Kriterien zur Beurteilung von Räumlichkeit“)

Dass Ergänzungen nicht immer genau sind, ist zu erwarten. Erstaunlich jedoch sind dabei systematische Fehler, die bei allen Betrachtern jedes Mal und immer in gleicher Weise vorkommen. Sie werden deshalb zu den „Visuellen Täuschungen“ gezählt (Beispiel siehe **Abb 3.8**).

**Abb. 3.8: Poggendorf Täuschung**



**a** Die wahrscheinlichste Fortsetzung einer geraden Linie hinter einem verdeckenden Objekt ist eine Gerade. In der Abbildung scheint diese jedoch etwas versetzt zu sein.

**b** Hier erscheint die Gerade direkt zu verlaufen. *Beachte:* Der Zwang zu einer geradlinigen Ergänzung ist so stark, dass wir nicht erkennen, dass sich **Abb. a** und **b** unterscheiden. Der Unterschied ist am besten erkennbar an den unterschiedlichen Längen der Geraden im Abschnitt rechts vom Balken.

**c** Welche von diesen zwei Geraden ist die richtige Fortsetzung der Linie links vom Balken? Entgegen den Erwartungen ist es die gestrichelte Linie (analog Abb. **a**). Vergleiche dazu die falsche Ergänzung mittels der durchgezogenen Linie (analog Abb. **b**).

#### *Ergänzung von Fehlendem*

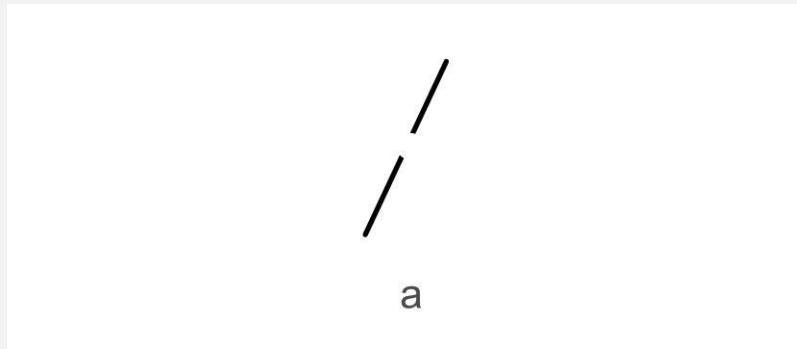
Noch erstaunlicher sind Ergänzungen dort, wo „Nichts“ ist, d.h. an *Leerstellen*, die in der Natur nicht existieren und somit auch nicht auf der Netzhaut abgebildet werden können.

Bricht z.B. eine Linie plötzlich ab, so prüft das Visuelle System, ob eine Fortsetzung irgendwo und irgendwie wahrscheinlich ist. Falls solch eine Fortsetzung plausibel erscheint, aber nichts zu sehen ist, das den Unterbruch erklärt, so konstruiert das Visuelle System eine imaginäre Abdeckung. Die Hintergrund  $\leftrightarrow$  Objektrelation wird invertiert, indem das, was zuvor Hintergrund war (die Lücke), zum Objekt und das, was Objekt war (die Linie), zum Hintergrund wird.

Wenn wir *Linien* verfolgen, die ihre Richtung beibehalten, lassen wir den Blick weiter gleiten und überbrücken einfach die Leerstelle. Wenn wir jedoch die Lücke selbst fixieren, geschieht etwas Seltsames: An ihrer Stelle erscheint nach längerer Betrachtung ein Abdeckfleck, d.h. ein Fleck in gleichem Farbton, aber mit höherem Kontrast zum Hintergrund (**Abb. 3.9**).

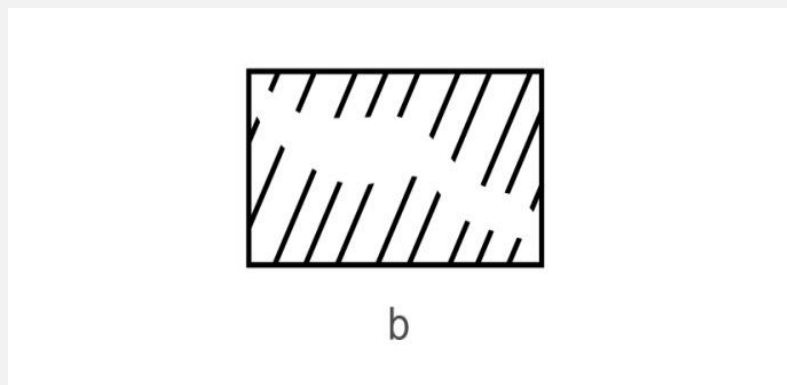
Besonders deutlich sind die Abdeckflecken an *Ecken* und *Kreuzungsstellen*, denn diese wirken als Fixationspunkte. Auf ihnen bleibt der Blick auf jeden Fall stehen, da er sich nicht geradlinig weiterführen lässt.

**Abb. 3.9: Ergänzungen bei Unterbrüchen durch Fehlendes**



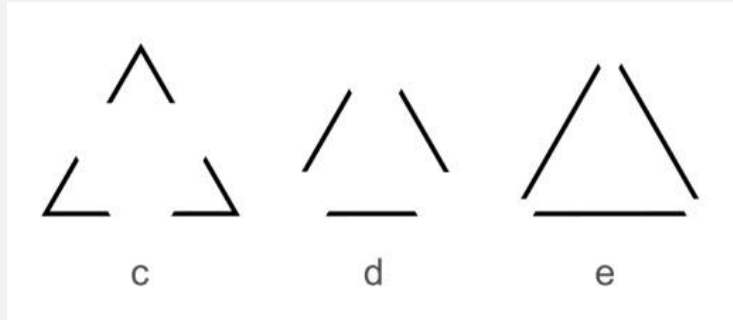
**a** Eine Gerade wird trotz der Unterbrechung als eine einzige Linie wahrgenommen. Wenn man Lücke lange genug fixiert, erscheint diese leicht aufgehellt, aber ohne Kontur.

\*\*\*



**b** Die Lücken erscheinen als zusammenhängende imaginäre Gestalt. Dabei werden die Leerstellen zum Objekt und das Muster der Geraden zum Hintergrund (siehe später: Objekt-Hintergrundprobleme in „Zwang zur Gestalt“).

\*\*\*

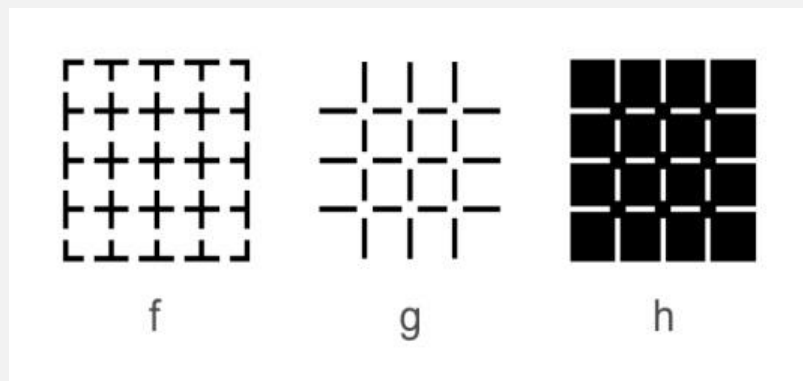


**c** Wo Ecken erhalten sind, werden die geradlinigen Zwischenräume spontan ergänzt. Erst nach längerem Hinschauen konstruiert das Visuelle System an den Lücken überhellte imaginäre Flecken, die zu einem Dreieck ergänzt werden.

**d** Wo Ecken fehlen, wird die Ergänzung schwieriger. Blickt man auf die Gesamtfigur, so schwankt das Visuelle System zwischen zwei Interpretationen: entweder wird das Fehlende durch imaginäre gerade Verbindungslinien „überbrückt“, die die Figur zu einem Sechseck ergänzen. Oder es erscheinen überhellte weisse Abdeckflecken, wenn man die Leerstellen lange genug anblickt.

**e** Wenn die Eckdefekte klein sind, konstruiert das visuelle System keine Sechsecke mehr, sondern nur die runden Abdeckscheiben.

\*\*\*



**f** In einem Gitter, in dem die Ecken erhalten sind, erkennt man sowohl ergänzte Quadrate, als auch imaginäre helle Bänder.

**g und h** Fehlen Kreuzungspunkte, lassen sie sich mental nicht ergänzen und werden ersetzt durch imaginäre überdeckende Scheiben.

In der Malerei sind Ergänzungen gebräuchliche Mittel zur Erzielung von speziellen Effekten:

- Die Verdeckung von hintereinander liegenden Objekten zur Erzeugung von räumlicher Tiefe (*siehe später: Monokulare Kriterien zur Darstellung von Räumlichkeit*) (**Abb. 3.10 a**)
- Ergänzung technisch bedingter Unterbrüche (**Abb. 3.10 b**)
- Füllung von Lücken durch neurale Mechanismen als künstlerisches Mittel für die Erzeugung von lebendigen Wirkungen (**Abb. 3.10 c und d**)

**Abb. 3.10** Ergänzungen als künstlerische Mittel



**a**

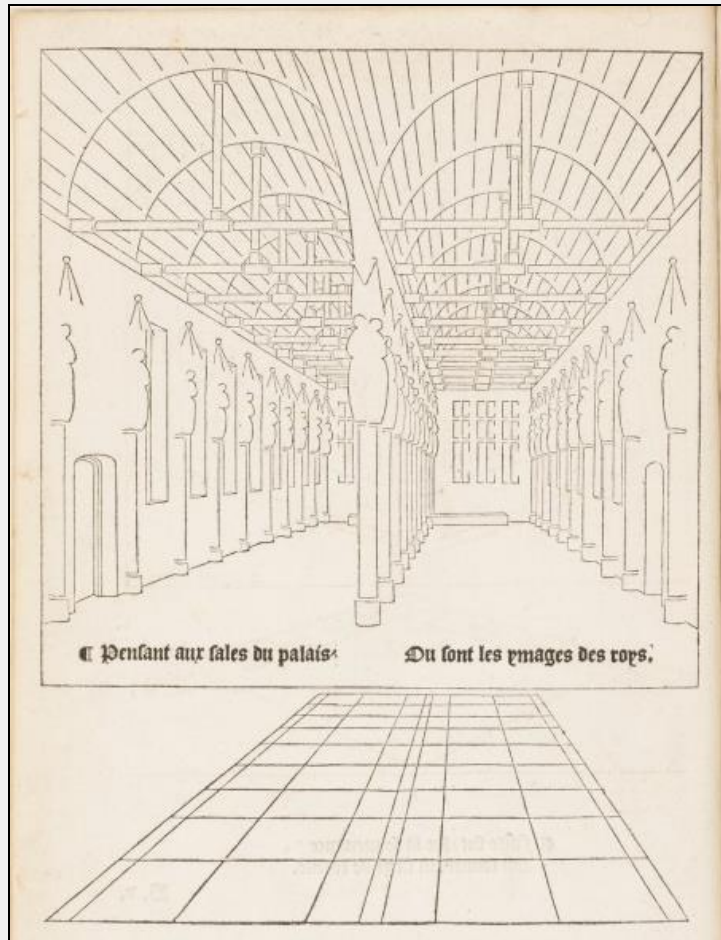
**a** Niccolò Paradisi: *La visita di Ponticiano*

Wer ist vorn und wer hinten? Tiefenwirkung trotz mangelhafter (teilweise „inverser“) Perspektive.

\*\*\*







**c** Jean Le Pélerin (Viator) *De Artificiali Perspectiva* (1505)

*Nicht ergänzbare Lücken:* Die rückwärtigen Begrenzungen der Statuen an der Wand, die eigentlich durch Linien markiert werden sollten, fehlen. Wir können sie nicht ergänzen, und dies wirkt auf Anhieb irritierend. Viator will wahrscheinlich zeigen, dass die Statuen nicht freistehend, sondern Teile der Mauer sind.

\*\*\*



d

d Henri-Émile-Benoît Matisse (1869 – 1954)

*Unterbrüche als künstlerisches Mittel:* Vieles ist unvollständig. Dies ist vom Maler beabsichtigt, denn der Zwang zur Ergänzung unterbrochener Linien löst ein Gefühl von Lebendigkeit aus<sup>31</sup>.

### **Programm „Der Zwang zur Gestalt“**

*Warum nehmen wir geradezu zwanghaft Gestalten wahr, obwohl sie auf dem Netzhautbild nicht als solche erscheinen*

Aus dem weiten Feld der Gestalttheorie seien hier zwei Phänomene herausgegriffen:

#### *Gestaltsehen durch Kombination*

Im Gegensatz zum Ergänzungsprogramm, wo Fehlendes in einem bestehenden Ganzen ergänzt wird, kann das Gestaltprogramm auch Teile zusammenfassen, die mit der Endgestalt nicht in Zusammenhang stehen. Anders als das Ergänzungsprogramm braucht deshalb das Gestaltprogramm keine Vorkenntnis von dem, was beim Zusammenfügen entstehen soll.

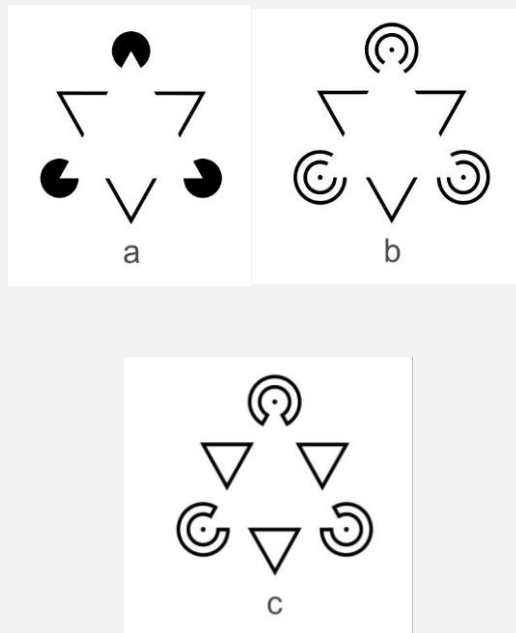
Dass unser Visuelles System Einzelteile zu einem Ganzen zusammenfügt, ist eine Grundbedingung für unsere Wahrnehmung, denn mit dem zentralen Schärfefeld sehen wir ja nur Segmente. Die Frage ist bloss, nach welchen Kriterien das Visuelle System die Teile auswählt, aus denen es etwas Ganzes schafft.

---

<sup>31</sup> *Beachte:* Matisse hat hier zur Erzielung einer lebendigen Wirkung noch eine spezielle Ambivalenz („Kippbild“) geschaffen: Die beiden Knie können auch als Hinterbacken (einer anderen Person, die links unter der Decke liegt) wahrgenommen werden.

Wie auch immer, wir unterliegen geradezu einem *Zwang* zur Gestalt<sup>32</sup>. Dieser beherrscht die Interpretation von visuellen Signalen derart, dass es uns nicht gelingt, Zeichen als isolierte Einzelstimuli wahrzunehmen, wenn eine - auch nur geringe - Wahrscheinlichkeit besteht, sie zu einer Gesamtgestalt zusammenzufassen. Dabei gibt es auch Beziehungen zum Ergänzungsprogramm (**Abb. 3.10**)

**Abb. 3.10: Beziehungen zwischen Ergänzungs- und Gestaltprogrammen:**



**a und b** *Kanizsa Dreiecke*

In der Mitte der Figur erscheint ein weiss hervorgehobenes Dreieck, das in der Realität nicht existiert. Aber auch wenn man dies weiss, kann man die Illusion nicht unterdrücken, und jedes Mal, wenn man das Bild betrachtet, sieht man das imaginäre Dreieck erneut.

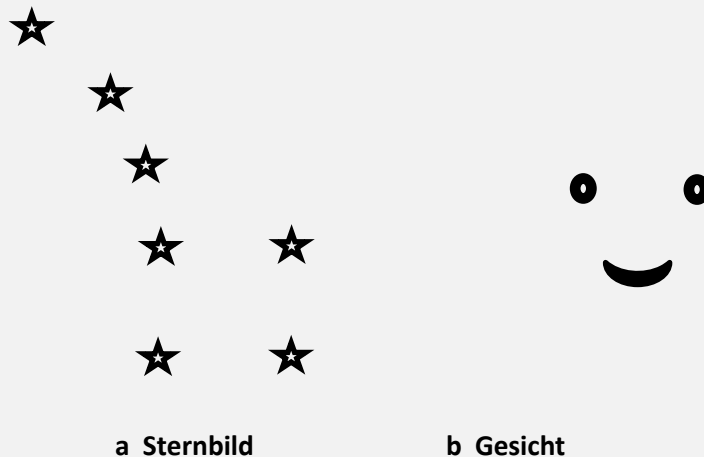
Man kann die Motive nur als Ganzes wahrnehmen, und es ist nur mit grosser Anstrengung möglich, die Einzelteile isoliert zu sehen.

**c** Variante des Kanizsa Dreiecks. Sind die Einzelemente geschlossen, so wirken sie als selbstständige, voneinander unabhängige Objekte. Das Visuelle System schwankt zwischen der Interpretation als Figur aus Einzelteilen oder als zusammenhängende Figur. Das zentrale Dreieck bildet keinen Kontrast und es ist nur wahrnehmbar, wenn man sich speziell auf dessen Mitte konzentriert.

<sup>32</sup> Auf die Gestalttheorie im Allgemeinen kann hier nicht weiter eingegangen werden. Ich verweise auf die ausführliche Literatur in Print und elektronischen Medien

Wenn das Gestaltprogramm Einzelemente zu etwas Neuem zusammenfügt (**Abb. 3.11**), gilt das Diktum nur bedingt, dass man die Teile kennen müsse, um das Ganze zu verstehen, resp. das Ganze kennen müsse, um die Teile zu verstehen, da ja zwischen den Einzelementen und der Gesamtgestalt – im Gegensatz zum Ergänzungsprogramm - kein Bezug bestehen muss.

**Abb. 3.11: Wahrnehmung einer Gesamtform aus Einzelementen**



**a Sternbild:** Disseminierte Elemente werden zu einer Gesamtgestalt zusammengefasst unter der Annahme, dass die zu ergänzenden imaginären Verbindungslinien Gerade seien.

**b Gesicht:** Augen und Mund lassen ein Gesicht vermuten, auch wenn Gesichtskontur, Nase, Ohren und Haare fehlen.

**c Ergänztes Quadrat:** Die vier Punkte werden nicht einzeln wahrgenommen, sondern zu einem Quadrat ergänzt. Die Illusion einer Gesamtgestalt lässt sich kaum unterdrücken.

**d** Ist eine der Ecken verschoben, wird die Interpretation der Gesamtfigur erschwert. Es besteht eine Ambivalenz, indem die Ergänzungsgeraden entweder der Kontur folgen (analog c) oder radiär vom untern linken Punkt ausstrahlen (→ halber Fächer).

Charakteristisch für das Programm ist, dass das Visuelle System sich für „entweder – oder“ entscheiden muss: Entweder nehmen wir die Gestalt *oder* deren Teile wahr, nie aber beides gleichzeitig.

Die mehrdeutigen Gestalten eignen sich deshalb auch als künstlerisches Mittel für amüsante graphische *Spielereien*, und interessanterweise werden sie in verschiedenen Kulturkreisen benützt, wie die Beispiele in **Abb. 3.12** zeigen.

**Abb. 3.12: Zusammenfügen von gestaltfremden Elementen**



**a**



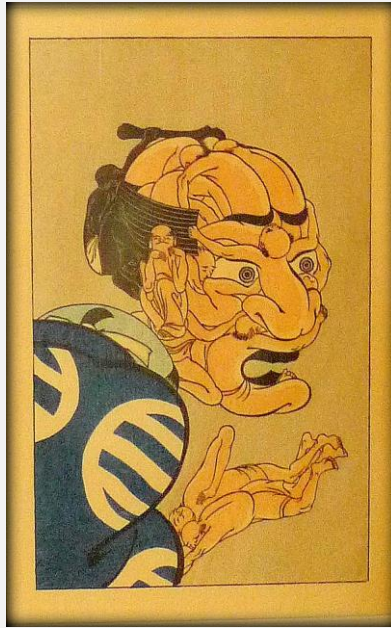
**b**

*Giuseppe Archimboldo, 1526 – 1593, Italien*

**a** In der Schüssel erkennt man die Gemüse als Einzelemente.

**b** Stellt man das Bild auf den Kopf, so sieht man als Erstes ein Gesicht, und nur nach genauerem Hinschauen erkennt man, dass es aus Gemüse zusammengesetzt ist.

\*\*\*



c

*Utagawa Kuniyoshi, 1797 – 1861 Japan*

c Kopf und Hand erkennt man spontan. Dass sie aus mehreren einzelnen Körpern bestehen, entdeckt man aber erst nach längerem Hinsehen, obwohl sie alle gleichzeitig auf der Netzhaut abgebildet sind.

\*\*\*



d

*Ritueller Ring, Bronze, Zentralafrika*

d Entweder nimmt man den Stierkopf mit Augen und Nase als Ganzes wahr, oder man erkennt seine Bestandteile: Fisch, Schlangen mit quergestelltem Maul (= Augen der Ganzfigur). Beides gleichzeitig zu sehen, ist unmöglich.



*Gestaltsehen durch Assoziation*

Eine andere Art von Gestaltphänomenen entsteht dadurch, dass wir Dinge assoziieren mit „etwas, das nicht so ist“ (**Abb. 3.13**). Das wäre an sich nichts Besonderes. Erstaunlich aber ist, dass geradezu ein Zwang besteht, die Assoziationen, einmal erlernt, beizubehalten.

**Abb. 3.13: Gestaltsehen durch Assoziation**



**a**

*Wolkenbild*

**a** Die Form der Wolke lässt verschiedene Interpretationen zu. Die eindrucklichste ist diejenige eines Schwans.

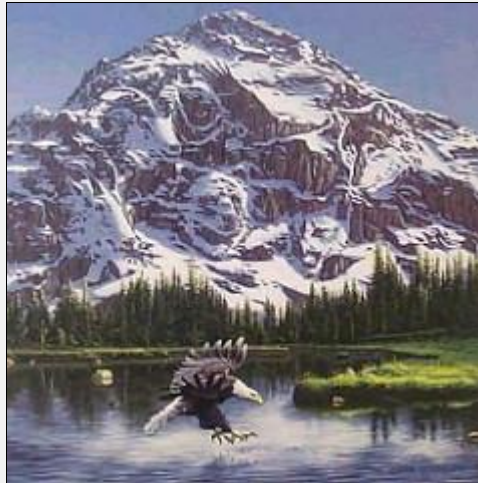


**b**

*Stein*

**b** Die Ansicht als Kopf – hat man sie einmal erfasst - herrscht vor, und es ist schlicht unmöglich, den Stein anders wahrzunehmen, denn als Kopf.





**c**

*c* Gemälde mit kunstvollen, absichtlich versteckten Tiergestalten.  
Wie viele Tiere sind zu sehen?



**d**

*J.M.W. Turner 1775-1851, Gotthardstrasse bei Altdorf*

**d** Gemälde mit unabsichtlich gemalter Gestalt. In der blauen Felsformation kann man den Kopf eines bärtigen Mannes erkennen. Hat man ihn einmal wahrgenommen, wird man ihn bei jeder späteren Betrachtung unweigerlich wieder sehen, und zwar auf den ersten Blick.



Wenn wir einmal in Wolkenbildern Tiere, in Felsformationen Gesichter oder in Steinen Köpfe wahrgenommen haben, werden wir sie als Erstes wahrnehmen, wenn wir sie später erneut betrachten, denn was das ICH einmal als Interpretation übernommen hat, bleibt im Visuellen System fixiert. Offensichtlich spielen beim Zwang zur Gestalt Lernprozesse eine Rolle.

Im Bereich der Malerei kann sich der Zwang zur Gestalt als Störfaktor auswirken, indem er die Betrachter ablenkt von dem, was eigentlich beabsichtigt ist (**Abb. 3.13d**). Kunstschüler werden deshalb bei ihrer Ausbildung instruiert, wie man den Gestaltzwang umgehen kann.

Was beim Zwang zur Gestalt fasziniert, sind die Kriterien, nach denen unser ICH bestimmt, was als Gestalt gelten soll. Was ist massgebend, wenn wir Einzelteile kombinieren? Was beeinflusst unsere Assoziationen? Welchen Einfluss haben angeborene psychische Faktoren, Erziehung, Tabus, seelische Stimmungen, historische Kenntnisse? Mit solchen Fragen beschäftigen sich viele Fachgebiete: Physiologie, Psychologie, Philosophie, Kunstwissenschaften, etc.

### **Programm „Der Zwang zur Dreidimensionalität“ (2D → 3D)**

*Warum nehmen wir die Umwelt dreidimensional wahr, wenn doch ihr Abbild auf der Netzhaut zweidimensional ist?*

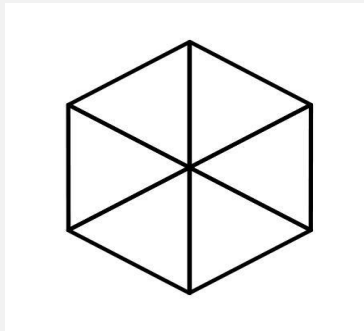
Alle Lichtstrahlen treffen unser Auge auf einer Fläche (Netzhaut), egal ob sie aus einem dreidimensionalen Raum oder einer zweidimensionalen Bildvorlage stammen. Was unser ICH sieht, beruht auf Rekonstruktionen durch das Visuelle System, in dem ein und dasselbe Netzhautbild sowohl als 3D als auch als 2D wahrgenommen werden kann. Um entscheiden zu können, gibt es ein 2D→ 3D Konversionsprogramm, das bei jedem flächigen Bild die Wahrscheinlichkeit einer dreidimensionalen Interpretation abschätzt.

Sehen wir auf Papier oder Leinwand flache Figuren, korrigiert sie unser ICH automatisch in die dritte Dimension, falls sich solch eine Interpretation irgendwie anbietet. Dies geschieht geradezu zwanghaft, und wir können uns einer dreidimensionalen Interpretation nicht entziehen<sup>33</sup>. Sind mehrere Interpretationen gleich wahrscheinlich, steht das ICH vor einem Zwiespalt, bei dem es ständig von der einen zur anderen Interpretation wechselt (**Abb. 3.14**). Hat man bei einer Figur einmal eine dreidimensionale Interpretation erkannt, so wird diese immer wieder übernommen, und die zweidimensionale Version wird verworfen (**Abb. 3.15**). Auch dieses Programm ist offensichtlich erlernbar.

---

<sup>33</sup> Ob dies auch in Kulturen, die keine flachen naturalistischen Abbildungen kennen (z.B. bei manchen Naturvölkern), auch der Fall ist, entzieht sich meiner Kenntnis

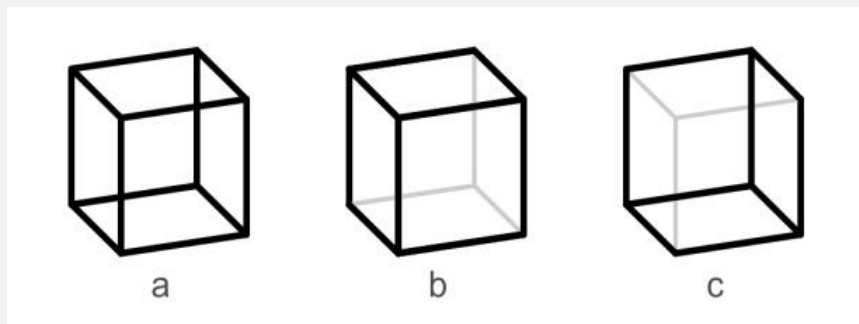
**Abb. 3.14: Interpretationen: Zwei- oder dreidimensional?**



Auf den ersten Blick nehmen wir einen flachen Drachen wahr. Nach längerer Betrachtung tritt jedoch allmählich ein Würfel hervor, der nach noch längerer Zeit – analog **Abb. 3.15** – in verschiedene räumliche Ansichten kippt.

**Abb. 3.15: Die Interpretationsmöglichkeiten des Necker-Würfels**

*Welche Dreidimensionalität?*

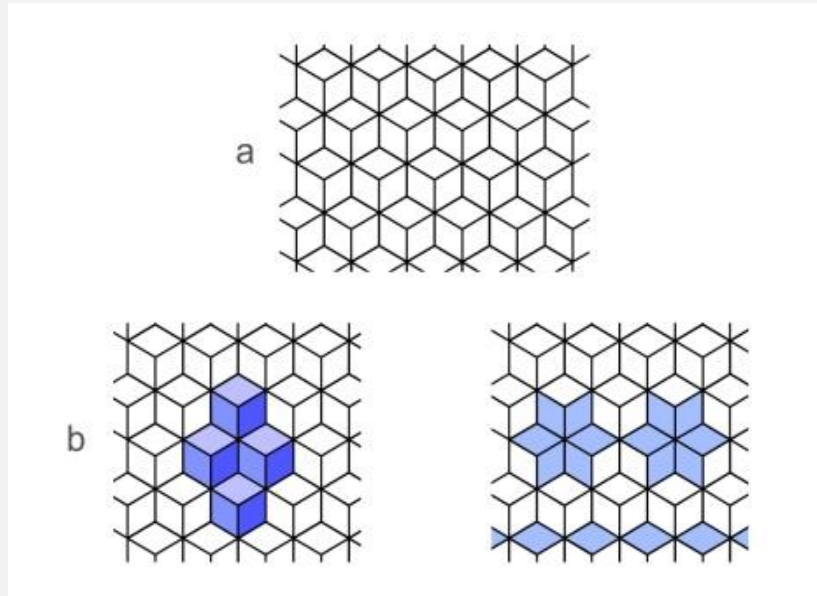


**a** Der Würfel ist eigentlich ein flaches Gitter, aber es ist schlicht unmöglich – und man kann es auch nicht lernen - ihn als ein zweidimensionales Muster wahrzunehmen, d.h. als ein kleines Quadrat, zwei Dreiecke und mehrere Trapeze (*siehe auch Gestaltprogramm*).

**b** und **c** Wir können den Würfel sowohl von oben als auch von unten sehen. Beide Interpretationen sind äquivalent und gleich wahrscheinlich. Wenn wir die Strichfigur in **a** längere Zeit betrachten, kippt die Figur spontan zwischen den Interpretationen **b** und **c**.

In *Mosaiken* überwiegt anfänglich die zweidimensionale Interpretation, da wir bei einem Parkett die Wahrscheinlichkeit, flach zu sein, als grösser erachten. Aber hat man einmal eine räumliche Interpretationsmöglichkeit erfasst, nimmt man im Bereich des Schärfefeldes die Motive plötzlich dreidimensional wahr; wenn das Schärfefeld wandert, verschiebt sich die Dreidimensionalität auch im Mosaik (**Abb. 3.16**).

**Abb.3.16: Necker-Muster in Mosaiken**



**a** Wenn man lang genug auf das Muster aus Rhomben blickt, werden im flachen Parkett plötzlich Kuben sichtbar.

**b** Durch die Schattierung werden hier die Würfel deutlicher hervorgehoben.

**c** Eine andere Ausfärbung unterbricht die räumliche Interpretation und lässt im gleichen Muster flache Sterne und Rhombenbänder ausmachen.

Wie stark das 3D-Programm überwiegt, zeigt sich, wenn man wiederholt auf die farblose Strichzeichnung **a** blickt. Dann erkennt man dort die Kuben (→ 3D-Programm) unmittelbar, die Sterne (→ Gestaltprogramm) jedoch nur mit Mühe.

Der „Zwang zur Dreidimensionalität“ ist die Grundlage für eine Darstellung des Raumes in der Kunst. Er impliziert allerdings eine grosse Fehlertoleranz, und es ist wohl dieser zuzuschreiben, dass vor der Erfindung der geometrischen Perspektive fehlerhafte räumliche Darstellungen als akzeptabel gelten konnten.

(siehe später: *Gestaltete Perspektive*)

## Programm „Binokularesehen“

*Warum nehmen wir die Umwelt als ein einziges Bild wahr, obwohl wir sie mit zwei Augen sehen?*

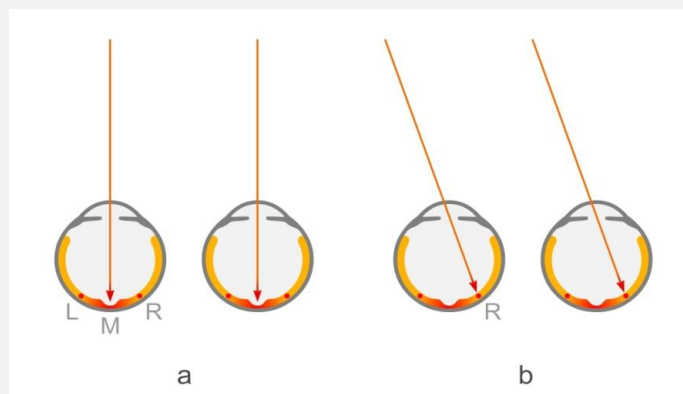
Unsere zwei Augen stehen im Abstand von ca. 7 cm und erblicken die Umwelt somit von verschiedenen Orten aus. Jedes Auge empfängt ein anderes Bild, sodass wir, wenn wir beide Augen offen halten, eigentlich doppelt sehen müssten.

Warum sehen wir die Welt dennoch einfach? Im Visuellen System werden Doppelbilder unterdrückt. Dies geschieht durch neurale Verarbeitungsprozesse, die die Seheindrücke beider Netzhäute zu einer Sehrichtungsgemeinschaft (*Netzhautkorrespondenz*) zusammenschalten. Dabei werden die Sinneszellen der *Netzhaut* in beiden Augen einander so zugeordnet, dass das *Gehirn* ihre Stimulation als einen einzigen Reiz registriert.

Stehen die Augen parallel (d.h. beim Blick in die Ferne), fallen parallel einfallende Lichtstrahlen in der Netzhaut auf korrespondierende Punkte (**Abb.3.17**).

**Abb. 3.17: Korrespondierende Netzhautpunkte beim Blick in die Ferne:**

Beim Blick in die Ferne stehen beide Augen parallel.



*Korrespondierende Punkte*

M: Schärfezonen der Netzhautmitte

L: Exzentrisch links

R: Exzentrisch rechts

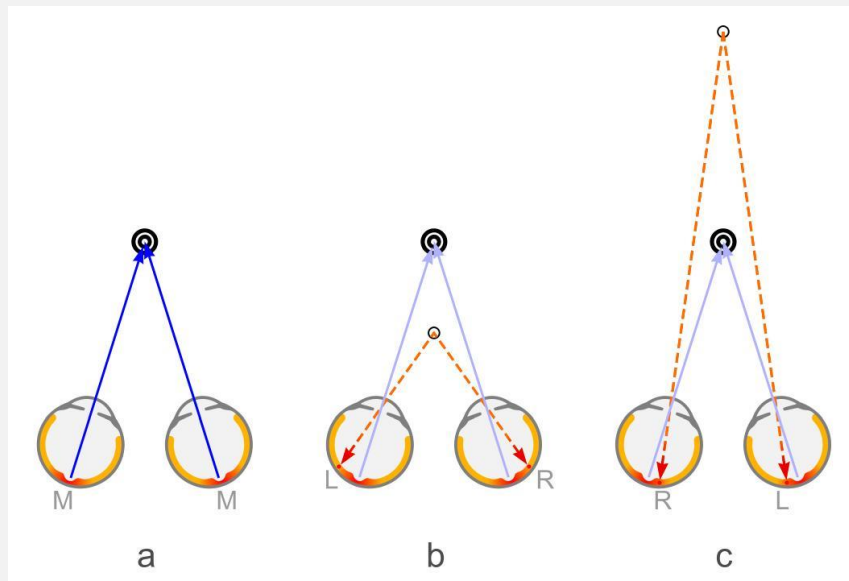
**a** Für Lichtstrahlen, die von *geradeaus* parallel einfallen, sind die korrespondierenden Stellen in der Netzhautmitte M und werden einfach gesehen.

**b** Für *schräg* einfallende Parallelen liegen die korrespondierenden Stellen exzentrisch: R (resp. L), und auch sie werden einfach gesehen.

Konvergieren hingegen die Augen (d.h. beim Blick in die Nähe) treffen nur diejenigen Strahlen auf korrespondierende Netzhautareale, die genau vom anvisierten Punkt her stammen. Alle anderen Lichtstrahlen treffen auf nicht-korrespondierende Stellen, und müssten deshalb Doppelbilder verursachen (**Abb. 3.18**).

**Abb. 3.18: Korrespondierende Netzhautpunkte beim Blick in die Nähe**

Fixiert man ein Ziel in der Nähe, konvergieren die Augen



**a** Lichtstrahlen, die vom fixierten Ziel her eintreffen, fallen in beiden Augen auf korrespondierende Stellen in der Netzhautmitte M.

**b** Wenn wir das gleiche Ziel wie in a fixieren, so fallen Strahlen, die von einem näher gelegenen Punkt ausgehen, auf nicht korrespondierende Stellen: L und R.

**c** Strahlen von einem ferner gelegenen Punkt treffen ebenfalls auf nicht-korrespondierende Stellen, jedoch invers: R und L.

Solche Doppelbilder nehmen wir jedoch nur unter experimentellen Bedingungen wahr. Unter normalen Umständen hingegen sehen wir sie nicht, da sie durch das Binokularprogramm wirksam unterdrückt werden. Jedoch bedeutet dies nicht, dass die unterdrückten Doppelbilder für das Visuelle System inexistent wären. Sie bleiben im Gehirn als unbewusste Quellen von Feedbacks stets präsent.

Diese Feedbacks dienen der Rekonstruktion des Raumes auf der Basis von drei Zonen:

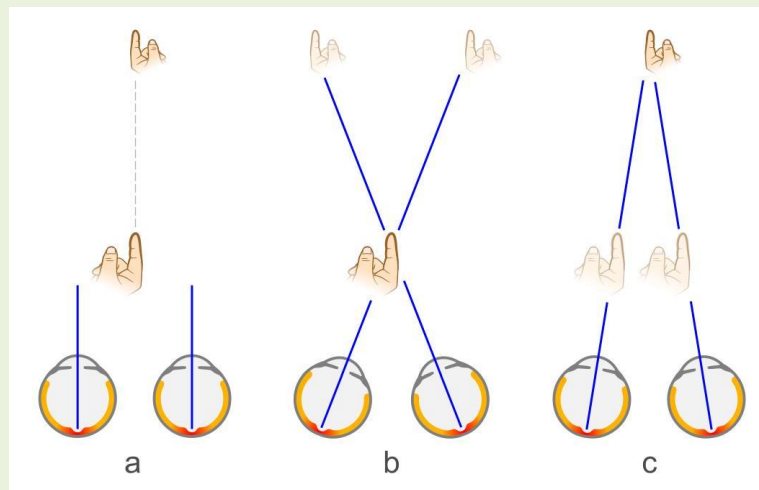
- Am Punkt, den wir fixieren, sehen wir einfach (siehe **Abb. 3.18a**)
- Die Zone davor besteht aus unterdrückten Doppelbildern (siehe **Abb. 3.18b**)
- Die Zone dahinter besteht aus, ebenfalls unterdrückten Doppelbildern (siehe **Abb. 3.18c**)

Das binokulare räumliche Sehen umfasst somit nicht nur das Verschmelzen zweier, leicht verschobener Bilder am Fixierpunkt, sondern auch die Unterdrückung des Feedbacks von den Doppelbildern vor und hinter dem Fixierpunkt<sup>34</sup>.

Der Abstand der unterdrückten Doppelbilder verschiebt sich jedes Mal, wenn wir den Fixierpunkt auf neue Ziele richten. Um sich unentwegt den neuen Gegebenheiten anzupassen, braucht es leistungsfähige Programme für eine „Dynamische Doppelbildunterdrückung“.

### Selbstversuch 3.1

#### Veranschaulichung der Entstehung von Doppelbildern



**a** Man halte beide erhobenen Zeigefinger vors Gesicht, den einen in ca. 20 cm Abstand, den anderen in Armeslänge.

**b** Blickt man auf den näheren Finger, erscheint der fernere (unscharf) doppelt.

**c** Fixiert man den ferneren, so sieht man den näheren (unscharf) doppelt.

Beachte, dass es Übung braucht, um die Doppelbilder wahrzunehmen.

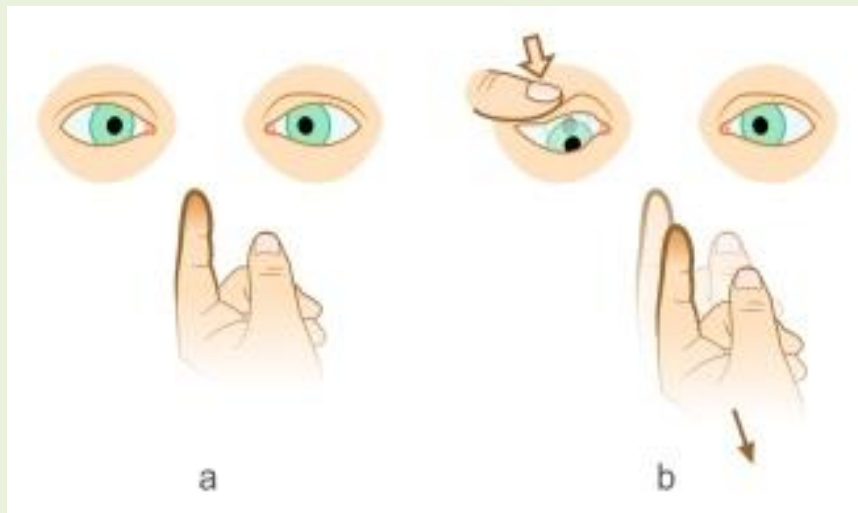
<sup>34</sup> Für genauere Details: Internetsuche unter Stichwörtern Horopter“, „Panum Area“

Die Dynamische Doppelbildunterdrückung funktioniert nur bei koordinierten Augenbewegungen, die vom Gehirn aus gesteuert werden (siehe **Selbstversuch 3.1**). Verschiebungen der Augen, die auf andere Weise zustande kommen, unterliegen nicht dem binokularen Verarbeitungsprogramm. Davon kann man sich leicht überzeugen, indem man die Augen nicht aktiv mit den Muskeln, sondern passiv bewegt. Dann wird das Binokularprogramm nicht aktiviert, und wir sehen tatsächlich doppelt (siehe **Selbstversuch 3.2**).

**Selbstversuch 3.2:**

**Erzeugung von Doppelbildern durch Umgehung des Binokularprogramms**

Die *passive* Verschiebung des Auges erzeugt Doppelbilder, die man nicht unterdrücken kann. Beachte: im Gegensatz zum Selbstversuch 3.1 sind sie nicht abhängig von dem, was wir fixieren, sondern von der Art und Weise, wie wir aufs Auge drücken.



**a** .Man halte einen Finger vors Gesicht.

**b** .Man drücke mit einem Finger der anderen Hand *leicht* auf das Oberlid eines der Augen und verändere auf diese Weise dessen Position. Das Gehirn erhält dabei „falsche“ Feedbacks, weil das Auge sich verschiebt, ohne dass die Augenmuskeln aktiviert wurden. Dadurch wird das normale Feedbacksystem für Bewegungsunterdrückung unterlaufen, und der Finger erscheint doppelt.

Das Binokularprogramm wird uns später noch einmal beschäftigen im Zusammenhang mit der stereoskopischen Räumlichkeit.



## Umprogrammieren und Neuprogrammieren

*Kann man Programme erlernen?*

Dass sich Programme umprogrammieren lassen, haben uns bereits die Experimente zur Bildinversion gezeigt. Es gibt auch andere reale Situationen, in denen sich die Frage einer Umprogrammierung stellt.

Es gibt Menschen, die falsch (Schielende) oder überhaupt nicht visuell programmiert sind (Blindgeborene). Diese kann man umprogrammieren, resp. neuprogrammieren – zumindest in einer frühen Lebensphase, während der das Gehirn noch plastisch ist (siehe **Exkurs 3.3**).

### Exkurs 3.3: Umprogrammieren des Visuellen Systems

*Für medizinisch Interessierte:*

#### Umprogrammierung bei Schielenden

*Schielende* müssten eigentlich doppelt sehen, da ihre Augen in verschiedene Richtungen blicken und die Lichtstrahlen auf nicht-korrespondierende Netzhautpunkte fallen.

Bei *Schielkindern* sind jedoch die beiden Augen so programmiert, dass trotz der Schielstellung keine Doppelbilder auftreten. Diese Programme sind:

- Schwachsichtigkeit (Amblyopie)
- falsche Korrespondenz.

Beide lassen sich umprogrammieren, vorausgesetzt, dies geschieht in früher *Jugend*.

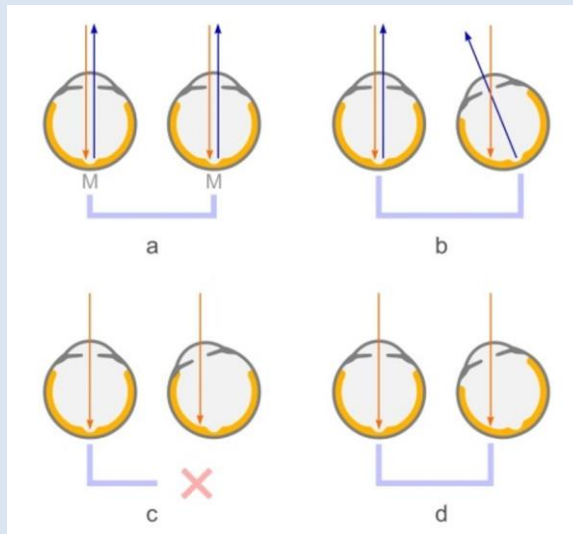
Anders hingegen bei *Erwachsenen*, bei denen eine Schielstellung durch Lähmung von Augenmuskeln auftritt. Die für Gesunde vorprogrammierte normale Korrespondenz führt nun dazu, dass in der Schielstellung Doppelbilder auftreten. Diese lassen sich in *höherem Alter* nicht mehr umprogrammieren und bleiben für immer bestehen, es sei denn, man korrigiere die Schielstellung wieder durch eine Operation.

\*\*\*

Im Folgenden einige Details:

### Doppelbilder und deren Vermeidung bei Schielenden

Entstehung der Doppelbilder und deren Korrektur durch das Visuelle System, *bevor* medizinische Massnahmen eingreifen:



**a Normales Binokulares Sehen:** Beide Augen stehen parallel, die Lichtstrahlen treffen beidseits auf die zentralen Schärfefelder M. Die beiden Schärfefelder sind zusammengeschaltet.

**b Doppelbilder in Schielstellung:** Das rechte Auge blickt nicht in die gleiche Richtung wie das linke, in M entstehen zwei verschiedene Bilder, und wir sehen doppelt.

**c Einseitige Sehschwäche (Amblyopie):** Zur Vermeidung von Doppelbildern sind die Seheindrücke des schielenden Auges unterdrückt. Dieses Auge wird schwachsichtig.

**d Falsche Korrespondenz:** Die Schärfezone des einen Auges ist mit einem peripheren Netzhautareal des anderen zusammen geschaltet. Es entsteht zwar ein Binokulares Sehen, aber dieses funktioniert nur in der Fehlstellung.

*Amblyopie* entsteht, indem das Visuelle System im Schielauge die Impulse aus dem zentralen Schärfefeld unterdrückt und es so schwachsichtig macht, dass es das Doppelbild nicht wahrnehmen kann (**Abb. c**). Als Therapie versucht man das gut sehende Auge durch geeignete Massnahmen am Sehen zu hindern (z.B. durch Zudecken oder Medikamente) und so das Schielauge zu zwingen, die Sehfunktion zu übernehmen. Erfolge erzielt man aber nur, wenn man mit der Therapie möglichst früh beginnt, d.h. vor dem 6. bis 7. Altersjahr, und monatelang – je älter das Kind, desto länger - trainiert. Später lässt sich das Visuelle System nicht mehr umprogrammieren, und die einseitige Schwachsichtigkeit bleibt zeitlebens bestehen.

Bei *falscher Korrespondenz* haben beide Augen volle Sehschärfe, sind aber im Visuellen System auf ein Binokularsehen in der Schielstellung programmiert (**Abb. d**). Diese Art der Anpassung wäre an und für sich sinnvoll. Dies aber nur, solange man nicht versucht, aus kosmetischen Gründen die Schielstellung durch einen chirurgischen Eingriff zu korrigieren. Danach sähe nämlich das Kind infolge der falschen Korrespondenz plötzlich doppelt. Dies lässt sich nur verhindern, wenn man rechtzeitig operiert, d.h. solange sich das Visuelle System noch auf die Geradstellung der Augen umprogrammieren lässt. Nach dem Alter von ca. 12 bis 16 Jahren wird es problematisch, Kinderaugen mit falscher Korrespondenz aus kosmetischen Gründen chirurgisch korrigieren zu wollen.

\*\*\*

### **Neuprogrammierung der Sehfunktion bei blind Geborenen**

Blind Geborene haben, abhängig von den Begleiterkrankungen, verschiedene Schicksale, aber eines ist ihnen gemeinsam: es fehlen ihnen die visuellen Programme gänzlich. Sie stützen sich vermehrt auf andere Sinne, d.h. ihr Weltbild ist auf Tasten, Riechen, Hören programmiert.

Als im Laufe des 20. Jahrhunderts neue chirurgische Techniken gestatteteten, manchen Blinden das Sehen zu ermöglichen, waren die Erwartungen hoch. Gross war jedoch die Enttäuschung (nicht zuletzt auch bei den Ärzten!), als die Patienten über ihren neuen Zustand keineswegs begeistert waren. Sie mussten sich monatelang abmühen, um das Sehen zu erlernen. Manchen gelang es nie, und sie verlangten gar verzweifelt, die Augen am Sehen wieder zu verhindern (z.B. durch Zunähen der Lider), damit sie erneut in ihrer vertrauteren Welt leben konnten. Es fehlten ihrem Nervensystem Programme für die Verwertung der visuellen Impulse.

Die Beispiele zeigen, dass die Möglichkeit einer Neuprogrammierung zeitlich limitiert ist. Dies stellt die Chirurgen vor ein Dilemma: Entweder man operiert möglichst spät, wenn das Auge anatomisch ausgewachsen ist und die chirurgischen Komplikationsrisiken geringer sind, riskiert aber unheilbare Sehschwächen. Oder man operiert möglichst früh, um eine brauchbare Sehfunktion zu erreichen, hat aber ein erhöhtes chirurgisches Komplikationsrisiko.

Die Bedeutung der visuellen Programme lässt sich durch ein Gedankenexperiment demonstrieren. Versuchen wir uns vorzustellen, wie wir in einer Welt zurechtkämen, in der wir von überwältigenden Seheindrücken bombardiert würden, aber keine Programme hätten, um aus den Informationen das Relevante herauszufiltern und zu ordnen: Bildumkehr, Bildschärfung, Bildinversion, Bildschärfung, Bildstabilisierung, Binokularsehen, Ergänzungsprogramm, Gestaltprogramm, Programm 2D → 3D, sowie auch viele andere, die hier nicht erwähnt sind. Wir würden erschlagen von der Unmenge an Informationen, die für uns nutzlos wären, weil wir sie nicht auf das Wesentliche reduzieren könnten.

### **„Fehlerkorrektur“**

*Warum nehmen wir unsere Umwelt realitätsgetreu wahr, obwohl die meisten Abbilder auf der Netzhaut fehlerhaft sind?*

Viele Signale, welche die Netzhaut registriert, sind unpräzise und unvollständig. Dass wir uns in der Umwelt gleichwohl zurecht finden, verdanken wir Programmen, welche die Fehler korrigieren. In diesem Sinne kann man auch die bisher beschriebenen Programme als Fehlerkorrekturprogramme bezeichnen, d.h. als Korrektur der optischen Bildinversion, als Korrektur der Bildunschärfe, als Ergänzung von Fehlendem oder Verdecktem, etc.

Allen Fehlerkorrekturprogrammen ist gemeinsam, dass die korrigierten Fehler durch die neuronalen Prozesse im Gehirn so modifiziert werden, dass sie gar nicht in unser Bewusstsein gelangen.

### **„Fehlertoleranz“**

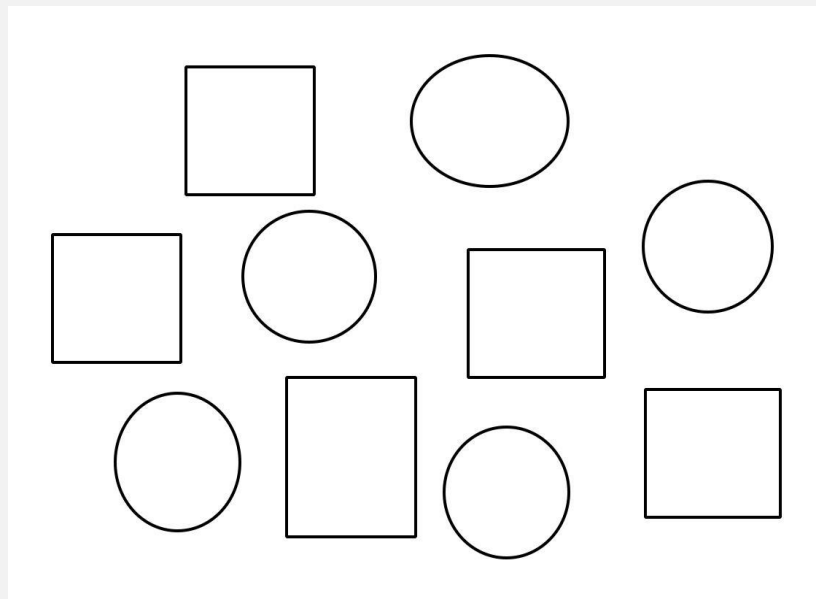
*Warum nehmen wir Fehler nicht wahr, obwohl sie bei genauer Betrachtung offensichtlich sind?*

Die Fehlertoleranz unterscheidet sich von den Korrekturprogrammen dadurch, dass sie die Fehler nicht korrigiert, sondern einfach ignoriert. Wir sehen im Alltag darüber hinweg, könnten aber die Fehler durchaus erkennen, wenn wir uns darauf konzentrieren (**Abb. 3.19**).

Im Gegensatz zur Fehlerkorrektur, die auf physiologischen Abläufen beruht, ist die Fehlertoleranz ein psychologischer Prozess. Dieser hat vielerlei Facetten, die von Person zu Person, von Kultur zu Kultur, geografisch und historisch unterschiedlich gewichtet werden. So hatten z.B. scharfe Konturen Jahrhunderte lang als Qualitätsmerkmale perfekter Kunst gegolten, während im Impressionismus unscharfe Ränder geradezu zum Stilmerkmal wurden. Die Darstellung von Räumen z.B. war vor der Renaissance fehlerhaft, wurde aber von den Zeitgenossen dennoch als genügend empfunden – die Beispiele lassen sich beliebig vermehren.

Für Maler waren „Fehler“ seit jeher Mittel, um in ihren Bildern Lebendigkeit und Spannung zu erzielen, z.B. flott hingeworfene Strichskizzen, unscharf ambivalente Konturen, inexakte Formen, etc. Für den Betrachter jedoch funktioniert die Fehlertoleranz oft erst nach einer gewissen Angewöhnung.

**Abb. 3.19: Fehlertoleranz bei geometrischen Formen**



Nur eine der Formen hier ist ein echter Kreis, resp. ein richtiges Quadrat. Auf Anhieb erkennen wir das aber nicht, denn wir sind geneigt, Abweichungen bis zu einem gewissen Grade zu tolerieren.

Die Fehlertoleranz ist ferner Voraussetzung dafür, dass wir Gemälde von verschiedenen Standpunkten aus anschauen können, ohne sie “falsch” zu finden. Auch wenn die Bilder immer wieder anders auf unsere Netzhaut fallen, bleiben sie in unserer Wahrnehmung unverändert, woher auch immer wir sie betrachten (**Abb. 3.20**).

**Abb. 3.20: Fehlertoleranz bei perspektivischer Darstellung**



*Sant' Ignazio di Loyola in Campo Marzio: Deckengemälde von Andrea Pozzo, 1685*

Das illusionistische Deckengemälde von Andrea Pozzo ist auf eine flache Decke gemalt, täuscht aber ein Gewölbe vor.

Es kann nur von einem definierten Standort, der in der Kirche am Fussboden genau markiert ist, perspektivisch korrekt gesehen werden. Von allen anderen Standorten betrachtet, ist die Perspektive unpräzise, jedoch werden wir uns dessen nicht gewahr. Wie auch immer wir in der Kirche herumgehen, von wo immer wir das gemalte Scheingewölbe betrachten, die räumliche Illusion erscheint für uns stets „richtig“.

## Aspekte der kognitiven Endverarbeitung (ICH)

Am Ende der Verarbeitungskette stehen kognitive Prozesse, bei denen die ursprünglich wertneutralen Signale aus dem Visuellen System ihre *Bedeutung* erhalten.

Aus den elektromagnetischen und elektrochemischen Energieänderungen entsteht im ICH Licht, Farbe, Form. Das ICH weist diesen Werte zu, wie z.B. bedeutsam/bedeutungslos, interessant/vernachlässigbar, schön/hässlich, freudig/traurig, etc. Es entscheidet, wie das Gesehene wahrgenommen wird.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit möchte ich lediglich einen Aspekt herausgreifen: Die Entscheidung zwischen Objekt und Hintergrund. Dabei geht es darum, aus den Millionen von Signalen, die auf unsere Netzhaut treffen, diejenigen herauszufiltern, die wir als Gegenstand unseres Interesses bevorzugt interpretieren, und andere hintanzustellen. Im Alltag sind wir uns dieser Abläufe nicht bewusst.

Nicht selten ist ein und dasselbe Netzhautbild mehrdeutig. Wir werden dessen jedoch erst dann gewahr, wenn wir speziell darauf aufmerksam gemacht werden und erstaunt – und belustigt - feststellen, dass das Bild zwischen mehreren Interpretationen kippt (**Abb. 3.21** und **Selbstversuch 3.3**).

**Abb. 3.21: Wechsel von Interpretationen als Spielerei**



*Rubins Vase: Vase oder Gesichter?*

*Links:* Im Schattenriss wird das Motiv zur Kippfigur (Kelch vs. zwei Köpfe, die gegeneinander blicken)

*Rechts:* Die räumliche Interpretation dominiert, wir sehen den Kelch, nicht aber die Gesichter





*Sofia Levitskaya*

*Mann oder Frau - Frau oder Mann?*

Unser ICH schwankt beim Interpretieren zwischen zwei Figuren, die optisch gleichwertig sind.

*Beachte:* Ich *muss* mich entscheiden, denn ich kann beide Interpretationen nicht gleichzeitig wahrnehmen.

### **Selbstversuch 3.3: Wechsel von Interpretationen im Alltag**

Man stelle den Fernseher so auf, dass sich auf dem Schirm das Zimmer spiegelt. Dann schalte man ihn ein.

Erstaunlicherweise nimmt man dann die störenden Spiegelungen auf Anhieb nicht mehr wahr, sondern nur das Programm. Konzentriert man dann die Aufmerksamkeit erneut auf den Schirm, kippt die Wahrnehmung, indem man die Reflexe wieder als Objekt und das gespielte Programm als Hintergrund betrachtet.

*Beachte:* Ohne den Entscheid, die Reflexe mental zu vernachlässigen, könnten wir gar nicht fernsehen, es sei denn in einem perfekt abgedunkeltem Raum.



In diesem Kapitel ging es darum, den Begriff von Programmen einzuführen, ihre Funktion zu erläutern und einige davon genauer darzustellen. Im Zusammenhang mit der Perspektive werden im Folgenden noch weitere Programme beschrieben.

<b>Übersicht</b>		
<b>Auge</b> Physik optisch	<b>Gehirn</b> Physiologie zerebral	<b>ICH</b> Psychologie cognitiv
Rezeption	Rekonstruktion	Bewusstsein
elektromagnetische Signale <i>Wertfrei</i>	elektrochemische Signale <i>wertfrei</i>	geistige Verarbeitung <i>wertbestimmt</i>

# 4 Raum und Räumlichkeit

## Zur Frage der Begriffe: Raum vs. Räumlichkeit

### Binokulare Räumlichkeit (Stereopsis)

*Der Stereo-Blick*

*Stereoskope*

*Stereogramme*

### Monokulare Räumlichkeit

*Statische Kulisseneffekte*

*Dynamische Kulisseneffekte (Parallaxe)*

*Grössenkonstanz*

*Licht und Schatten*

*Luftperspektive*

### Raum: Mathematische Perspektive

### Das Paradoxon der Bipolaren Konvergenz

**...the most important thing  
that happened during the renaissance  
was the emergence of the ideas  
that led to the  
rationalisation of sight**

**(William M. Ivins Jr. : On the Rationalisation of Sight, 1938)**

## Zur Frage der Begriffe: Raum vs. Räumlichkeit

Die Begriffe „Raum“ und „Räumliches“ werden im allgemeinen Sprachgebrauch einander oft gleichgesetzt. In der Theorie jedoch stehen die beiden Begriffe für Verschiedenes. Raum bedeutet ein Gebilde (Substantiv), Räumlichkeit steht hingegen für dessen Eigenschaften (substantiviertes Adjektiv), räumlich beschreibt auch Einzelobjekte (reines Adjektiv).

Die *Darstellung* des Raumes: Den Raum *an sich* kann man nicht darstellen, sondern seine Existenz lediglich illustrieren anhand der räumlichen Objekte, die sich in ihm befinden (siehe **Exkurs 4.1**). Massgebend ist die *Aussenwelt*, d.h. Optik und Mathematik.

### Exkurs 4.1: Beispiel: Der Himmel

Raum *an sich* ist unsichtbar, unfassbar. Den unbedeckten blauen Himmel, obwohl unendlich gross, nehmen wir nicht als Raum wahr. Der nächtliche Himmel hingegen mit seinen Sternen erscheint uns als Raum, als Kuppel (wobei der Eindruck einer Kuppel auf einer visuellen Täuschung beruht, siehe später).

Die *Wirkung* des Raumes: „Raumwahrnehmung“, „Raumempfindung“, „Raumgefühl“ hingegen betreffen die *Innenwelt* und sind das, was im visuellen System und im ICH ausgelöst wird. Massgebend sind die Programme und die Feedbacks, die das Gehirn erhält.

Hier geht es um die Frage, in wieweit es gelingt, mit malerischen Mitteln ein Raumerlebnis zu erzielen.

## Binokulare Räumlichkeit (Stereopsis)

Für die Perspektive ist das binokulare Sehen zwar nicht relevant, aber ich gehe hier dennoch genauer darauf ein, um es dem monokularen Sehen gegenüber zu stellen und so die Komplexität unserer Raumwahrnehmung zu demonstrieren.

Ich habe im vorherigen Kapitel gezeigt, wie das Binokularprogramm Doppelbilder unterdrückt. Es tut aber mehr als das, denn es schafft auch etwas Neues: die dreidimensionale Räumlichkeit. Stereopsis ist dadurch charakterisiert, dass sie - im Gegensatz zu den monokularen Raumprogrammen (siehe später) - keine Zusatzinformationen braucht und auch nicht abwägen muss zwischen verschiedenen Hypothesen. Der Raumeindruck entsteht ohne Verzögerung und ist hoch präzise. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass wir etwas ergreifen, Hindernissen ausweichen oder auf ein Ziel hin springen können<sup>35</sup>.

---

<sup>35</sup> Stereoskopie setzt voraus, dass beide Augen im Kopf nach vorn gerichtet sind. Dies ist der Fall bei Raubtieren, die ihre Beute im Sprung ergreifen, und bei Baumbewohnern, die von Ast zu Ast springen, d.h. bei Tieren, für die eine *unmittelbare* räumliche Orientierung lebenswichtig ist. Beim Menschen ist die frontale Augenstellung vielleicht ein Relikt aus der Zeit „Einst haben die Kerls auf den Bäumen gehockt“ (Erich Kästner, *Die Entwicklung der Menschheit*).

Binokulares Raumsehen funktioniert jedoch nur, solange unsere Augen auf ein Ziel *konvergieren*. Jedes Auge sieht dann das Objekt unter einem anderen Winkel und empfängt ein eigenes Netzhautbild. Das Visuelle System erhält somit zwei verschiedene Bilder und errechnet daraus ein einziges - und zwar dreidimensionales - Bild.

Der stereoskopische Effekt hängt ab vom Abstand zwischen den beiden Augen, resp. deren Pupillen („Stereobasis“). Beim Menschen mit einer Stereobasis von ca. 7 cm ist ein Stereosehen nur bis zu einem Abstand von ca. 6 bis 20 Meter möglich. Bei *entfernteren* Objekten stehen die Augen parallel, die Bilder auf der Netzhaut beider Augen werden identisch, und damit entfällt der Stereoeffekt. Allerdings kann man mit speziellen Geräten, z. B. mit Prismenfeldstechern und Scherenfernrohren, die Stereobasis verbreitern und so den Stereoeffekt auf weitere Distanzen ausdehnen.

Die natürliche Stereopsis, bei der wir *Dreidimensionales* dreidimensional wahrnehmen, funktioniert ohne dass wir uns dessen bewusst werden. Erst wenn wir eines unserer Augen schliessen, erfahren wir ihre Bedeutung im Alltag (siehe **Selbstversuch 4.1**).

#### **Selbstversuch 4.1: Stereosehen im Alltag**

Man schliesse ein Auge und versuche,

- Flüssigkeit aus einer Flasche in ein Glas einzuschenken
- eine Nadel einzufädeln
- einen Nagel einzuschlagen (*Vorsicht!*)

und wiederhole den Versuch mit beidseits offenen Augen.

#### *Der Stereoblick*

Will man stereoskopisches Sehen in Experimenten auslösen, muss man sich den Stereoblick antrainieren (siehe **Exkurs 4.2**), und mit diesem zwei gegeneinander versetzte Vorlagen betrachten (siehe **Selbstversuch 4.2**).

#### **Exkurs 4.2: Der Stereoblick**

Der Stereoblick kommt zustande, wenn wir geeignete Vorlagen statt mit konvergierenden Augen mit *parallel* gestellten Augen ansehen, d.h. den *Nahsichtbereich* mit *Ferneinstellung* betrachten. Wir blicken durch die Vorlage hindurch ins *Leere* und versuchen, die Doppelbilder (→ Optik) mental (→ Visuelles System) zu einem einzigen Bildeindruck zu vereinigen. Die Verrechnungsprozesse im Visuellen System benötigen dafür allerdings Zeit.

*Praktisches Vorgehen*

Man halte den Kopf so nah an die Mitte der Vorlage, bis die Nasenspitze sie berührt. Dann bewege man den Kopf mit starrem Blick in die Ferne langsam von der Vorlage weg, bis das Bild scharf erscheint. *Geduldig (!!!)* warte man, bis allmählich dreidimensionale Figuren hervortreten. Gelegentliches Blinzeln hilft.

Offensichtlich spielen Lernprozesse eine Rolle, denn bei Wiederholungen des Versuches fällt uns dank der erworbenen Übung die Wahrnehmung des dreidimensionalen Bildes immer leichter.

*Beachte:* Manche Leser werden die stereoskopischen Bilder nicht räumlich sehen können. Zum einen haben nicht alle Menschen die Fähigkeit zur Stereoskopie, insbesondere diejenigen nicht, die schielen oder früher geschickt haben.

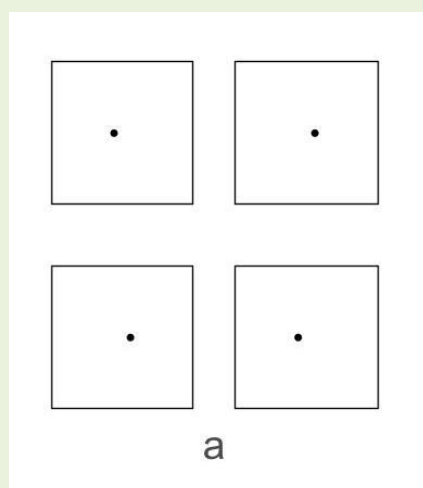
Zum anderen können Mehrstärkenbrillen Schwierigkeiten bereiten. Man versuche daher, den Kopf mehr oder weniger zu neigen, bis man die passende Schärfezone findet.

Tritt auch dann kein Stereoeffekt ein, versuche man, die Bildgrösse zu verändern.

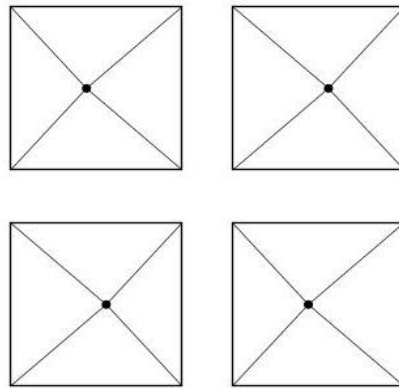
**4.2: Selbstversuche mit stereoskopischen Bildern**

Die linken und rechten Bilder erscheinen flach, wenn man ein Auge schliesst. Betrachtet man sie beidäugig mit stereoskopischem Blick so lange, bis sie sich überdecken, erscheint nach geraumer Zeit ein dreidimensionaler Effekt.

Vertauscht man die zwei Bilder (jeweils unten), so kehrt sich der Räumlichkeitseffekt um.

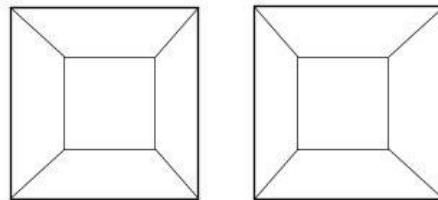


**a** In der oberen Reihe scheint der Punkt nach hinten verlagert, in der unteren Reihe nach vorn.



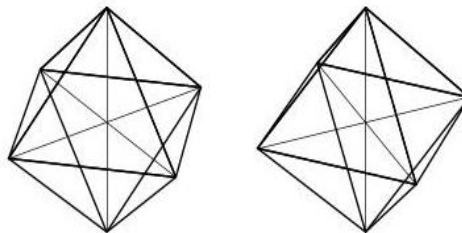
b

**b** In der oberen Reihe scheint die Spitze der Pyramide hinten, in der unteren vorn zu liegen.



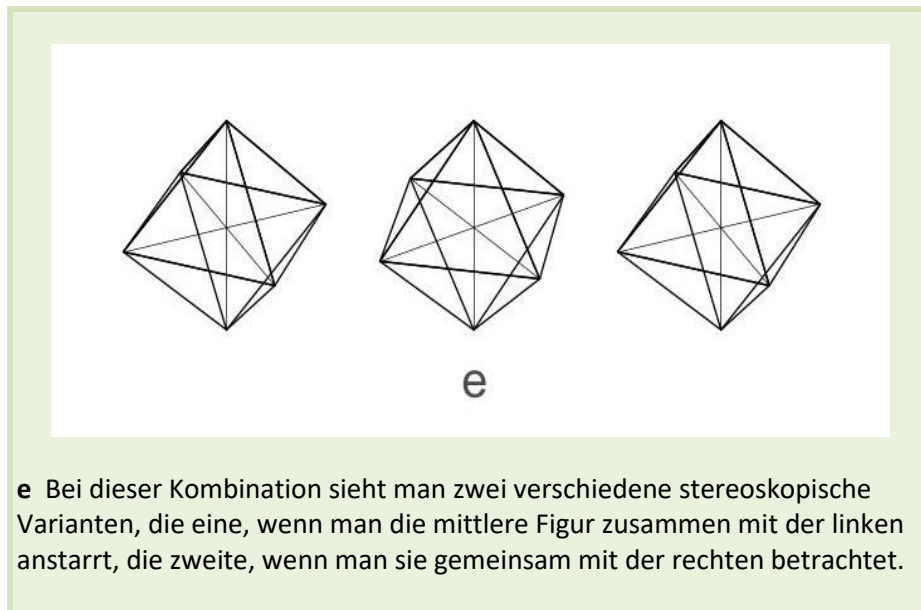
c

**c** Variante mit gekappter Pyramidenspitze.



d

**d** Zwei komplizierte Gebilde, einander völlig unähnlich, wirken bei stereoskopischem Blick als eine einzige räumliche Figur.



e Bei dieser Kombination sieht man zwei verschiedene stereoskopische Varianten, die eine, wenn man die mittlere Figur zusammen mit der linken anstarrt, die zweite, wenn man sie gemeinsam mit der rechten betrachtet.

### *Stereoskope*

Stereoskope sind Apparate, mit denen durch eine spezielle Optik zwei von benachbarten Orten aufgenommene Fotos präsentiert werden (**Abb. 4.1**). Um den räumlichen Effekt zu verstärken, kann man den stereoskopischen Bereich weit über die 6 Meter des physiologischen Stereosehens hinaus verlängern, indem man für die Aufnahme eine Stereokamera (Doppelkamera mit zwei Objektiven) mit übergrosser Stereobasis wählt.

Was man im Stereoskop sieht, ist aber keine perfekte Räumlichkeit. Figuren erscheinen nicht plastisch modelliert, sondern bilden vielmehr eine Serie von hintereinander geschichteten flächenhaften Elementen. Das Problem entsteht wahrscheinlich, weil die Vorlagen flach sind und auf einer einzigen Ebene stehen, sodass vor und hinter dem Fixationspunkt keine Doppelbilder entstehen. Es gibt deshalb auch keine entsprechenden Feedbacks im Gehirn, weshalb deren Unterdrückungsprogramme, welche – wie früher gezeigt - zum räumlichen Eindruck beitragen, nicht aktiviert werden.

Offensichtlich - wie ich hier noch mehrmals zeigen werde - lässt sich mit flachen Vorlagen kein perfekter Raumeindruck erzielen; man kann sich der Räumlichkeit höchstens mehr oder weniger annähern.

Sind die rechten und linken Bildvorlagen vertauscht, wie z.B. bei manchen Abbildungen auf dem Internet, wird es schwierig sie räumlich zu interpretieren. Wenn es nicht gelingt, eine derartige Vorlage räumlich wahrzunehmen, lohnt sich der Versuch, sie zu trennen und invers wieder zusammenzufügen (siehe **Exkurs 4.3**).



**Abb. 4.1: Stereoskope und stereoskopische Vorlagen**



**a**

**a** Stereoskop von Holmes, patentiert 1861, die populärste Form von Stereoskopen im 19. Jahrhundert.



**b** Stereoeffekte weit über den Bereich des normalen Stereosehens hinaus.



**c** Ausgeprägte Kulisseneffekte: Die Menschen erscheinen flach.



**d** Überraschende Stereo-Effekte in den Spiegeln.

### Exkurs 4.3: Vertauschte Vorlagen aus dem Internet

a: Frauen amüsieren sich mit einem Stereoskop



Original: Vertauschte Bilder.



Korrigierte Anordnung der Bilder.

b Spiegelreflexe auf Wasseroberfläche



Original: Vertauschte Bilder

Die reflektierten Bäume scheinen über dem Wasser zu schweben.



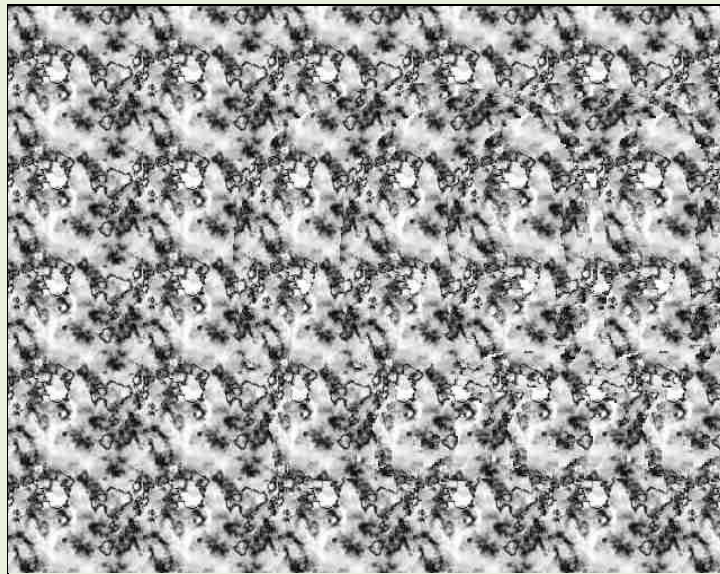
Korrigierte Anordnung der Bilder  
Spiegelbild in der Tiefe des Wassers.

### *Stereogramme*

Stereogramme enthalten computergenerierte Grundmuster, in denen beim Einsatz des Stereoblickes dreidimensionale Figuren hervortreten. Von den – ebenfalls mit Stereoblick zu betrachtenden – stereoskopischen Vorlagen unterscheiden sich Stereogramme aber, indem

1. es statt zwei Vorlagen nur eine einzige braucht
2. die neu entstehenden dreidimensionalen Figuren in keinem Zusammenhang stehen mit den jeweiligen Grundmustern
3. wir beim Betrachten des Grundmusters nicht wissen können, was uns bei Betrachtung mit Stereoblick erwarten wird (siehe **Selbstversuch 4.3**).
4. es keine Apparate gibt, mit denen man sie besser sichtbar machen kann

#### **Selbstversuch 4.3: Stereogramme Grundmuster vs. Stereofiguren**

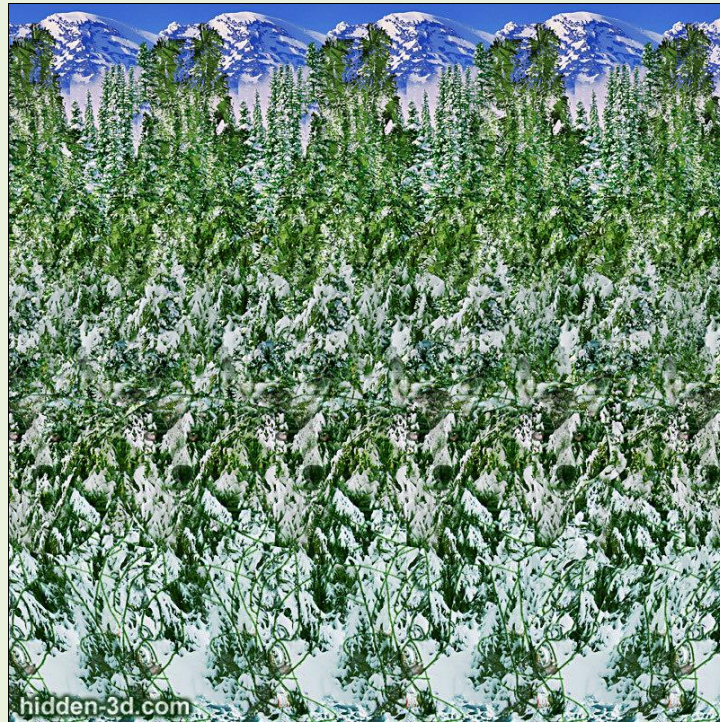


**a**

**a** Im Zufallsmuster sieht jedes Auge „Nichts“. Auch bei Betrachtung mit beiden Augen erkennen wir „Nichts“. Sobald wir aber den Stereoblick einschalten, kommt uns jedoch ein Totenschädel entgegen.

*Beachte:* In diesem Stereogramm tritt noch eine weitere räumliche Illusion auf, die wohl nicht beabsichtigt ist.





**b**

**b** Das Grundmuster erscheint auf Anhieb zufällig, aber irgendwie erahnt man eine Winterlandschaft. Im Stereoblick bestätigt sich die Vermutung, und es treten dreidimensionale Bäume und ein Wolf hervor.

\*\*\*



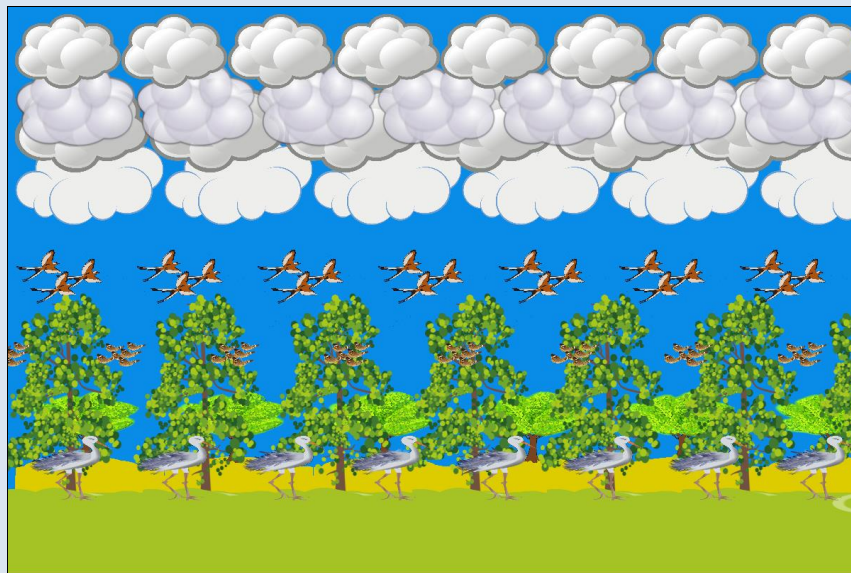
**c**

**c** Jedes Auge erkennt hier im Grundmuster ein figürliches Motiv: Ornament aus farbigen Vögeln. Der Stereoblick konstruiert darin einen dreidimensionalen, fliegenden Vogel, dessen Gefieder das Ornament des Hintergrundes übernimmt.

Stereoskope und Stereogramme spielten für die Bewusstwerdung des Raumes in der Renaissance keine Rolle, weil man damals die experimentelle Stereopsis noch nicht kannte. Heute sind sie wegen der überraschenden und verblüffenden Resultate beliebte Spielereien. Ausserdem eignen sie sich für Experimente, u.a. für ein elegantes Experiment zu Bewegungsfeedbacks (siehe **Exkurs 4.4**).

#### **Exkurs 4.4: Stereogramm als Test für Bewegungsfeedbacks**

Wie Feedbacks aus der Körpermuskulatur und aus dem Gleichgewichtsorgan unsere Wahrnehmung beeinflussen, lässt sich mittels Stereogrammen demonstrieren.



Praktisches Vorgehen: Drucke das Stereogramm aus. Dann betrachte es mit stereoskopischem Blick<sup>36</sup>, bis die Figuren räumlich erscheinen<sup>37</sup>.

*Experiment 1:* Halte den Kopf unbewegt und bewege nur das Stereogramm hin und her. Das Feedback zum Gehirn basiert zum einen auf der unbewegten Kopfhaltung, zum andern auf den bewegten Händen. Resultat: Die räumlichen Figuren verschieben sich *simultan* mit dem Hintergrund.

<sup>36</sup> Zur Erinnerung: Man halte den Kopf so nah an die Mitte der Vorlage, bis die Nasenspitze sie berührt. Dann bewege man den Kopf mit starrem Blick langsam vom Bildschirm weg, bis das Bild scharf erscheint. Geduldig warte man, bis die dreidimensionalen Figuren hervortreten.

<sup>37</sup> Um nochmals darauf hinzuweisen: Manche Personen können den Stereo-effekt nicht erkennen, weil nicht jedermann über ein genügend präzises Stereosehen verfügt.

*Experiment 2:* Halte das Stereogramm fest und bewege lediglich den Kopf hin und her. Dank der Feedbacks vom bewegten Kopf zum Gehirn nehmen wir jetzt parallaktische Verschiebungen wahr.  
Resultat: Jetzt verschieben sich die Figuren *gegensinnig* zum Hintergrund

*Beachte:* In beiden Experimenten sind die Bewegungen des ausgedruckten Stereogramms (→ *Optik*) auf der Netzhaut gleich. Die Wahrnehmung (→ *Visuelles System*) aber verändert sich je nach Feedback.  
Wenn das Gehirn keine Feedbacks von Kopfbewegungen erhält bewegt sich das Stereogramm als Ganzes (räumliche *Stabilität*), im zweiten Fall bewegen sich die Figuren gegenläufig (räumliche *Parallaxe*)<sup>38</sup>.

### Monokulare Räumlichkeit:

Da die Stereopsis nur im Nahbereich wirksam ist, muss sich das räumliche Sehen in grösseren Distanzen auf *monokulare* Räumlichkeitskriterien stützen. Im Gegensatz zum binokularen Raumsehen, bei dem die Verarbeitung der Signale *ohne Verzögerung* geschieht, setzen die monokularen Raumkriterien Vorkenntnisse über die allgemeine Situation voraus. Sie implizieren ein Abwägen zwischen verschiedenen Hypothesen, und sie sind deshalb *langsame* Prozesse:

- Kulisseneffekte
- Grössenkonstanz
- Schatten
- Luftperspektive

### *Statische Kulisseneffekte*

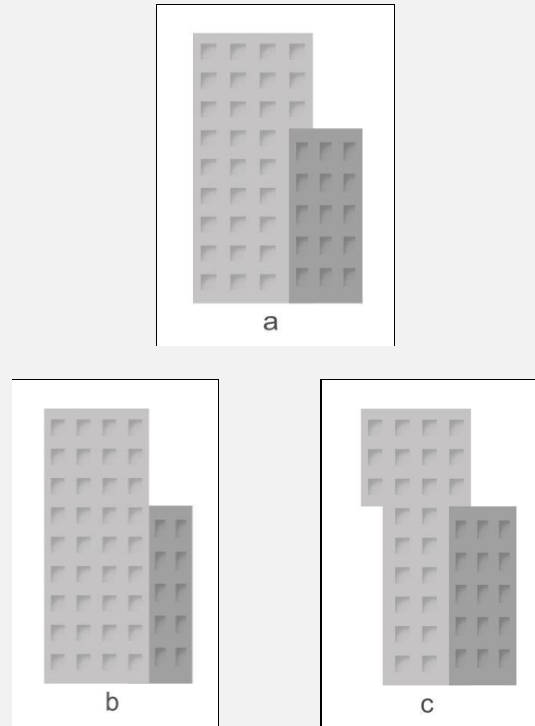
In unserer natürlichen Umwelt sehen wir die meisten Objekte teilweise verdeckt. Was überdeckt wird, liegt *hinter* dem Verdeckenden, und daraus ergibt sich ein wirksames Kriterium zur Beurteilung dessen, was uns näher und was weiter entfernt liegt. Für einen richtigen Entscheid ist man allerdings auf Vorkenntnisse angewiesen (**Abb. 4.2**).

---

<sup>38</sup> Meines Wissens wird dieser Effekt hier zum ersten Mal beschrieben.

**Abb. 4.2: Statische Kulisseneffekte**

*Erfahrung als Entscheidungskriterium*



**a** Das kleinere Haus steht vor dem grösseren, vorausgesetzt wir wissen, dass die Fassade des grösseren Hauses am rechten Rand gerade ist.

**b** Wenn man annimmt, dass das kleinere Haus gleich breit sei wie dasjenige in **a**, ist es vom Hochhaus teilweise verdeckt und steht deshalb hinter ihm. Glaubte man, es sei schmaler, so steht es daneben.

**c** Zwispältiges Bild: Die oberen Stockwerke des grösseren Hauses ragen über die unteren hinaus. Steht das kleinere Haus vor, neben oder hinter dem Hochhaus? Antworten bringt der dynamische Kulisseneffekt.

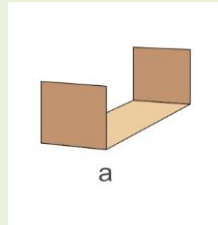
### *Dynamische Kulisseneffekte (Parallaxe)*

Wenn die Situation nicht eindeutig ist, verschaffen uns geringfügige seitliche Bewegungen Klarheit. Bei den *dynamischen* Kulisseneffekten lassen sich die Beziehungen zwischen den einzelnen Objekten aus den gegenseitigen Verschiebungen ableiten (siehe **Exkurs 4.2** und **Selbstversuch 4.4**).

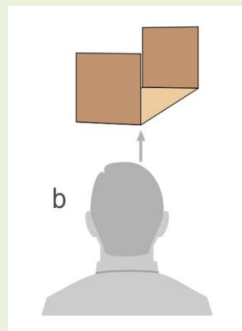


#### Selbstversuch 4.4: Demonstration des dynamischen Kulisseneffekts (Parallaxe)

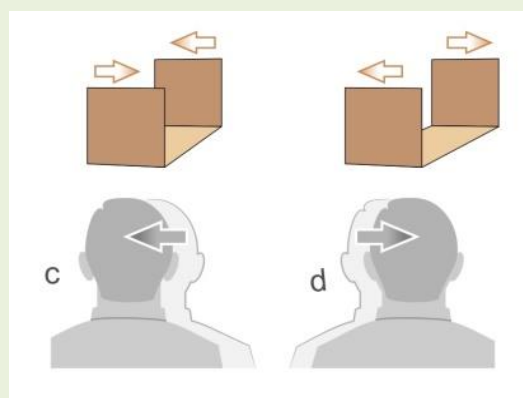
a-d: Einfluss der Kopfbewegung auf das Ausmass der Parallaxe



**a** Man falte als Modell einen Kartonstreifen in drei Teile, und zwar so, dass die beiden Enden senkrecht stehen. Beim spielerischen Umgang mit diesem Modell erfährt man, wie wenig der Kopf verschoben werden muss, um räumliche Effekte zu erzielen.



**b** Man schliesse das eine Auge und halte mit ausgestreckten Armen das Modell vor sich. Dann drehe man dieses, bis die zwei Seitenkanten der senkrechten Teile sich berühren und deren beiden Flächen wie eine einzige erscheinen.

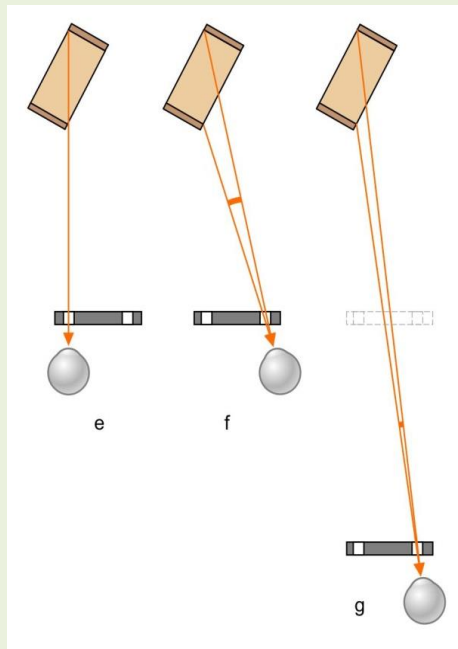


**c** Nun verschiebe man den Kopf etwas gegen links. Der vordere senkrechte Teil überdeckt dann den hinteren Teil.

**d** Man verschiebe den Kopf gegen rechts. Die beiden senkrechten Flächen erscheinen getrennt, das Intervall wird sichtbar



**e-g: Einfluss der Distanz auf die Parallaxe**



Ansicht der Versuchsanordnung von oben: Das Schema zeigt das Ausmass der parallaktischen Verschiebung in verschiedenen Distanzen. Um die seitliche Verschiebung des Auges konstant zu halten, bediene man sich einer Schablone mit zwei Öffnungen.

**e** Das Modell ist analog zur **Abb. b** aufgestellt, so dass sich für den Betrachter die senkrechten Kanten zu berühren scheinen

**f** Man verschiebe sich nun seitwärts zur zweiten Öffnung, sodass man das Modell parallaktisch verschoben sieht wie **in Abb. d**.

**g** Vergrössert man den Abstand, so wird bei gleicher seitlicher Verschiebung der parallaktische Effekt kleiner (Vergleiche mit **f**).

Vergrössert man den Abstand stetig weiter, wird die Parallaxe schliesslich unwirksam.

Die Parallaxe ist ein empfindliches Kriterium für räumliche Wahrnehmung. Im Gegensatz zur Stereopsis, deren Wirkung auf die Nahdistanz begrenzt ist, kann sie Tiefdifferenzen auch in mittleren Distanzen aufdecken (siehe **Selbstversuch 4.2 e-g**). Generell kann Parallaxe die Stereopsis weitgehend ersetzen, funktioniert allerdings nicht in gleicher Geschwindigkeit<sup>39</sup>.

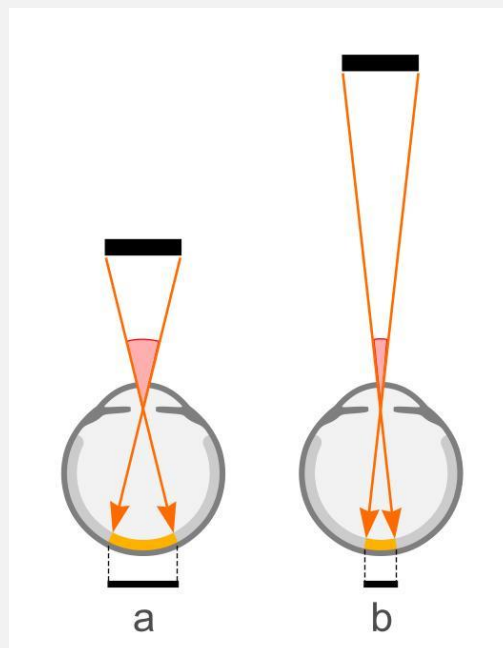
<sup>39</sup> Dank des dynamischen Kulisseneffekts sind Menschen ohne stereoskopisches Sehen (z.B. Schielende, Schieloperierte oder Einäugige) im Raum kaum benachteiligt, ausser in Situationen, in denen eine *blitzschnelle* Reaktion unabdingbar ist (z.B. zum Greifen nach Halt beim Sturz)

In der Malerei stehen den Künstlern weder die Stereopsis noch die Parallaxe zur Verfügung. Sie müssen deshalb auf ihren Gemälden andere Phänomene ausnützen, die, obwohl weniger empfindlich, von den Betrachtern für die Wahrnehmung von Räumlichkeit gleichwohl als adäquat empfunden werden.

### Grössenkonstanz

Objekte gleicher Grösse werden, je nach Abstand, auf der Netzhaut im Auge verschieden gross abgebildet (**Abb. 4.3**). Ihre realen Ausmasse können wir demnach nicht nach der *wahrgenommenen* Grösse beurteilen. Nur ein Vergleich mit Objekten bekannter Grösse (z.B. Menschen) zeigt, ob Objekte deshalb klein erscheinen, weil sie wirklich klein sind, oder weil sie gross, aber weit von uns entfernt sind (**Abb. 4.4**, und **4.5**).

**Abb. 4.3: Abstand, Sehwinkel und Abbildungsgrösse auf der Netzhaut**

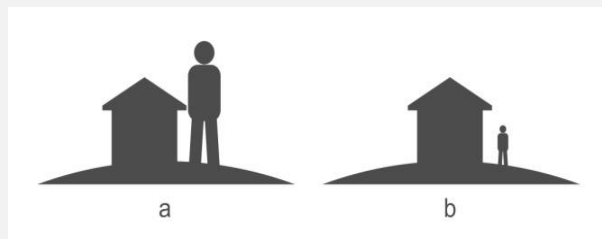


#### **Objekte gleicher Grösse in verschiedenen Abständen**

**a** Bei nahem Objekt ist der Sehwinkel gross, und dementsprechend wird auch die Abbildung auf der Netzhaut gross.

**b** Wird der Abstand grösser, wird der Sehwinkel kleiner und somit auch die Abbildung auf der Netzhaut.

**Abb. 4.4: Die Grösse des Menschen als Massstab zur Beurteilung der Relation von Objektgrösse und Abstand**

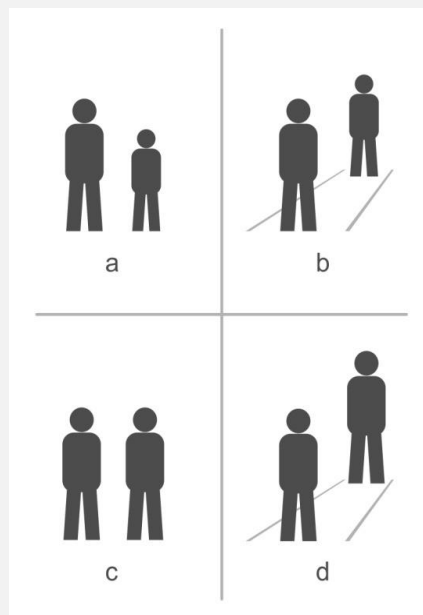


Zwei Häuser, die auf der Netzhaut in gleicher Grösse abgebildet werden, erscheinen je nach Nachbarschaft verschieden gross

- a Mensch gross, Haus klein → Nahabstand (→ Hundehütte)
- b Mensch klein, Haus gross → Fernabstand (→ Wohnhaus)

**Abb. 4.5: Zwerg, Riese oder grosser Abstand?**

*(Wiederholung von Abb. 1.6)*



- a Grosser und kleiner Mensch, nebeneinander gestellt.
- b Wird die kleine Figur zwischen zwei konvergierenden Linien, schräg nach rechts in die Höhe verlagert, so wird sie perspektivisch als weiter entfernt interpretiert und gleich gross wie die vordere Figur wahrgenommen.
- c Beide Menschen sind gleich gross.
- d Wird der rechte nach oben verlagert, so wird er in unserer Wahrnehmung zum Riesen

In der *Malerei* spielte die Grössenkonstanz erst dann eine wichtige Rolle, als es um die Erforschung und Darstellung der Realität ging. Zuvor, als Bilder weitgehend erzählerischen Charakter hatten, galten auch andere Gesichtspunkte, wie etwa die narrative Bedeutung in der Szenerie oder die soziale Stellung der dargestellten Personen (**Abb. 4. 6**)

**Abb. 4.6:** Beispiele für Abbildung von Menschen gemäss ihrer Wichtigkeit



Aus der *Manessischen Handschrift* (14. Jahrhundert)  
Die adligen Akteure sind gross, die zudienenden Personen klein dargestellt.

\*\*\*



*Florenz, Santa Croce*

*Vorrenaissance:* David und Goliath. Der siegreiche Knabe David ist wichtiger als der verachtete Riese Goliath.

\*\*\*



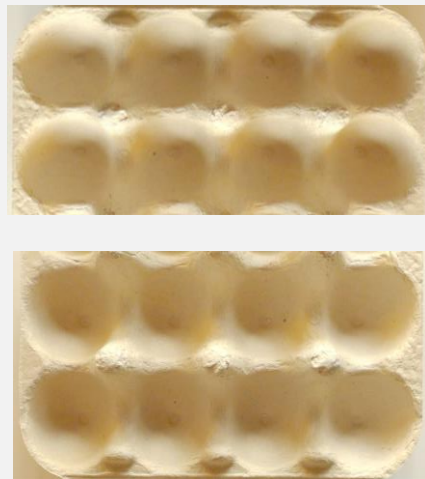
*Baptisterium San Giovanni Florenz*

Zum Vergleich: *Renaissance*. Realistischere Grössenverhältnisse, David ist kleiner dargestellt als der Riese Goliath.

### *Licht und Schatten:*

Bei allen dreidimensionalen Objekten gibt es Teile, die im Licht und solche, die im Schatten liegen (*Eigenschatten*). Ausserdem werfen alle Objekte, die frei im Raum stehen - abhängig von der Beleuchtung - Schatten auf ihre Umgebung (*Schlagschatten*). Wenn man weiss, woher das Licht einfällt, kann man Schlüsse auf die Räumlichkeit ziehen (**Abb. 4.7**). Eigen- und Schlagschatten haben miteinander nichts gemeinsam ausser ihrer Eigenschaft als Nicht-Licht.

**Abb. 4.7: Schatten und räumliche Empfindung**



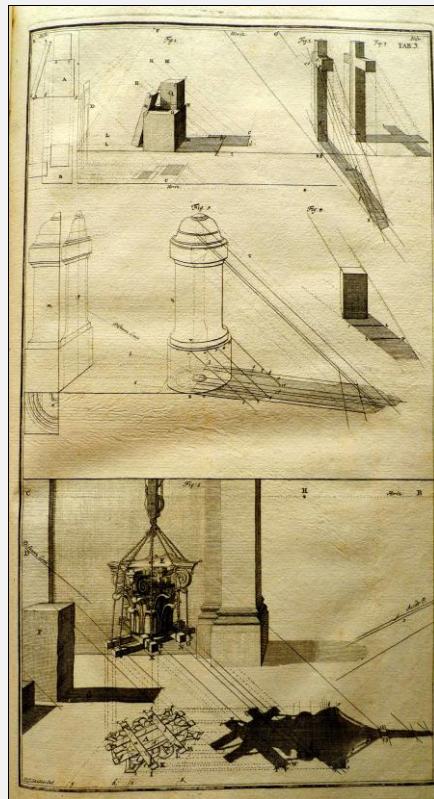
Vorwölbungen an einer Eierschachtel. Als Konvention gilt ein Lichteinfall von links oben. Dreht man das Foto um 180 Grad (was einer Verlagerung der Lichtquelle gleichkommt) erscheinen die Vorwölbungen als Vertiefungen.

*Eigenschatten* sind Eigenschaften der Objekte. Wenn Teile von diesen im Licht liegen, sind zwangsläufig die anderen im Schatten. In Gemälden sind sie unabdingbar zur räumlichen Darstellung von Objekten. Eine präzise Konstruktion ist nicht erforderlich, und es genügt, sie anzudeuten, um beim Betrachter räumliche Assoziationen auszulösen.

*Schlagschatten* hingegen sind nicht Teile von Objekten, auch wenn sie von diesen verursacht werden. Sie treten nur bei streng gerichtetem Licht auf. Wenn die Strahlen parallel einfallen (z.B. von der Sonne), oder von einer einzigen punktförmigen Quelle (z.B. von einer Kerze) stammen, sind sie in ihrer Form den schattenwerfenden Objekten (in mathematischem Sinne) ähnlich, und dann haben die Schlagschatten auch scharfe Konturen. Mehrfache oder breite Lichtquellen hingegen erzeugen Halbschatten mit verwischten Formen und verschwommenen Rändern (**Abb.4.8**).



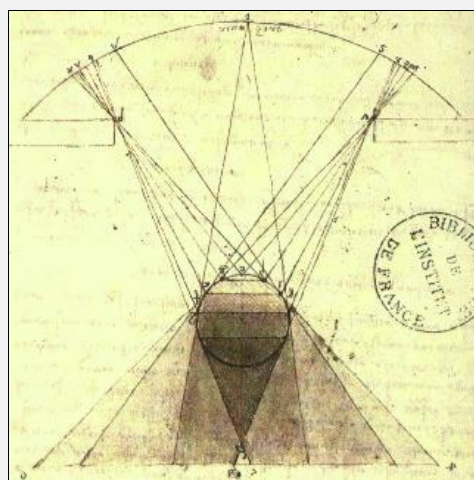
**Abb. 4.8: Geometrische Konstruktion von Schlagschatten und Halbschatten**



**a**

**a** *Johann Jacob Schübler: Perspectiva Pes Picturae.*  
Schlagschatten: Paralleler Lichteinfall von links oben. Ähnliche Formen, scharfe Ränder.

\*\*\*



**b**

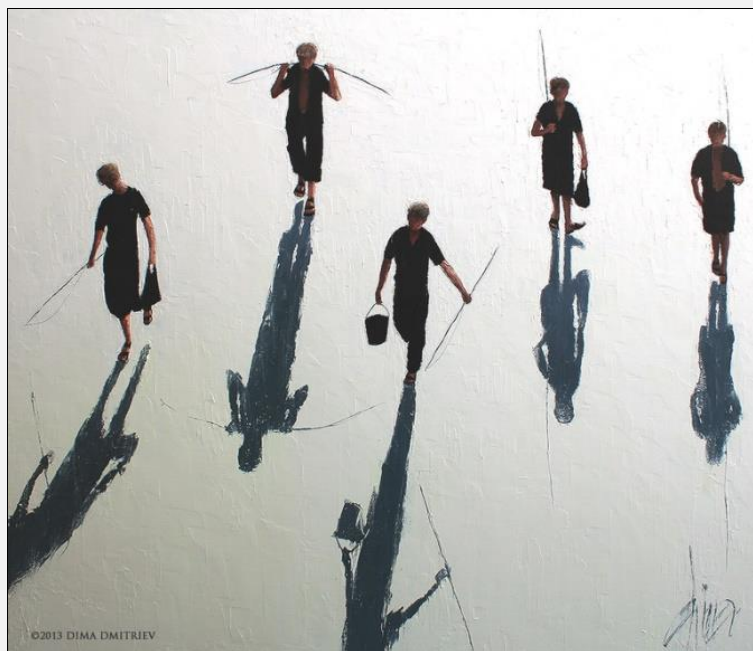
**b** *Leonardo da Vinci (1492)*  
Konstruktion von Kernschatten und Halbschatten bei mehreren, resp. breiteren, Lichtquellen.

Die Eigenschaften von Schlagschatten hängen nicht nur von den schattenwerfenden Objekten allein ab, sondern auch von der Umgebung, auf die sie geworfen werden. Theoretisch lassen sie sich nach den Gesetzen der Geometrie präzise konstruieren (**Abb. 4.8 a**). In der Realität gibt es jedoch vielerlei Störfaktoren. Licht kommt kaum je von einer einzigen Lichtquelle, sondern meist auch von Reflexionen an Wänden, Vorhängen und Objekten in der Umgebung, sodass statt formgetreuen harten Schlagschatten weiche Kern- und Halbschatten entstehen (**Abb. 4.8 b**).

Dazu kommt, dass der Untergrund selten eine einwandfrei ebene Projektionsfläche ist. Kies, Erde, Stufen und Senkungen verleihen den Schlagschatten Formen, die nur bedingt mit den schattenwerfenden Objekten vereinbar sind. Basierend auf unserer Erfahrung taugen Schatten dennoch als Mittel zur Raumgestaltung.

In der Realität existieren nie völlig schattenlose Szenarien. In manchen Gemälden hingegen wird auf sie generell verzichtet, in anderen nur leicht angedeutet, und nur selten werden sie konsequent über das ganze Bild hindurch streng mathematisch konstruiert. Statt vieler Worte einige Beispiele in **Abb. 4.9**.

**Abb. 4.9: Eigenschatten und Schlagschatten im künstlerischen Kontext**



**a**

*Dima Dmitriev*

**a** Die Schlagschatten sind der einzige Hinweis auf Räumlichkeit. Ohne sie stünden die Figuren ohne Bezug zum Raum.

\*\*\*

\*\*\*





**b**

**b** Die Schlagschatten haben keine Raumwirkung und wirken bloss verwirrend.

\*\*\*



**c**

*Alexey Bednij (1988)*

**c** Die Verwirrung durch Schlagschatten ist absichtlich als Bildmotiv gewählt. Die Schatten sind reine Kunstprodukte, liegen nicht in einer einzigen Richtung und entstammen keiner realen Lichtquelle.

\*\*\*



d

*Rachele Nyssen*

d In diesem raffinierten Stillleben gibt es keine perspektivisch wirksamen Elemente. Die Tiefenwirkung beruht fast ausschliesslich auf den Schlagschatten. Beachte insbesondere den Schatten, den das Buch an die Tischkante wirft.



e

*Pieter Breughel: Ausschnitt aus „Kinderspiele“ (1560)*

e Der Maler wählte eine diffuse Beleuchtung, um die Schlagschatten zu vermeiden, die in der Komposition mit ohnehin verwirrendem Getümmel bloss zusätzliche Verwirrung geschaffen hätten.

Dies entspricht der Regel, dass bei Kompositionsproblemen ein bedeckter Himmel zu wählen sei<sup>40</sup>. Dass unter den Bäumen links oben im Hintergrund dennoch Schlagschatten angedeutet sind, wäre dann ein Hinweis, dass es in der Wolkendecke Lücken gibt.

<sup>40</sup> Siehe Gombrich, 1996

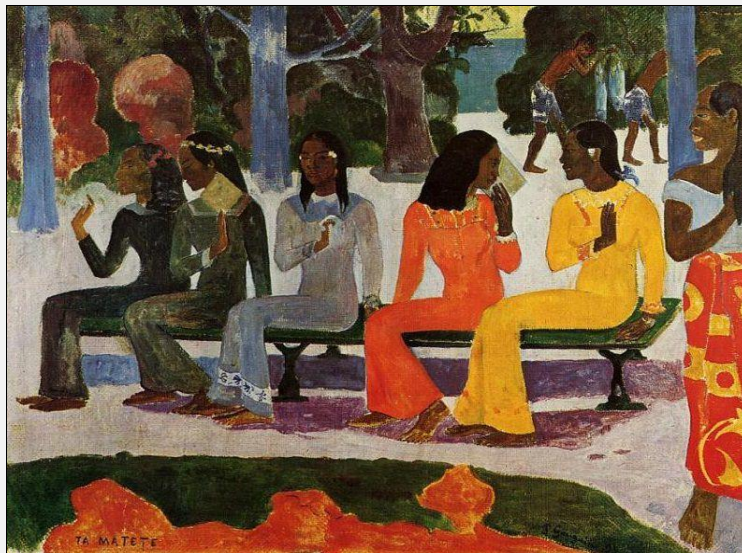


f

*Michelangelo Merisi da Caravaggio: Das Abendmahl in Emmaus (1601)*

f Widersprüchliche Schlagschattenwürfe: Im Gegensatz zum Licht für den Tisch und das Geschirr ist für den Schlagschatten auf der Rückwand die Quelle nicht lokalisierbar. Ob der Maler damit eine Raumwirkung beabsichtigte, ist offen. Jedenfalls wirkt der Schatten vorwiegend als kompositorisches Element, um die Figur von Jesus hervorzuheben (Alternative zu Heiligenschein?).

\*\*\*



g

*Paul Gauguin: Ta Matete (1892)*

g Der Verzicht auf *Eigenschatten* beruht hier auf künstlerischer Doktrin (Japanischer Einfluss).

*Schlagschatten* hingegen sind teilweise erhalten an der Bank und bei der Sitzgruppe als Mittel zu deren räumlichen Verankerung.

Wie die Beispiele zeigen, stört uns seltsamerweise eine unpräzise Darstellung der Schatten nicht. Im Alltag achten wir kaum auf sie, und deshalb auch nicht auf Gemälden.

Kunstschülern muss man speziell beibringen, wie Schatten zur Komposition gehören und wie sie für spezielle Ziele eingesetzt werden sollen. Statt lange theoretisch darauf einzugehen, lade ich die Leser lieber ein zum **Selbstversuch 4.5**.

#### **Selbstversuch 4.5: Beurteilung von Schatten**

Man betrachte in einem Museum Gemälde verschiedener Epochen, suche in ihnen nach den Methoden, die die Maler bei der Gestaltung von Schatten benutzten, und versuche zu ergründen, warum sie gerade diese wählten:

- Präzise konstruierte, scharfkantige Schlagschatten sind korrekte geometrische Projektionen → Gerichtetes Licht erlaubt strenge Lichtführung als Mittel zur Räumlichkeit. Ausserdem wird im Bild der Eindruck von Helligkeit verstärkt durch Ausnützen der harten Randkontraste.
- In den Schlagschatten sieht man deutliche Kernschatten nur in unmittelbarer Nähe des schattenwerfenden Objekts. Weiter entfernt hingegen erkennt man lediglich diffus auslaufende Halbschatten, was auf mehrere oder breite Lichtquellen hinweist → Die Komposition wirkt ruhiger, aber dennoch wird die Räumlichkeit gewahrt.
- In der Komposition werden Teile der Schlagschatten in dunkle Zonen verlegt, wo sie schlecht sichtbar sind. Die Vorteile von Schlagschatten bleiben in den sichtbaren Abschnitten erhalten, und gleichzeitig werden deren Nachteile als kompositorische Störfaktoren vermieden.
- Das Fehlen von Schlagschatten impliziert generell diffuses Licht (bedeckter Himmel): Verzicht auf Lichtführung in der Komposition.
- Als Stilmittel und Ausdruck künstlerischer Freiheit werden die Schatten willkürlich und unnatürlich verteilt.

Zusammenfassend ist auf einem Bild die Verteilung von Licht und Schatten ein unentbehrliches Kriterium, um Räumlichkeit darzustellen. Es ist jedoch unpräzise und vermag diese Aufgabe nur dank einer grosszügigen Fehlertoleranz zu erfüllen.



## Luftperspektive

Wenn wir eine Landschaft betrachten, so sehen wir die Ferne im Dunst. Dieser entsättigt die Farben, verschiebt die Farbskala ins Bläuliche und verwischt die Konturen. Die Luftperspektive vermittelt Räumlichkeit in weiten Distanzen, in denen andere der genannten Mittel versagen (z.B. Binokulares Sehen, dynamischer Kulisseneffekt, etc.). Es gibt jedoch kein Mittel, ihre Effekte zu quantifizieren.

Mit den Eigenschaften von Dunst waren die Landschaftsmaler längst vor der Erfindung der Perspektive vertraut. Wenn der Zeitgeist als malerisches Qualitätsmerkmal jedoch scharfe Konturen verlangte und Unschärfe als Stümperei galt, gerieten sie in ein Dilemma. Manche Maler suchten deshalb den Kompromiss, indem sie die Ferne in ihren Gemälden zwar mit scharfen Konturen, wohl aber mit deutlichem Blaustich abbildeten - was auf uns heute eher unnatürlich und irritierend, aber in gewissem Masse auch zauberhaft wirkt (**Abb. 4.10**). Erst später, als in einem neuen künstlerischen Kontext unscharfe Konturen akzeptabel wurden, malte man die Effekte von Dunst nach Natur.

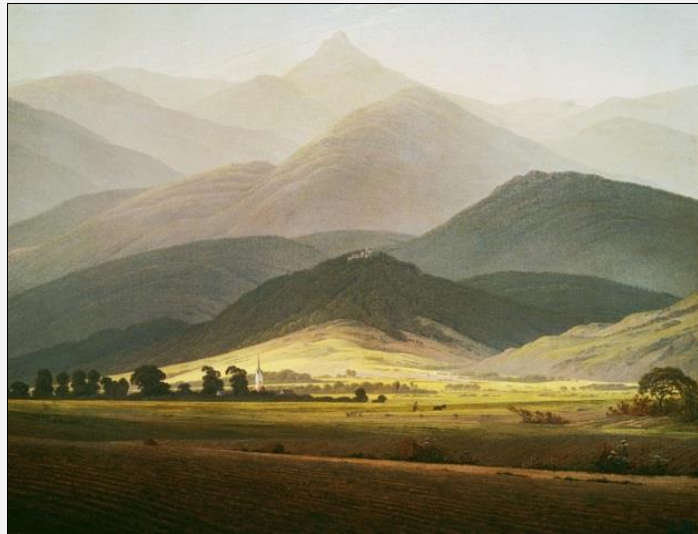
**Abb. 4.10: Beispiele von Luftperspektive**



**a**

**a** Albrecht Altdorfer (1480 - 1538) stellt die Landschaft im Hintergrund bläustichig dar, aber - den Qualitätsansprüchen seiner Zeit gehorchend – mit scharfen Konturen und kräftigen Farben.

\*\*\*



**b**

**b** Bei *Caspar David Friedrich* (1774 - 1840) werden mit zunehmender Distanz die Farben entsättigt. Die Konturen sind leicht verschwommen.

\*\*\*



**c**

**c** *Foto*: Im Gegensatz zur Luftperspektive entsteht hier das Bild durch Dunst, der bei bestimmten Wetterlagen in den Tälern verbleibt. Die Bergspitzen liegen in klarer Luft und erscheinen deshalb scharf konturiert.

Die Luftperspektive ist ein Mittel zur Tiefenwahrnehmung bei grossen Distanzen, wo Stereopsis und Parallaxe nicht mehr wirksam sind. Deshalb wohl wird sie Perspektive genannt, obwohl sie nichts mit dem, was wir heute unter diesem Begriff verstehen, gemein hat.

## Mathematische Perspektive (Raum)

Die beschriebenen Wege zur Darstellung von Räumlichkeit können in der Malerei *qualitativ* zu durchaus befriedigenden Ergebnissen führen. Eine *quantitative* Abbildung von Räumen jedoch erfordert mathematische Konstruktionen, die es gestatten, sowohl Dreidimensionales zweidimensional abzubilden, als auch – umgekehrt - aus flachen Abbildungen Räume zu rekonstruieren.

Die Raumdarstellungen mit mathematischen Mitteln werden gemeinhin als Perspektive bezeichnet, wobei die Definitionen dieses Begriffes allerdings variieren. Ohne zu diesbezüglichen Diskussionen Stellung zu nehmen, werde ich – im Sinne Karl Poppers<sup>41</sup> – den Begriff „Perspektive“ jeweils situationsbezogen benützen.

Ebenfalls variieren die Bezeichnungen für die verschiedenen Arten von Perspektiven, welche seit den frühesten Phasen der Eroberung des Raumes unterschieden wurden. Auch hier gehe ich nicht auf Kontroversen ein. Ich werde im Folgenden die Begriffe „Konstruierte Perspektive“ und „Beobachtete Perspektive“ verwenden.

Die *Konstruierte* Perspektive ist ein Produkt der Innenwelt, das abstrakte Raumvorstellungen auf Papier umsetzt, ohne obligaten Bezug zu unmittelbaren Seheindrücken.

Die *Beobachtete* Perspektive hingegen beruht auf der neuralen Verarbeitung von realen Bildern der Aussenwelt.

In der Theorie lassen sich konstruierte und beobachtete Perspektiven gut voneinander unterscheiden, in der malerischen Praxis jedoch wirken beide zusammen. Welche ein Maler jeweils bevorzugt, hängt von der malerischen Aufgabe ab, die er lösen will. Die Gestaltung von Illusionen, wie etwa bei Bühnenmalerei, Szenendarstellungen oder Scheinerweiterungen von Innenräumen stellt andere Ansprüche als eine mathematisch-philosophische Eroberung des „Raumes an sich“, und wiederum andere Anforderungen gelten für die anschauliche Präsentation von Bauplänen.

---

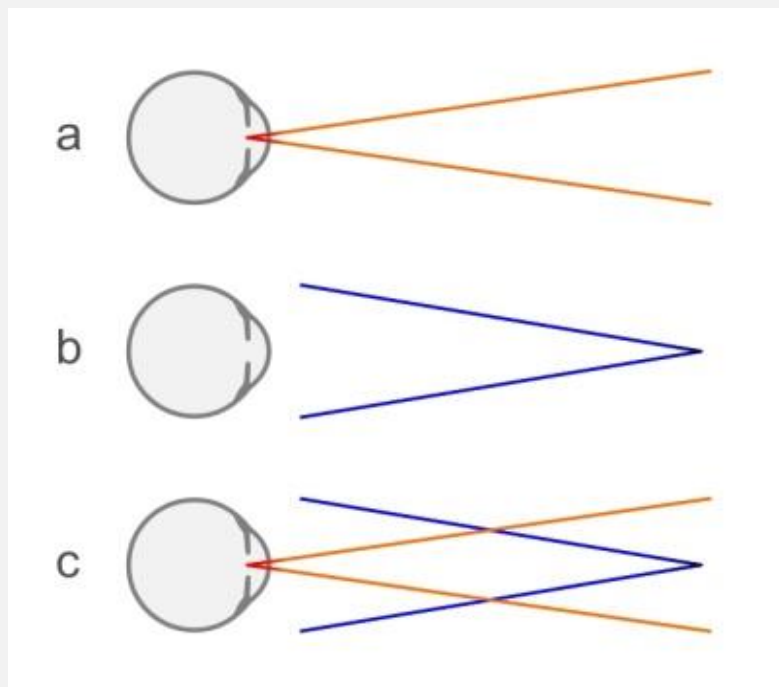
<sup>41</sup> „Nicht durch die Definition wird die Anwendung eines Begriffes festgelegt, sondern die Verwendung des Begriffes legt das fest, was man seine ‚Definition‘ oder seine ‚Bedeutung‘ nennt. Anders ausgedrückt: Es gibt nur Gebrauchsdefinitionen.“

Karl R. Popper: *Die beiden Grundprobleme der Erkenntnistheorie. Aufgrund von Manuskripten aus den Jahren 1930–1933*. Tübingen 2. Auflage 1994,

## Das Paradoxon der Bipolaren Konvergenz

Die Erforschung des Raumes mit den Mitteln der Perspektive beginnt mit einem scheinbaren Paradoxon. Jedes Objekt im Raum scheint nämlich in der einen Richtung und gleichzeitig in der Gegenrichtung zu schrumpfen. Dieses Phänomen bezeichne ich hier als „Bipolare Konvergenz“ (**Abb. 4.11**)<sup>42</sup>.

**Abb. 4.11: Die bipolaren Konvergenzen**



**a Nahgerichtete Konvergenz (rot):** Alles im Raum muss so klein werden, dass es in der Pupille des Auges als Punkt Platz hat (Physik). *Beachte:* Vom Betrachter aus gesehen wirkt sich die nahgerichtete Konvergenz als Divergenz aus.

**b Ferngerichtete Konvergenz (blau):** Alles erscheint mit zunehmendem Abstand immer kleiner, bis man es in der Ferne nur noch als Punkt erkennt. (Visuelles System).

**c Nahgerichtete und ferngerichtete Konvergenzen koexistieren.** In den Schemata der Konstruierten Perspektive überlagern sie sich. Dies mag Anlass für Verwirrungen sein, insbesondere wenn die Linien nicht farblich getrennt werden.

<sup>42</sup> Nicht zu verwechseln mit dem Begriff „Bipolare Perspektive“, den man gelegentlich als Alternative für „Zweipunktperspektive“ findet.



Wenn auch die beiden Konvergenzen als Spiegelbild ihrer selbst erscheinen mögen, sind sie in ihrer Natur grundverschieden.

Der eine Pol ist *nahgerichtet*. Dass alles, was wir in der Welt sehen, immer kleiner werden muss, bis es in unser Auge hineinpasst, war bereits in der Antike Grundlage der Sehtheorien. Heute wird die Nahkonvergenz durch die Bündelung der Lichtstrahlen erklärt. Sie beruht auf *Physik*.

Der andere Pol ist *ferngerichtet*. Dies widerspiegelt die praktische Erfahrung, dass uns Objekte, je entfernter, desto kleiner erscheinen. Die ferngerichtete Konvergenz beruht auf der Signalverarbeitung im *Visuellen System* (→ Programm Grössenkonstanz).

Nah- und Fernkonvergenzen existieren simultan und sind gewissermassen eine Dualität in der Einheit<sup>43</sup>. Wenn man versucht, beide im gleichen Schema darzustellen und sie übereinander zeichnet, wird das Ergebnis für die Betrachter verwirrend<sup>44</sup>.

Ich werde in den folgenden Kapiteln auf das Konzept der Bipolarität noch mehrmals zurückkommen.

### Mittel zur Einschätzung von Räumlichkeit

Nahdistanz:  
*Stereopsis*

Mittlere Distanz:  
*Parallaxe*

Abstand in weiter Ferne:  
*Luftperspektive*

---

<sup>43</sup> Derartige Dualitäten sind in unserer Vorstellung schwer zu fassen, aber in der Realität sind sie durchaus geläufig. Ein aus der Schulphysik vertrautes Beispiel ist die Dualität des Lichtes, das sich gleichzeitig als Wellen und als kleinste Partikel (Lichtquanten) manifestiert. Weitere Beispiele finden sich u.a. in der Quantenphysik

<sup>44</sup> Martin Kemp empfiehlt deshalb seinen Lesern in seinem grundlegenden Buch „The Science of Art“ die Schemata jeweils nachzuzeichnen, um deren Verständnis zu erleichtern. Ich benütze im Folgenden eine andere Lösung, indem ich die verschiedenen Strahlen und Konstruktionen sequentiell in Einzelschritten darstelle und sie farblich trenne (siehe **Abb. 4.11**)

# 5 Intuition und strukturierte Raumkonzepte

Vom dreidimensionalen Raum zur zweidimensionalen Abbildung

**Intuitive Perspektiven**

**Geometrische Perspektiven**

*Parallelperspektive*

*Divergenzperspektive („Inverse Perspektive“)*

*Konvergenzperspektive*

**Rekapitulation in Stichworten**

## Vom dreidimensionalen Raum zur zweidimensionalen Abbildung

In diesem Kapitel geht es nicht um abstrakte, mathematische und philosophische Konzepte des dreidimensionalen Raumes, sondern um Methoden seiner Darstellung.

Bevor die technischen Möglichkeiten das direkte Malen in freier Natur gestatteten<sup>45</sup>, konnten Maler im Freien bloss Skizzen anfertigen und diese in Innenräumen auf die endgültigen Gemälde in Ateliers und an den Wänden von Kirchen und Palästen übertragen. Dabei mussten sie sich zwangsläufig auf Regeln stützen, welche auf den jeweiligen Theorien zur Darstellung des Raumes basierten.

Die Regeln – die Perspektiven – ermöglichen eine Rekonstruktion von Räumen auch dann, wenn diese nicht direkt beobachtet werden können, ja, sie erlauben sogar, in der Fantasie Räume zu erschaffen, die nie jemand erblickt hat und die nie jemand je erblicken wird. Die Perspektiven müssen als Denkmodelle erfasst und erlernt werden, sowohl von den Malern als auch – nicht weniger wichtig! – von den speziell interessierten Betrachtern der Gemälde und von den Lesern der einschlägigen Literatur.

Die verschiedenen Varianten von Perspektiven unterscheiden sich in der Art, wie sie – theoretisch - die Raumkoordinaten verformen, respektive - in der Praxis - wie sich parallele Gerade verhalten. Nach diesen Gesichtspunkten lässt sich die Perspektive in folgende Kategorien gliedern:

- *Intuitive* Perspektive, bei der die Maler die Parallelen nach Gefühl einsetzen
- *Parallel*-Perspektive, in der die Parallelen, unabhängig von der Distanz, parallel bleiben
- *Divergent*-Perspektive, in der die Parallelen mit zunehmender Distanz vom Auge auseinander weichen
- *Konvergent*-Perspektive, in der sich die Parallelen mit zunehmender Distanz einander nähern

Jede Kategorie hat ihre eigene Geschichte und repräsentiert eine andere Kultur.

---

<sup>45</sup> Die Malerei von Ölgemälden im Freien konnte sich erst im 19. Jahrhundert entwickeln, als die Farben nicht mehr im Atelier vom Maler selbst hergestellt mussten, sondern in leicht transportierbaren Tuben verfügbar wurden.

## Intuitive Perspektiven

Die „Perspektive nach Gefühl“ hat keine etablierten Regeln. Es gibt demnach auch keine formale Schulung. Die Maler setzen die Waagrechten, Senkrechten und Schrägen auf Grund persönlicher Erfahrungen und ästhetischer Präferenzen ein (**Abb. 5.1**). Die Resultate sind Gemische von räumlichen Elementen, bei denen einzelne Stellen durchaus „richtig“ erscheinen mögen, das Gesamte als Raum aber „unmöglich“ wäre.

**Abb. 5.1:** Beispiele für Intuitive Perspektive:

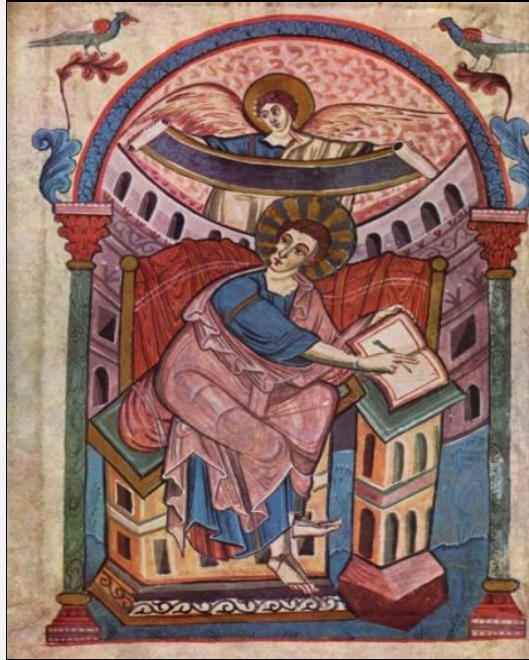


a

**a** *Pietro Lorenzetti, Basilika des Franziskus von Assisi (ca. 1320), Einzug Christi in Jerusalem.*

Sich steigernde Dramatik durch schräg nach hinten gezogene intuitive Perspektive, jedoch kein Versuch, Jerusalem als reale Stadt darzustellen.

\*\*\*



b

b *Ada-Evangeliar*, karolingische Bilderhandschrift aus den Jahren 790. Die räumlichen Kriterien sind realitätsfremd und rein intuitiv.

\*\*\*



c

c Römische Wandgemälde aus der Villa des Publius Fannius Synistor in Boscoreale (30-40 v.Chr.).

Versuch einer Imitation von Raum in der Antike: In den Frontalansichten, bei denen Bildrandparallele und Vertikale parallel bleiben, wird diese Wirkung dank der Kulissenphänomene auch weitgehend erreicht. Die tiefengerichteten Parallelen hingegen zeigen bloss Ansätze von Perspektive, die Wahl ihrer Schräge ist intuitiv. Es gibt noch kein räumliches Gesamtkonzept.



Es waren aber nicht nur Maler und Buchillustratoren, die die Regeln zur Konstruktion von Raum noch nicht kannten. Erstaunlicherweise stützten sich auch Baufachleute in ihren Bauanleitungen und Lehrmitteln auf intuitive Raumdarstellungen (**Abb. 5.2**).

**Abb. 5.2: Intuitive Perspektive in einem Lehrmittel für Baufachleute und Maler**

Aus dem Skizzenbuch („Bauhüttenbuch“?, Lehrbuch?) des Villard de Honnecourt (1230):

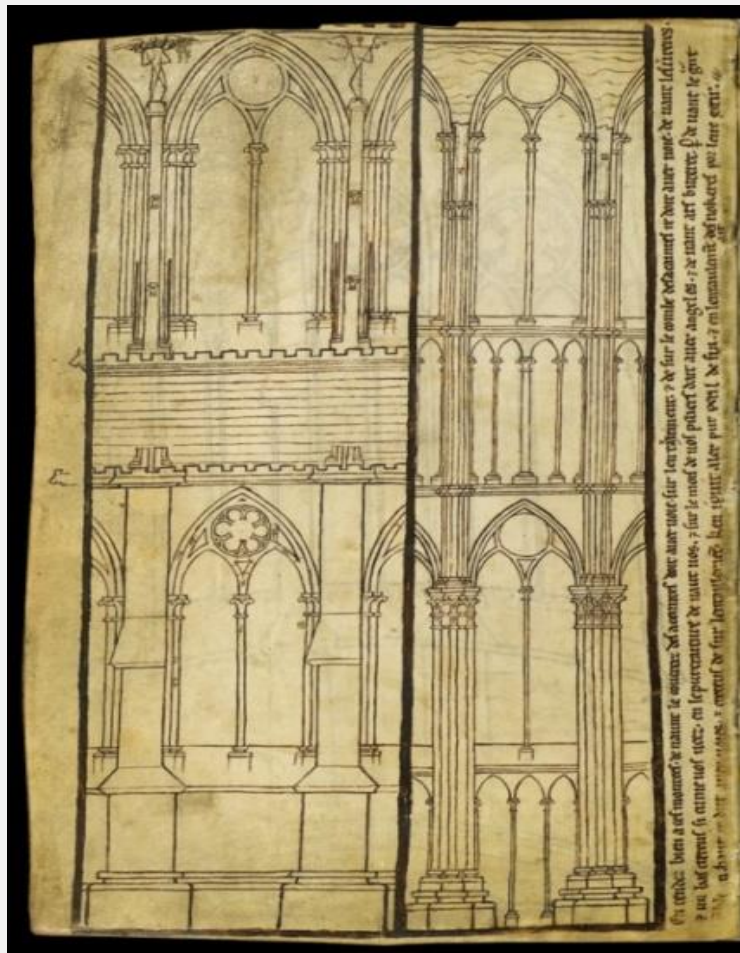
*Die Kathedrale von Reims*



**a Folio 60** Innenseite der Apsis: Versuch, die eckige Mauer intuitiv auf einer flachen Grundlage abzubilden.  
Die obere Kante ist sechseckig, die untere gewölbt gezeichnet. Die Rosetten stehen frontal. Der Baumeister kannte offensichtlich noch keine Methode zur perspektivischen Verkürzung.

**b Folio 61** Aussenseite der Apsis

*Beachte:* Beide Abbildungen wirken als Kippbilder, die wir sowohl konvex als auch konkav wahrnehmen.



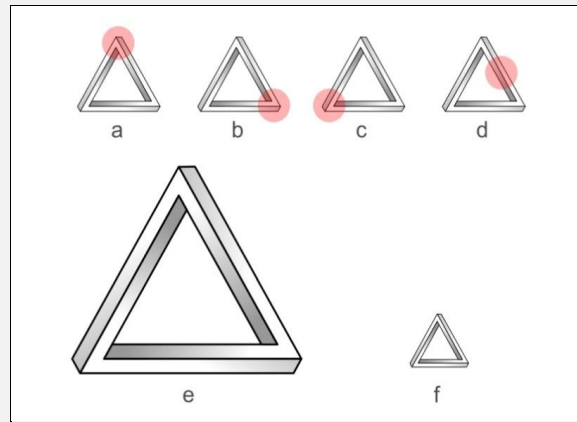
c

c Folio 62 Querschiff: Beim Seitenriss einer flachen Mauer gibt es keinen Anlass zur perspektivischen Verformung.

Es ist gewiss seltsam, dass während Jahrhunderten niemand sich durch die falschen Perspektiven gestört fühlte. Aber offensichtlich vermochten intuitive Raumgestaltungen die Ansprüche der damaligen Menschen zu befriedigen.

Diese Akzeptanz beruht wohl auf unserem segmentalen Sehen, bei dem wir, wie bereits früher ausgeführt, die Welt als getrennte Bildsegmente sehen. Dank der Fehlertoleranz können wir die Bildausschnitte aber auch dann als ein sinnreiches Ganzes wahrnehmen, wenn einzelne Segmente nicht genau aufeinanderpassen (siehe **Abb. 5.3**).

**Abb. 5.3:**  
**Segmentales Sehen als Erklärung für die Wahrnehmung von „unmöglichen“ Räumlichkeiten**



**a**

*Zur Erinnerung: Wiederholung der Abb. 2.19*

**a** Wir sehen mit unserem zentralen Schärfefeld jeweils nur Teile eines Objektes (a-d) und fügen diese in unserem Visuellen System zu einem Ganzen zusammen (e-f). dank dem Segmentalen Sehen können wir Falsches richtig wahrnehmen.

\*\*\*



**b**

*Aus der Alba Bibel (1422): König David errichtet einen Altar*

**b** Vorperspektivische Darstellung: Einzelne Felder enthalten bereits Ansätze von korrekter Perspektive, aber die Zusammensetzung zu einem Ganzen erfolgte intuitiv.

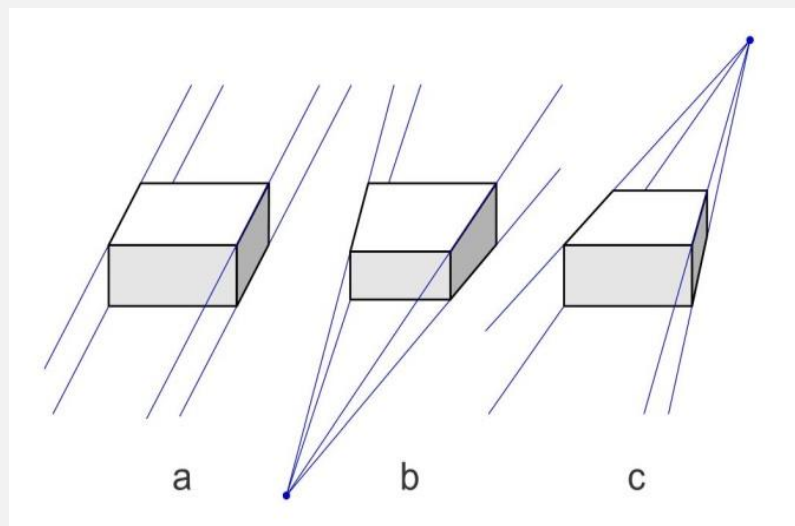


Der massgebliche Grund für die Akzeptanz dürfte allerdings kulturell bedingt sein, indem - bis zur Renaissance in Europa - realistische Darstellungen von Raum nicht beabsichtigt waren. Intuitiv-perspektivisch Gemaltes war eher eine *Kennzeichnung* von Räumlichkeit als ein Versuch zur realitätsgerechten Raumdarstellung.

## Geometrische Perspektiven

Die Theorie der geometrischen Perspektive prüft, wie sich parallele Geraden verhalten, wenn der Abstand vom Auge zunimmt (**Abb. 5.4**). Bleiben sie parallel oder verändert sich ihr Intervall?

**Abb. 5.4: Geometrisch konstruierte Perspektiven**



**a** *Parallelperspektive*: Die tiefengerichteten (orthograden<sup>46</sup>) Parallelen bleiben parallel.

**b** *Divergenzperspektive*: Die Parallelen divergieren mit zunehmendem Abstand vom Beobachter, der Konvergenzpunkt liegt in der Nähe, *vor* dem Objekt.

**c** *Konvergenzperspektive*: Die Parallelen konvergieren mit zunehmendem Abstand, der Konvergenzpunkt liegt *hinter* dem Objekt in der Ferne.

<sup>46</sup> Der Begriff „orthograd“ ist allgemein verbreitet. Bei genauer Übersetzung aus dem Griechischen ist er jedoch missverständlich, weshalb ich hier „tiefengerichtete Parallelen“ oder „Tiefenparallelen“ vorziehe

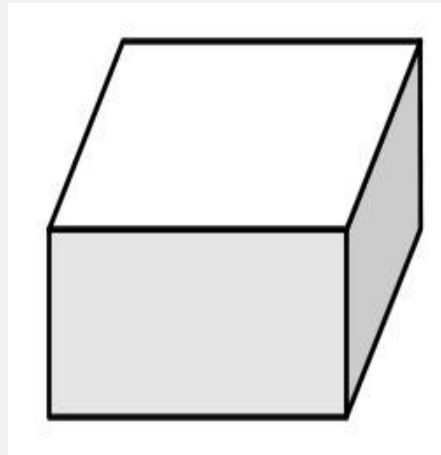
### *Parallelperspektive*

Bei der Parallelperspektive werden alle parallelen Geraden parallel wiedergegeben. Sie treffen sich nach mathematischen Gesetzen zwar im Unendlichen, aber im Sichtbereich bleiben sie immer parallel.

Die Parallelperspektive hat keinen Horizont, und zum Betrachten braucht es keinen festen Standort. Die visuelle Erfahrung, nach der sich die Intervalle zwischen tiefengerichteten Parallelen mit zunehmendem Abstand vom Betrachter verkleinern, wird ignoriert, und somit steht die Parallelperspektive im Widerspruch zur Programmierung des Visuellen Systems.

In unserer *Wahrnehmung* jedoch - im Gegensatz zur mathematischen Theorie als auch zur visuellen Erfahrung - scheinen die Parallelen mit zunehmendem Abstand auseinander zu weichen (**Abb. 5.5**).

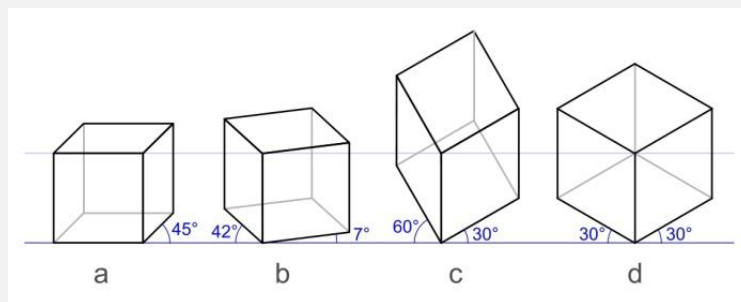
**Abb. 5.5: Visuelle Täuschung bei Parallelperspektive**



Die tiefengerichteten Parallelen scheinen zu divergieren, und die obere Horizontale erscheint länger als die untere. Dies ist eine visuelle Täuschung: Die horizontalen Parallelen sind genau gleich lang (*nachmessen!*)

Für Parallelperspektiven gibt es mehrere Varianten. Deren Wahl hängt im Einzelfall von den zu lösenden Aufgaben ab. Bei den einen haben die *Flächen*, bei anderen die *Winkel* den Vorrang. Bei den einen geht es um die Formtreue von *Aufrissen*, bei anderen diejenige von *Grundrissen* (**Abb. 5.6**).

**Abb. 5.6: Kuben in verschiedenen Parallelperspektiven**



**a** *Kavaliersperspektive*: Die Präferenz liegt auf den Frontseiten, der Aufriss bleibt ein Quadrat mit rechtem Winkel, die Seiten sind zu Parallelogrammen verformt.

**b** *Dimetrische Projektion*: Im Prinzip wie Kavaliersperspektive, der Würfel steht jedoch schräg.

**c** *Militärprojektion*: Die Präferenz liegt hier auf dem Grundriss. Die Unter- und Oberseiten sind schräg stehende Quadrate, die Seiten sind zu Parallelogrammen verformt.

**d** *Isometrische Projektion*: Alle Seiten sind gleichermassen zu Parallelogrammen verformt, aber gleichflächig und unverkürzt wiedergegeben.

Da gleiche Längen gleich lang wiedergegeben werden und Betrachter nicht an einen genau definierten Standpunkt gebunden sind, eignen sich die Parallelperspektiven für Anwendungen im *technischen* Bereich: Architektonische, militärische und kartographische Planzeichnungen.

In der *Kunst* wirkt sich die Parallelperspektive als Verfremdung des Raumes aus. Parallelität führt den Blick nicht in eine bestimmte Richtung und erschwert deshalb räumliche Zuordnungen. Sie verschafft dem Blick keinen Halt, macht Vorne und Hinten, Oben und Unten verwechselbar und irritiert durch die bereits erwähnte scheinbare Divergenz. Sie eignet sich wegen ihrer Mehrdeutigkeit als Basis für Kippfiguren.

Die Mehrdeutigkeit und Unstetigkeit spielt vor allem in der asiatischen Kunst eine Rolle. Hier gilt es als Tugend, den Blick nicht an bestimmten Stellen zu fixieren, sondern ihn frei hin und her gleiten zu lassen. Dazu stützen sich die asiatischen Künstler auf verschiedene Regeln, und eine davon ist die Parallelperspektive (**Abb. 5.7**).

**Abb. 5.7: Parallelperspektive in japanischen und chinesischen  
Holzschnitten**

Uneindeutige Raumwahrnehmung bei Parallelperspektive



a

a Yoshito Taiso (1839-1892): Inneres eines Bordells

\*\*\*

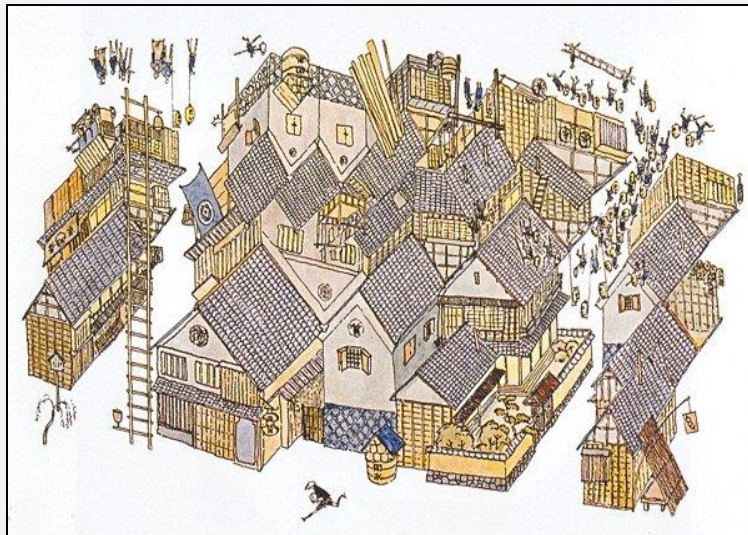
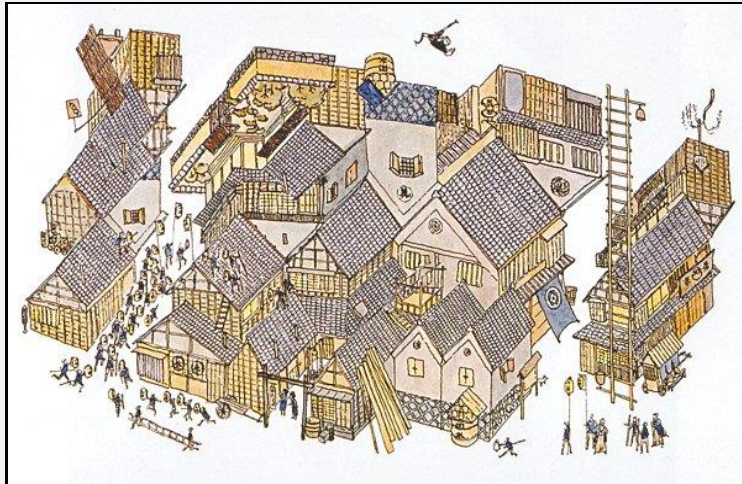


b

b Xi Xiang Ji: Das Westzimmer



\*\*\*



c

c Mitsumasa Anno (geb. 1926): *Topsy Turvies* 1970

Das untere Bild ist eine vertikale Spiegelung des oberen. Dank der parallelperspektivischen Konstruktion erscheint das Bild sowohl direkt als auch kopfüber plausibel.

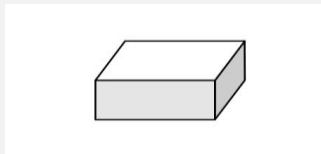
Man kann sich nun fragen, warum die Parallelperspektive als Wiedergabe der Realität akzeptiert wird, wenn sie doch im Widerspruch zur Programmierung des Visuellen Systems steht. Wahrscheinlich spielen hier die früher erwähnten sinnesphysiologischen Programme eine Rolle: „Zwang zur Dreidimensionalität“ und „Fehlertoleranz“.

### *Divergenzperspektive („Inverse Perspektive“)*

Die divergente Perspektive ist dadurch charakterisiert, dass die Abstände zwischen den Parallelen mit zunehmender Distanz zum Auge immer grösser werden. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der *imaginären* Divergenz bei der Parallelperspektive, die zuvor behandelt wurde (siehe **Abb. 5.8 a**) und der *konstruierten* echten Divergenzperspektive, um die es in diesem Abschnitt geht.

In der Divergenzperspektive erscheinen sowohl die Intervalle zwischen Parallelen, als auch die Objekte, je weiter sie sich vom Betrachter entfernen, desto grösser. Der Ausgangspunkt der Divergenz („Fluchtpunkt“) liegt näher beim Betrachter als das jeweilige Objekt (**Abb. 5.8b**).

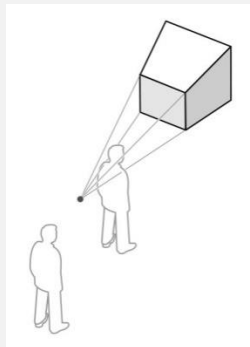
**Abb. 5.8: Divergenzperspektive**



**a**

Wiederholung von **Abb. 5.5**

**a Pseudodivergenz:** Die Seitenkanten sind strikt parallel. Für uns als Betrachter scheinen die Tiefenparallelen aber divergent zu sein; es handelt sich um eine Visuelle Täuschung.

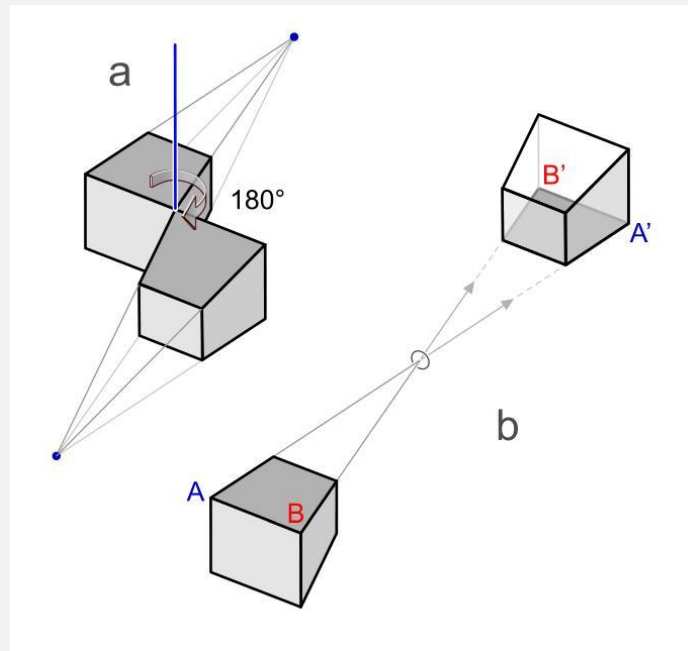


**b**

**b Konstruierte Divergenz:** Der Divergenzpunkt (inverser „Fluchtpunkt“) liegt vor dem Objekt, und zwar - je nach Abstand eines allfälligen Betrachters - zwischen Objekt und Betrachter oder gar hinter ihm.

Für die Art und Weise, Invers-Perspektivisches zu erschaffen gibt es mehrere Möglichkeiten, jede mit einem anderen theoretischen Hintergrund. Es würde zu weit führen, hier auf alle einzugehen, und ich beschränke mich auf Rotation und Inversion (**Abb. 5.9**).

**Abb. 5.9: Methoden zur Konstruktion von inversen Perspektiven**



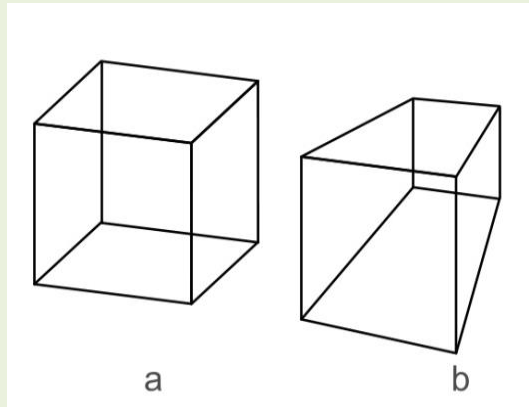
**a Rotation:** Ein konvergent-perspektivisch gezeichneter Quader wird an einer – hier senkrechten - Achse um 180 Grad gedreht. Die oberen Flächen bleiben oben.

**b Inversion:** Die Konstruktionslinien des konvergent-perspektivischen Quaders werden über den Konvergenzpunkt hinausgeführt und dabei invertiert. Die oberen Flächen gelangen dann nach unten.

Interessant ist der **Selbstversuch 5.1**. Das visuelle Programm, das ihm zugrunde liegt, wurde am Beispiel regulär geformter Würfel bereits im Abschnitt „Zwang zur Dreidimensionalität“ beschrieben. Analog dazu können wir einen konvergent-perspektivisch gezeichneten Würfel durch blosses Anstarren in einen divergent-perspektivischen verwandeln.



### Selbstversuch 5.1: Inversion von Würfeln



Zur Erinnerung: Wiederholung der **Abb. 3.11**

**a** Betrachtet man den parallelperspektivischen Würfel während längerer Zeit, wechselt seine Vorderfläche zur Rückfläche.

**b** Ein konvergent-perspektivischer Würfel wird bei längerer Betrachtung zu einem divergent-perspektivischen, und vice-versa.

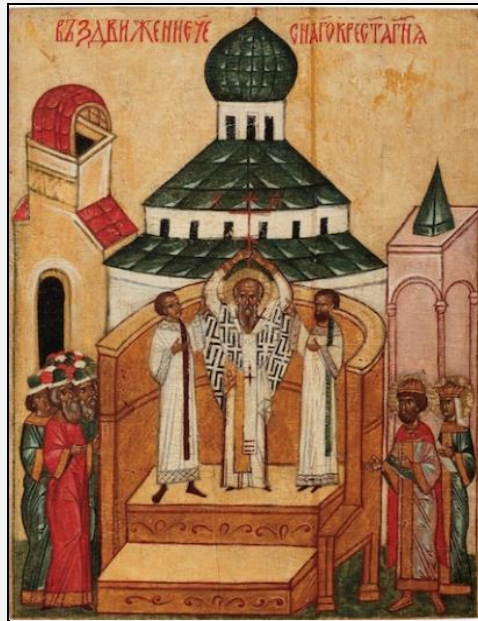
In der Divergenzperspektive gibt es keinen divergenten Gesamtraum, und die Divergenz kann nur einzelne Objekte betreffen. Nun mag man einwenden, dass es kein Problem sei, handwerklich reale Gebilde zu formen, die am fernerem Ende grösser sind, wenn man sie entsprechend vor sich hält (z.B. Pyramiden). Aber darum geht es hier nicht.

Die Divergenzperspektive ist vielmehr ein abstraktes Konstruktionsprinzip für das Darstellen von *nicht* divergenten Objekten. Eigentlich handelt es sich um Gedankenspiele, und ich würde hier nicht auf sie eingehen, wenn sie nicht während Jahrhunderten die Kunst einer der machtvollsten Kulturen beeinflusst hätten.

In der Malerei des Westens kommt die inverse Perspektive nur sporadisch vor, intuitiv und ohne bestimmte Absicht. Im byzantinischen Kulturraum hingegen war sie Jahrhunderte lang die herrschende Darstellungsform für Räumliches, weit länger als die spätere konvergente Perspektive der Renaissance. Und in ihrer kulturellen Akzeptanz war sie dieser durchaus ebenbürtig.

Seit der späten Antike wurde sie während ca. tausend Jahren in der byzantinischen, der russisch-orthodoxen und der griechisch-orthodoxen Malerei (**Abb. 5.10** und **Abb. 5.11**) nicht nur tradiert und kopiert, sondern auch systematisch gelehrt, wofür hier als Beispiele die Podlinikki (Malbücher) der byzantinischen Ikonenmalerei (**Abb. 5.12**) und ein Skizzenbuch für Bauhütten mit Vorlagen aus dem östlichen Raum (**Abb. 5.13**) stehen.

Abb. 5.10: Divergente Perspektive in der orthodoxen Malerei



a

a Russische Ikone: Die Kreuzerhöhung, (Nowgorod, Ende 15. Jahrhundert) Ikonenmuseum Recklinghausen.

Divergentes Podest

\*\*\*



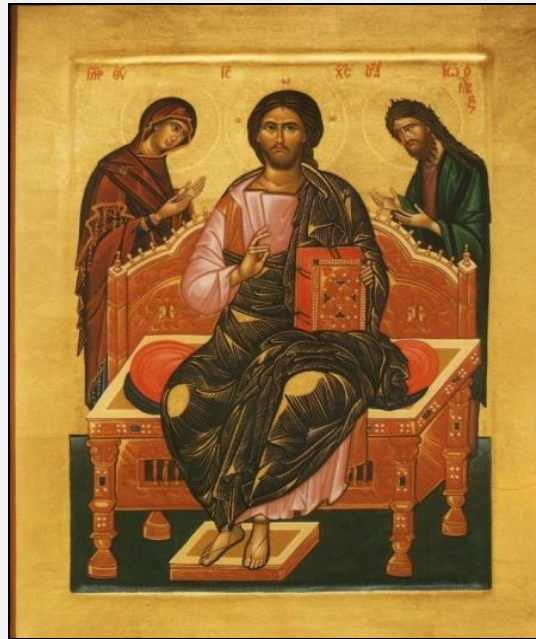
b

b Auferstehung, Kopie einer Wandmalerei der Grabkapelle (1315-1321) Chora Kloster von Kariye Camii Konstantinopel

Divergente (= nahkonvergente) Sarkophage.

Beachte: Die Felsformationen sind hingegen fernkonvergent

\*\*\*



c

c Ikone im byzantinischen Stil: Deesis (Christus, Gottesmutter und Johannes der Täufer), gemalt 1993 von Gustav Makarios Tauc.

Inverse Perspektive beim Thronstuhl und beim Schemel.

Das Beispiel zeigt, dass auch heute noch die divergente Perspektive imitiert wird, wenn Maler Ikonen in byzantischem Stil malen.

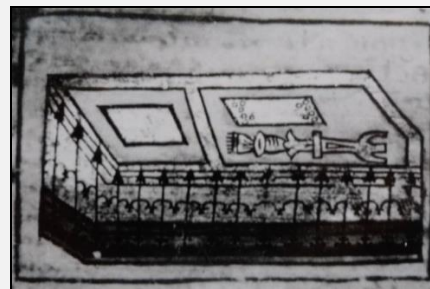
**Abb. 5.11: Divergente Perspektive in byzantinischen Planzeichnungen**



a

a Plan des biblischen Tabernakels (Stiftshütte, Mischkan) mit den zugehörigen rituellen Geräten

Aus der Christlichen Topographie des Konstantin von Antiochien (11. Jhd.)  
Bibliothek des St.Katherina-Klosters, Sinai



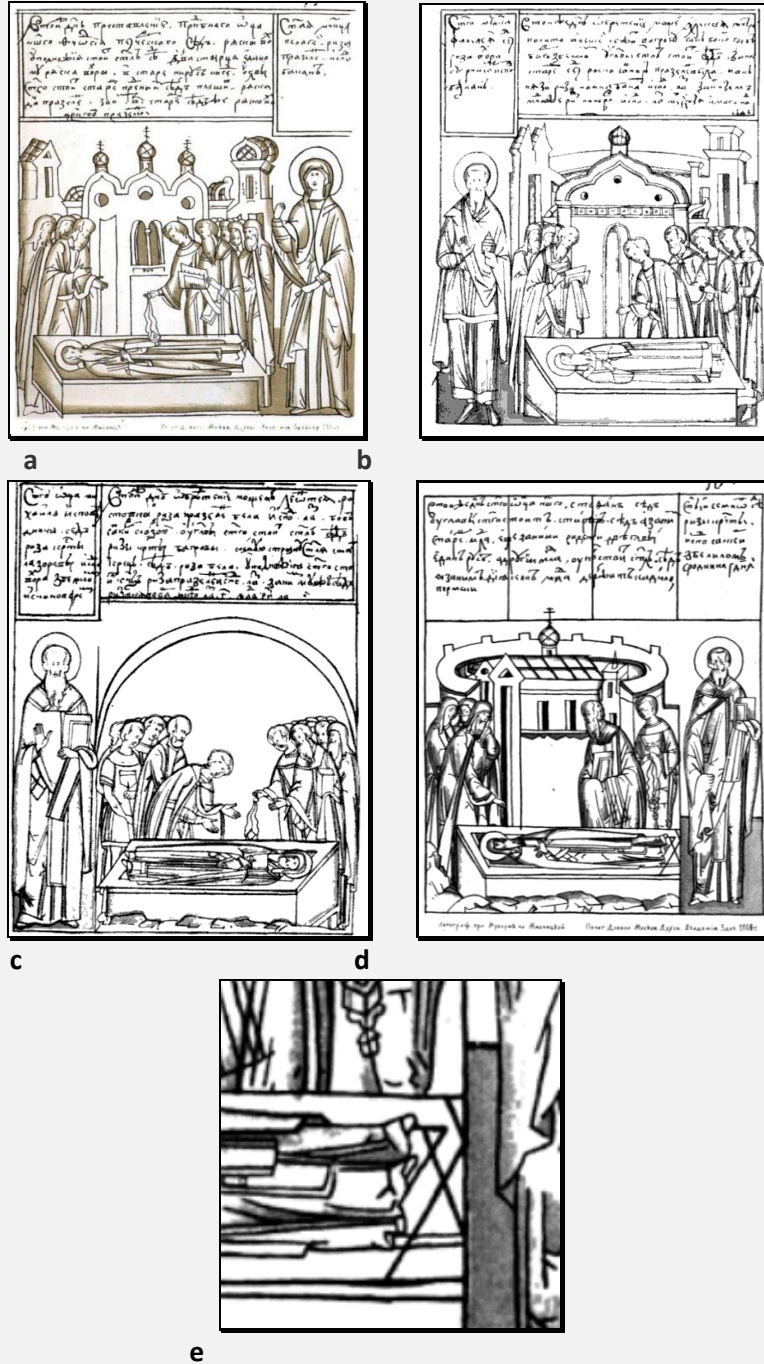
b

b Plan des Stiftszeltes in einem Oktateuch (12. Jhd.)

Serail Bibliotheca Topkapi, Istanbul

**Abb. 5.12: Divergente Perspektive in einem russisch-orthodoxen Modellbuch**

(Stroganov Podlinnik, frühes 17. Jhd.)



**a-d** Die Särge mit Heiligen werden konsequent in - mehr oder weniger ausgeprägter – Divergenz dargestellt.

**e** Interessant ist der Ausschnitt aus **d**, wo am rechten Ende des Sarges eine parallel-perspektivische und divergent-perspektivische Darstellung übereinander gezeichnet sind.



**Abb. 5.13: Divergente Perspektive im Skizzenheft (Bauhüttenbuch?) eines Baumeisters**

*Villard de Honnecourt (ca. 1230–1235)*



**a**

**a** Folio 22: Figur im antiken Stil, divergente Darstellung eines Altars.



**b**

**b** Folio 43: Figuren im antiken Stil. Der Sitzplatz ist divergent perspektivisch gezeichnet.



c

c Folio 19: Divergentes Spielbrett (im Original steht das Bild kopfüber).

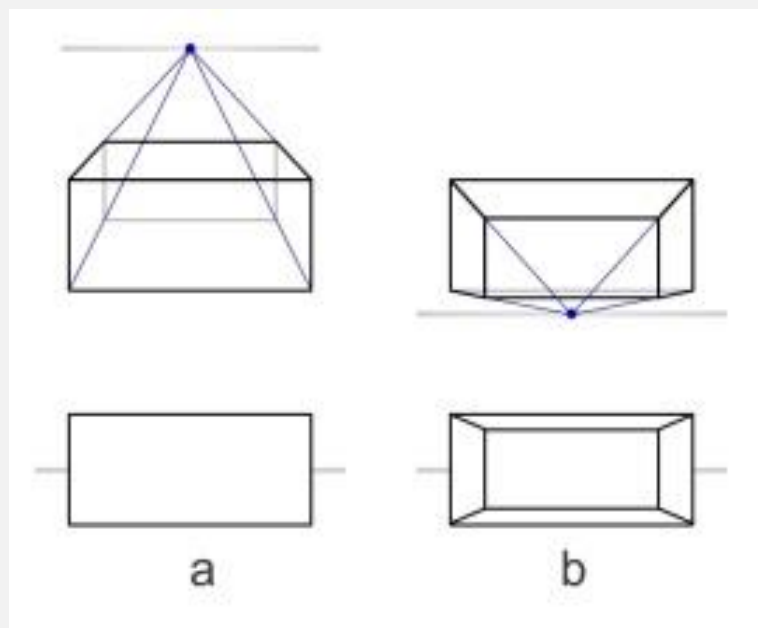
Man mag sich darüber wundern, dass eine Darstellungsart, die unseren Sehgewohnheiten zuwiderläuft, so lange überdauern konnte. Nimmt man an, dass die Maler das diesseitige Vergängliche gar nicht wirklichkeitsgetreu darzustellen bestrebt waren, so fragt sich, warum sie sich dann nicht mit der einfacheren, rein intuitiven Perspektive begnügten. Es muss in der byzantinischen Kunst offensichtlich Konzepte gegeben haben, nach denen Maler für bestimmte Objekte die invers-perspektivische Darstellung zu wählen hatten.

Entgegen unseren Erwartungen wissen wir darüber nichts Genaueres. In all den Jahrhunderten wurde ausgerechnet in der Malerei keine Anleitung, keine Theorie zur Darstellung des Raumes verfasst. Im Malerbuch des Berges Athos (Hermeneia des Dionysos vom Phourna), oder in den Podlinski (Abb. 5.12) gibt es zwar genaue Anweisungen für die Haltung der abzubildenden Figuren, für ihre Attribute und für die Farben ihrer Kleidung, nicht aber für räumliche Darstellungsmöglichkeiten<sup>47</sup>.

In einer Kultur, welche die grössten Architekten und Baumeister hervorbrachte, ist das Fehlen von theoretischen Schriften zur bildnerischen Darstellung gewiss erstaunlich. In Ermangelung zeitgenössischer Quellen kann man dazu lediglich Hypothesen aufstellen. War ein *Verfremdungseffekt* gefragt, um Heiliges abgehoben von der Realität abzubilden? Oder wollte man Gebrauch machen von der *geometrischen Eigenschaft* divergent-perspektivischer Objekte, Flächen sichtbar zu machen, die bei anderen Perspektiven unsichtbar bleiben (Abb. 5.14)?

<sup>47</sup> siehe dazu: István Lekkes, Die «umgekehrte» Perspektive, Periodica Polytechnica, Architectura, Vol.23, 1979

**Abb. 5.14: Darstellung zusätzlicher Flächen bei inverser Perspektive**



*Regulärer Quader in konvergenter und divergenter Perspektive*

*Oben: Ansicht von erhöhter Position*

*Unten: Ansicht frontal*

**a** Quader in konvergenter Zentralperspektive: Die Frontalansicht zeigt nur die Vorderfläche. Beim Blick von oben (*Horizont hoch*) erkennt man auch die obere Fläche. Die Seiten und Unterflächen bleiben unsichtbar.

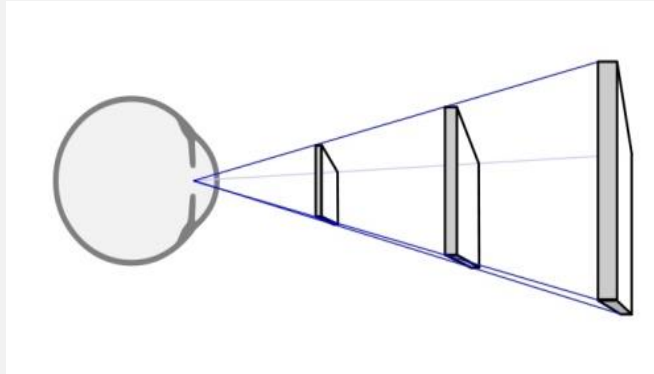
**b** In divergenter Perspektive kann das gleiche Objekt mehrere Flächen zeigen.

Es ist schwer vorstellbar, dass die jahrhundertlange Praxis der inversen Perspektive theoretischer Grundlagen entbehrt. In der späteren Literatur hat man nachträglich zwar verschiedene spirituelle, philosophische, ja auch psychoanalytische Motivationen hineininterpretiert, aber, wie erwähnt, zeitgenössische Quellen gibt es offensichtlich nicht. Das Fehlen einschlägiger Schriften lässt vermuten, dass die Vorstellungen in den betreffenden Kulturen so tief verwurzelt waren, dass sie als selbstverständlich galten und keiner theoretischen Erklärung bedurften.



Am wahrscheinlichsten scheint mir die Hypothese, dass es den Malern nicht darum ging, das zu malen, was sie *sahen*, sondern vielmehr, was sie *wussten*<sup>48</sup>. Und unter Wissen verstand man damals die Überlieferung antiker Autoritäten. Nach deren Sehtheorie gelangen die Objekte der Aussenwelt in Sehpyramiden zum beobachtenden Auge, d.h. konvergent. Vom Auge aus betrachtet, wären sie jedoch divergent (**Abb. 5.15**). Diesem theoretischen Wissen gemäss hätten die Maler gemalt.

**Abb. 5.15 Ferngerichtete Divergenz**



*Sehpyramide gemäss antiker Vorstellung:*

Die Objekte müssen bei Annäherung ans Auge immer kleiner werden, damit sie ins Auge hineinpassen. Von aussen her betrachtet, äussert sich dies in einer Konvergenz, von innen her jedoch als Divergenz.

Diese Hypothese zieht in Betracht, dass bis zur Renaissance die Wissenschaft sich weitgehend damit beschäftigte, die Meinungen früherer Autoritäten wiederzugeben.

Nachdem die divergente Perspektive – mit Ausnahme der Ikonen – im Laufe der Geschichte fast gänzlich aus der Kunst verschwunden war, fand sie in neuerer Zeit, im Kubismus, erneut einen Platz (**Abb. 5.16**). Hier war es die erklärte Absicht der Künstler, den Raum zu dekonstruieren. Grundlage waren philosophische Vorstellungen, wobei man aber nicht ausschliessen sollte, dass auch rein spielerische Elemente eine Rolle gespielt haben könnten.

---

<sup>48</sup> Dass man das malt, was man weiss, gilt noch immer. So treffen sich z.B. bei Malern, die „wissen“, dass sich Parallelen im Unendlichen vereinen, alle Fluchtlinien an einem gemeinsamen Punkt, obwohl dies in der Realität nicht der Fall ist. Darauf werde ich später noch genauer eingehen.

**Abb. 5.16: Divergente Perspektive im Kubismus**



*Pablo Picasso, „Reservoir von Horta - Horta d Ebro“, (1909*

Es gibt aber noch andere Faktoren. Neuere sinnespsychologische Untersuchungen an Kindern und zeichnerisch nicht ausgebildeten Erwachsenen zeigen, dass es offenbar eine natürliche Tendenz gibt für die Bevorzugung divergenter Perspektiven, es sei denn, durch Schulung sei etwas anderes gelehrt worden<sup>49</sup>. Wäre dies der Grund, so wäre es allerdings erstaunlich, dass in der Kunst die divergente Perspektive nicht heute noch vorherrscht.

### *Die Konvergenzperspektive*

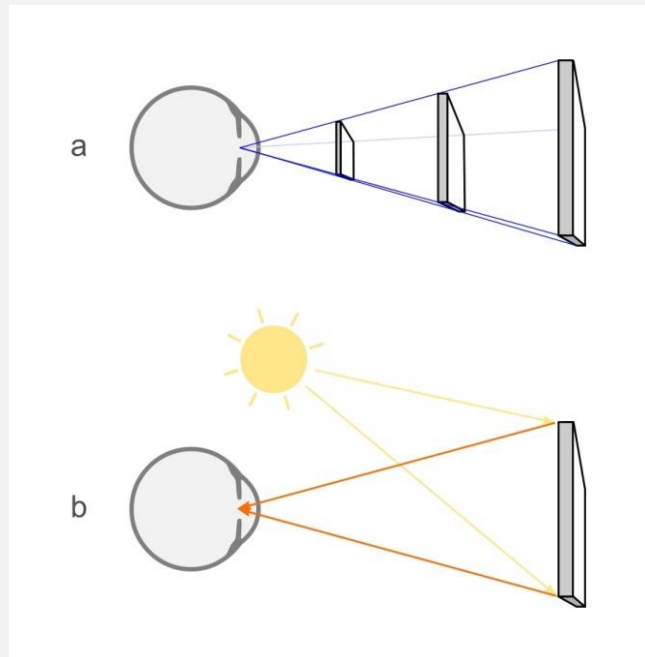
Die Konvergenzperspektive ist diejenige Darstellungsform, welche unseren Sehgewohnheiten entspricht und ausserdem mathematisch fassbar ist. Die Konvergenzperspektive ist bipolar, weshalb ich hier nochmals auf dieses Thema eingehe.

Die *Bipolarität* bezieht sich nicht auf den Raum an sich, sondern auf dessen Wahrnehmung. Sie umfasst zwei grundsätzlich verschiedene Bereiche, von denen der eine die Aussenwelt, der andere die Innenwelt betrifft.

---

<sup>49</sup> Siehe: Howard, Ian P.; Allison, Robert S. (2011), "Drawing with Divergent Perspective, Ancient and Modern" (PDF), *Perception* 40: 1017–1033, doi:10.1068/p6876.

**Abb. 5.17 Nahgerichtete Konvergenz einst und jetzt**



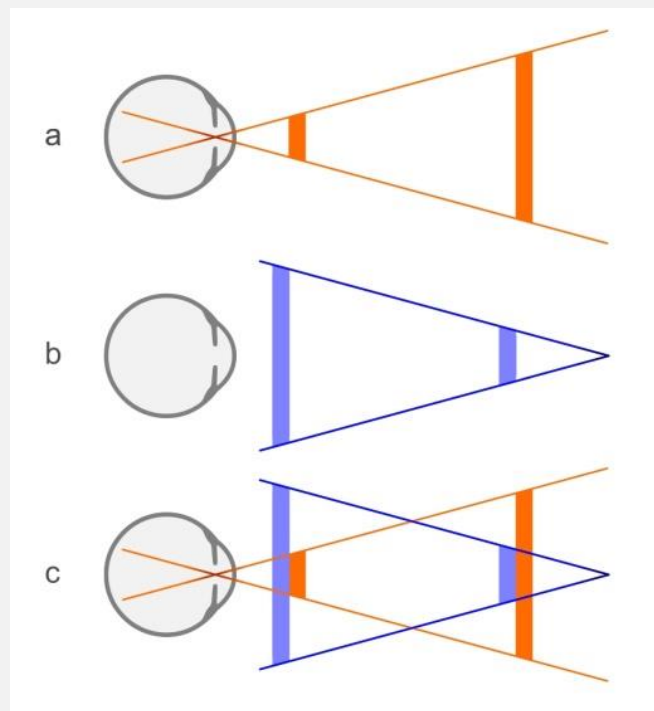
**a** Antike Auffassung (*Wiederholung von **Abb. 5.15***):  
Die Sehpyramide entsteht durch die progrediente Verkleinerung von Objekten in der Aussenwelt auf die Grösse der Pupille.

**b** Moderne Auffassung (*Zusammenfassung der **Abb. 2.1***):  
Von all den *Strahlen*, die von Objekten der Aussenwelt reflektiert werden, sehen wir nur diejenigen, die konvergent auf die Pupille gerichtet sind.

Die *Nahkonvergenz* kommt nicht, wie man einst glaubte, durch eine Verkleinerung der Umwelt im Auge zustande. Vielmehr entsteht sie durch den Weg der Lichtstrahlen, die von den Objekten konvergent in die Pupille reflektiert werden (**Abb. 5.17**). Lichtstrahlen sind real und gehorchen den Gesetzen der Physik. Die Linien, mit denen man sie in Schemata darstellt, repräsentieren somit Phänomene der Realität.

Die *Fernkonvergenz* hingegen beruht darauf, dass uns der Abstand zwischen Parallelen mit zunehmender Distanz immer kleiner erscheint, bis wir schliesslich nur noch einen Punkt, den „Nullpunkt“ erkennen. Im Gegensatz zu Lichtstrahlen repräsentieren die konvergierenden Geraden keine Realität, sondern sind als imaginäre Verbindungslinien reine Produkte unseres Geistes. Die Fernkonvergenz betrifft die Verarbeitungsprozesse in unserem Visuellen System gemäss den Gesetzen der Neurophysiologie und Neuropsychologie. (**Abb. 5.18**).

**Abb. 5.18: Nah- und Fernkonvergenz im Vergleich**



**a** Nahkonvergenz: Aussenwelt, materielle Welt → Physik

**b** Fernkonvergenz: Innenwelt, geistige Welt → Visuelles System

**c** Überlagerung beider Konvergenzen in gleichem Schema

### *Bipolarität als Grundprinzip*

Die beiden Konvergenzen, die Nahkonvergenz und die Fernkonvergenz, existieren simultan. An und für sich gibt es keine Notwendigkeit, sie in irgendeiner Weise zusammenzufassen. Die Bipolarität ist jedoch das Grundprinzip der Konvergenzperspektive. Fernkonvergenz und Nahkonvergenz existieren gewissermassen in einer Symbiose von zwei gegensätzlichen Systemen, die untrennbar miteinander verbunden sind, aber nicht miteinander verschmelzen („Dualität in der Einheit ↔ Einheit in der Dualität“).

Diese Symbiose wird leicht Anlass zur Konfusion. Leser einschlägiger Literatur müssen deshalb bei verwirrenden Textstellen stets prüfen, ob sie der Bipolarität zuzuschreiben sind, und falls ja, zu verstehen suchen, wie sie sich entwirren lassen.

Ich werde später unter anderen Gesichtspunkten auf das Thema zurückkommen.

## Rekapitulation in Stichworten

### Kultureller Kontext

<i>Parallele</i> Perspektive:	Verbreitung in Ostasien
<i>Divergente</i> Perspektive:	Verbreitet im byzantinischen Kulturbereich
<i>Konvergente</i> Perspektive:	Entdeckung/Erfindung in der Renaissance in Italien, Ausbreitung im westlichen Raum

### Kulturelle Absicht

<i>Parallele</i> Perspektive:	Unbestimmtheit des Räumlichen, Gleitender Blick
<i>Divergente</i> Perspektive:	Erhebung des Dargestellten ins Übersinnliche
<i>Konvergente</i> Perspektive:	Suche nach genauen Darstellungsweisen der sinnlich erfassbaren Realität

### Wissenschaftliche Grundlagen

<i>Parallele</i> Perspektive:	beruht auf dem <i>Wissen</i> , dass parallele Geraden im sinnlich erfassbaren Bereich parallel bleiben (Geometrie)
<i>Divergente</i> Perspektive:	beruht auf der antiken optischen <i>Theorie</i> , dass Strahlen von Objekten als Pyramiden, d.h. vom Betrachter aus gesehen divergent ins Auge gelangen. (Konstrukt der Innenwelt, kein Korrelat in Aussenwelt)
<i>Konvergente</i> Perspektive:	beruht auf <i>Beobachtungen</i> , wonach Objekte mit zunehmendem Abstand nach geometrischen Gesetzen immer kleiner werden (Eigenschaften des Visuellen Systems; Physiologie)

### **Stand der Kenntnisse in den Anfängen der Perspektive**

Was man aus antiken Theorien *kannte*:

- Geradlinige Ausbreitung des Lichtes
- Wirkung von Lochblenden („camera obscura“)
- Vermessung mittels Triangulation

Was man noch *nicht* kannte:

- Die Anatomie und Funktion des Auges
- Die Darstellende Geometrie
- Begriff des Unendlichen in der Mathematik
- Antike Malerei<sup>50</sup>

### **Die konvergenten Perspektiven<sup>51</sup>:**

- Konstruierte Perspektive (Geometrie, Optik)
- Beobachtete Perspektive (Visuelles System)
- Gestaltete Perspektive (Der Kompromiss in der Malerei)
- Betrachtete Perspektive (Kognitive Verarbeitung)

---

<sup>50</sup> Die antiken Wandmalereien von Pompei wurden erst im 18. Jhd. bekannt

<sup>51</sup> In der Literatur werden verschiedene Arten von Perspektiven unter einer Vielzahl von Bezeichnungen beschrieben. Im Gewirr der Nomenklaturen bleibt im Einzelfall nichts übrig, als jeweils genau abzuklären, wofür der Begriff steht

# 6 Konstruierte Perspektive

## Gesellschaftliche Bedeutung

### Die Anfänge

#### **Filippo Brunelleschi, 1377-1446**

*Die „Geburtsstunde der Perspektive“: Manettis Bericht  
Gründe für Zweifel an den Darstellungen Manettis  
Alternative Hypothesen zu Brunelleschis Demonstrationen  
Spiegel als Sensation  
Das Doppelspiegelexperiment  
Der Einfluss Brunelleschis auf Zeitgenossen*

#### **Leon Battista Alberti, 1404 1472**

*Theorie: Die Sehpyramide  
Schematische Darstellungsmethoden der späteren Herausgeber  
Das praktische Vorgehen Albertis  
Das Velum  
Die Ausbreitung der perspektivischen Kenntnisse*

#### **Jean le Pélerin (Le Viator), 1445-1524**

*Theorie  
Die Illustrationen*

#### **Leonardo da Vinci, 1452-1519**

*Der Zugang zum Werk  
Die Einteilung der Perspektiven  
Die tiefengerichtete Konvergenz (Frontalperspektive)  
Entwicklung der seitlich gerichteten Konvergenzen (Lateralperspektive)  
Andere geometrische Probleme*

### Die Dualität der Konvergenzpunkte

### Die weitere Entwicklung

### Grenzen der Konstruierten Perspektive



## **La prospettiva è briglia ottima della pittura**

(Leonardo da Vinci)

(Die Perspektive ist der optimale Zügel<sup>52</sup> der Malerei)

---

<sup>52</sup> Das italienische Wort „briglia“ bedeutet „Zügel“, „Zaumzeug“. Was Leonardo damit sagen will, ist nicht leicht zu deuten. Richter (Leonardo 40) übersetzt es als „guide“, was gefühlsmässig richtig scheint, sich jedoch in diesem Sinne in den Wörterbüchern nicht findet. „Steuerung“ scheint mir besser, indem damit Zügel sowohl im Sinne des Vorwärtsdrängens als auch der Zurückhaltung verstanden werden können.

## Gesellschaftliche Bedeutung

Die konstruierte Perspektive ist ein Konstrukt des Geistes. Sie eignet sich zu einer Rekonstruktion von Raum auch dann, wenn dieser nicht direkt beobachtet werden kann, ja, sie erlaubt sogar Räume darzustellen, die nie jemand gesehen hat.

Die Konstruktionen sind Denkmodelle, die erlernt werden müssen. Sie erweitern unser räumliches Bewusstsein, sind aber auch mit Einschränkungen verbunden, indem sie die Freiheiten, die intuitive Perspektiven bieten, begrenzen.

Einmal entdeckt/erfunden, breitete sich die Konstruierte Perspektive mit einer erstaunlichen Geschwindigkeit aus, wie wenn die Maler in der geistigen Atmosphäre der Epoche – der Renaissance - durstig auf die neue Theorie gewartet hätten.

Zur Attraktivität trug gewiss auch die damit verbundene Erhöhung des gesellschaftlichen Status der Maler bei. Die Entwicklung der Perspektive war mit einem Wandel verbunden, dessen Bedeutung man nicht genug betonen kann: Der Aufstieg der Malerei aus den Niederungen des Handwerks (*artes mechanicae*) in die hohen Sphären der freien Künste (*artes liberales*).

Abb. 6.1 Die sieben Artes Liberales



Kupferstich: Dieter Meyer, 1590-1658

Die sieben Artes Liberales als weibliche Personifikationen mit den korrespondierenden Attributen: Grammatik, Dialektik, Rhetorik, Musik, Arithmetik, Geometrie, Astronomie.

Die sieben artes liberales waren seit der Antike freien Männern vorbehalten. Sie umfassten rein geistige Tätigkeiten (Abb. 6.1). Die Malerei hingegen, da ausschliesslich auf Sichtbares beschränkt, gehörte nicht dazu.

Durch den Einbezug der Mathematik konnte nunmehr auch die Malerei den Status einer *ars liberalis* erlangen, und entsprechend veränderte sich auch die gesellschaftliche Stellung der Maler von Handwerkern zu umfassend gebildeten Gelehrten<sup>53</sup>.

## Die Anfänge

Seit je lebte die Menschheit in einer sichtbaren Welt. Längst hätte die Perspektive entdeckt/erfunden sein können. Aber erst in der Renaissance in Italien erwachte das Bedürfnis, die Welt realistisch abzubilden.

In der vorliegenden Arbeit beabsichtige ich nicht, den Wegen der Pioniere Schritt für Schritt nachzugehen. Das haben andere bereits ausführlich getan, und ich verweise auf die entsprechende Literatur. Zumindest im Sinne von Schlaglichtern möchte ich jedoch als Beispiele die Beiträge von einigen der beteiligten Persönlichkeiten herausgreifen, um aufzuzeigen, auf welchen – manchmal verschlungenen - Pfaden die Eroberung des Raumes voranschritt, und wie die Pioniere allen Schwierigkeiten zum Trotz den Übergang von Altbewährtem zu neuen Erkenntnissen fanden. Immer muss man sich bewusst sein, dass sie nicht über das heutige Wissen verfügten, dass sie also weder die Anatomie der Augen, die Programmierung des Gehirns noch die Existenz des mathematischen Begriffs „Unendlich“ kannten, und dass wir deshalb ihre Denkweise und Terminologie nicht mit der unsrigen gleichsetzen dürfen.

Bei der malerischen Eroberung des Raumes ging es nicht bloss um einfache Anleitungen zur Erzeugung von räumlichen Eindrücken, zumal die früheren intuitiven Verfahren den damaligen Ansprüchen genügt hatten. Die Pioniere hatten vielmehr – neben rein praktischen Belangen - das Ziel vor Augen, eine Wissenschaft des Raumes zu entwickeln und deren mathematische Grundlagen zu entschlüsseln.

Wenn ich hier von der Entwicklung der Perspektive rede, so verstehe ich darunter die *konstruierte* Perspektive. Diese geht von der Vorstellung aus, dass die Welt in ein Auge projiziert wird, das in seiner Position und Blickrichtung *fixiert* ist. In der Praxis erweist sich diese Annahme zwar als falsch, wie ich im nächsten Kapitel „Beobachtete Perspektive“ zeigen werde. Die konstruierte Perspektive ist aber die Grundlage für alles Weitere, und deshalb beginne ich mit ihr.

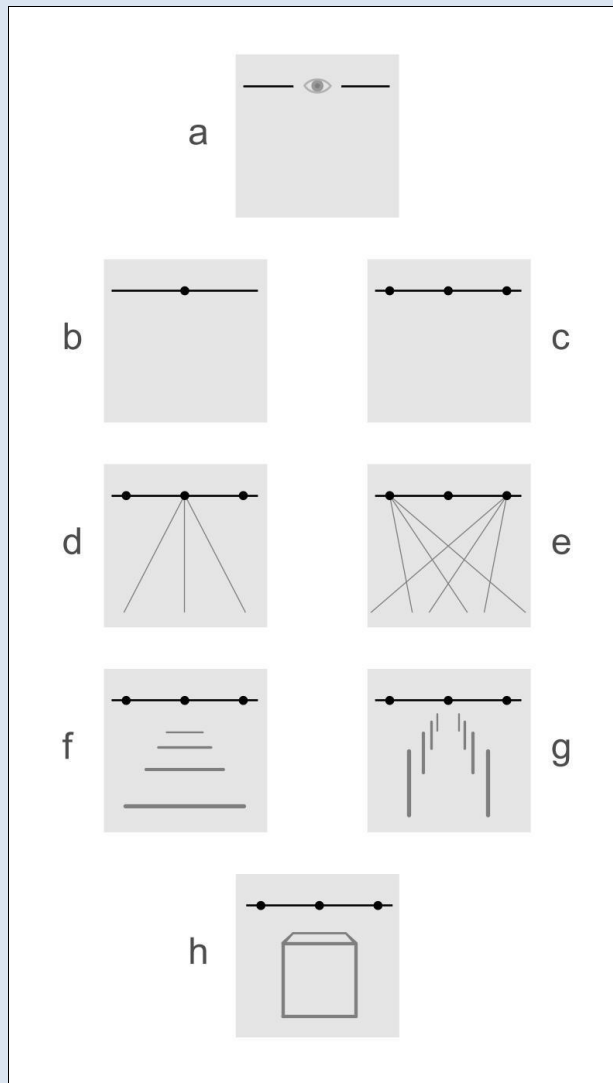
Bevor ich auf das Thema genauer eingehe, möchte ich im **Exkurs 6.1** die früher beschriebenen Schulregeln in Erinnerung rufen.

---

<sup>53</sup> Siehe auch Edgerton, S.43. Beachte aber demgegenüber Alberti: „Die drei Bücher der Malerei“, italienische Fassung, S.53:“ Bei den Griechen stand die Malerei in solcher Ehre und Ansehen ,dass ein Edikt und Gesetz erlassen wurde, welches den Unfreien verbot, die Malerei zu erlernen; sicher taten sie recht, da die Malkunst stets der freien und edlen Geister völlig würdig war“.

### Exkurs 6.1: Schulregeln für perspektivisches Zeichnen

(Wiederholung der Abb. 1.1 und 1.2)



**a** Zeichne eine waagrechte Gerade, die anzeigt, welche Augenhöhe auf dem Bild gelten soll. Sie ist der Horizont.

**b** Setze ungefähr in dessen Mitte einen Punkt, den Fluchtpunkt.

**c** Plane evtl. zu beiden Seiten weitere Fluchtpunkte.

Dann gilt als Regel:

**d** Alle Geraden, die, parallel zur Sehachse verlaufend, in die Tiefe gerichtet sind, konvergieren auf den zentralen Fluchtpunkt hin.

**e** Alle Parallelen, die schräg zur Sehachse stehen, konvergieren auf andere Fluchtpunkte.

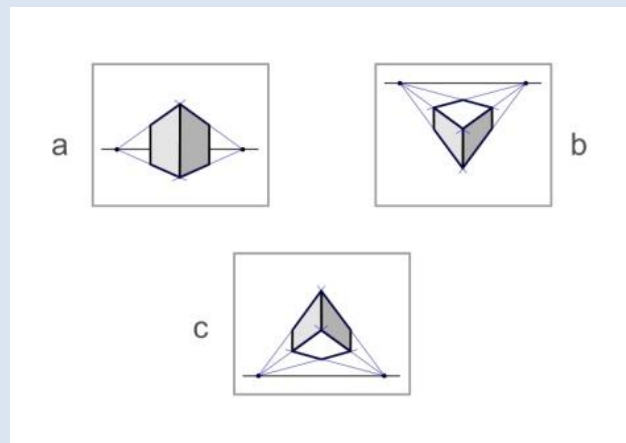
**f** Alle Horizontalen bleiben im Bild horizontal.

**g** Alle Vertikalen bleiben im Bild vertikal.

**h** Konstruktion eines Würfels gemäss den Regeln von **f** und **g**.

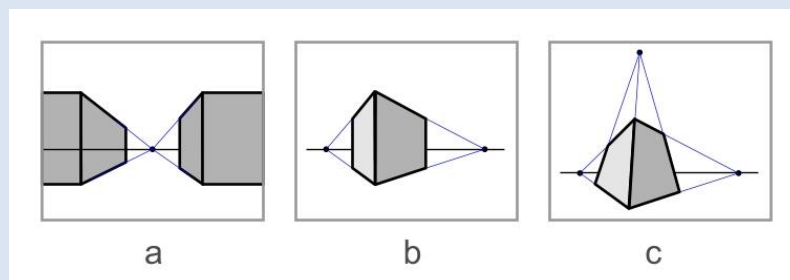
\*\*\*

### Wahl der Höhe des Horizontes



- a *Frontalperspektive*: Horizont auf Augenhöhe des Beobachters
  - b *Vogelperspektive*: Horizont hoch, Blick auf das Objekt von oben
  - c *Froschperspektive*: Horizont tief, Blick auf das Objekt von unten
- \*\*\*

### Wahl der Fluchtpunkte:



- a Ein-Punkt- Perspektive
- b Zwei-Punkt- Perspektive
- c Drei-Punkt- Perspektive. Der dritte Fluchtpunkt liegt nicht auf dem Horizont

Diese Regeln sind leicht erlernbar. In einem Experiment mit Studenten, die keine malerische Vorbildung hatten, konnte gezeigt werden, dass diese schon innerhalb einer Stunde lernen konnten, korrekt perspektivisch zu zeichnen<sup>54</sup>. So einfach die Regeln heute sein mögen, die Wege, die zu ihnen führten, waren es jedoch nicht.

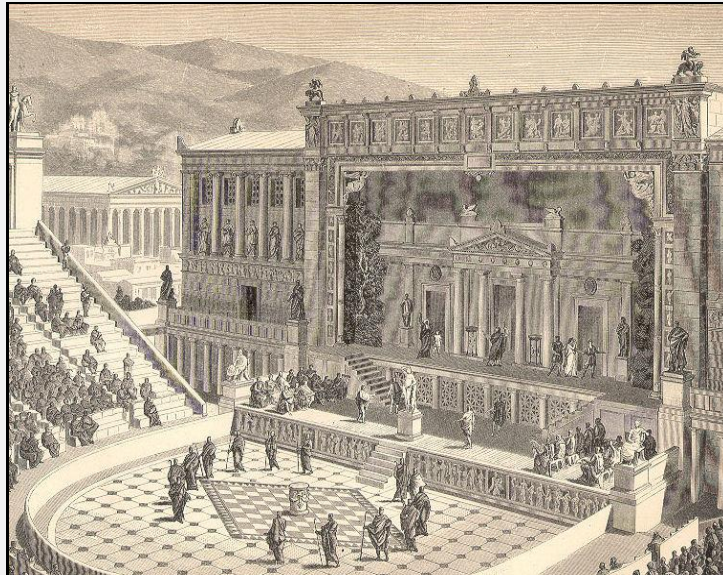
<sup>54</sup> Edgerton (1991, S. 6)

Wenn die Entwicklung der Perspektive mehrere Jahrhunderte beanspruchte, beweist dies, dass sie ein Gedankengebäude ist, das mehr impliziert als einfache Zeichnungsanleitungen.

Auf welchen Zeitpunkt man die Anfänge der Perspektive festlegen soll, ist umstritten. Darf man die räumlichen Darstellungen der Antike, die griechischen Skenographien und die römischen Wandgemälde (**Abb. 6.2**) bereits als perspektivisch klassieren? Wie wirkte sich die Entwicklung der Optik in Europa aus, bekannt geworden im 10. Jh. durch den arabischen Wissenschaftler Alhazen?

Wie immer man diese Fragen auch beantworten mag, die einschlägigen Kenntnisse waren im Mittelalter verloren gegangen. Erst als in der Renaissance ein neues Weltbild entstanden war, konnte sich die Perspektive in unserem Kulturkreis entwickeln, wobei ihre Gesetze von Grund auf neu erarbeitet werden mussten.

**Abb. 6.2: Ansätze perspektivischer Darstellung in der Antike**



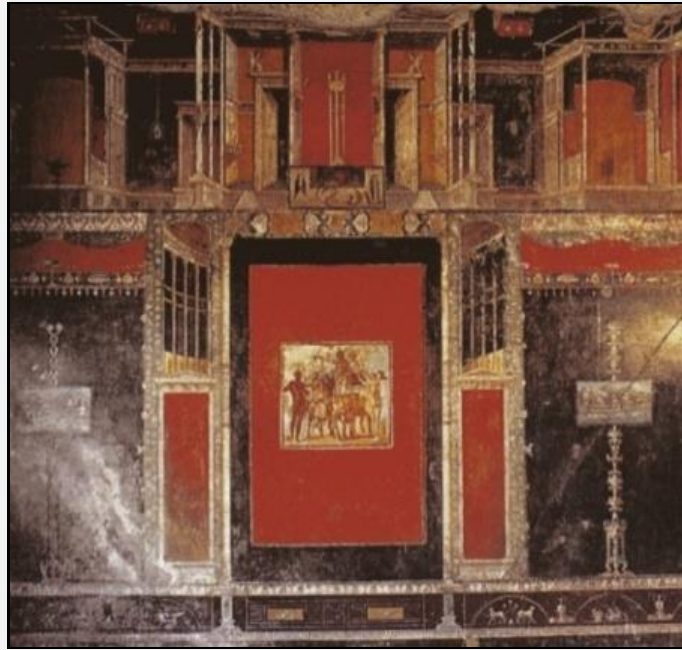
**a**

**a** Kulissenmalerei im Dionysostheater in Athen, wie ein Zeichner 1891 sie sich vorstellte.

Dass der Bühnenaufbau nicht real sondern bloss flach – perspektivisch - gemalt war, erkennt man an den geraden Konturen der Palastkulisse an ihrem Boden.

\*\*\*

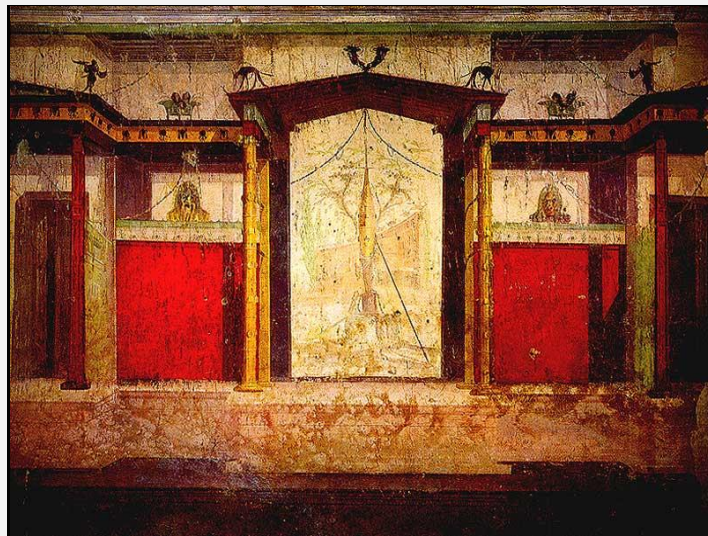




b

b Wandmalerei im Haus Lucretius Fronto, Pompei

\*\*\*



c

c Wandmalerei im Haus des Augustus, Rom

Als Renaissance-Menschen waren die Pioniere, die die Perspektive erfanden/entdeckten, vielseitig gebildet, mit Interessen in zahlreichen Gebieten. In einer Person verkörperten sie Berufe, die heute von mehreren Spezialisten und Subspezialisten vertreten werden, und sie waren als Maler vertraut mit den Methoden der Architekten, Ingenieure, Landvermesser (siehe **Exkurs 6.2**).



**Exkurs 6.2: Liste der im Folgenden erwähnten Persönlichkeiten. Wer ist wer und tat was?**

**Künstler:**

Das *ungeschriebene* Werk

**Filippo Brunelleschi**, geboren 1377 in Florenz; gestorben 1446 ebenda. Ausgebildet als Goldschmied. Als Bildhauer Teilnahme am Wettbewerb zur Gestaltung der Bronzetüren am Baptisterium in Florenz, Erschaffung des Kruzifixes in San Lorenzo. Studium und Vermessung antiker Baudenkmäler in Rom. Als Architekt Bau der Kuppel am Dom von Florenz, Bau der Kirchen San Lorenzo, Santa Maria degli Angeli, Santo Spirito, der Capella Pazzi, Bau des Findelhauses. Als Erfinder Inhaber von Patenten zu verschiedenen Geräten im Bauwesen. Als Theoretiker Begründer der Perspektive. Brunelleschi hinterliess aber keine schriftlichen Zeugnisse.

\*\*\*

Das erste *schriftliche* Werk

**Leon Battista Alberti**, geboren 1404 in Genua, gestorben 1472 in Rom. Studium des Kirchenrechtes in Bologna, Studium der Physik und Mathematik in Padua. Mitglied der päpstlichen Delegation am Konzil in Ferrara. Rückkehr nach Rom, daselbst kartografische Aufnahme der Stadt. Als Architekt Bauarbeiten an Palazzo Rucellai Florenz, Santa Maria Novella Florenz, Sepulcro Rucellai in San Pancrazio, San Francesco in Rimini, San Sebastiano in Mantua, Sant'Andrea in Mantua. Schriften und literarische Werke zu verschiedenen Themen, u.a. Deifira (ein Buch über die Liebe und wie man ihr entfliehen kann), Libri della famiglia, de jure, de equo amante (Pferdehaltung), Grammatica della lingua toscana, canis (Lob seines Hundes), musca (über die Fliege). Kunsttheoretische Schriften: De pictura (über die Malkunst), De statua (Das Standbild), De re aedificatoria (über das Bauwesen), die sowohl auf Lateinisch (für die Gelehrten) als auch auf Italienisch (für die Maler) erschienen.

\*\*\*

Das erste *gedruckte* Werk

**Jean Pélerin**, genannt **Le Viator** geboren ca. 1445 in Bois Jouan, gestorben vor 1524 in Toul. Studium der Jurisprudenz. Eintritt in den Klerus. In diplomatischen Diensten von König Louis XI. Am Hof von Commyne vielseitige Kontakte mit Gelehrten und Künstlern. Zahlreiche Reisen. Kanoniker in Toul, Entwürfe und Bauaufsicht an der Kathedrale. Tätig in St. Dié, am berühmten Gymnase Vosgien. Schriften zu religiösen Themen, zu Ptolemäus. Als Theoretiker der Malerei Autor des oft plagiierten und deshalb weit verbreiteten Standardwerkes: „*De Artificiali Perspectiva*“

\*\*\*

Das *geheime* Werk

**Leonardo da Vinci**, geboren 1452 in Anchiano bei Vinci, gestorben 1519 auf Schloss Clos Lucé, Amboise.

Er war Maler („Mona Lisa“, „Abendmahl“), Architekt, Bauingenieur, Wasseringenieur, Maschineningenieur, Erfinder, Dichter, Naturphilosoph, Kunsttheoretiker und gilt als Universalgenie. Von den 5000 Manuskriptseiten sind die Hälfte Einzelblätter, verteilt in diversen Sammlungen von Museen und Privaten. Sie enthalten Notizen in unsystematischer Anordnung, geschrieben in Spiegelbildschrift und schwer leserlichen Buchstaben. Der Zugang zu den Werken war deshalb schwierig und ihr Einfluss auf die Zeitgenossen eingeschränkt.

\*\*\*

#### Berichterstatter

**Antonio Manetti**, geboren in Florenz 1423, gestorben 1497 ebenda. Schriftsteller, Mathematiker und Architekt. Biograf von Brunelleschi.

**Giorgio Vasari**, geboren 1511 in Arezzo; gestorben 1574 in Florenz. Er war Architekt, Hofmaler der Medici und Biograph italienischer Künstler. Er war einer der ersten Kunsthistoriker und verwendete 1550 als Erster das Wort *rinascita* (Renaissance).

### Filippo Brunelleschi 1377-1446

Aus der Biographie Brunelleschis ist für unsere Betrachtungen vor allem seine mehrjährige Tätigkeit als Vermesser der antiken Gebäude und Ruinen in Rom relevant, weil seine dabei gewonnenen Erkenntnisse Grundlagen für eine mathematische Erfassung des Raumes bilden.

Im Bereich der Wissenschaften wird Brunelleschi als Hauptverdienst seine Rolle als Entdecker/Erfinder der geometrischen Perspektive zugemessen. Allerdings sind von ihm selbst keine Dokumente auf uns gekommen. Aber dass er es war, der die Grundlagen der Perspektive geschaffen hat, bezeugen seine Zeitgenossen, u.a. auch Alberti, der ihn in der Einleitung zu seiner „Della pittura“ (Über die Malkunst, 1436) dafür wortreich preist. Und was vor allem diese These stützt: Nicht einmal seine zahlreichen Gegner bestritten seine diesbezüglichen Verdienste.

## Die „Geburtsstunde der Perspektive“: Manettis Bericht

Nach weit verbreiteter Auffassung begann die Erforschung des Raumes durch die Perspektive mit zwei Demonstrationen (datiert vor 1413<sup>55</sup>), auf denen Brunelleschis Ruf als Begründer der neuen Denkdisziplin fusst. Nach Edgerton (und in ähnlicher Weise auch nach anderen...): «*These two panels...were surely the most influential artworks produced during the entire European Renaissance*<sup>56</sup>». Obwohl sie in ähnlichen Aussagen seit dem 15. Jahrhundert wiederholt als Schlüsselexperimente bezeichnet werden, muss man sich nach genauer Prüfung allerdings fragen, ob das zutrifft.

Die beiden erwähnten Demonstrationen sind nicht nur an sich interessant, sondern vor allem auch bezüglich ihrer Rezeption, die ihnen die Initialzündung zur Entwicklung der konstruierten Perspektive beimisst. In Anbetracht dieser Bedeutung werde ich sie hier im Detail schildern und begründen, warum ich bezweifle, dass sie so durchgeführt wurden, wie Antonio Manetti (1475) - die wichtigste Quelle - sie beschrieb<sup>57</sup>.

Die *erste Demonstration* enthält folgende Elemente (**Abb. 6.3**):

- Einen genau definierten *Standpunkt* am Eingang des Domes in Florenz, den Brunelleschi einnahm für das Malen und spätere Betrachten des Bildes.
- Einen *Spiegel*.
- Eine *Tafel* von ca. 30 cm. Seitenlänge, auf der Brunelleschi das Baptisterium San Giovanni mit seiner näheren Umgebung malte. Als ungewöhnliche Neuerung liess er den leeren Abschnitt oberhalb der gemalten Gebäude mit poliertem Silber versehen, sodass sich dort der Himmel mit den bewegten Wolken spiegeln konnte.
- Eine *Fixiereinrichtung* – wie er sie von seinen Vermessungen kannte - in der Form eines Loches. Dieses lag in der Tafel an genau definierter Stelle. Seine engste Stelle - auf der bemalten Seite – hatte den Durchmesser einer Linse, und dessen weiteste Stelle - auf der Rückseite - den Durchmesser eines Dukatens.

Das Spezielle im Experiment bestand darin, dass Brunelleschi sein Gemälde nicht *direkt* betrachtete, sondern im *Spiegel*. Zunächst hielt er die Tafel mit der Rückseite (d.h. mit der bemalten Seite von sich abgewendet), vor das Gesicht und blickte mit einem Auge durch das Loch auf das Baptisterium. Dann hielt er mit der zweiten Hand den Spiegel, die spiegelnde Fläche sich zugewandt, so vor die Tafel, dass er in ihm das Spiegelbild des Gemäldes sah.

---

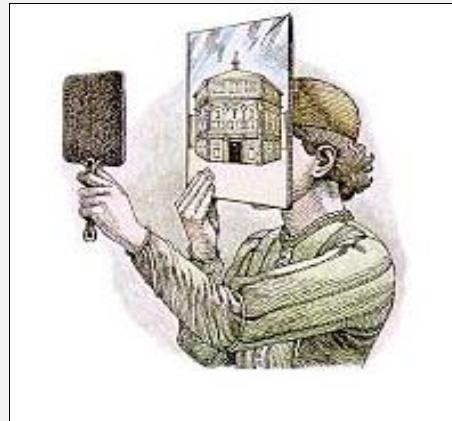
<sup>55</sup> <https://www.arthistoricum.net/themen/portale/renaissance/lektion-iii-die-geistigen-und-kunsttheoretischen-grundlagen-der-renaissance/5-filippo-brunelleschi-und-die-zentralperspektive/>

<sup>56</sup> Edgerton, p.5

<sup>57</sup> Wie sich im Folgenden zeigen wird, müsste man die Experimente eher im Zusammenhang mit der *beobachteten* Perspektive sehen. Wenn ich sie dennoch an dieser Stelle beschreibe, so deshalb, weil sie gemeinhin als der Beginn der *konstruierten* Perspektive betrachtet werden

Kippte er den Spiegel weg, so sah er das Baptisterium in natura, hielt er ihn wieder vor sich, so sah er das Gemälde, wobei er – und dies war nach Manetti das Wesentliche der Demonstration - die beiden Ansichten nicht voneinander unterscheiden konnte.

**Abb. 6.3 Erste Demonstration:  
Baptisterium San Giovanni, Florenz**



**a**

**a** *Schema der Versuchsanordnung:*

Brunelleschi malt das Baptisterium auf eine Tafel, in der ein Loch angebracht ist. Der Betrachter blickt von hinten durch das Loch auf einen Spiegel, in dem er das gemalte Bild spiegelverkehrt sieht.



**b**

**b** *Modell von Brunelleschis Demonstration, Florenz, Museo di Storia della Scienza, nach Acidini/ Morolli 2006.*

*Links* die Rückseite des *Spiegels* und das gemalte Bild.

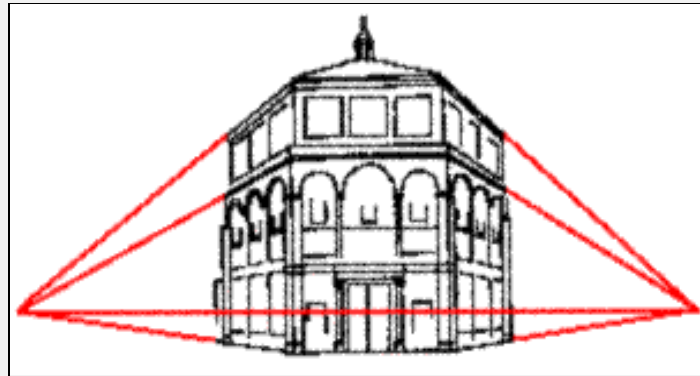
*Rechts* die Rückseite des *Bildes* mit dem Guckloch, durch das man auf den Spiegel blickt, und dort die innere Öffnung im Portal gespiegelt sieht.

*Beachte:* Auf der Rückseite ist das Loch, weil konisch, grösser als auf der Bildseite.

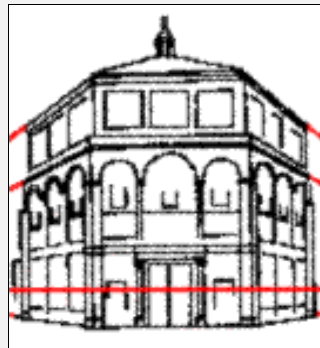
Mit freundlicher Genehmigung Museo Galileo, Florenz

\*\*\*

c-d: Taugt das Baptisterium zur Demonstration der Perspektive?



c



d

c Darstellung des Baptisteriums mit Konstruktionslinien. Zur Demonstration von Zentralperspektive taugt das Gebäude nicht. Es könnte sich höchstens für die Zweipunktperspektive eignen, aber in den Grössen, die Manetti für die Demonstration angibt, kämen die seitlichen Fluchtpunkte zu weit ausserhalb der Bildgrenzen zu liegen.

d Das Baptisterium, wie es im Spiegel erscheint. Das Gebäude füllt den Spiegel fast gänzlich aus. Die seitlichen Fluchtpunkte sind nicht sichtbar, die Betrachter erhalten deshalb keine Informationen, wie man perspektivisch konstruiert.

Die zweite Demonstration war einfacher: Auf einer anderen Tafel malte Brunelleschi den Palazzo Vecchio mit den umgebenden Gebäuden, gesehen vom Rande der Piazza della Signoria (Abb. 6.4). Bei diesem Experiment gab es weder Spiegel noch Loch, und was ebenfalls fehlte, war die Verspiegelung des Himmels oberhalb der Gebäudesilhouette. Damit aber auch in diesem Bild ein bewegter Wolkenhimmel erscheine, sägte Brunelleschi einfach den entsprechenden Teil der Tafel weg (Abb. 6.4 b).

**Abb. 6.4 : Zweite Demonstration:  
Palazzo Vecchio und Piazza della Signoria, Florenz**

*Die Versuchsanordnung*



**a**

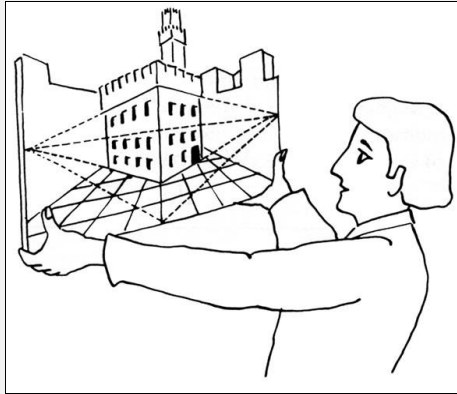
**a** *Piazza della Signoria mit dem Palazzo Vecchio (Foto).*  
Der Standort des Fotografen ist auf dem Boden der Piazza. Der perspektivische Horizont ist niedrig, auf Augenhöhe des Fotografen (siehe **Abb. 6.3d**).

\*\*\*



**b**

**b** *Modell der Tafel (Florenz, Museo di Storia della Scienza, 2006.).* Das Gemälde ist hier auf einem Stativ abgestützt. Der Teil oberhalb der Gebäudesilhouette ist weggesägt.



c

c *Edgertons Darstellung der zweiten Demonstration: Handhabung der Tafel mit abgesägtem Oberteil<sup>58</sup>.*

Die Darstellung ist ungenau: Zum einen sind die seitlichen Fluchtpunkte in unrealistischer Weise direkt an den Bildrand gesetzt. Zum anderen ist der Horizont über der ersten Etage des Palazzo viel zu hoch positioniert, was nicht kompatibel ist mit dem angegebenen Standort auf dem Niveau der Piazza (a).

Für weitere Details verweise ich auf die Originaltexte in den **Exkursen 6.3 (Manetti) und 6.4 (Vasari)**.

#### **Exkurs 6.3: Antonio Di Tuccio Manettis Text (1475)<sup>59</sup>**

*Und diesen Fall der Perspektive zeigte er zum ersten Mal auf einer Tafel von etwa einem halben Braccio im Quadrat, auf der er eine Darstellung der **Aussenansicht des Baptisteriums von San Giovanni in Florenz** geschaffen hatte. Und er hat dieses Baptisterium so gezeichnet, wie man es auf einen Blick von aussen sieht. Anscheinend hat er beim Zeichnen ungefähr drei Bracci innerhalb der Mitteltür von Santa Maria del Fiore gestanden. Und das Bild hat er mit so viel Fleiss und Schönheit geschaffen, und so genau in den Farben des weissen und schwarzen Marmors, dass kein Miniaturmaler es hätte besser malen können: vorne hat er den Teil des Platzes abgebildet, den das Auge erblickt. Im Vordergrund malte er den Teil der Piazza, den das Auge umfassen konnte, das heisst, **von der Seite, die zur Misericordia gewandt ist bis zum Bogen und der Ecke zum Schafsmarkt, und von der Seite mit der Säule des Zenobius bis zur Ecke des Strohmarktes, und was man von diesem Ort in der Ferne sieht**. Und dort, wo auf dem Bild der Himmel über den Mauern repräsentiert war, platzierte er **poliertes Silber**,*

<sup>58</sup> Edgerton, p.71

<sup>59</sup> [http://geometrie.eduhi.at/data/AK/Archi\\_Quiz/12\\_2012/Perspektive4.htm](http://geometrie.eduhi.at/data/AK/Archi_Quiz/12_2012/Perspektive4.htm)



*so dass die Luft und der natürliche Himmel von ihm reflektiert wurden und auch die Wolken, die auf die spiegelnde Fläche fielen und vom Wind getrieben wurden, wenn er wehte. Bei diesem Bild sorgte der Maler dafür, dass er nur **einen einzigen Standpunkt** bestimmte, von wo aus man es betrachten konnte, sowohl was die Höhe und Tiefe, als auch, was die Seiten und die Entfernung betrifft. Und damit man keinen Fehler bei seiner Betrachtung begehen konnte, da sich an jedem Ort die Erscheinung für das Auge ändern muss, hatte er ein **Loch in die Tafel** gemacht, auf der dieses Bild war, das sich in der Abbildung des Baptisteriums von San Giovanni genau an jener Stelle befand, wohin das Auge blickte vom Platz innerhalb der Mitteltür von Santa Maria del Fiore, an dem er beim Zeichnen gestanden hatte. Und dieses Loch war **so klein wie eine Linse** auf der Seite des Bildes und erweiterte sich kegelförmig auf der Rückseite, in der Form eines Strohhutes für Frauen, bis zur Grösse eines Dukatens. Er wollte, dass das Auge des Betrachters auf der Rückseite sei, nämlich dort, wo das Loch groß war, und **mit einer Hand sollte man das Bild zum Auge führen und mit der anderen Hand, der Tafel gegenüber, einen Spiegel halten**, von dem das Bild reflektiert wurde. Die Entfernung des Spiegels von der zweiten Hand betrug etwa so viele kleine Bracci, wie die Distanz in echten Bracci ergab, vom Platz, an dem er beim Zeichnen gestanden hatte, bis hin zum Tempel von San Giovanni. Zusammen mit den erwähnten anderen Umständen, dem Spiegel, der Piazza und so weiter schien es bei der Betrachtung von diesem Punkt, als wenn man das **Baptisterium wirklich und wahrhaftig** sähe. Und ich habe es in Händen gehalten und mehrmals zu meiner Zeit gesehen.*

*Er schuf eine **Perspektive der Piazza des Palazzo Vecchio in Florenz** mit allem, was vor diesem und um ihn herum steht, soweit man es mit dem Auge umfasst, wenn man ausserhalb des Platzes steht, resp. vor der Kirche von San Romolo jenseits des Canto di Calamala Francesca, die sich öffnet gegen die Piazza, einige wenige Fuss gegen Orto San Michele. Von diesem Standpunkt aus kann man zwei Fassaden des Palazzo Vecchio – West und Nord – überblicken. Es ist wunderbar, zu sehen, mit all den Objekten, die das Auge von diesem Ort aus erfasst, was da erscheint ....*

*Man kann sich nun fragen, warum er, da es doch um Perspektive ging, **kein Loch ins Bild** machte, wie er es in der Tafel des Baptisteriums San Giovanni getan hatte. Der Grund, warum er es nicht tat, war, dass **eine Tafel für eine Piazza dieses Ausmasses hätte gross genug sein müssen**, um so viele verschiedene Objekte zu enthalten, und dann hätte man sie **nicht mit einer Hand halten** können, **während die zweite Hand den Spiegel hielt** – so wie bei der Tafel von San Giovanni. Wie auch immer der Arm ausgestreckt würde, er wäre nicht genügend lang und genügend stark gewesen, um den Spiegel in der richtigen Distanz gegenüber zu halten...*

*Und, wo er in der San Giovanni-Tafel poliertes Silber aufgebracht hatte, schnitt er hier aus der Tafel den Teil oberhalb der abgebildeten Gebäude aus und trug sie an einen Ort, von wo er sie betrachten konnte mit dem natürlichen Himmel über den Gebäuden...*

*Hervorhebungen von G.E.*

Überprüfbar ist das alles leider nicht. Die beiden Tafeln sind seit Mitte des 15. Jahrhunderts verschollen, und es gibt keine einschlägigen Schriften von Brunelleschi selbst. Wir sind auf Zeugnisse anderer angewiesen, die sich allerdings nicht auf direkte Erfahrungen stützen, sondern alle später publiziert wurden. Die frühesten Beschreibungen erschienen erst Jahrzehnte nach den Demonstrationen (Manetti um 1475; Vasari um 1550).

### *Gründe für Zweifel an den Darstellungen Manettis*

Manettis Bericht lässt so viele Fragen offen, dass man sich fragen muss, ob die Demonstrationen tatsächlich so stattfanden, wie er berichtet (siehe **Exkurs 6.4**).

#### **Exkurs 6.4: Einige offene Fragen zu Manettis Darstellung**

##### ***Maltechnik:***

*Wie hat denn Brunelleschi seine Tafeln gemalt? Nach Augenmass freihändig? In freier Natur oder im Atelier auf Grund von Skizzen?*

Manetti berichtet darüber nichts. Wenn es Brunelleschi gelang, auf seiner Tafel die bewunderte perspektivische Genauigkeit zu erzielen, stellt sich die Frage, wie er sie schon vor seiner Demonstration malen konnte, obwohl er erst bei dieser die Regeln der Perspektive entdeckt haben soll.

##### ***Reihenfolge der Demonstrationen:***

*Warum demonstrierte Brunelleschi die Versuchsanordnungen in „falscher“ Reihenfolge: Die eine anspruchsvoll in Planung und Ausführung zuerst, die zweite so einfach, dass auch ein Lehrling darauf gekommen wäre, danach? Warum führte er als Erstes die komplizierte Version durch, um dann in der zweiten zu beweisen, dass all die Komplikationen gar nicht nötig gewesen wären?*

Darauf gibt Manetti keine Antwort. Erstaunlicherweise scheint er es gar nicht als Paradox empfunden zu haben, und dasselbe gilt auch für spätere Autoren.

\*\*\*

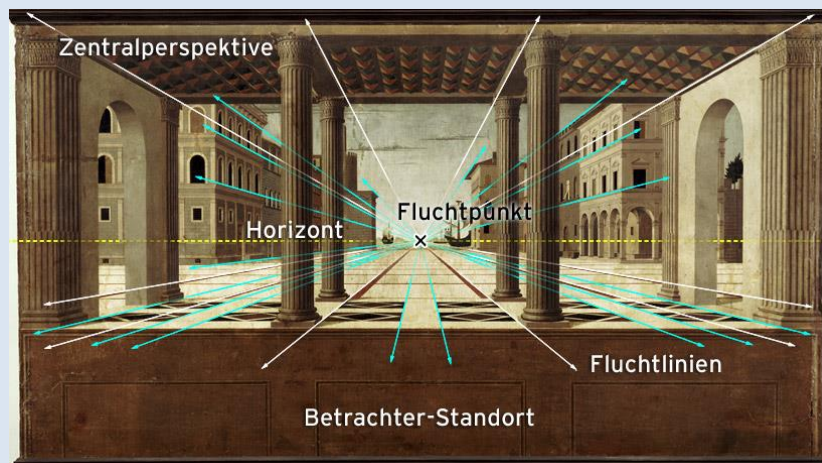
### **Wahl der Motive:**

*Warum hat Brunelleschi ausgerechnet das Baptisterium und die Piazza della Signoria als Motive gewählt, obwohl sie für Demonstrationen der Perspektive wenig geeignet sind?*

Einer der Gründe könnte gewesen sein, dass die beiden Motive – vor Vollendung der Domkuppel – die beiden Hauptkennzeichen von Florenz waren (noch heute fehlen sie auf keiner Touristenfoto...) und Brunelleschi sie einfach wegen ihrer Beliebtheit wählte.

Als Beweise für perspektivische Theorien hätte er weit bessere Motive finden können. Vor allem wäre zu erwarten gewesen, dass Brunelleschi für die Demonstration der perspektivischen Theorie die Zentralperspektive benutzt hätte, denn um diese ging es in der Renaissance. Brunelleschi wählte aber Motive in Zweipunkt-Perspektiven (mit lateralen Fluchtpunkten), die erst später, im 17. Jahrhundert, zu ihrer Bedeutung kamen.

Zur Demonstration der Perspektive wäre z.B. das unten stehende Bild geeigneter gewesen:



\*\*\*

### **Konstruktionsprinzipien:**

*Vasari erwähnt als Konstruktionsprinzip den Grund- und Aufriss. Lässt sich dieses aber tatsächlich aus den Versuchsanordnungen Brunelleschis ableiten?*

In Manettis Beschreibungen gibt es keine Hinweise auf Grund- und Aufrisse. Wenn 100 Jahre nach den Ereignissen Vasari diese erwähnt, so handelt es sich wohl um eine Interpretation im Nachhinein. Um 1550 waren diese Konstruktionsprinzipien bereits Norm und wurden offensichtlich rückwirkend Brunelleschi zugeschrieben.

\*\*\*

**Spiegelinversion:**

*Wie hat Brunelleschi das Problem der Spiegelinversion gelöst? Wenn er das Gemälde des Baptisteriums im Spiegel betrachtet, so sieht er es dort spiegelverkehrt. Daraus folgt, dass, die beiden Ansichten nicht identisch sein können, wenn man den Spiegel wegkippt.*

Manetti erwähnt das Problem nicht. Spätere Autoren haben es erkannt und dafür mannigfache Lösungen vorgeschlagen:

- das Baptisterium sei von vornherein invers gemalt worden;
- es sei direkt auf einen Spiegel gemalt worden, während der Maler mit dem Rücken zum Gebäude stand;
- Brunelleschi habe die Axialsymmetrie ausgenutzt, indem er das Gebäude am frühen Morgen malte, wenn es von der Sonne schattenfrei frontal beleuchtet wird. Wird es dann in einem Spiegel invertiert betrachtet, ist kaum ein Unterschied zu sehen.

*Baptisterium im Morgenlicht (oben) und sein Spiegelbild (unten)*



\*\*\*

**Stabilisierung der Demonstrationsparameter:**

*Warum hat Brunelleschi keine Staffelei verwendet? Sie hätte die Distanzen zwischen Bild und Spiegel, - welche für die Grösse des Bildes im Spiegel massgebend sind - stabilisiert; sie hätte es erleichtert, Gemälde und Spiegel genau im rechten Winkel zur Sehachse zu halten – was für eine korrekte Abbildung unumgänglich ist.*

Manettis Angaben zufolge wurden die Tafeln von Hand gehalten. Nur so hätte man sie hin und her schwenken können, wenn man die Gemälde mit der Wirklichkeit vergleichen wollte. Wenn man jedoch die Versuche mit den Modellen im Museo Galileo wiederholt, zeigt sich, dass dies wegen des Gewichtes äusserst schwierig gewesen wäre.

\*\*\*

**Authentizität:**

*„Und ich habe es in Händen gehalten und mehrmals zu meiner Zeit gesehen“.*

Hat Manetti die Tafeln wirklich selbst gesehen? Manetti wurde geboren 1423, Brunelleschis Demonstrationen werden auf ungefähr 1410 – 1425 datiert. Waren die Tafeln zu Lebzeiten Manettis noch verfügbar? Oder handelt es sich bei den Angaben Manettis um eine der zahlreichen historischen Ungenauigkeiten, wie sie in der Literatur der Renaissance nicht ungewöhnlich waren?

\*\*\*

**Anderweitige Berichterstattung:**

*Wenn die Demonstrationen Brunelleschis tatsächlich so sensationell waren, warum kennen wir keine zeitgenössischen Berichte?*

Warum erscheint die früheste Beschreibung um erst 1475, d.h. ein halbes Jahrhundert nach den Experimenten (1410 -1425)?

Zweifel kommen auch auf nach der Lektüre des Berichtes von Giorgio Vasari, dem berühmten Biographen der Renaissance<sup>60</sup>. Dieser erwähnt zwar die beiden Gemälde, nicht aber die aussergewöhnliche Versuchsanordnung mit Spiegeln (siehe **Exkurs 6.5**). Dies macht stutzig, denn Vasari, dafür bekannt, dass er in seinen Lebensbeschreibungen alle erdenklichen Anekdoten aufführt (auch solche, die es gar nicht gab...), hätte solch aufsehenerregende Details des Versuchsaufbaus gewiss nicht übergangen.

---

<sup>60</sup> „Le Vite de' più eccellenti pittori scultori ed architettori“ (Lebensbeschreibungen, 1550 und 1568)

### Exkurs 6.5 Der Bericht von Giorgio Vasari: (1550)<sup>61</sup>

Aus „Le Vite de' più eccellenti pittori scultori ed architettori“:

*"Filippo Brunelleschi beschäftigte sich viel mit Perspektive, worin man damals gar keine Übung hatte, und eine Menge Dinge falsch ausführte. Auf dieses Studium verwendete er einen Grossteil seiner Zeit, bis er eine vollkommen **richtige Methode fand, nämlich die von Grundriss und Profil ausgeht** und sich durchschneidender Linien bedient, eine fürwahr sinnreiche und der Zeichenkunst nützliche Sache (perfino che egli trovò da sé un modo che ella potesse venir giusta e perfetta, che fu **il levarla con la pianta e proffilo** e per via della intersegazione, cosa veramente ingegnosissima et utile all'arte del disegno) , an welcher Filippo ein solches Vergnügen fand, dass er **den Platz von San Giovanni** mit allen den Abteilungen der schwarzen und weissen Marmorfelder an der Kirche in eine Zeichnung brachte, worin die **entfernteren Teile sich auf eine sehr zierliche Weise verkürzten.....***

*Von Künstlern und von allen, welche in der Kunst ein Urteil hatten, sehr gelobt, gab ihm diese Arbeit Mut, bald nachher eine **Ansicht vom Palast, dem Markt, der Loggia der Signore und dem Dach der Pisani**, samt allem, was man dort herum gebaut sieht, aufzunehmen, und diese Zeichnungen erweckten den Geist anderer Künstler, welche sich sofort mit grossem Studium hierauf wandten.“*

**Hervorhebungen von G.E.**

### Der Beweis

Ein einfacher Selbstversuch beweist schliesslich, dass aufgrund der Blendengesetze die Spiegelexperimente *unmöglichlicherweise* zum Ziel führen konnten (**Selbstversuch 6.1**).

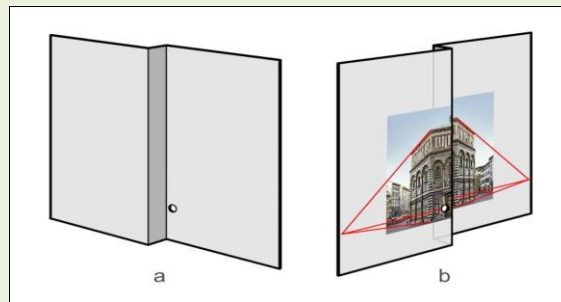
---

<sup>61</sup> [http://geometrie.eduhi.at/data/AK/Archi\\_Quiz/12\\_2012/Perspektive4.htm](http://geometrie.eduhi.at/data/AK/Archi_Quiz/12_2012/Perspektive4.htm)



### Selbstversuch 6.1: Imitation des Spielexperimentes

Man nehme einen Karton und bemale ihn auf der einen Seite mit einer Skizze. Um die Dicke des Brettes zu imitieren, falte man ihn so, dass in der Mitte ein senkrechter Streifen entsteht von ca. 1.5 cm. Die Fläche links vom Streifen entspräche dann der Rückseite der Tafel, der Mittelstreifen der vermutlichen Dicke der Tafel und die Fläche rechts vom Streifen deren Vorderseite. In diesem letzteren Teil bringt man im unteren Drittel ein Loch von 6-7 mm Durchmesser an (ca. Grösse einer Linse).



- a Ansicht des gefalteten Kartons von hinten (Seite des Betrachters)
- b Ansicht von vorn (mit gemaltem Motiv)

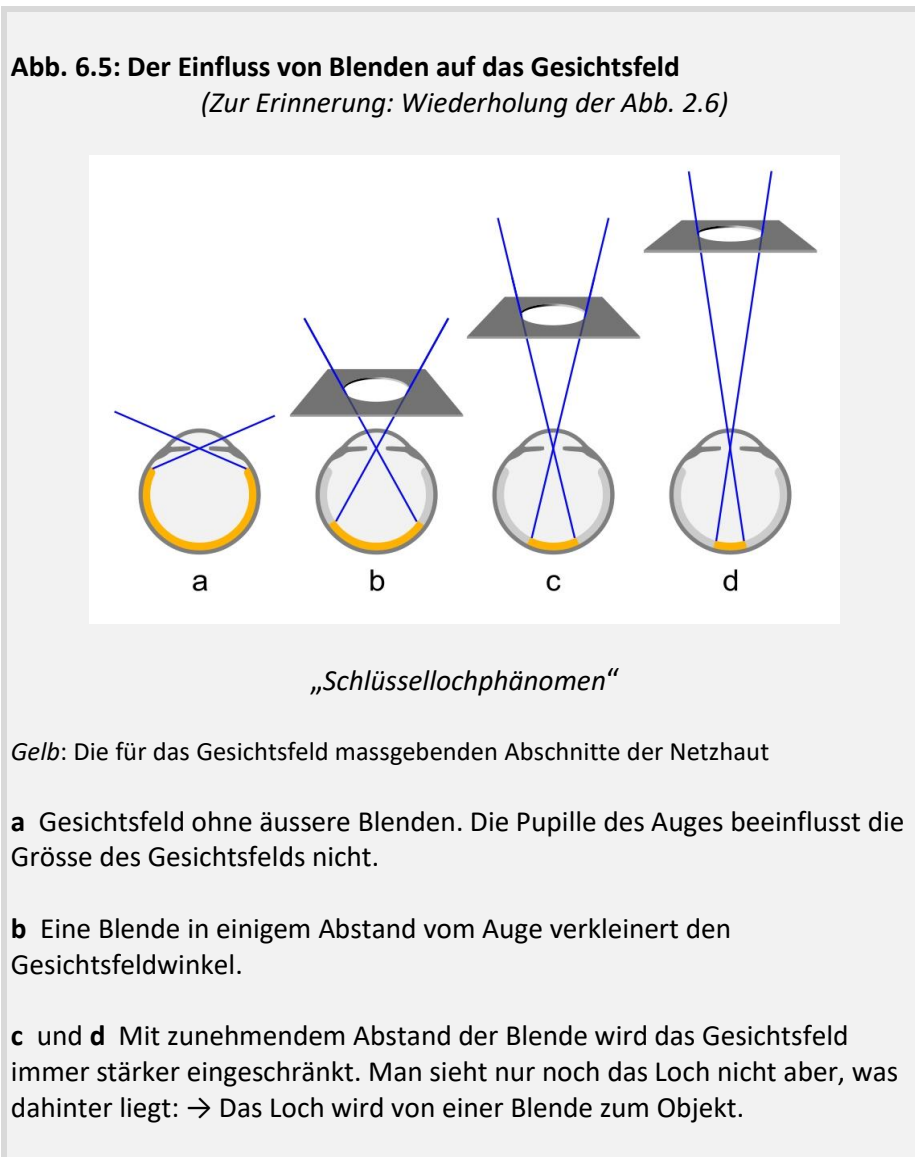


Nun stelle man sich vor einen Spiegel im Abstand von etwa 30 cm. und halte den Karton - strikte senkrecht - so nahe vor das Gesicht, dass die Seite links vom Mittelstreifen (analog der Rückseite der Tafel) die Nasenspitze berührt und blicke dann durch das Loch.

Wie gross ist das Feld, das man im Spiegel überblickt?



Massgebend für das was man sieht, ist hier das Loch an der Vorderseite der Tafel. Dieses wirkt als Gesichtsfeldblende, die, je grösser der Abstand von der Augenpupille, desto stärker das Gesichtsfeld einschränkt (siehe **Abb. 6.5**).

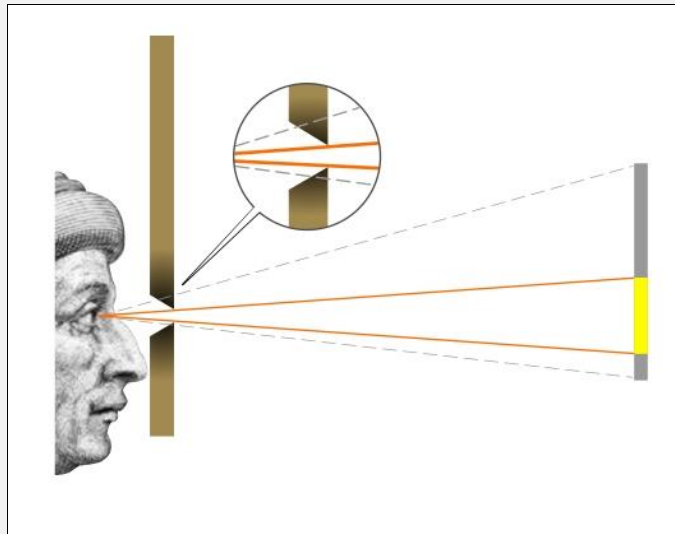


Bei Brunelleschis Demonstration ist nun der Abstand so gross und das Loch so klein, dass wir auf dem Spiegel nur einen bescheidenen Teil des Baptisteriums überblicken können, weit kleiner als es für eine Beurteilung der perspektivischen Verhältnisse nötig wäre (**Abb. 6.6**).

Dies erklärt auch, warum es nicht gelingt, Brunelleschis Versuch mit einer Fotokamera zu imitieren<sup>62</sup>, denn dabei kommt die Wirkung des Loches als Blende nicht zur Geltung. Die Blende der Kamera imitiert das Loch in der Tafel nicht, denn sie ist keine Gesichtsfeldblende, sondern – wie die Pupille des Auges – eine Aperturblende.

<sup>62</sup> Z.B. Edgerton, p. 56-58

**Abb. 6.6: Die Blendenweite bei Brunelleschis Demonstration**



Darstellung in *massstabgerechten* Proportionen:

Die entscheidenden Faktoren sind

- die Distanz zwischen Auge und Tafel, bedingt durch die vorspringende Nase, an welcher die Tafel senkrecht gehalten wird
- die Dicke der Tafel, die den Abstand der massgebenden Blende vom Auge noch mehr vergrössert
- die von Manetti angegebenen *Blendenweite* von der Grösse einer Linse (d.h. von ca. 6-7 mm).

Mit diesen Daten erhält man bloss einen Überblick über ein kleines Feld (gelb). Zum Erfassen des ganzen Spiegels (grau) müsste die Blendenöffnung weit grösser sein (gemäss der gestrichelten Linie)<sup>63</sup>.

Daraus folgt, dass die Demonstrationen Brunelleschis nicht in der beschriebenen Form ablaufen konnten. So stellt sich die Frage: Hat sich Manetti etwa in seiner Erinnerung geirrt? Hat er vielleicht etwas verwechselt?

### *Alternative Hypothesen zu Brunelleschis Demonstrationen*

Ging es Brunelleschi gar nicht um Perspektive, sondern vielmehr um das Ausloten der Eigenschaften von Spiegeln? So gewagt meine Hypothese auch erscheinen mag, sie kann zumindest Antworten auf die offenen Fragen bei Manetti geben.

---

<sup>63</sup> Martin Kemp, der im Appendix II seines Werkes *The Science of Art* das Thema der Blenden anspricht, legt diese näher ans Auge als es auf Grund der anatomischen Gegebenheiten möglich wäre

### *Spiegel als Sensation*

Lange vor Brunelleschis Zeit kannte man schon gläserne Spiegel. Herausgeschnitten aus mundgeblasenen Glaskugeln waren sie aber gewölbt, und die Spiegelbilder erschienen demnach verzerrt. Plane Spiegeloberflächen sahen die damaligen Menschen praktisch nur auf absolut ruhigen Wasseroberflächen in der Tiefe von Sodbrunnen, (denen deshalb oft magische Eigenschaften zugeschrieben wurden).

Plane Spiegel aus Glas wurden industriell erst 100 Jahre nach Brunelleschis Demonstrationen (1516) in Venedig fabriziert und müssen zu seiner Zeit eine Rarität gewesen sein. Dass sie bei seinen Zeitgenossen Aufsehen erregten, erstaunt nicht, denn dass Menschen ihr eigenes Bild überall in den richtigen Proportionen sehen konnten, war eine unglaubliche neue Erfahrung.

Wie Brunelleschi zu seinen Spiegeln kam, und mit welcher Technik sie hergestellt worden waren, wissen wir nicht<sup>64</sup>. Dass er aber, einmal in ihrem Besitz, als vielseitig interessierter Renaissancemensch ihre Eigenschaften experimentell auszuloten suchte, liegt gewiss nahe<sup>65</sup>.

Zur Natur von Experimenten gehört aber auch, dass Versuche misslingen können (siehe **Exkurs 6.6**).

#### **Exkurs 6.6: Hypothese 1: Missglückte Versilberung auf der Tafel mit der Piazza**

Warum hat Brunelleschi auf der Tafel mit der Piazza (*Demonstration 2*) auf die Verspiegelung des Himmels verzichtet? War er dort etwa beim Versuch gescheitert, die Flächen über den Gebäudesilhouetten zu versilbern?

Man kann sich vorstellen, dass es Brunelleschi auf der Tafel mit dem Baptisterium gelang, dank der geometrisch einfachen Konturen des Daches oberhalb des bemalten Areals absolut glatte, einwandfrei spiegelnde Flächen zu polieren.

Im Bild des Palazzo Vecchio und seines hohen dünnen Turmes hingegen sind die Silhouetten so kompliziert, dass die Politur des Silbers möglicherweise misslang. Um das wertvolle Gemälde zu retten, hätte Brunelleschi dann den missglückten Himmel einfach weggesägt. So konnten die Betrachter das Gemälde direkt mit der Szenerie vergleichen, und die Notwendigkeit eines zweiten Spiegels und einer Lochblende entfiel.

---

<sup>64</sup> Siehe: <http://www.spiegel-info.de/geschichte-der-spiegelherstellung.html> ferner <http://vision2form.de/spiegel-geschichte.html>

<sup>65</sup> Siehe auch <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1068/p090087>

*Die Hypothese vom missglückten Spiegelexperiment könnte einige der offenen Fragen beantworten:*

- *Was war der Grund für die scheinbar unlogische Reihenfolge der Experimente?*
- *Warum wählte Brunelleschi Motive, die für eine Erklärung der Perspektive ungeeignet sind?*
- *Warum hatte man zu den Tafeln nicht Sorge getragen? Wollte man etwa das Silber wiederverwerten?*
- *Warum gibt es keine Berichte über spätere Versuche, die Experimente – wie eigentlich zu erwarten - in genau gleicher Anordnung zu wiederholen<sup>66</sup>?*

Sollte das Doppelsexperiment misslungen sein, kann man sich dann ein anderes Experiment vorstellen, das tatsächlich die Gesetze der Perspektive lehrt und überdies für die Zeitgenossen als wahre Sensation gewirkt haben muss?

#### *Das Doppelspiegelexperiment.*

Falls Brunelleschi mit Spiegeln experimentierte, ist zu erwarten, dass er irgendwann zwei Spiegel einander gegenüber stellte und seinen Kopf dazwischen hielt. Was er dann beobachten konnte, war im wahrsten Sinne des Wortes revolutionär:

Wenn wir einen einzigen Spiegel benützen und uns darin betrachten, so sehen wir uns einmal. Wenn wir zwei Spiegel verwenden, sie einander parallel gegenüber stellen und dann selbst dazwischen treten, sehen wir uns nicht etwa zweimal, sondern wir sehen - unglaublich! - die Multiplikation unseres Selbst in stetiger Verkleinerung bis zum Nullpunkt im Unendlichen (siehe **Exkurs 6.7**).

#### **Exkurs 6.7: Hypothese 2: Erzeugung der Perspektive mit Doppelspiegeln**

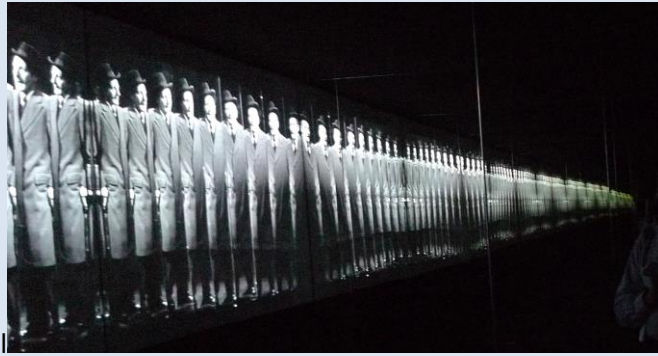
Beim Doppelspiegelexperiment sehen wir uns unendlich viele Male abwechselnd einmal von vorn, einmal von hinten, und dies gesetzmässig in zunehmender Verkleinerung. Theoretisch könnten wir uns bis ins Unendliche verfolgen, allerdings genügt unsere Sehschärfe – deren Einfluss früher beschrieben wurde - dafür nicht mehr.

Bei strenger Parallelität der Spiegel sieht man allerdings nur sich selbst. Um den Effekt der Unendlichkeit zu sehen, muss man

- entweder den einen Spiegel vertikal leicht neigen (**c**)
- oder sich etwas exzentrisch positionieren (**a** und **b**)

---

<sup>66</sup> Es hat zwar bis in die Gegenwart manche Rekonstruktionsversuche gegeben, aber keiner erfüllt alle Kriterien Manettis



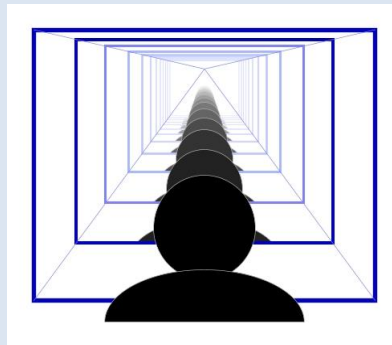
a

a *Experiment* mit Ausschnitten aus einem Film



b

b *Selbstversuch* mit exzentrischer Stellung des Beobachters



c

c *Selbstversuch*: Zentrierte Position des Beobachters, leicht vertikal gekippte Spiegel.  
Anschauliche Demonstration der perspektivischen Gesetze

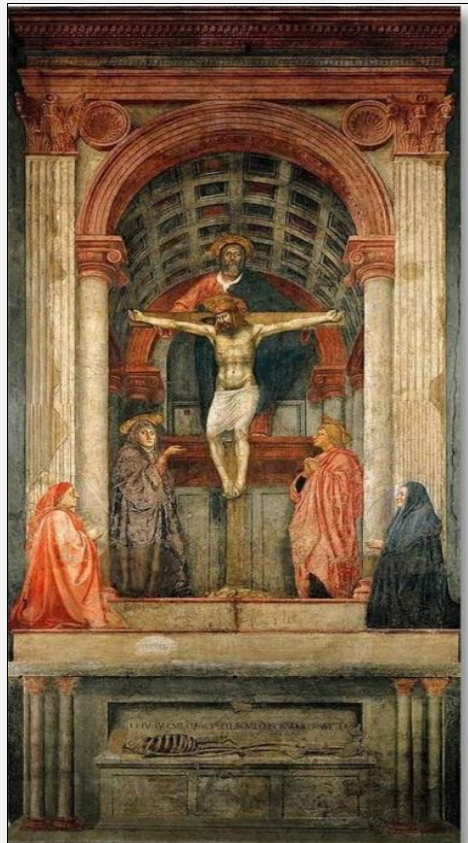
Bei einem Doppelspiegelnexperiment hätten sich die früher erwähnten offenen Fragen geklärt. Die Gesetze der Perspektive hätten im Spiegel offen vor Brunelleschi gelegen, und als erfahrener Feldvermesser hätte er sie problemlos in Grundrisse umsetzen können.

## *Der Einfluss Brunelleschis auf seine Zeitgenossen*

Es herrscht Einigkeit darüber DASS, aber nicht WAS Brunelleschi im Bereich der Perspektive lehrte. Wie er aber aus seinen Experimenten eine Theorie entwickelte, wissen wir nicht. Eigene Schriften hat er – wie erwähnt - nicht hinterlassen, und somit stellt sich die Frage, welche Rolle er tatsächlich spielte.

Wie dem auch sei, erstaunlich ist, mit welcher Geschwindigkeit sich die Kenntnisse der Perspektive in seinen Kreisen ausbreiteten, und zwar nicht nur bei den Gelehrten, die der lateinischen Sprache mächtig waren, sondern auch bei den Handwerkern, die kein Latein verstanden. Man begann bereits zur Lebenszeit von Brunelleschi in Florenz anders zu malen als zuvor<sup>67</sup>. Freunde und Schüler schufen bedeutende Werke, die sich auf seine Lehre bezogen (**Abb. 6.7**).

**Abb. 6.7: Beispiele von frühen perspektivischen Darstellungen, die bereits zu Lebzeiten Brunelleschis (1377 – 1446) geschaffen wurden**



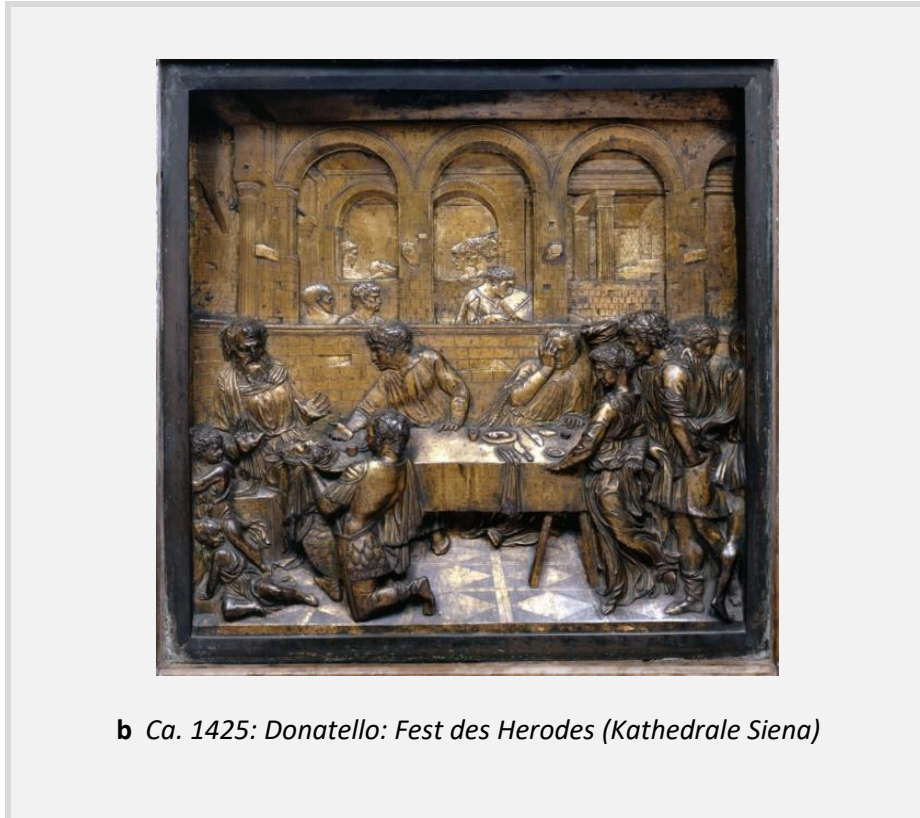
**a** 1427: *Masaccios Trinität (S. Maria Novella Florenz)*

\*\*\*

---

<sup>67</sup> siehe Edgerton, p. 92





### Leon Battista Alberti, 1404 - 1472

Im Gegensatz zu Brunelleschi hat Alberti ein umfassendes theoretisches Werk geschaffen. Das Buch über die Malerei (1435/36) schrieb Alberti in zwei Fassungen: Die ausführliche „De Pictura“ in der Gelehrtensprache lateinisch für die Gebildeten und die kürzere „Della Pittura“ in der Volkssprache italienisch für die Handwerker-Maler<sup>68</sup>. Gedruckt wurden beide Werke erst nach Albertis Tod, die lateinische Ausgabe 1540 in Basel, die italienische 1547 in Venedig, sodass sie weiteren Kreisen erst drei Generationen später zugänglich wurden<sup>69</sup>.

In keiner dieser Editionen gibt es erklärende Illustrationen. Erst in späteren Ausgaben sind solche – von anderen Autoren entworfen – eingefügt worden.

Albertis Werk ist unterteilt in drei Bücher:

- circumscriptio / disegno
- compositio / commensuratio
- receptio luminum / color

---

<sup>68</sup> Zur Erinnerung: Brunelleschis Demonstrationen fanden vor 1413 statt

<sup>69</sup> Für die lateinische Fassung beziehe ich mich auf Bättschmann und Schäublin, für die italienische auf Janitschek



Das Ziel war, wie Alberti ausführlich darlegt, die Malerei auf ein mathematisches Fundament zu stellen und so Kunst und Geometrie zu vereinen - wobei er allerdings an anderer Stelle erklärt, er schreibe als Maler und nicht als Mathematiker. Als erste schriftliche Unterlagen zum Thema Perspektive wurden Albertis Werke eingehend analysiert, gelobt und kritisiert. Allerdings sind manche seiner Beschreibungen für uns nicht ohne weiteres verständlich, und deshalb Gegenstand von zahlreichen Debatten. Hier beschränke ich mich auf einige Gesichtspunkte.

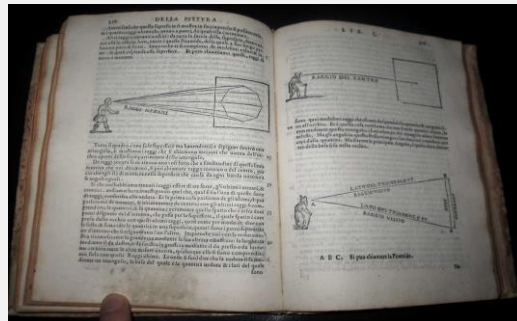
### Theorie: Die Sehpyramide

Alberti beginnt mit der Gegenüberstellung von Mathematik und Malerei, d.h. mit der Geometrie, die sich mit dimensionslosen Punkten und Linien beschäftigt, und der Malerei, für die nur das Sichtbare relevant ist<sup>70</sup>. Dann wendet sich Alberti dem Sehvorgang zu und erklärt ihn mit der antiken Vorstellung der Sehpyramide, deren Spitze im *Auge* liegt und deren Basis von den Konturen der gesehenen *Objekte* gebildet wird.

Die Strahlen der Pyramide vergleicht Alberti mit feinen ausgespannten Fäden. Er teilt sie ein in

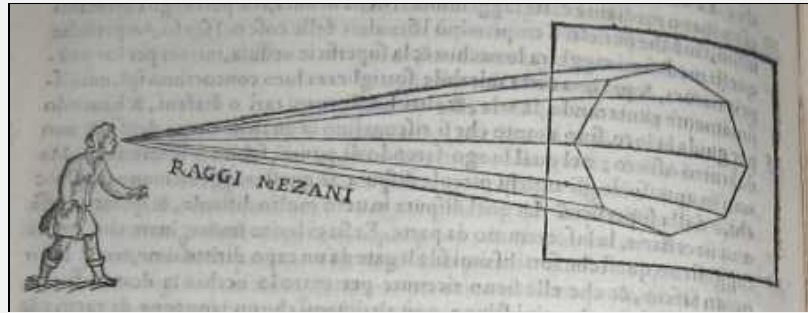
- die *Äusseren* Strahlen (ital. razi extremi oder extrinseci, lateinisch radii extrinseci)
- die *Mittleren* Strahlen (ital. razi mediani, lateinisch radii medii)
- den *Zentralstrahl* (ital. razzo centrico; lateinisch. radius centricus) (**Abb. 6.8**).

**Abb. 6.8: Die Sehstrahlpyramide nach Alberti**

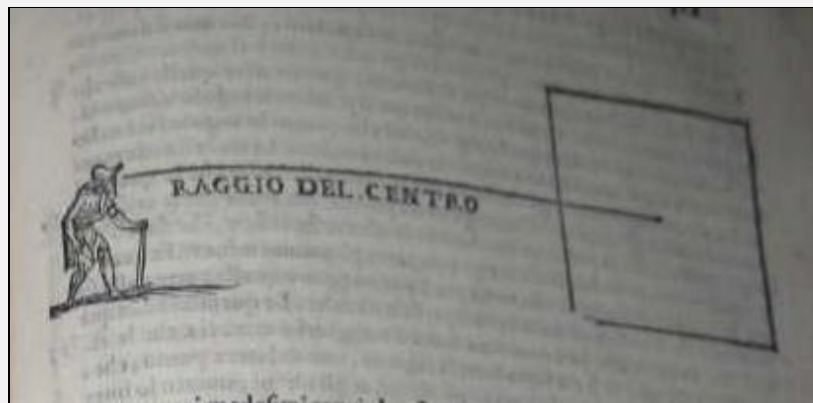


Opuscoli morali di Leon Batista Alberti gentil'huomo fiorentino ne' quali si contengono molti ammaestramenti necessarij al viuer de' l'huomo così posto in dignità, come priuato. Tradotti, & parte corretti da M. Cosimo Bartoli. In Venetia appresso Francesco Franceschi, sanese 1568.

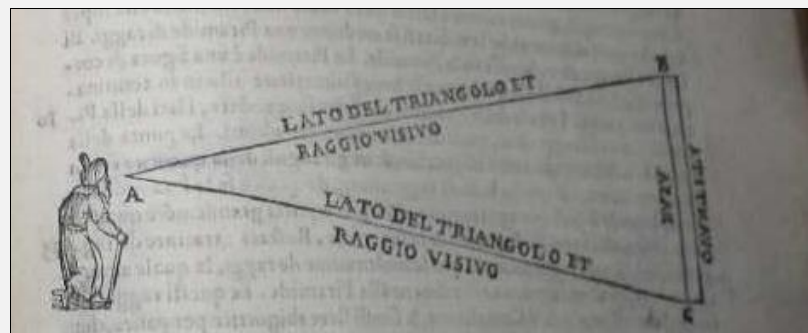
<sup>70</sup> Mathematische Punkte und Linien sind reine Schöpfungen des Geistes, dimensionslos und unsichtbar. Sichtbare Linien und Punkte entstehen, wie früher beschrieben, durch Prozesse im Visuellen System



a  
a Raggi mezani: Mittlere Strahlen



b  
b Raggio del centro: Zentralstrahl



c  
c Raggi visivi esterni: Äussere Strahlen<sup>71</sup>

Die *äusseren* Strahlen vergleicht Alberti mit den Schenkeln eines Zirkels, der die Dimension zwischen extremen Punkten der Pyramidenbasis ausmisst. Die *mittleren* Strahlen liegen im Inneren der Pyramide und zwar so, dass die äusseren Strahlen „den gesamten Saum einer Fläche wie mit Zähnen packen und die Fläche selbst ... gleichsam wie mit einem Käfig umgeben“. Den *Zentralstrahl* hebt Alberti besonders hervor und nennt ihn „dux“ (Fürst) und „princeps“ (Prinz) aller Strahlen, denn „... la distantia e la posinone del centrico razzo molto vale alla certezza del vedere“.

<sup>71</sup> Die Bezeichnungen für Strahlen (radii, raggi, razi, etc.) variieren in verschiedenen Ausgaben

Für Alberti galt das, was seit der Antike die Gelehrten intuitiv erfasst hatten, nämlich dass von den vielen Strahlen einige gibt, die besondere Wirkungen haben. Für Albertis Einteilung gibt es jedoch keinerlei reale Grundlage. Physikalisch gesehen sind alle Lichtstrahlen der Sehpyramide äquivalent, ob sie nun den Rändern eines Objektes, dem Innenfeld oder dem Zentrum entstammen. Dass wir sie aber subjektiv tatsächlich unterschiedlich wahrnehmen, hat seinen Grund nicht in der Aussenwelt, sondern in der Arbeitsweise unseres Visuellen Systems.

Albertis Zentralstrahl ist der Strahl, der auf die Stelle mit der höchsten Sehschärfe in der Netzhautmitte fällt, d.h. auf das Feld, das sowohl anatomisch als auch physiologisch eine Sonderstellung einnimmt. Die Randstrahlen hingegen beruhen auf der *Kontrastverstärkung* an den Konturen von aneinander grenzenden Flächen (rekapituliert in **Exkurs 6.8**).

Von der Arbeitsweise des Visuellen Systems konnte Alberti beim damaligen Stand der Erkenntnisse noch nichts wissen. Infolgedessen ist die Terminologie Albertis zur perspektivischen Konstruktion nicht die heutige. In seiner Schrift benutzte er zwar die Begriffe „Fluchtpunkt“, „Grundriss“, „Grundlinie“, und auch den Begriff „Horizont“ verwendete er, allerdings anders als wir es tun. Auch die Ausdrucksweise im Text ist für uns heute nicht immer eingängig. Um sie zu verstehen, müssten wir uns in eine Welt zurückversetzen, in der weder die Funktionsweisen des Auges und des visuellen Systems, noch die darstellende Geometrie bekannt waren.

**Exkurs 6.8: Zur Erinnerung:  
Abbildungen zum Thema „Zentrumsbetontes Gesichtsfeld“ und  
„Randkontrast“**

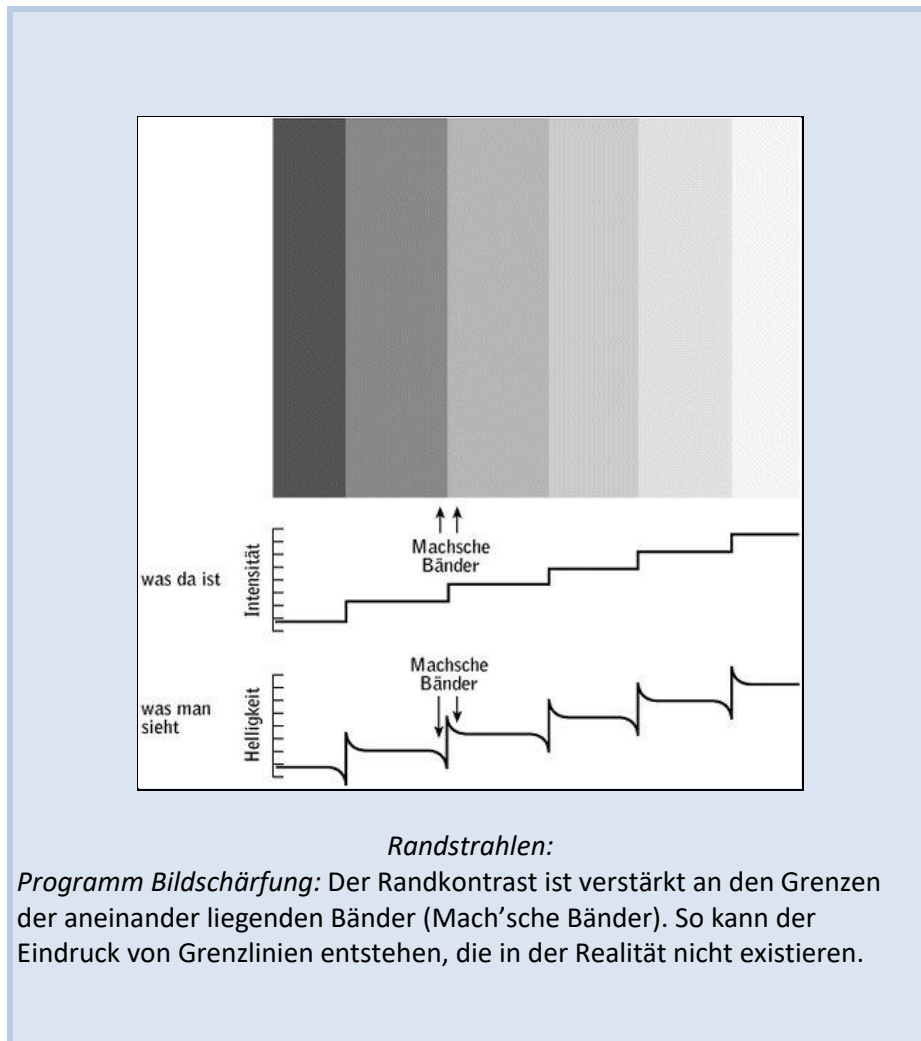
(Wiederholung von Abb. 2.16 und Abb. 3.3)



*Zentralstrahl*

*Zentrumsbetontes Gesichtsfeld:* Nur im Zentrum, in der Sehachse ist das Motiv scharf und vollfarbig.

\*\*\*

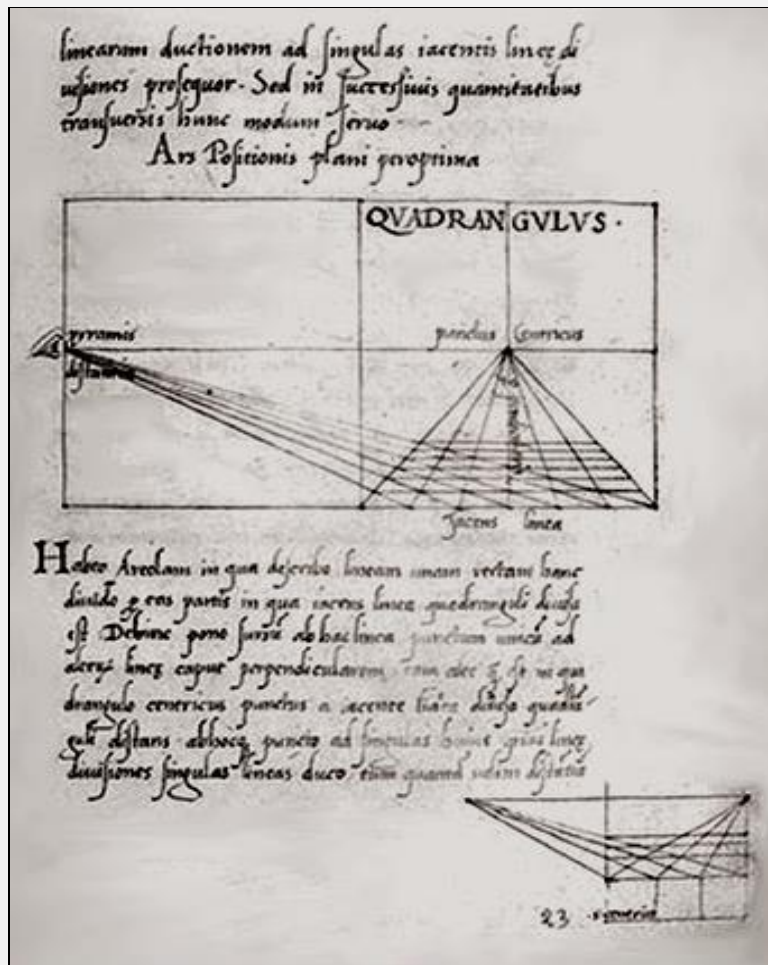


### *Schematische Darstellungsmethoden der späteren Herausgeber*

Da im Originalwerk Abbildungen fehlen, die das Verständnis erleichtern, ist man auf die nachträglichen Rekonstruktionsversuche späterer Autoren angewiesen (Beispiele in **Abb. 6.9 und 6.10**). Aber auch bei diesen vermischen sich die Begriffe, und als Leser muss man jeweils genau prüfen, was eine bestimmte Bezeichnung bedeuten soll (siehe **Abb. 6.9 a**).

Auch sind für heutige Leser die historischen Abbildungen nicht ohne weiteres verständlich. Wenn ich sie hier dennoch zeige, so deshalb, um eine Vorstellung von den Wegen zu vermitteln, die einst zum Ziel führten.

Abb. 6.9: Frühe Rekonstruktionsversuche, die sich auf Alberti beziehen

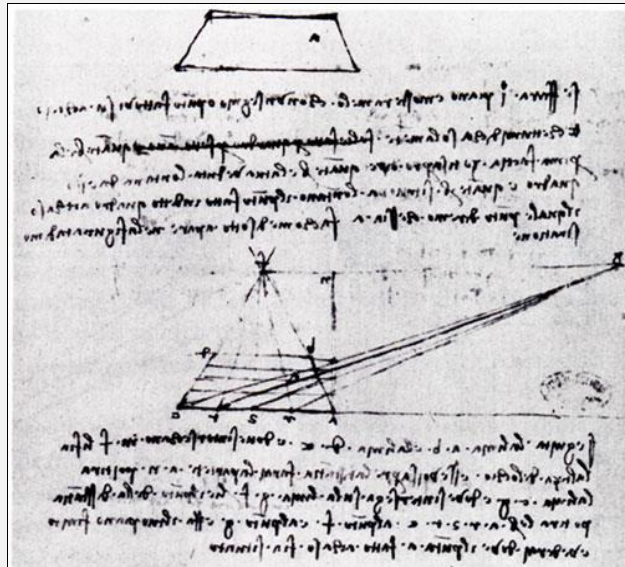


a

a Alberti „della pittura“, *Manuskript 1518 Lucca*: Eine der meistkopierten Rekonstruktionsweisen. Frontalriss und Seitenriss übereinander gelegt.

Beachte die Vermischung von Begriffen: Die Konvergenzpunkte sind durch das gezeichnete Auge als Augspunkte (*Nahkonvergenz*) charakterisiert, benannt jedoch als „Pyramis distantia“ und „punctus centricus“ (*Fernkonvergenz*). Genaueres darüber im nächsten Kapitel.

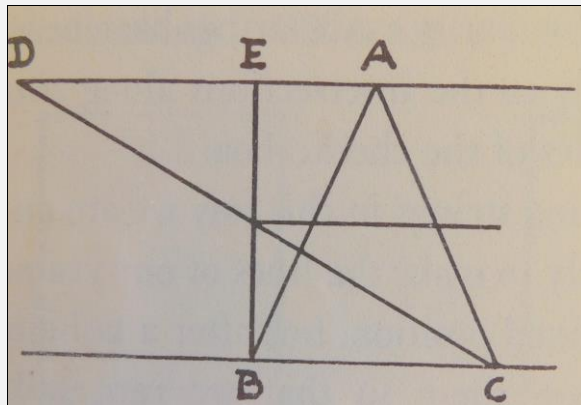
\*\*\*



b

b Diese Art der Darstellung wurde auch von Leonardo da Vinci verwendet (Alberti's *construzione legittima*, ca. 1492. Manuscript A, Fol. 42r. Bibliothèque de l'Institut, Paris).  
 Beachte die inverse Schrift Leonardos und die spiegelbildliche Position der Darstellung gegenüber a (siehe später unter „Leonardo“).

Abb.6.10: Moderne Rekonstruktionsversuche

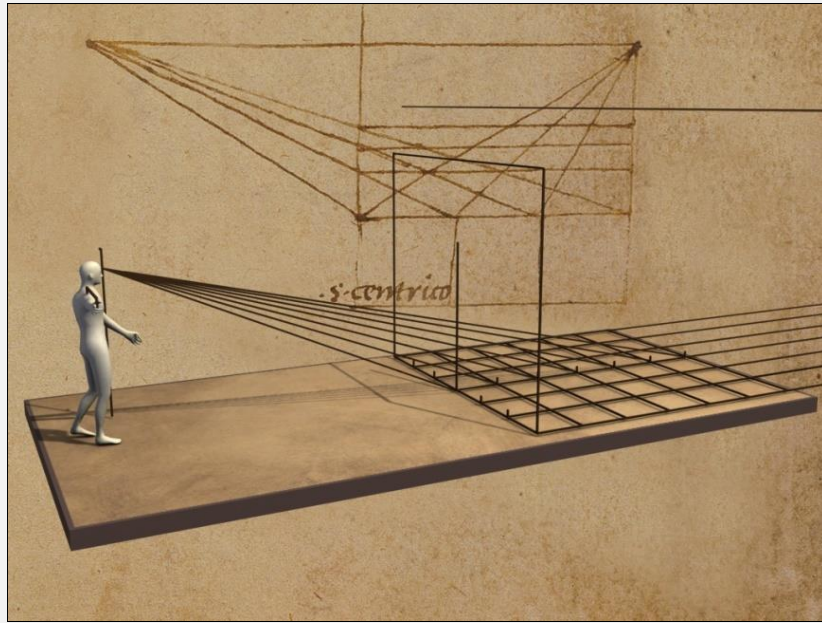


a

a Schema von Ivins:  
 Stark vereinfachte, strikte auf die essentiellen Elemente reduzierte Konstruktion (siehe später Exkurs 6.9).

\*\*\*

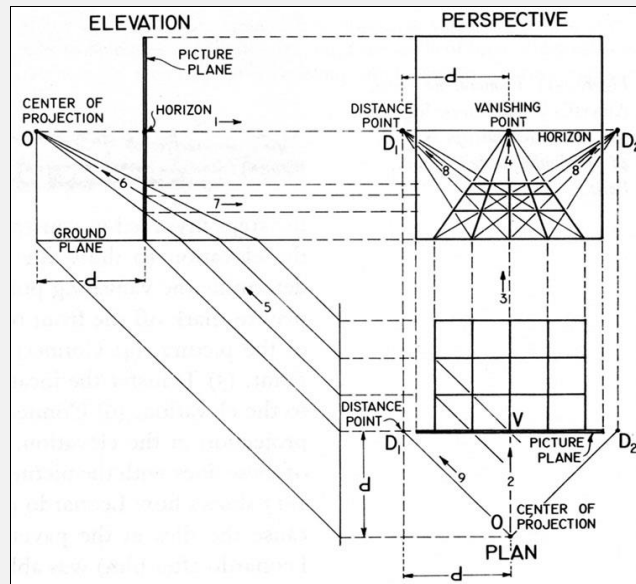




**b**

**b** Roberto Carraro: *Il metodo prospettico di Leonbattista Alberti* (2011).  
 Moderne Rekonstruktion, in der der Autor versucht, nicht nur den  
 Augspunkt, sondern auch den Fernkonvergenzpunkt im gleichen Schema  
 einzuzichnen (*oben*).

\*\*\*



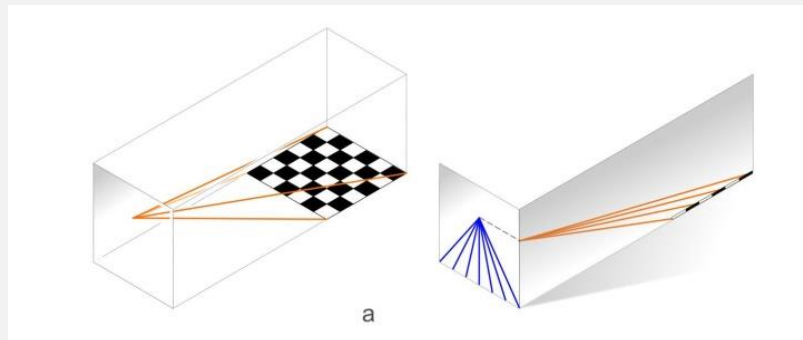
**c**

**c** *Moderner Rekonstruktionsversuch von Michael Kubovy.*  
 In der oberen rechten Ecke das Alberti zugeschriebene Schema, hier mit 3  
 Konvergenzpunkten.



Um die Schemata besser verständlich zu machen, stelle ich in den **Abb. 6.11** und **6.12** die Grundlagen für Konstruktionen mittels Grund- und Seitenrissen dar, und zeige auch, wie nach handwerklichem Brauch verschiedene Risse ineinander gezeichnet sein können<sup>72</sup>.

**Abb. 6.11: Schematische Darstellung der Konvergenzen in Grund- Frontal- und Seitenrissen (1)**



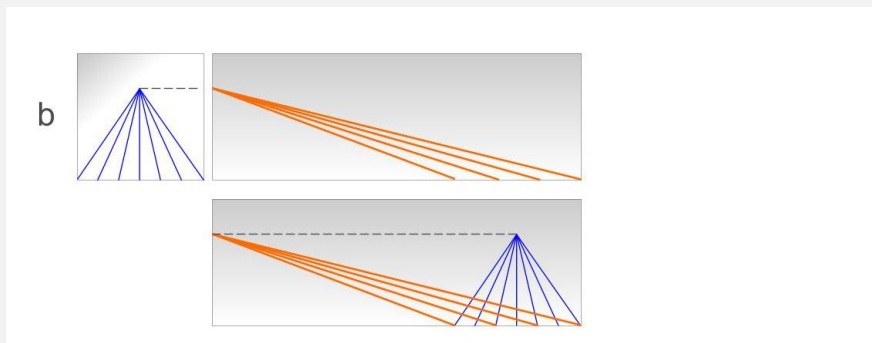
*a* Darstellung einer dreidimensionalen Pyramide in Frontal- und Seitenrissen  
*links:* Im Grundriss (Basis der Pyramide) dient als Objekt ein Schachbrett<sup>73</sup>, das Strahlen (Seiten der Pyramide) zum Konvergenzpunkt (Auge des Beobachters an der Spitze der Pyramide) sendet.

*rechts:* Die Projektion auf Seitenflächen („Frontal- und Seitenrisse“).

<sup>72</sup> Die resultierenden Schemata mögen ungewohnt erscheinen. Bei Handwerkern war es jedoch früher durchaus üblich, Grundrisse, Frontalrisse und Seitenrisse ineinander zu zeichnen, sei es zum direkten Übertragen der Masse aus einem Riss in einen anderen, sei es schlicht zur Ersparnis von teurem Papier.

<sup>73</sup> Solche Koordinatenmuster findet man auf Gemälden in Form von schachbrettartigen Fliesen in Fußböden und Kassettenkonstruktionen in Decken

**Abb. 6.12: Schematische Darstellung der Konvergenzen in Frontal- und Seitenrissen (2)**



**b Zentraler Konvergenzpunkt:**

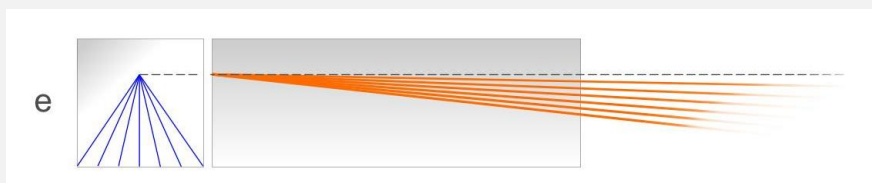
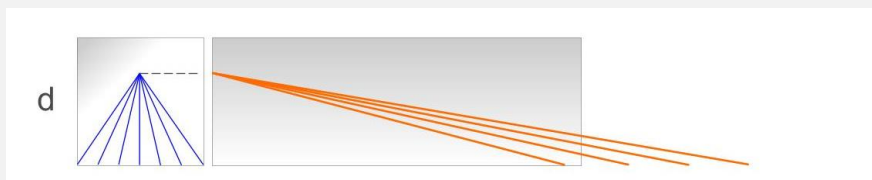
oben: Seiten- und Frontalriss nebeneinander gezeichnet

unten: Beide Risse ineinander gezeichnet



**c Änderung der *Position* des Konvergenzpunktes:**

Verschiebt man diesen seitlich, ändert sich der Frontalriss, der Seitenriss hingegen bleibt unverändert.



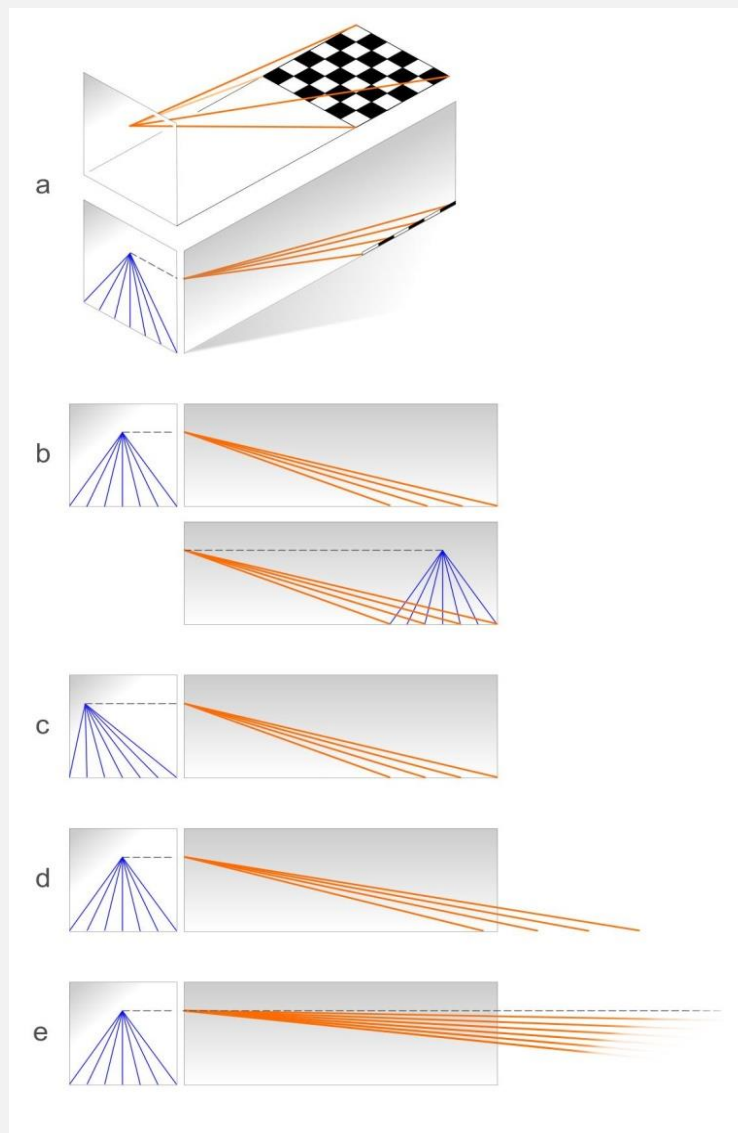
**d und e Änderung des *Abstandes*:**

**d** Der Seitenriss verändert sich, und es ist der Frontalriss, der unverändert bleibt.

**e** Nimmt der Abstand zwischen *Konvergenzpunkt* und Grundriss zu, kommen die Strahlen der oberen Pyramidenkante immer höher zu liegen. Strebt der Abstand gegen unendlich, werden sie zur Horizontalen.

*Beachte:* Höher als der Horizont können Lichtstrahlen, die aus dem Grundriss stammen, nicht werden.

Abb. 6.11 und 6.12 zusammengefasst



Die Schemata sind Analysen der Sehyramiden. Sie erklären nicht, wie ein Maler sieht (*siehe später: Beobachtete Perspektive*), oder wie er malt (*siehe später: Gestaltete Perspektive*), denn dazu würde der Frontalriss genügen. Seitenrisse haben für das *Malen* keine Bedeutung und dienen in den Schemata bloss dazu, die zu Grunde liegenden Theorien zu illustrieren.

### *Das praktische Vorgehen Albertis*

In seinen praktischen Anleitungen ging Alberti allerdings nicht nach den Schemata vor, die vom Grundriss ausgehen. Als Maler interessiert er sich für den Frontalriss – „das, was man sieht“ – und benützt den Seitenriss – „den man nicht sieht“ – bloss als geometrische Hilfskonstruktion (**Abb. 6.12**).

Zuerst gibt er Bildformat und Massstab vor, die Grundlagen für das Koordinatensystem. In diesem entwickelt er den *Frontalriss* mit dem Konvergenzpunkt und den zugehörigen Konvergenzlinien. Für die Positionierung der Horizontalen benützt er eine Zusatzfläche. In diese zeichnet er eine senkrechte Hilfslinie, welche die Pyramide schneidet, und von den Schnittstellen aus zieht er horizontale Hilfslinien in den Frontalschnitt.

„Allerdings würde es sehr weit führen, und es ergäbe sich etwas überaus Schwieriges und Undurchsichtiges, wenn ich ... alles nach den strengen Vorgaben der Mathematiker entwickeln wollte. Deshalb werde ich nach meiner eigenen Art, wie ein Maler, mich äussern und vorgehen“ (*Etenim longum esset perdifficilique atque obscurissimum ... omnia mathematicorum regula prosequi. Idcirco nostro more ut pictores dicendo procedamus.*<sup>74</sup>) Daraus folgt, dass Albertis Interesse sich auf das konzentrierte, was vor Augen steht, und das befindet sich im Frontalriss.

#### **Abb. 6.12: Albertis Konstruktionsmethode**

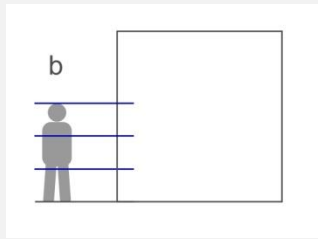
(in Anlehnung an den Rekonstruktionsversuch von Edgerton, nach der italienischen Fassung von Albertis Text<sup>75</sup>)



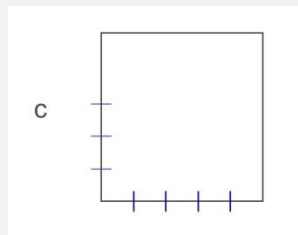
**a** Als Erstes wählt Alberti das *Bildformat* (den „Fensterrahmen“), indem er auf der Bildfläche ein Rechteck „von ihm zusagender Grösse“ zeichnet (*quando grande io voglio*).

<sup>74</sup> Nach der lateinischen Fassung

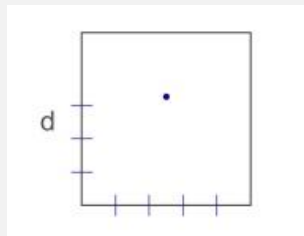
<sup>75</sup> Edgerton, 2009, S. 118 ff



**b** Als *Masstab* wählt er den Menschen, dessen Grösse als konstant angenommen wird<sup>76</sup>, und unterteilt ihn in drei Masseinheiten („*Bracchio*“). Diese markiert er am seitlichen Rand des Bildes.



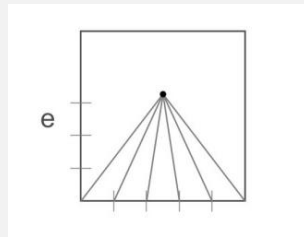
**c** Die *Grundlinie* unterteilt er ebenfalls in den festgelegten Masseinheiten.



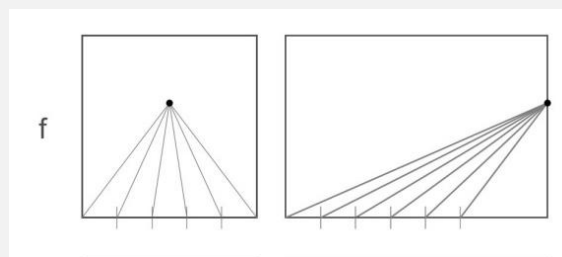
**d** Dann bestimmt er im Rechteck den *punto centrico* „wo es mir gefällt“ (*dove mi paja fermo uno punto*).

---

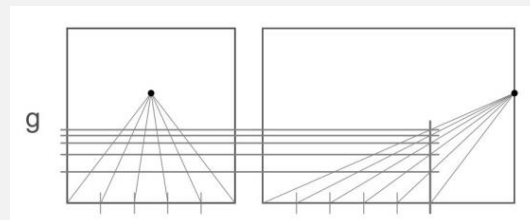
<sup>76</sup>Gleichsam eine mathematische Begründung für die philosophische Aussage des Protagoras (ca. 490 – 411 v. Chr.): „Der Mensch ist das Mass aller Dinge“



**e** Von ihm zieht er gerade Linien zu den vorbereiteten Markierungen auf der Grundlinie. Sie geben die *Konvergenz* der tiefengerichteten Parallelen wieder.

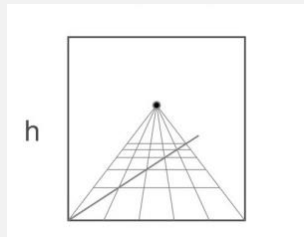


**f** Dann benützt er eine zusätzliche *Hilfsfläche* (rechts: „*areola*“) für den Aufbau einer zweiten Konvergenz. Man könnte sie als Seitenriss interpretieren, aber dies ist sie nicht, sondern bloss ein Konstruktionsmittel, das nach Gebrauch wieder entfernt wird.



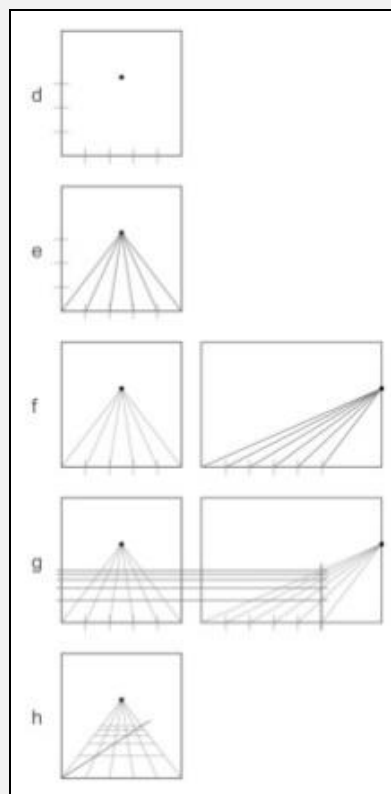
**g** In der *Areola* stellt er als Hilfskonstruktion eine *senkrechte Gerade* an den nahen Rand des Grundmusters<sup>77</sup>. Von deren Schnittpunkten mit den konvergierenden Linien zieht Alberti waagrechte Linien in den Frontalriss hinein, und erhält so die Abstände der Horizontalen von der Grundlinie.

<sup>77</sup> Diese Hilfslinie darf nicht verwechselt werden mit dem Querschnitt einer Projektionsfläche, von der später noch die Rede sein wird.



**h** Zur Abschlusskontrolle zieht er als weitere Hilfslinie eine *Diagonale* durch die Ecken der Koordinatenfelder<sup>78</sup>. Wenn diese Diagonale alle Ecken der Quadrate im Grundriss schneidet, so ist dies der Beweis, dass die perspektivische Verkürzung regelrecht ist.

\*\*\*



Zusammenfassung der Konstruktionsmethode

<sup>78</sup> Die Diagonalen sind bei Handwerkern noch heute üblich zur Kontrolle von Rechtecken und Trapezen.



Das, was auf der Hilfsfläche wie ein *Seitenriss* aussieht, ist jedoch keiner, sondern ist nur ein Hilfsmittel zur richtigen Positionierung der Horizontalen im Frontalschnitt<sup>79</sup>. Die konvergierenden Linien sind keine Lichtstrahlen und sind auch keine Blicklinien, sondern sie sind Hilfslinien für die Konstruktionen im Frontalschnitt. Der Konvergenzpunkt ist weder ein geometrisch definierter Nahkonvergenzpunkt (Augspunkt) noch ein Fernkonvergenzpunkt (Fluchtpunkt), sondern der freigewählte *punto centrico* („dove mi paja...“). Wird die Hilfsfläche wieder entfernt, bleiben – im Gegensatz zur Zweipunktperspektive (siehe später) - keine lateralen Konvergenzen zurück. All dies ist Anlass zu Konfusionen. Zu dieser trägt ausserdem bei, dass in manchen der, in späteren Editionen eingefügten, Abbildungen an den Konvergenzpunkten Augen eingezeichnet wurden, was darauf hinweist, dass die Autoren die Hilfskonstruktionen mit Augspunkten verwechselten.

Eine weitere Quelle für Konfusionen ist die Frage nach der Bedeutung des *punto centrico*. Ist er ein Nahkonvergenzpunkt (Augspunkt), ist er ein Fernkonvergenzpunkt? Oder ist er gar beides zugleich? Die letztere Hypothese ist bis heute eine Quelle für Debatten, denn sie impliziert, dass sich die Beziehungen zwischen der realen Welt und unserem ICH durch die *Dualität* des Konvergenzpunktes erklären lassen – ein ergiebige Thema für Psychologen, Philosophen und Kunstwissenschaftler.

#### *Das Modell von William M. Ivins jr.*

In all den Kontroversen kam William M. Ivins nach langen erfolglosen Überlegungen schliesslich auf ein Modell<sup>80</sup>, das - und darauf weist er speziell hin - erlaubt, ohne jegliche Kenntnisse der Mathematik die Gesetze der Perspektive zu verstehen. Seiner Überzeugung nach war es die Grundlage für Albertis Theorien<sup>81</sup> (siehe **Exkurs 6.9**).

---

<sup>79</sup> Während man bisher deren Abstände nach fixen Quotienten (jeweils 1/3) festgelegt hatte, gelangte Alberti zu neuen Regeln, die er geometrisch begründen konnte

<sup>80</sup> Wie William M. Ivins, Kurator an der Abteilung für Drucke am Metropolitan Museum of Art, New York, zu seinem Thema kam, und wie lange er daran arbeitete: „...One night the writer innocently thought to kill the short end of a hot evening by drafting an even shorter footnote to a book on renaissance book illustration. Before morning he had spent hours madly drawing lines with a ruler and was entangled in a subject that, occupying much of subsequent leisure time, has flung him headlong and bewildered into fields and problems the very existence of which was then unknown to him ... on trains and boats that subject has provided him with the best of crossword puzzles, and in hours of lonesomeness and worry with the most efficient and cleansing of diversions.“ (On the rationalisation of sight, New York, 1938)

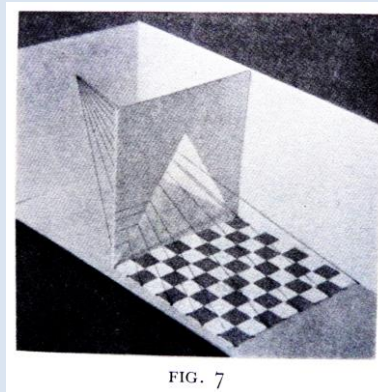
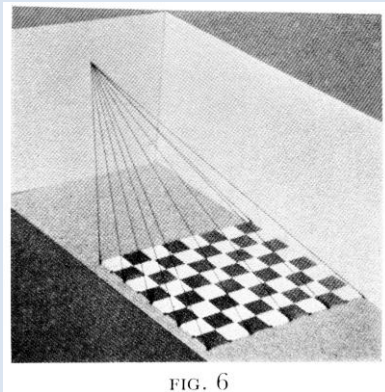
<sup>81</sup> Ivins bezieht sich auf Albertis Text, in dem dieser die Demonstration eines Modells erwähnt, das unter Zuschauern grosses Aufsehen erregt habe. Gemäss dem Originaltext muss es sich jedoch um einen Guckkasten gehandelt haben (Janitschek, 2015, S. 122)

**Exkurs 6.9:**

**Hypothetisches Modell (nach William M. Ivins jr.)**

*Aufbau des Modells*

Das Modell besteht aus einer offenen Schachtel, die man sowohl von vorne als auch von hinten betrachten kann.

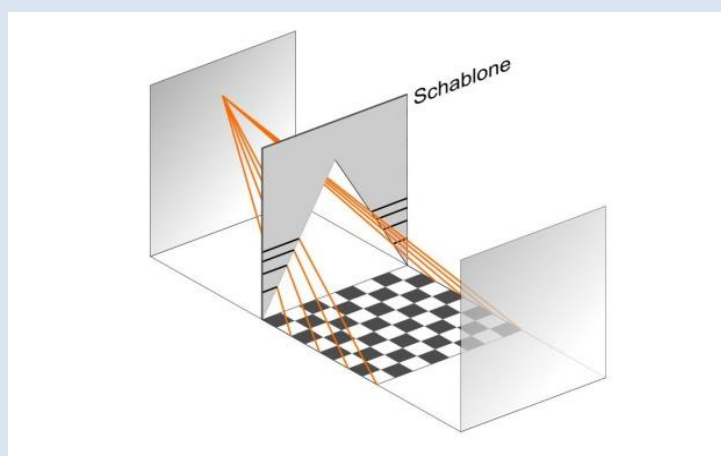


**Fig.6:** Auf dem Boden bildet ein Schachbrettmuster den Grundriss.

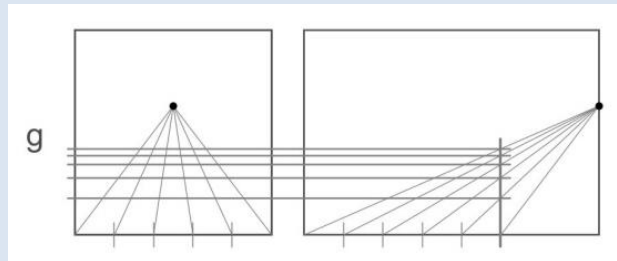
Die konvergierenden Strahlen ersetzt Ivins durch Fäden, die von den Rändern des Grundrissrasters zum Augspunkt des Beobachters ziehen (gemäß einer Textstelle bei Alberti).

**Fig. 7:** Als Projektionsebene dient eine Schablone, die die Pyramide ausspart. Sie repräsentiert die senkrechte Hilfslinie in Albertis Konstruktion. Von deren Schnittstellen mit den Fäden bestimmt Ivins die Position der horizontalen Linien.

*Gegenüberstellung von Ivins Modell und der **Abb. 6.12 g***



Die Positionen der Horizontalen sind auf der Schablone markiert.



(Zur Erinnerung: Wiederholung der **Abb. 6.12 g**)

**g** Progrediente Verkürzung der Abstände zwischen den Horizontalen, basierend auf den Schnittstellen mit der senkrechten Hilfslinie (Querschnitt durch die Pyramide).

Das Modell Ivins hat den Vorteil, dass es anschaulich ist und sich zum Experimentieren eignet. Es ist jedoch keine direkte Analogie zu Albertis Konstruktionen. Während es Alberti darum geht, theoretisch den Frontalschnitt zu entwickeln und dafür auf einem Zusatzblatt die Abstände der Horizontalen zu ermitteln, ist Ivins Modell ein reales Gebilde, das sich geometrisch in Grund- und Aufrissen darstellen und aus diesen auch erneut rekonstruieren lässt. Für praktische Belange hat der Unterschied allerdings nur wenig Bedeutung, wohl aber kann er bei der Analyse theoretischer Abhandlungen eine Rolle spielen.

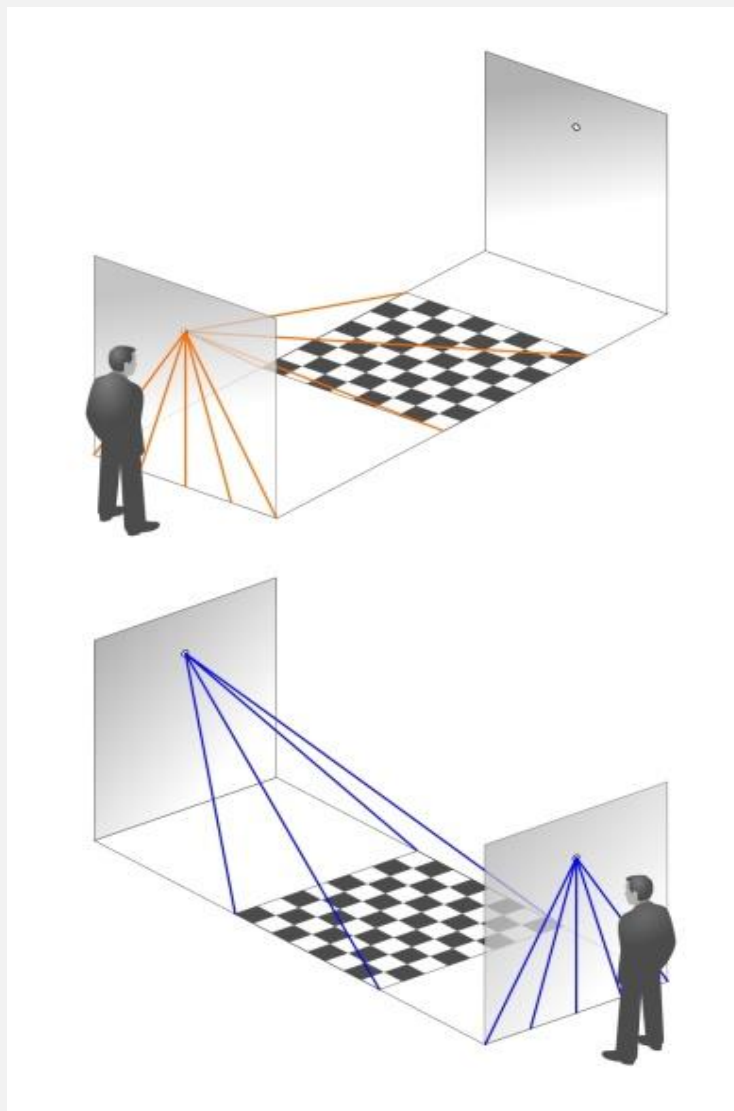
Dank seiner Anschaulichkeit eignet sich das Modell dazu, die Komplexität der Perspektive begrifflich zu machen. Dies gilt besonders für die Probleme der Bipolarität, die leicht zu Verwirrungen Anlass geben.

Ivins Modell kann man umkreisen und von verschiedenen Seiten betrachten. Dabei zeigt sich, dass Nah- und Fernkonvergenzpunkte vertauschbar sind. Was vom einen Standpunkt aus als Augspunkt erscheint, wird vom gegenüberliegenden Standpunkt zum Fernpunkt. Auf den Frontalschnitten sind sie jedoch ein und dasselbe.

Jede der Ansichten bedeutet etwas Gegensätzliches, indem der Standortwechsel die Nahkonvergenz zur Fernkonvergenz macht (und vice versa). Und da die Nahkonvergenz optisch bedingt ist und die Fernkonvergenz visuell, pendelt man beim Umkreisen des Modells zwischen dem Bereich der Physik und demjenigen des Visuellen Systems. (**Abb. 6.13**).

Im frontalen Aufriss jedoch erzeugen beide Varianten dasselbe Bild, Fernkonvergenz und Nahkonvergenz sehen gleich aus, und dasselbe gilt auch für deren Konvergenzpunkte: Augspunkt und Fluchtpunkt sind scheinbar identisch.

**Abb. 6.13: Konvergenzumkehr bei Standortswechseln**

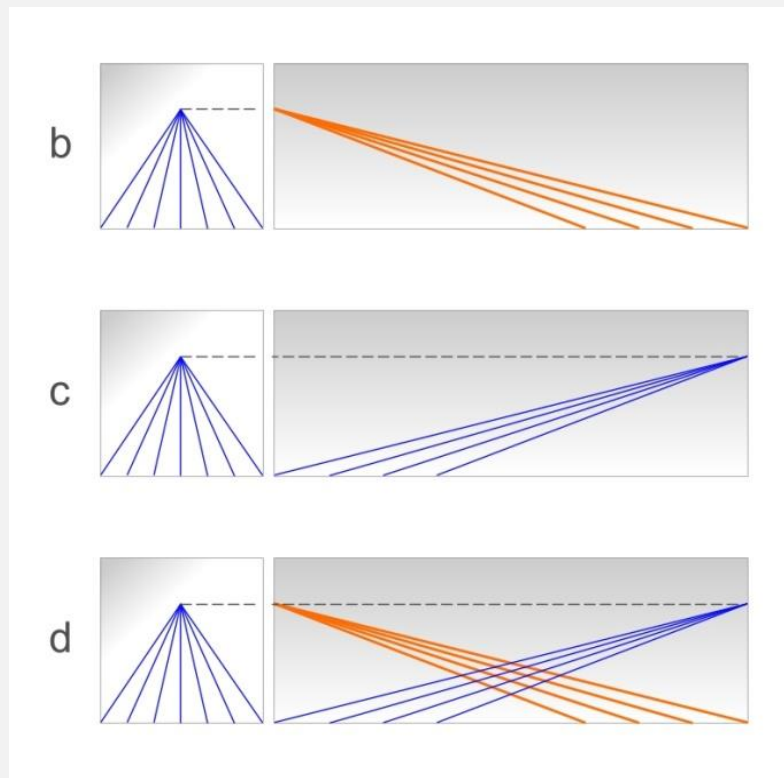


**a**

**a** Modell von Ivins

*Oben:* Nahkonvergenz: Betrachtet man den frontalen Aufriss von vorn, repräsentieren die Fäden Lichtstrahlen.

*Unten:* Fernkonvergenz: Betrachtet man den Aufriss hingegen auf der Gegenseite, sieht er zwar gleich aus, die Fäden repräsentieren jetzt aber visuelle (imaginäre) Konstruktionslinien.



**b - d** Darstellung als Frontal- und Seitenrisse

**b** Nahkonvergenz

**c** Fernkonvergenz

**d** Bipolarität: Das Schema enthält im Seitenriss zwei Konvergenzpunkte, im Frontalriss nur einen.

Beachte: Im Frontalriss erscheinen die Konvergenzen gleich. Ein Betrachter, der davor steht, kann deshalb nicht beurteilen, ob eine Fernkonvergenz, eine Nahkonvergenz oder die Bipolarität dargestellt wird.

### *Das Velum*

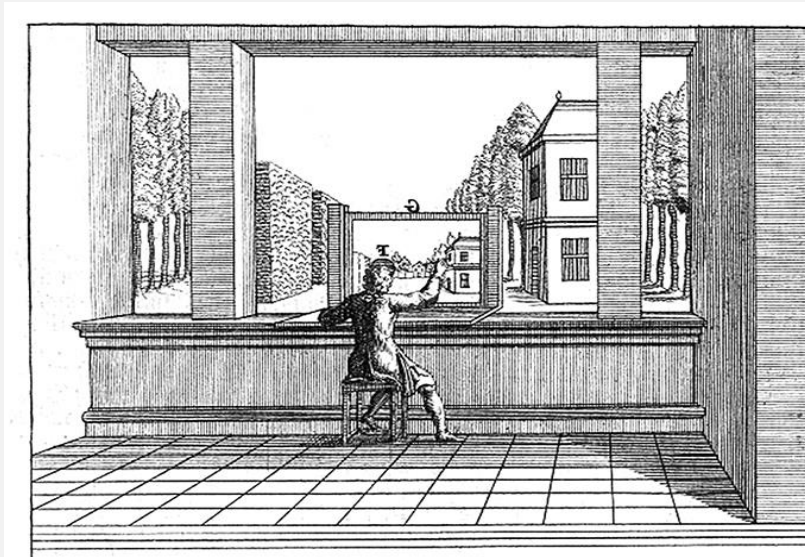
Bei der Beschreibung seines *praktischen* Vorgehens ging Alberti interessanterweise nicht mehr von Sehpunkten aus. Erst in einem späteren Abschnitt seines Werkes kam er auf sie zurück im Zusammenhang mit dem *Velum*.

Das *Velum* ist *kein* Teil der konstruierten Perspektive. Es dient zum Malen von Gesehenem und ist nicht für den Aufbau von Bildern nach geistigen Vorstellungen gedacht. Eigentlich gehört es zur beobachteten Perspektive und müsste im nächsten Kapitel abgehandelt werden. Da es aber ein wesentlicher Teil des Werkes von Alberti ist, gehe ich hier darauf ein.

Die Bildfläche beschrieb Alberti als ein geöffnetes Fenster mit Blick auf die Welt. Sie ist ein Querschnitt durch die Sehpunkte, deren Spitze genau im Augspunkt des Malers liegt. Damit dieser Standort unverrückbar eingehalten werden kann, sah Alberti eine spezielle Fixationseinrichtung vor.

Es lag nahe, den Vergleich mit einem Fenster in die Praxis umzusetzen und direkt auf Glas zu malen (**Abb. 6.14**) Allerdings wäre es zur Zeit Albertis schwierig gewesen, optisch einwandfreie Glasplatten dieser Größe zu beschaffen, und die diesbezüglichen Abbildungen stammen denn auch aus späteren Epochen. Ein Glaspanel wäre wegen seines Gewichtes ohnehin unpraktisch gewesen.

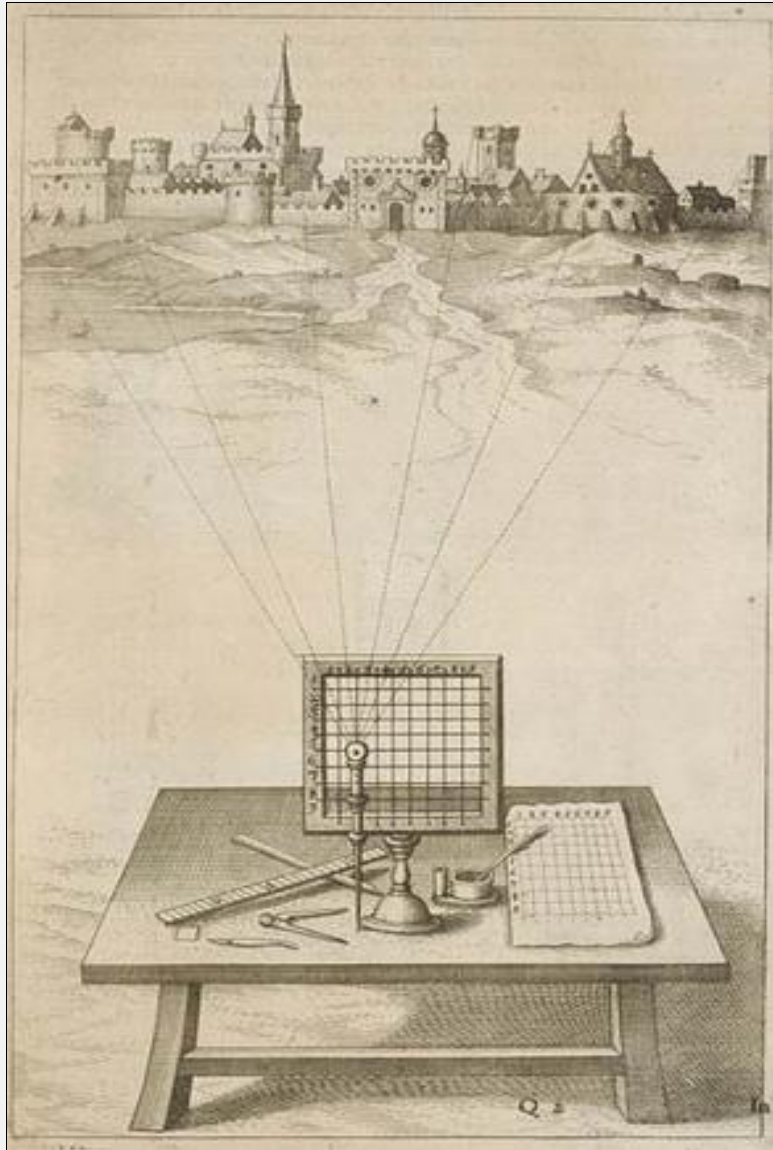
**Abb. 6.14: Zeichnen auf Glas**



*Jean Dubreuil La perspective pratique 1663*

Maler vor einem Glaspanel

**Abb. 6.15** Albertis Velum



*Robert Fludd (1574-1637), Utriusque cosmic maioris scilicet et minoris metaphysica*

Rahmen mit halbdurchsichtigem Gewebe und einem Koordinatennetz aus dickeren Fäden, Ständer mit Lochblende, Skizzierpapier mit Koordinaten, Zeichenutensilien.

Die Lochblende wirkt als Augspunkt, dorthin konvergieren die Blicklinien.



Das Velum besteht aus zwei Elementen: einem Schleier und einem Fixationsständer (**Abb. 6.15**).

Der *Schleier* („Velum“) war ein Rahmen, über den Alberti ein feinfädiges halbdurchsichtiges Tuch spannte. Dieses unterteilte er mit dickeren Fäden in ein Koordinatensystem, und von diesem ausgehend übertrug er dann das Gesehene auf das Gemälde, d.h. in ein anderes Koordinatensystem. Die Verwendung von Koordinatensystemen zum Transfer von einem Massstab in einen anderen war allerdings nicht neu, sondern schon seit der Antike bekannt. Albertis originaler Beitrag war die Verwendung von textilem Material, mit dem man dank des geringen Gewichtes Gitter in beliebiger Grösse herstellen und, in welcher Grösse auch immer, transportieren konnte.

Der *Fixierständer* zur Stabilisation des Standortes hatte am oberen Ende eine Zielvorrichtung in Form einer pyramidenförmigen Spitze („Gnomon“) oder einer Lochblende. Auch solche Zielvorrichtungen kannte man schon früher, denn Lochblenden und Gnomone waren in der Vermessungstechnik geläufig und bewährt.

Während es jedoch beim Vermessen darum geht, die Blickrichtung genau zu fixieren und nur einen einzigen Messpunkt anzupeilen<sup>82</sup>, muss man beim Scannen von Bildflächen das Auge (d.h. dessen zentrales Schärfefeld) bewegen können. Der Drehpunkt der Bewegungen verlagert sich dabei vom Drehpunkt des Auges in die Fixiereinrichtung. Und die Bewegung ist nicht nur auf das Auge beschränkt, sondern betrifft auch den Kopf (siehe **Selbstversuch 6.2**).

Wie gross die Amplituden der Bewegungen sein müssen, hängt ab vom Abstand zwischen Fixierständer und Auge; und von einem bestimmten Abstand an wird die Einrichtung unbrauchbar.

Zeichnungshilfen wie das Velum sind mehrfach in Bildern dargestellt worden, aber so wie abgebildet, konnten die wenigsten funktionieren. Deshalb fragt sich, warum man dann das Velum so gezeichnet hatte. Vermutlich stellte man einfach dar, was man *wusste* und nicht das, was die Realität war. Und was man wusste, war, dass die Beobachter unbeweglich sein sollten.

Vermutlich ging es den Malern solcher Abbildungen einfach darum, das Prinzip zu erklären. Deshalb behandelten sie die Fixiervorrichtungen bloss als Erklärungshilfen, in der Praxis jedoch werden sie sich des Fixierständers nur sporadisch bedient und den Kopf einfach intuitiv still gehalten haben<sup>83</sup>.

---

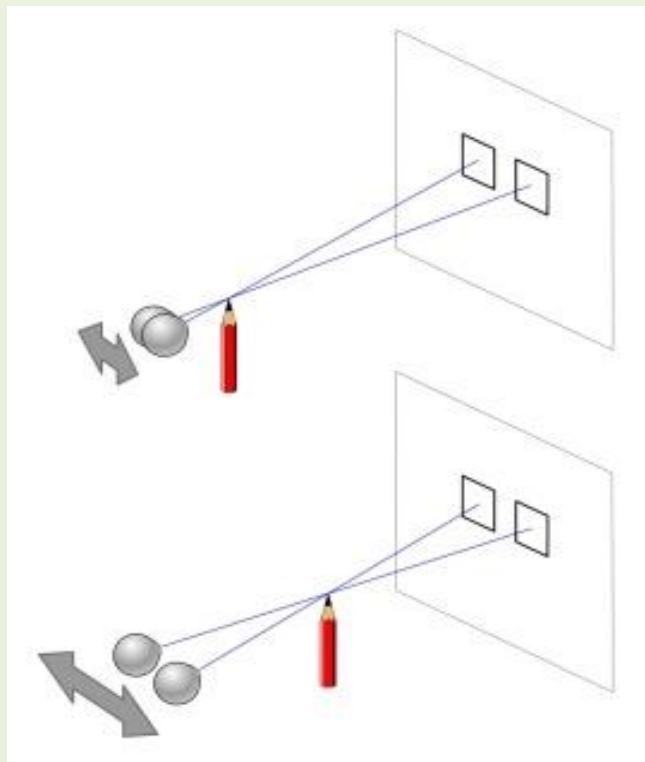
<sup>82</sup> Analog zu Zielvorrichtungen an Gewehren

<sup>83</sup> Wenn schon, wären Kinnstützen dafür besser geeignet gewesen

### Selbstversuch 6.2: Drehpunkt bei Scanbewegungen

Um zu prüfen, wie weit man den Kopf verschieben muss, um ein grösseres Feld abzusuchen, stelle man sich vor eine Wand mit mehreren Bildern. Dann halte man einen Bleistift – mit Spitze nach oben – als Gnomon vor das Auge und blicke über diesen hinweg auf eines der Bilder. Wie weit muss ich den Kopf bewegen, um über die Bleistiftspitze das daneben hängende Bild fixieren zu können?

Man wiederhole den Versuch bei unterschiedlichen Abständen des Bleistiftes und beobachte, wie sich das Ausmass der Kopfbewegung verändert.

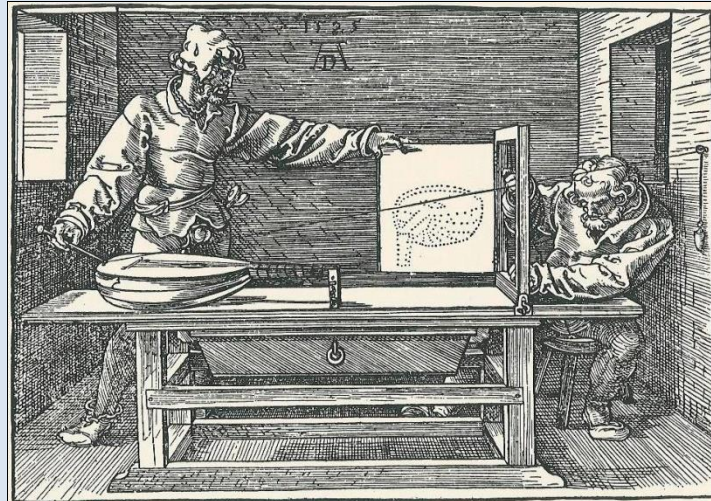


Je weiter die Fixiereinrichtung vom Auge, desto weiter muss man sich zur Seite bewegen.

Der **Exkurs 6.10** illustriert einige der Probleme, die bei Verwendung des Velums auftreten können.

**Exkurs 6.10: Darstellungen von Zeichenapparaten, basierend auf dem Velum**

*a-d: Zeichenapparate nach Albrecht Dürer (1471-1528)*



**a**

**a** Versuchsanordnung zur Demonstration des Prinzips von Albertis Velum: Verlauf der Lichtstrahlen und Querschnitt durch die Sehpyramide

Zuerst fixiert der Experimentator an der Wand einen Nagel, der den Augspunkt repräsentiert. Von dort zieht er einen Primärfaden, den ein Gehilfe ans Ziel auf der Laute hält (Repräsentation des Lichtstrahles). Dann hält der Experimentator im Rahmen die Position des Primärfadens mittels zweier gekreuzter Sekundärfäden fest (Repräsentation der Koordinaten), entfernt den Primärfaden, klappt das Bild in den Rahmen (Querschnitt der Pyramide) und markiert darauf den Kreuzungspunkt der Sekundärfäden.

*Probleme:* Aufwendige Prozedur, die der Experimentator so oft wiederholen muss, bis ein Punktbild der Laute resultiert. Eignet sich zur Erklärung des Prinzips, ist für die Praxis eher untauglich.

\*\*\*



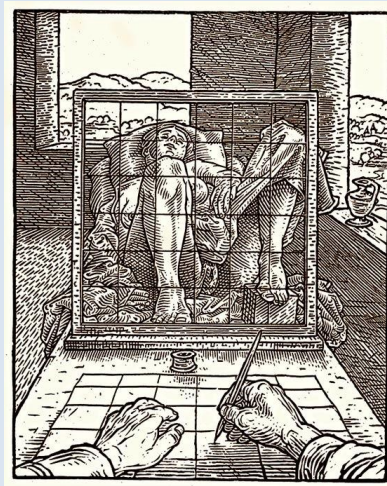
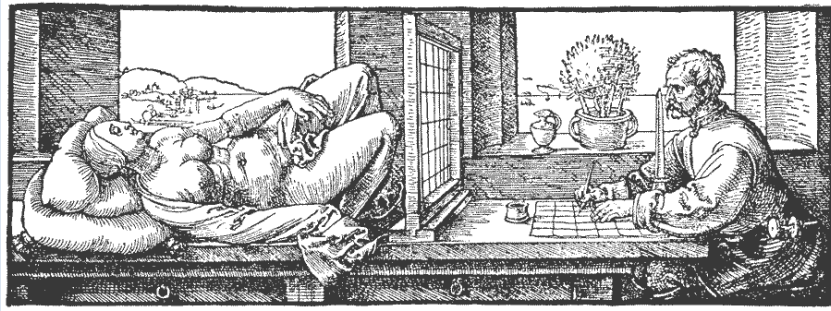
b

**b** Zeichnen direkt auf Glasplatte

Der Maler zeichnet direkt auf die Glasplatte (analog **Abb. 6.14**).

*Problem:* Die Lochblende auf dem Fixierständer ist zu klein, um einen Überblick über das ganze Bild zu ermöglichen („Schlüssellocheffekt“).

\*\*\*



c *Albertis Velum* 1538

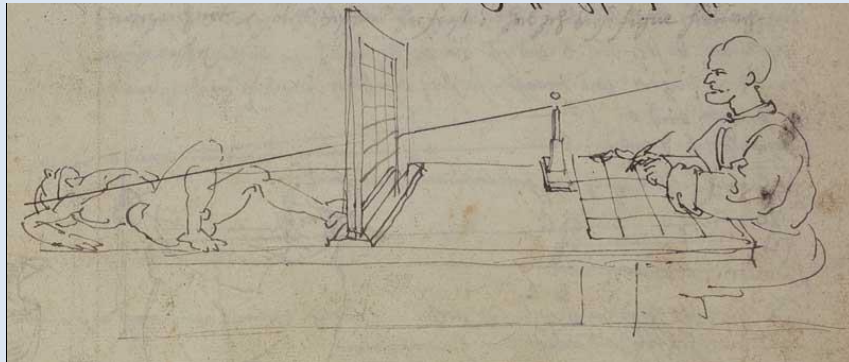
Der Vorteil des Velums ist die Wiedergabemöglichkeit von Motiven, die nicht konstruierbar sind. Das Gesehene im Koordinatensystem auf dem Velum wird übertragen auf die Koordinaten auf dem Papier.



Der Gnomon ist der sekundäre Drehpunkt, um den sich der Maler bewegen muss.

\*\*\*



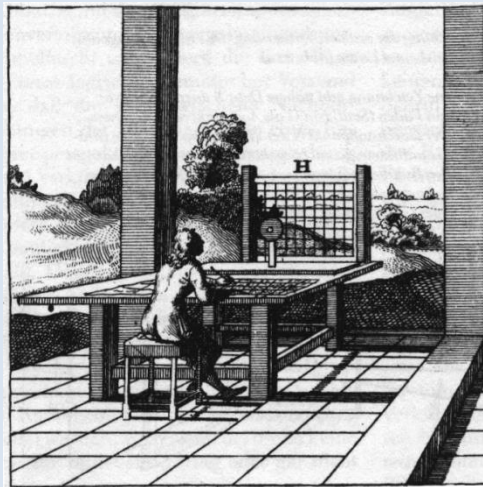


**d**

**d** *Skizze 1525 (?)*: In dieser Zeichnung Dürers scheint auf den ersten Blick die Vorrichtung plausibel. Der Gnomon ist aber zu weit entfernt vom Maler, weshalb in der Praxis das Velum nicht so funktionieren kann, wie die Zeichnung suggeriert.

\*\*\*

*e-f: Darstellungen anderer Autoren*



**e**

**e** *Fadengitter auf altem Stich (1710)*: Auf dieser Skizze wird eine Lochblende statt eines Gnomons verwendet. Auch hier gilt wie in Abb. **d**, dass solche Einrichtungen nicht funktionieren können. Erstaunlicherweise sind aber gerade derartige Abbildungen zur Darstellung des Velums beliebt.

\*\*\*



f Abraham Bosse (1604 – 1676): *Velum ohne Fixiereinrichtung*

Praxistauglicher ist die Einrichtung ohne Fixiereinrichtung, wo einfach ein Koordinatensystem in ein anderes übertragen wird. Der Kopf des Malers bleibt beweglich. Die Parallaxe ist kein wesentlicher Störfaktor, da das Gitter nahe beim Portraitierten steht.

*Beachte:* Das Velum Albertis ist kein Projektionsschirm, auf dem ein reelles Bild entsteht, denn sowohl auf der Vorderseite als auch auf seiner Rückseite sieht man nichts. Vielmehr ist es ein Koordinatennetz, das man in den Pyramidenquerschnitt stellt und durch dessen Zwischenräume man die Welt als virtuelles Bild<sup>84</sup> betrachtet.

---

<sup>84</sup> *Zur Erinnerung:* In der Optik sind *reelle* Bilder solche, die durch spezielle Projektionsvorrichtungen auf eine Wand oder einen Schirm geworfen werden (z.B. Lochkamera oder Projektor), und falls dort eine lichtempfindliche Schicht ist, bestehen bleiben (z.B. als Foto). Demgegenüber sind *virtuelle* Bilder diejenigen, die wir direkt oder durch eine Lupe sehen; sie sind flüchtig und existieren nur, solange wir sie gerade erblicken.

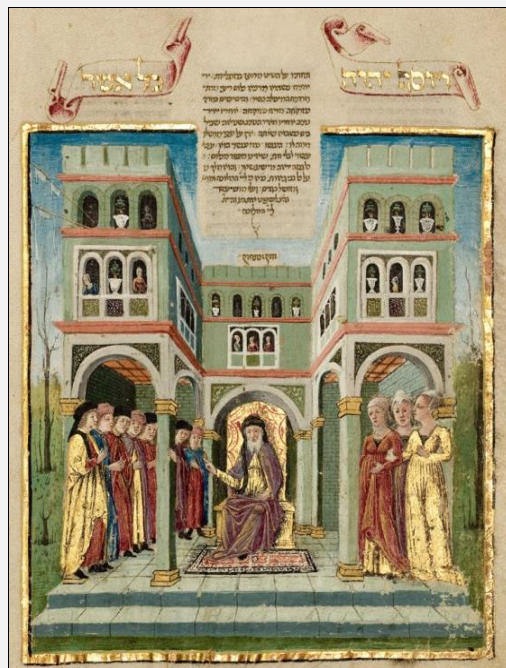


*Beachte:* Das Velum hat nichts mit Perspektive zu tun. Aus ihm lassen sich keine perspektivischen Gesetze ableiten. Es ist vielmehr ein Mittel zum freihändigen Zeichnen nach direkter Beobachtung. Sein Vorteil besteht darin, dass man keine Kenntnisse der konstruierten Perspektive braucht, und vor allem, dass man mit seiner Hilfe Unkonstruierbares (Körper, Landschaften) abbilden kann.

### *Die Verbreitung der perspektivischen Kenntnisse*

Die Kenntnisse der geometrischen Perspektive verbreiteten sich rapide, nicht nur im Umfeld Brunelleschis, sondern weit über Florenz hinaus. Das ist erstaunlich, wenn man bedenkt, dass die einschlägigen Schriften lange Zeit nur als Manuskripte erschienen und somit nur wenigen zugänglich waren. Dennoch fand die konstruierte Perspektive nicht nur in die Kreise der gebildeten und vielseitig gelehrten Maler Eingang, sondern ebenso schnell auch in die handwerklichen Werkstätten von Buchmalern und Herstellern von Intarsien (**Abb. 6.16 und 6.17**).

**Abb. 6.16: Konstruierte Perspektive in handwerklichen Objekten**



*Buchmalerei. Rothschild Miscellany, Ferrara? 1479?*

Miniatur im Manuskript: Noch war weder Albertis Werk noch dasjenige von Jean Pélerin (siehe später) gedruckt und damit allgemein verfügbar. Dennoch war der Miniaturmaler offensichtlich mit der Zentralperspektive bereits vertraut.

**Abb. 6.17: Konstruierte Perspektive in handwerklichen Objekten**



a

*Fra' Giovanni da Verona (1457-1525)*

**a Intarsien:** Zentralperspektive in einer Intarsie im Chorgestühl des Domes von Siena. Der Horizont wird im Tor durch die Höhe des Meeres definiert.

\*\*\*



**b**

Giuliano da Maiano (1432 circa – 1490)

**b** Intarsie im Studiolo federico da Montefeltro, Urbino

Die perspektivische Darstellung von Lauten galt als besonders schwierig und war deshalb eine grosse Herausforderung an die Künstler (man erinnere sich an die Holzschnitte Dürers zum Velum Albertis).

Wenn man sich allein auf den Text Albertis bezieht, bleibt manches obskur, denn Abbildungen, die vieles klären könnten, fehlen. Wenn wir die hier wiedergegebenen Schemata betrachten, müssen wir uns stets bewusst sein, dass sie aus späteren Ausgaben stammen und Interpretationen aus der Warte von späteren Gelehrten sind, die Albertis Werk nachbearbeiteten. Darin waren bereits weitere Entwicklungen berücksichtigt und frühere Unklarheiten beseitigt.

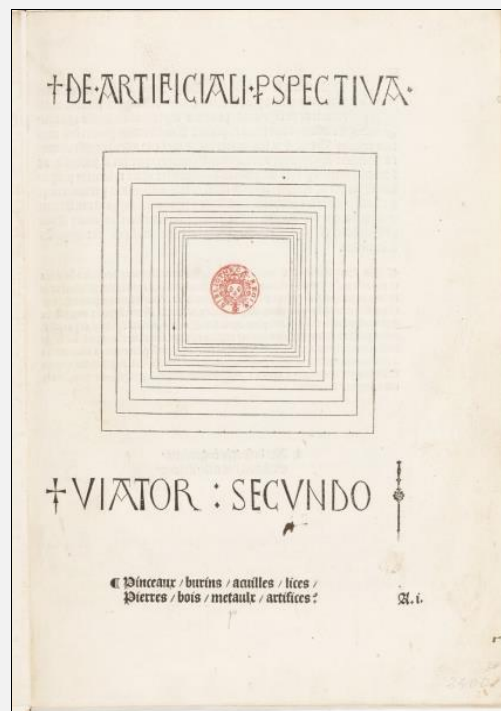
Wie dem auch sei, das vereinte Wissen von Alberti und seiner späteren Editoren führte zu einem Konzept, das die Darstellung des Raumes nachhaltig geprägt hat und bis in die Gegenwart weiterwirkt.

## Jean le Pélerin (Le Viator), 1445-1524

Die erste gedruckte und somit jedermann zugängliche Ausgabe des Werkes erschien erst zu Beginn des 16. Jahrhunderts, verfasst von einem Domherrn in einem Stil, der sich deutlich von den bisherigen Schriften unterschied.

Jean le Pélerin, genannt Viator, viel gereist in diplomatischen Diensten der französischen Könige, war zahlreichen Gelehrten und Künstlern begegnet. 1498, als er sich nach St. Dié und Toul zurückzog, wurde er Domherr an der Kathedrale Saint Etienne. Dort beaufsichtigte er die Bauarbeiten und hatte dadurch Kontakt mit den Bauhütten. Vor diesem Hintergrund ist sein Werk zu verstehen. Die Schrift «De Artificiali Perspectiva», wurde in erster Auflage 1505 und in zweiter, leicht veränderter, Auflage 1509 gedruckt (**Abb. 6.18**). Weitere Auflagen folgten, darunter auch viele Raubkopien, und so wurde das Werk weit verbreitet.

**Abb. 6.18:** Titelblatt von Viators gedruckter „De Artificiali Perspectiva“



Das Titelblatt und das Schlussblatt sind in lateinischer Schrift gedruckt, der übrige Text in Fraktur. Der Zweizeiler hat keinen Zusammenhang mit dem Thema und ist, wie die diejenigen im Abbildungsteil, vermutlich nur zur Erheiterung „um des Reimes willen“ gedacht.

## Theorie

Viator formuliert seine theoretische Einführung knapp. Er beschreibt die geometrischen Grundlagen, erklärt sie aber nicht. Möglicherweise wollte er in der Einführung seinen Lesern lediglich in Erinnerung rufen, was sie – mehrere Dezennien nach Brunelleschi - dank ihrer Fachausbildung bereits wussten. Das Neue, das Viator brachte, waren die zahlreichen praktischen Beispiele, die er in einem aufs Einfachste reduzierten Stil zeichnete, wie er schreibt: „... einige werden sagen, dass die Personen (die hier nur als Silhouetten erscheinen), mit allen Details hätten abgebildet werden müssen... aber die Absicht des Buches ist bloss die Darstellung der Grössen und Dimensionen der Personen ... und nicht speziell sie selbst: ... *certains diront que les personnages (qui sont ici que silhouettés) aurait dû être dessinés avec tous les détails. ... [mais] l'intention du livre est seulement d'adapter ... les grandeurs et les dimensions des dits personnages selon la distance... et non pas de représenter particulièrement ces personnages*“.

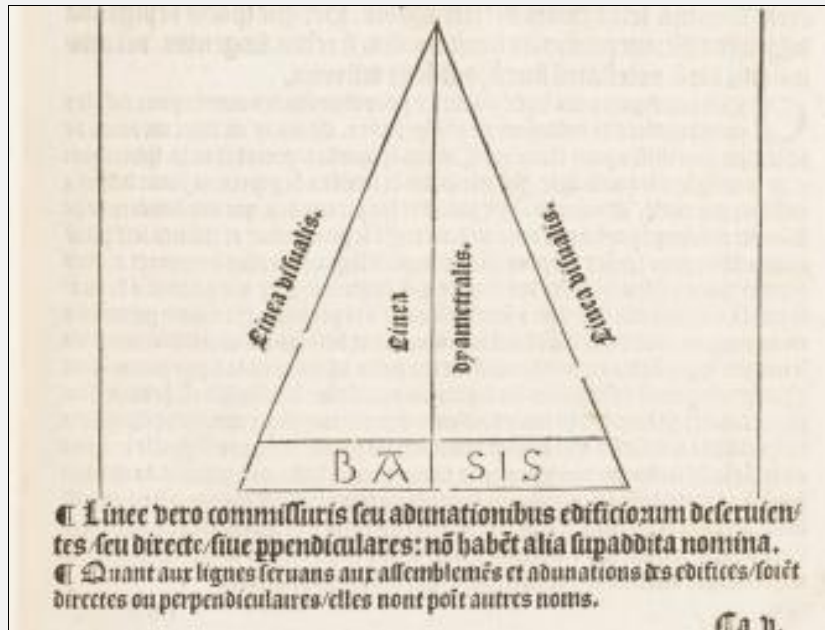
Viator beginnt mit der Feststellung: «Wenn man baut, beginnt man mit den Fundamenten, auf denen man die Mauern des Gebäudekörpers aufbaut, und dann deckt man das Dach darüber. Man muss zuerst Kenntnis von den Prinzipien haben, und wenn man diese gut verstanden hat, schreitet... man zu deren Anwendung: „*Quand on veut edifier, on commence aux fondemens, sur lesquels on bastit les murailles du corps de l'edifice, puis on met la couverture. Il faut premierement avoir cognoissance des principes, lesquels bien entendus, on procède à l'application d'iceux.*». Beim ersten Teil der Aussage könnte man vermuten, dass Viator erklären will, dass man in der Praxis die Konstruktionen mit dem Grundriss beginnen und dann die Seitenrisse darauf aufbauen soll. Der zweite Teil der Aussage aber belehrt uns, dass er es nur metaphorisch meinte, indem die Kenntnis der Prinzipien den praktischen Konstruktionen vorausgehen muss.

Am Anfang stand, wie bei Alberti, die Konstruktion einer Pyramide, resp. eines Dreieckes. Dazu entwickelte Viator eine ihm eigene Terminologie. Er setzte als Erstes den „point principal“ auf Augenhöhe und bezeichnete ihn als „fixe“ oder „sujet“. Dann zog er zwei horizontale Linien. Die eine ging durch den point principal und wurde als „*linea pyramidalis*“ bezeichnet, weil auf ihr alle Pyramidenspitzen zu liegen kommen, oder „*linea horizontalis*“, weil sie dem Horizont entspricht. Die andere Horizontale war die Grundlinie „*ligne de terre*“, auf der er ebenfalls Punkte markierte. Diese verband er durch Gerade mit dem point fixe und erhielt so Dreiecke (**Abb. 6.19**).

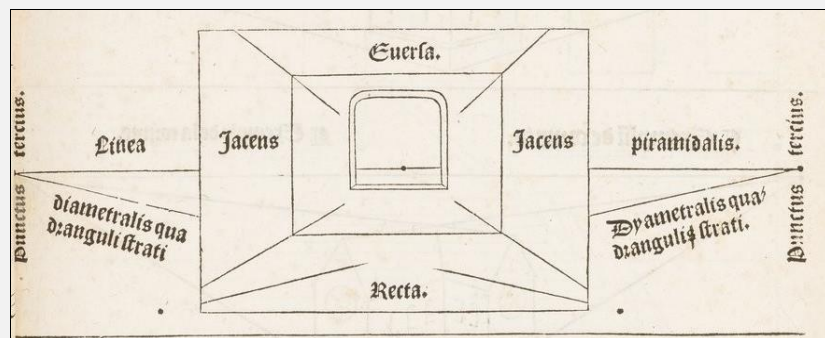
Auf der *linea pyramidalis* setzte er links und rechts vom point fixe zwei weitere Punkte, die „*tiers points*“ (in späteren Ausgaben: „*points de distance*“) und konstruierte von dort aus neue Pyramiden. Weitere Punkte auf der *linea pyramidalis* konnten zugefügt werden als Ursprünge der „*lineae radiales*“. Die senkrechten und waagrechten Linien hatten keinen speziellen Namen: „*Les lignes droites et perpendiculaires elles n'ont pas d'autres noms*“.



Abb. 6.19: Das perspektivische Dreieck (Pyramide)



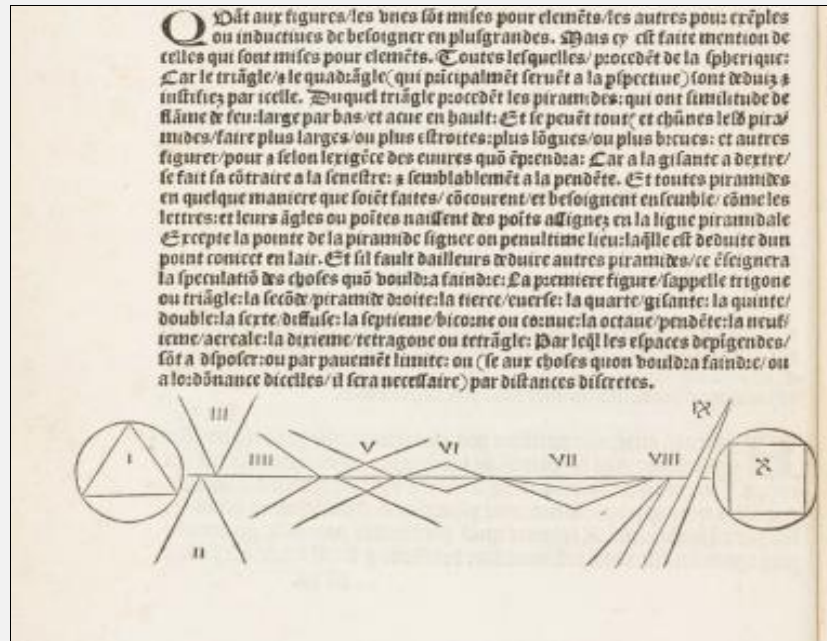
Die Seitenlinien des Dreiecks werden je als linea visualis, die Mittellinie als linea diametralis bezeichnet.



Pyramide frontal gesehen. Point fixe (sujet) im Zentrum, linea pyramidalis horizontal, lineae diametrales zu beiden Seiten.

Je nach der Größe der Spitzenwinkel und ihrer Position gegenüber der linea pyramidalis teilte Viator die Pyramiden in Kategorien ein (**Abb. 6.20**) und illustrierte sie anhand von Beispielen (**Abb. 6.21**).

**Abb. 6.20: Verschiedene Pyramidenformen**

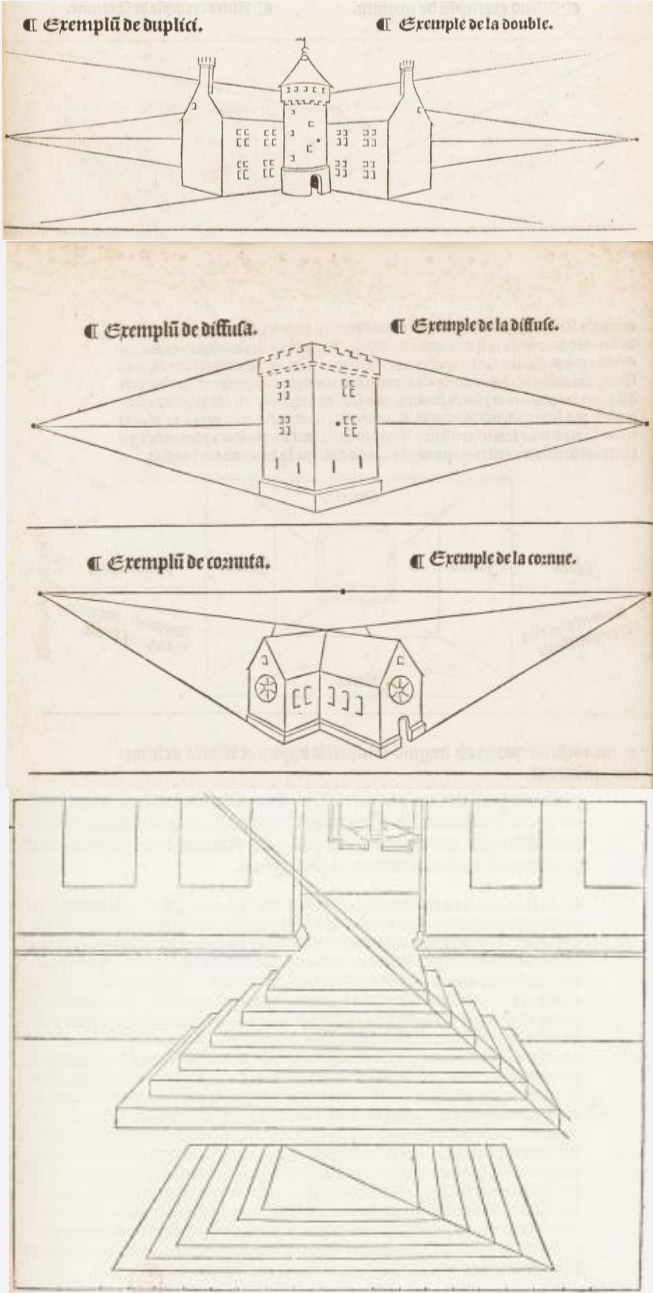


Viator teilte die Pyramiden ein in:

- I            triangulus / trigone ou triangle
- II            piramis recta / droite
- III           eversa / everse
- IIII          jacens / gisante
- V            duplex / double
- VI           diffusa / diffuse
- VII          bicornis vel cornuta / bicorne ou cornue
- VIII        pendens vel inclinata / pendente
- IX           aerea / aereale
- X            tetragonus vel triangulus / tetragone ou tetrangle



Abb. 6.21: Beispiele für die Pyramidenformen nach Viator



Oben: double

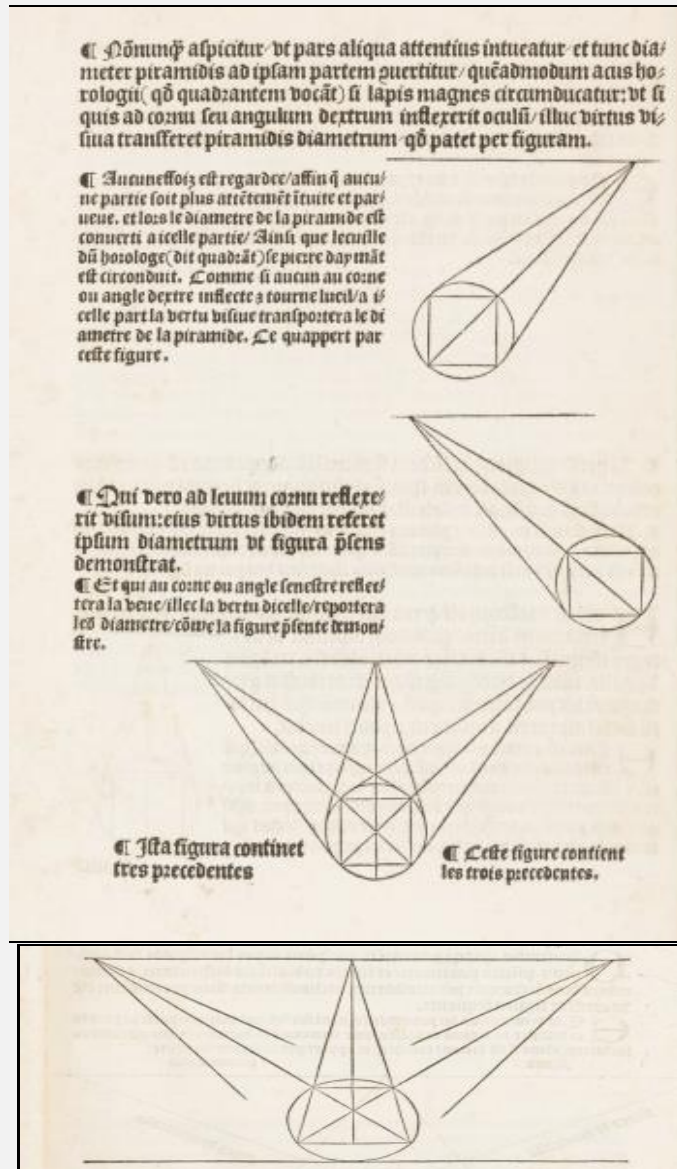
Mitte oben: diffuse

Mitte unten: cornue

Unten: aereale

Wie man von den tiers points aus konstruiert, erklärte Viator anhand der Schemata in **Abb.6.22**. Auffallend ist die Umrandung der Pyramidenbasis durch einen Kreis, mit dem Viator die Schwierigkeiten bei den Konstruktionen aus verschiedenen tiers points zu lösen suchte.

**Abb. 6.22: Konstruktion von den tiers points aus**



*Oben:* tiers point rechts vom point principal

*Mitte oben:* tiers point links

*Mitte unten:* tiers points und point principal kombiniert. Der Kreis wird frontal gesehen

*Unten:* Ansicht des Kreises perspektivisch, zum Oval verformt

Schrittweise vereinfachte er dann die Schemata, entfernte die Kreise und führte die Diagonalen Albertis in den Grundriss ein (**Abb. 6.23**).

**Abb. 6.23: Vereinfachte Darstellung der Tiers Points-Perspektive**



*Oben:* Die Kreise sind entfernt

*Unten:* Einführung der Diagonalen („linea dyametralis“) zur Kontrolle der perspektivisch korrekten Darstellung des Koordinatenrasters

Die Schemata von Viator mögen denjenigen von Alberti ähnlich erscheinen. sind aber in ihren Denkmodellen grundverschieden. Bei Viator liegen die Spitzen der Pyramiden alle auf der linea pyramidalis, von wo sie "wie die Strahlen der Sonne oder der Sterne ausstrahlen" („procèdent de ces points comme les rayons procèdent du soleil ou des étoiles»), während sie bei Alberti zum Auge des Betrachters streben – Beispiele für die Problematik der Bipolarität.

### *Die Illustrationen*

Im Gegensatz zum Werk von Alberti ist dasjenige von Viator reich bebildert. Die Illustrationen, basierend auf Erinnerungem und Erfundenem, bilden sogar den Hauptanteil. Viator benutzt dafür Strichzeichnungen, wobei er deren – damals unübliche - Einfachheit zu verteidigen sucht: »Dieses Werk entstammt nicht von der Hand eines Malers sondern von jemandem, der die Maler liebt – und – es ist eine Zusammenfassung, die keine gewichtigen Erklärungen erheischt... sondern vielmehr das Verständnis für das Ziel, welches der Ruhm Gottes ist, des Prinzen der Architekten: *Lequel œuvre n'est pas de main de peintre mais de qui aime les peintres...*» und «*...abrégé qui ne demande pas de pesantes explications ... mais plutôt la compréhension du but proposé qui est la gloire de Dieu prince des architectes*».

Die Abbildungen von Gebäuden bestehen aus zwei Teilen, oben aus dem räumlich gezeichneten Gesamtaspekt der Gebäude, unten aus den zugehörigen Grundrissen. In der Ausgabe von 1509 stehen darunter ausserdem Zweizeiler, die sich reimen, deren Wortlaut jedoch nur selten Bezug zur jeweiligen Abbildung hat.

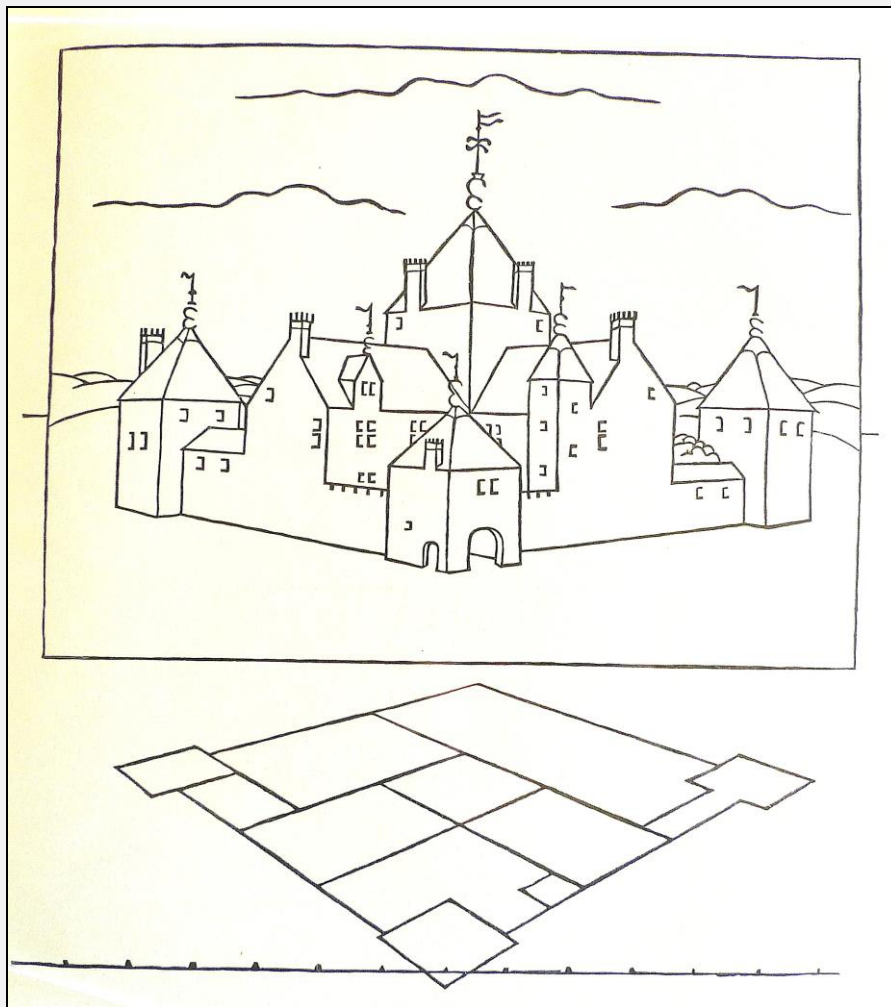
Allerdings stimmen nur die wenigsten der gezeichneten Grundrisse mit den ihnen zugeschriebenen Gebäuden überein, nur selten sind sie mit deren tatsächlichen Grundrissen kongruent. Man könnte sich sogar vorstellen, dass Viator zuerst seine Skizzen entwickelte und erst danach die „passenden“ Grundrisse erfand (**Abb.6.24 a –d**).

Dass Viator auch Elemente aus Albertis Lehre übernimmt, ist selbstverständlich, aber es erstaunt, dass er sie auch dort verwendet, wo sie im jeweiligen Kontext keinen Sinn ergeben (**Abb. 6.24 g-j**).

**Abb. 6.24: Beispiele von Viators Illustrationen**

**a – f:** *Verhältnis von Grundriss und Objekt*

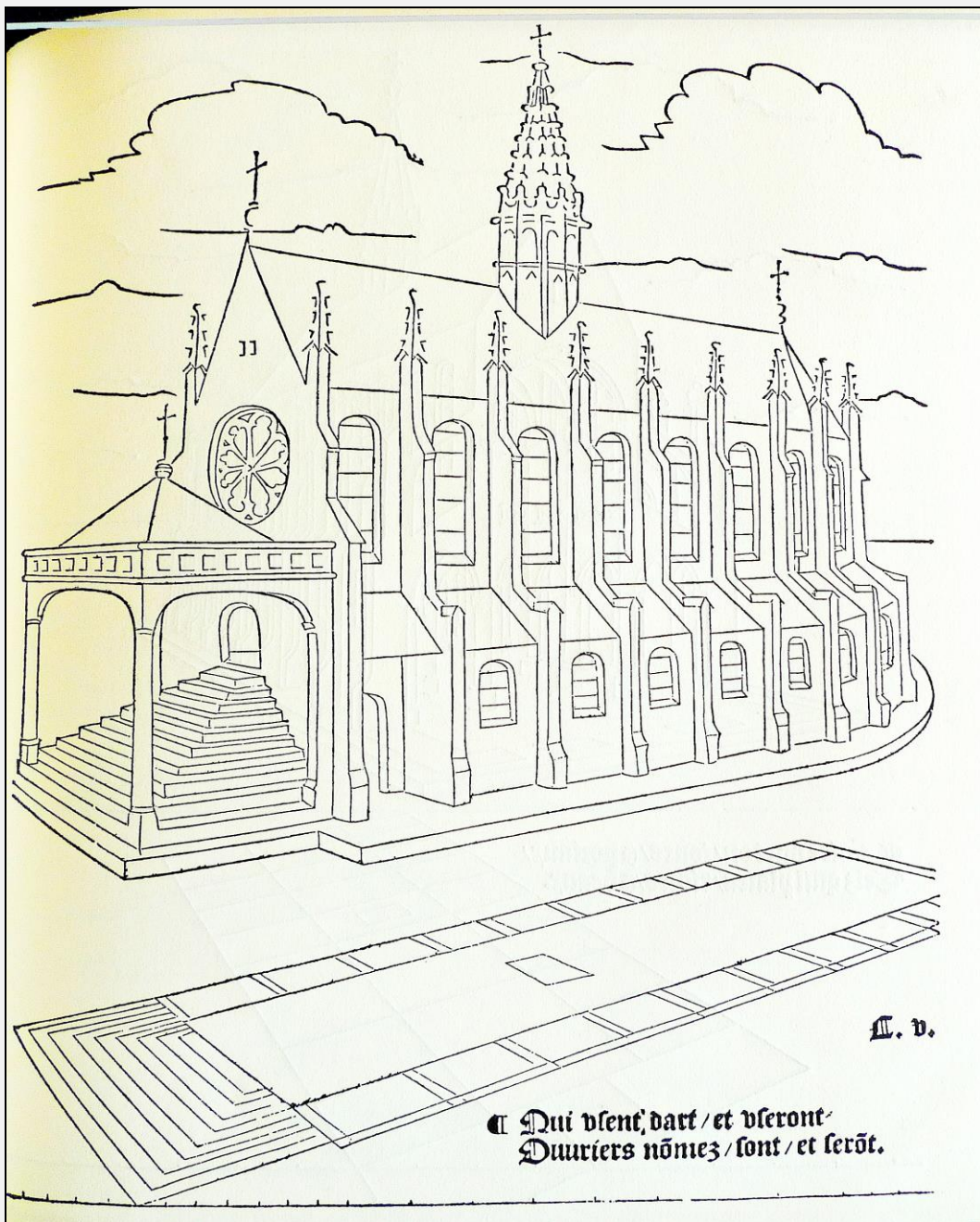
Zu jeder Zeichnung gibt es einen Grundriss. Erstaunlicherweise besteht aber bei den meisten eine Diskrepanz zum Aufbau der darüberstehenden Gebäulichkeiten



a

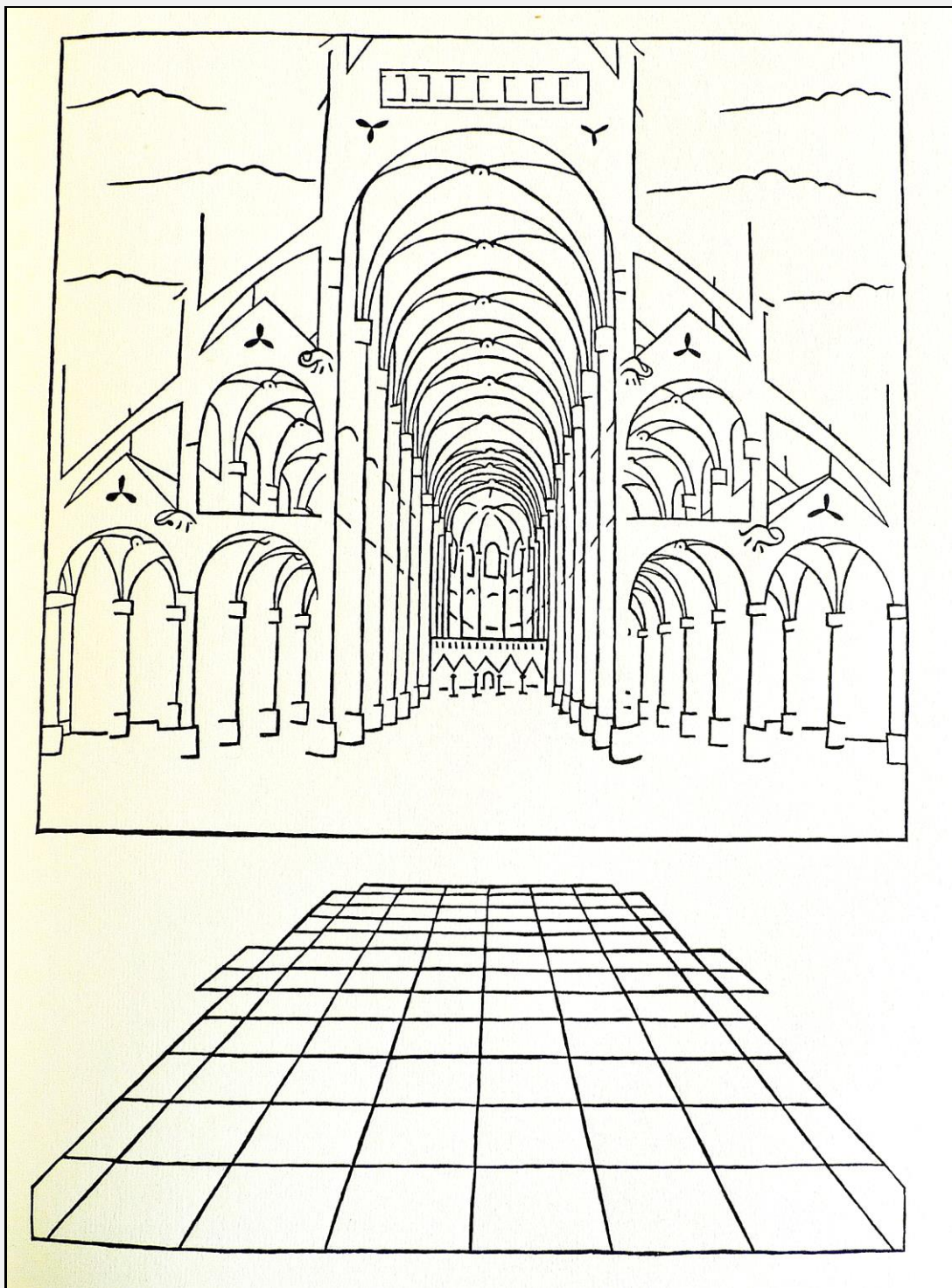
a Hier ein Grundriss, der mit dem Gebäude übereinstimmt. Ferner eine Grundlinie mit den Masseinteilungen gemäss Alberti, deren Sinn an dieser Stelle jedoch nicht ersichtlich ist. Der Horizont ist angedeutet ausserhalb des Bildrahmens.





b

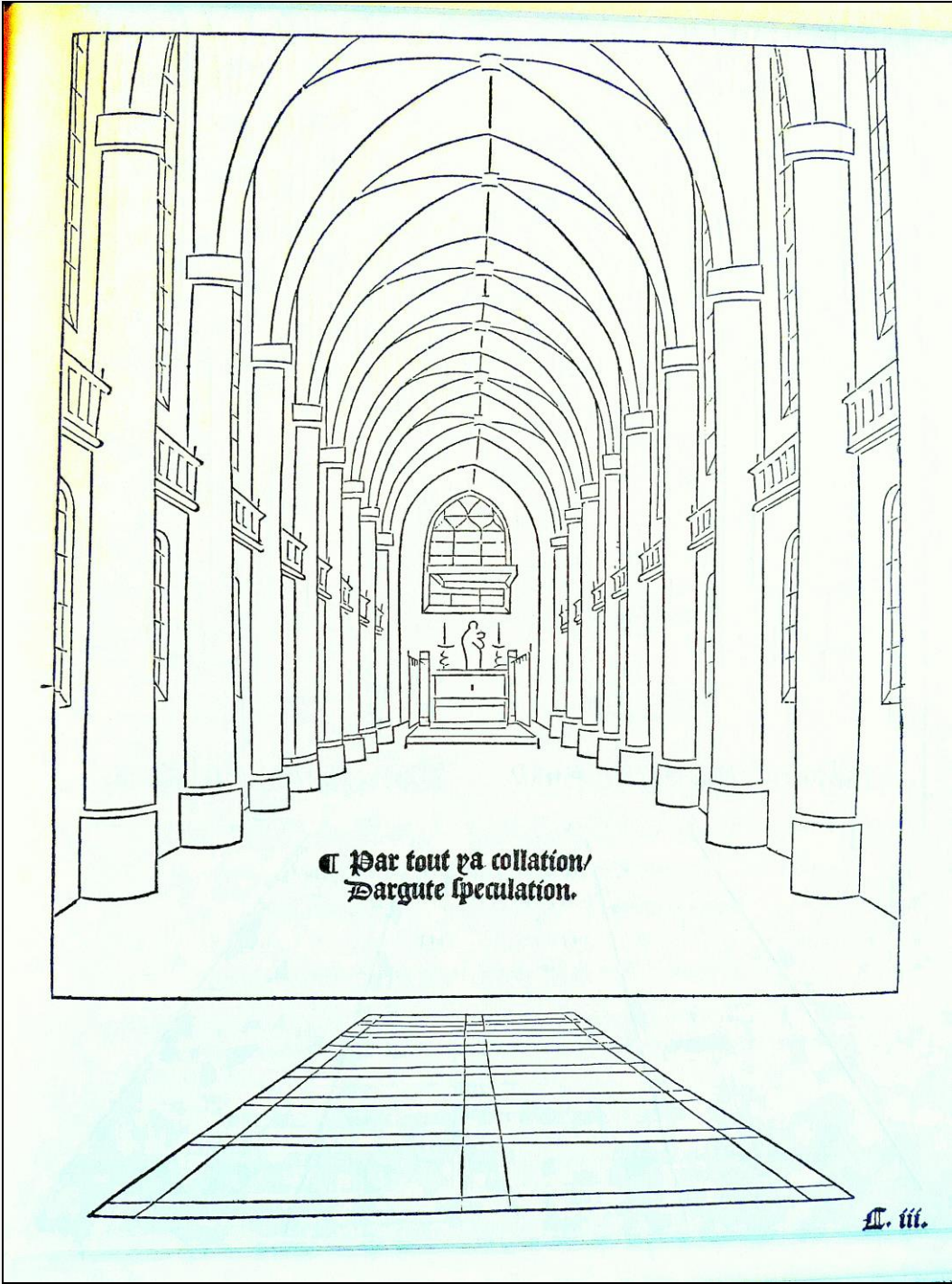
b Dieser Grundriss erscheint im vorderen Teil plausibel, jedoch fehlt die Rundung am Ende des Gebäudes.



c

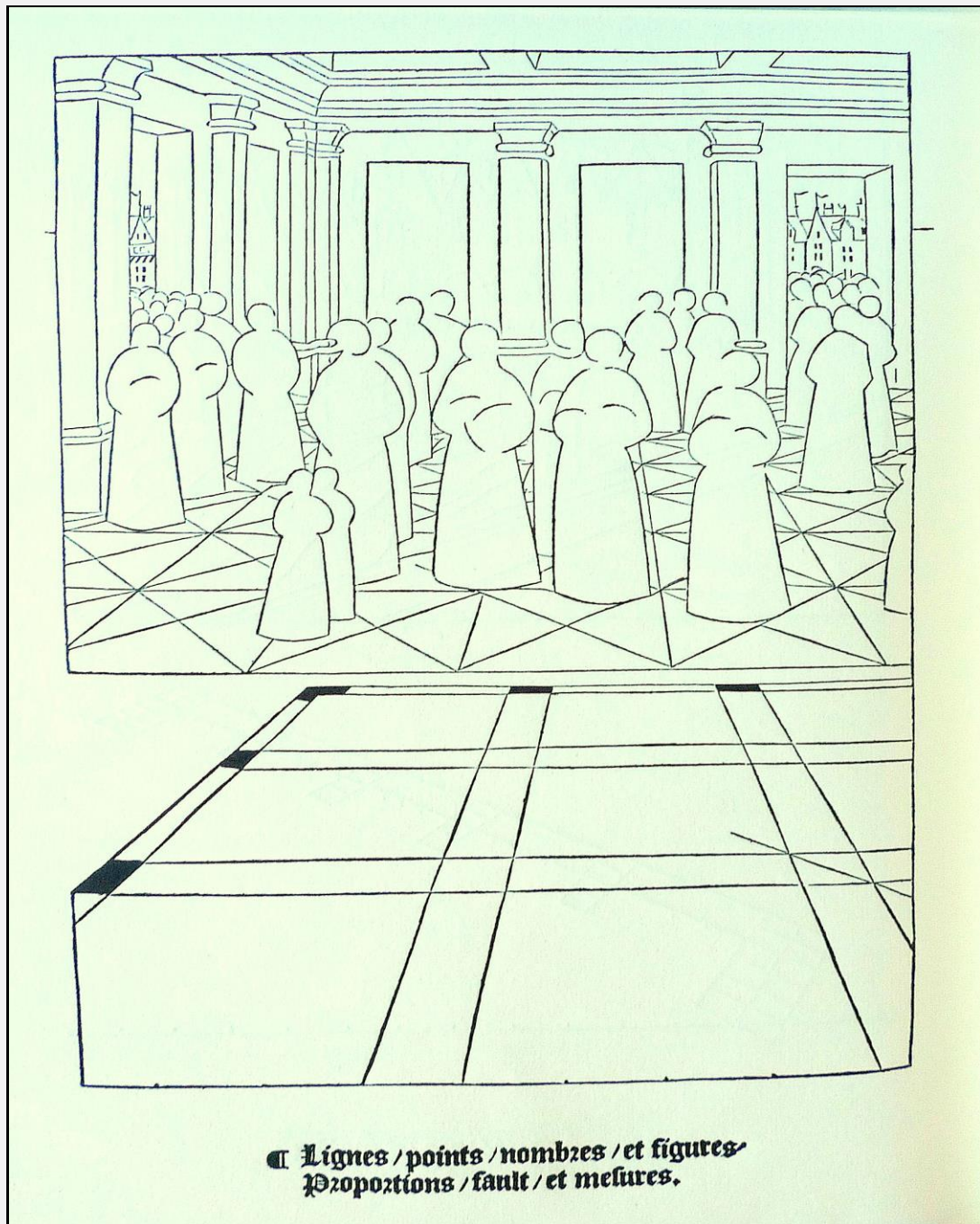
c Der Grundriss hat hier keinen Bezug zum komplizierten Aufbau der Kathedrale.





d

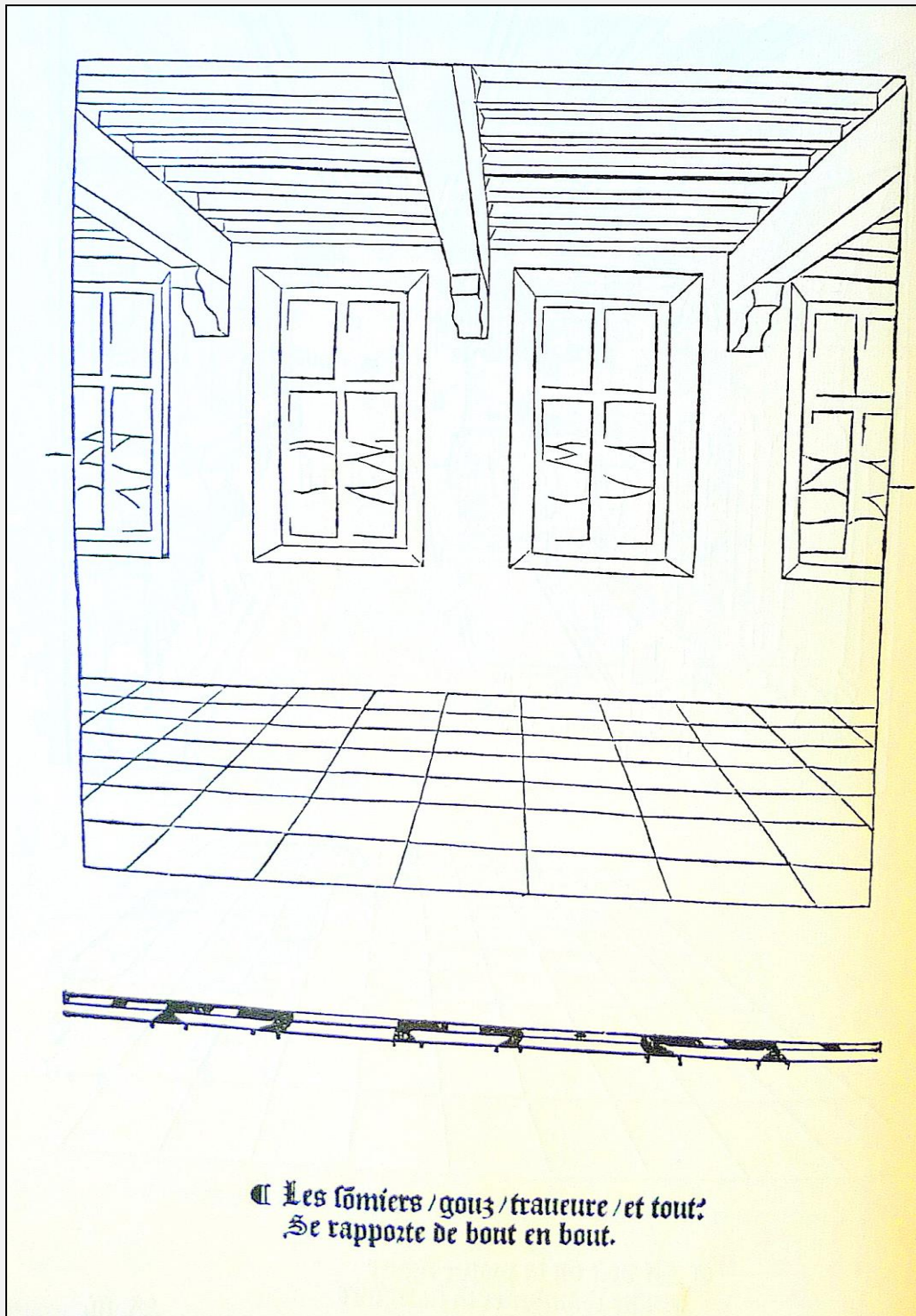
d Der Mittelstreifen im Grundriss hat kein Korrelat im Innenraum der Kathedrale.



e

e Der Grundriss hat keinerlei Beziehung zur dargestellten Szene...





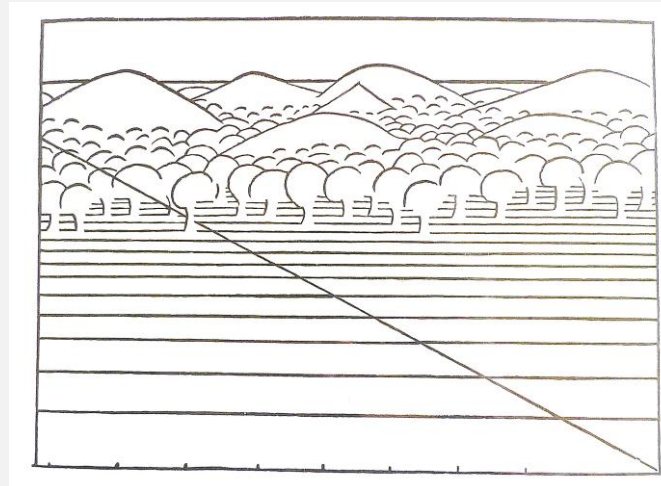
f

f ...und hier ist die Form des Grundrisses überhaupt ein Rätsel.

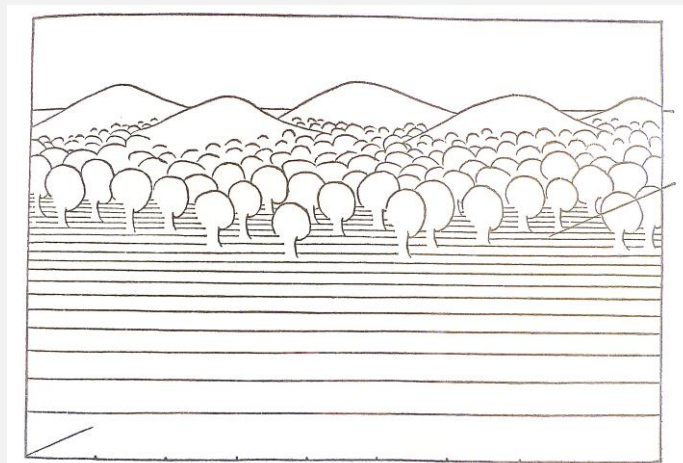
\*\*\*

**g – j: Relikte von Albertis Regeln**

*Diagonale und Markierungen auf der Grundlinie ohne Bezug zur Szene*



**g**



**h**

**g** und **h** Darstellungen von „Pattern Perspective“:

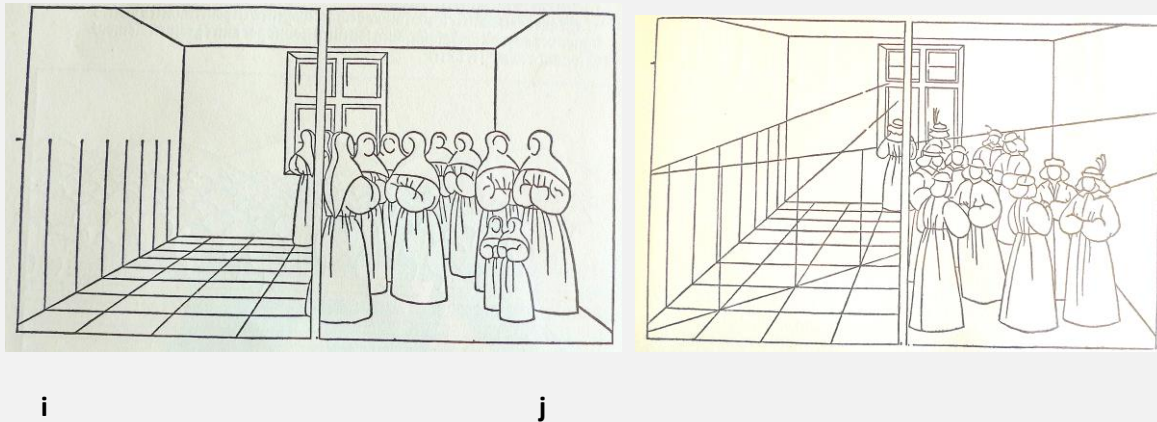
Die räumliche Tiefe entsteht hier nicht durch lineare Perspektive, sondern durch die zunehmende Verkürzung der Abstände von Horizontalen („Pattern Perspective“).

Die Masseinteilung der Grundlinie und die Diagonale Albertis sind eingezeichnet, obwohl sie vom Bildaufbau her überflüssig sind. Viator selbst war diesbezüglich offenbar unsicher, denn von der durchgezogenen Diagonalen in der Ausgabe von 1505 (**g**) liess er in der Ausgabe von 1509 den grössten Teil weg (**h**).

Eingezeichnet ist auch der Horizont, der im Bilde oben etwas höher steht als im unteren. Die Bäume sind im oberen Bild leicht elongiert dargestellt.

i und j: Darstellung der „Isokephalie<sup>85</sup>“

Ausgabe 1509



**i** Steht der Beobachter auf dem *Fussboden*, erscheinen alle Köpfe der Nonnen auf der gleichen Höhe, d.h. auf der Höhe des Beobachters, auf dem Horizont.

*Linke Hälfte:* Konstruktionshilfslinien: Am Boden das Koordinatennetz, an der Wand markieren Senkrechte die isokephale Position der Köpfe.

*Rechte Hälfte:* Hier fehlen die Bodenplatten, die die perspektivische Konstruktion markieren.

**J** Für einen Beobachter auf einem *erhöhten* Standort erscheinen die Köpfe der entfernteren Nonnen weiter oben. Viator deutete die Höhe des Horizontes im obersten Fenster an und führte die fernkonvergenten Konstruktionslinien der Bodenquadrate und der Senkrechten (*links*) dorthin.

Im Weiteren fügte er eine diagonale Linie ein, welche die Bodenquadrate an den Ecken schneidet. Sie scheint so den Regeln Albertis zu folgen, der allerdings solche Diagonalen nur als Hilfslinie zur Kontrolle, nicht aber zur Konstruktion verwendete. Damit verbunden ist eine zweite schräge Linie, die mit der unteren konvergiert. Ihre Bedeutung im hiesigen Kontext ist unklar.

<sup>85</sup> Griechisch: *Gleichköpfigkeit*. Stehen Menschen auf einem flachen Boden, so sieht ein Beobachter ihre Köpfe – unabhängig vom Abstand - alle auf gleicher Höhe, d.h. auf der Höhe seines eigenen Kopfes, auf dem Horizont

Wenn man all dies in Betracht zieht, erscheint „De Artificiali Perspectiva“ als ein Werk mit seltsamen Widersprüchen. In seinem theoretischen Teil schildert Viator die Sehpolyedern, aus deren Beschreibungen ergeben sich jedoch keine Konstruktionsanleitungen.

Er erschafft eine neue Terminologie, aber es bleibt offen, ob die jeweiligen Konvergenzpunkte Aug- oder Fernpunkte bezeichnen. Ebenso unsicher ist die Bedeutung der „Tiers points“, bei denen sich fragt, ob sie reine Konstruktionselemente sind oder ob sie bereits auf einen Übergang von der damals üblichen Zentralperspektive (Einpunktperspektive) in die sich entwickelnde Zweipunktperspektive hindeuten.

Viator stellt die Objekte ihren Grundrissen gegenüber, aber in den meisten Beispielen passen sie nicht zusammen. Man erfährt nicht, wie man aus den Grundrissen die dargestellten Objekte konstruieren könnte.

Viators Schemata eröffnen somit keinen direkten Zugang zu praktischen Verfahren, weder für Maler, noch für Handwerker, noch für Architekten. Sein Werk ist weder ein Lehrbuch der perspektivischen Theorie noch eine Anleitung zu perspektivischem Zeichnen. Vielmehr erinnert es an ein Schaubuch, ähnlich den alten Musterbüchern und Bauhüttenbüchern, mit Vorlagen, aus denen im Einzelfall ein geeignetes praktisches Verfahren hergeleitet werden muss.

Wie dem auch sei, Viator kommt dank der Drucklegung seines Werkes das unbestreitbare Verdienst zu, dass sich die Kenntnisse auch in denjenigen Kreisen verbreiten konnten, denen bisher der Weg zur Perspektive verschlossen war. Die zahlreichen Auflagen und Raubkopien sind Ausdruck ihrer praktischen Bedeutung.

## Leonardo da Vinci 1452-1519

Wenn Alberti, wie er von sich sagt, als Maler schreibt, und man bei Viator den Gesichtspunkt eines Baumeisters erkennen kann, so geht Leonardo die Probleme der Perspektive als Wissenschaftler an, und zwar - wie er immer wieder betont - vor allem vom Gesichtspunkt der Mathematik: „*Mich lese nicht, wer nicht Mathematiker ist*<sup>86</sup>“.

### *Der Zugang zum Werk*

Der Zugang zu seinem grossen wissenschaftlichen Werk ist schwierig. Mehr als die Hälfte der ca. 5000 Manuskriptseiten, die heute noch existieren, sind auf lose Blätter verteilt. Ihre Anordnung folgt keiner inhärenten Logik, sondern derjenigen der jeweiligen Mitarbeiter von Museen und privaten Sammler, in deren Besitz sie sich gerade befinden. Dazu kommt, wie Vasari schreibt, dass „...er *Erläuterungen in schlechter Schrift schrieb, die verkehrt mit der linken Hand geschrieben war und die niemand, der keine Übung hat, versteht, weil sie nur im Spiegel gelesen wird*<sup>87</sup>“. Erst 1779 gelang es schliesslich, seine Schrift zu entziffern.

Überdies weist der Übersetzer und Herausgeber Jean Paul Richter<sup>88</sup> darauf hin, dass Leonardo eine ihm eigene Orthographie benutzte, mehrere kurze Wörter zu einem einzigen langen zusammenfügte, resp. lange Wörter willkürlich in kurze aufteilte, dass er keine Akzente setzte und keine Satzzeichen benutzte. Viele der editierten Texte sind keine Originale, da diese verschollen sind, sondern sind Kopien von mutilierten und fragmentarischen Manuskriptvorlagen. Die resultierenden Schwierigkeiten mögen manche dunkle Formulierungen in Leonardos wissenschaftlich beeindruckendem Werk erklären.

Nie hat Leonardo seine Gedanken zur Malerei in einem Gesamtwerk zusammengefasst. Was heute erhalten ist, sind Einzelnotizen, während mehreren Dezennien verfasst und nicht immer frei von Widersprüchen.

---

<sup>86</sup> Zitiert in Traktat von der Malerei, ed. Marie Herzfeld, S. XXXVII

<sup>87</sup> Zitiert aus [www.susannealbers.de](http://www.susannealbers.de)

<sup>88</sup> Richter S. XV ff



Die Notizen zur konstruierten Perspektive machen nur einen kleinen Teil der Kapitel zur Malerei aus (siehe **Abb. 6.25**). Dies ist wohl darauf zurückzuführen, dass zur Zeit Leonardos die konstruierte Perspektive in Malerkreisen bereits Allgemeingut war. Praktische Anleitungen brauchte es nicht mehr, und Leonardo sah seine Aufgabe vor allem darin, die perspektivischen Gesetze wissenschaftlich zu begründen. Die Grundlagen der Geometrie, der Optik und unserer Sehfunktionen waren seine Themen.

**Abb. 6.25: Inhaltsverzeichnis im „Traktat von der Malerei“, herausgegeben von Marie Herzfeld, 1909**

	Faszikel 4. Von Perspektive oder vom Sehen . . . . .	208—213
460	A. Einteilung der malerischen Perspektive . . . . .	213
461—465	1. Linearperspektive. — 1a. Unterschied des Sehens im Raum und auf der Bildfläche, mit einem und mit zwei Augen. . . . .	213—217
466-474a	1b. Von der Verkleinerung der Größen durch die Linearperspektive . . . . .	217—223
475—485	2. Vom Verlorengehen der Formendeutlichkeit durch die Entfernung. Zusammenwirken der perspektivischen Verkleinerung und des Luftmediums. . . . .	223—227
486—497	3. Von verschiedenen durchsichtigen Medien und deren Einwirkung. Medium der Pupille. — Vom Verlorengehen der Farbendeutlichkeit. — Sonstige hierbei in Betracht kommende Faktoren und Umstände . . . . .	227—234
498—501	B. Von Harmonie und Disharmonie zwischen dem Verlauf der linearen Verkleinerungs- und der Luftmedienperspektive . . . . .	234—236
502—511	C. Nebelperspektive insbesondere; Phänomene der Lichtstrahlung, Irradiation; Täuschung des Urteils durch den Widerspruch zwischen Farben- und Größenperspektive . . . . .	236—241
512—516	D. Spiegelung . . . . .	241—242
517—518	E. Einfluß der Kapazität des Auges . . . . .	242—244

*Faszikel 4: Perspektive oder vom Sehen*

Nur ein Drittel des Textes (S. 213 – 223) beschäftigt sich mit der Linearperspektive, der grössere Teil (S.223 – 241) betrifft die atmosphärischen Einflüsse.

Was uns noch heute an seinen Werken fasziniert, ist der scharfe Intellekt, mit dem er Phänomenen auf den Grund ging, und wie er diese, zumindest dem damaligen Stand der Erkenntnisse gemäss, rational interpretierte.

Eingehend beschäftigte sich Leonardo mit den Eigenschaften des Lichtes, das nun nicht mehr als „göttliche Licht“ mittelalterlicher Vorstellungen begriffen, sondern als physikalisches Phänomen erkannt wird, basierend auf physikalischen und mathematischen Theorien (damals ihrerseits Masterplan Gottes). Was ist Licht? Was tut Licht, wenn man es nicht sieht? Wie schafft Licht Bilder? Wie verteilen sich diese im Raum? Wie gelangen die Bilder schliesslich ins Auge, und wo bleiben sie dort?

*«Ogni corpo ombroso empie la circunstante aria d'infinite sue similitudini le quali da infinite piramidi infuse per essa rapresentano esso corpo tutto per tutto e tutto in ogni parte. Ogni piramide composta da lungo concorso di razzi contiene dentro a se infinite piramidi e ciascuna a potentia per tutte e tutte per ciascuna; l'equidistante circuito di piramidal concorso dara al suo obietto eguale qualità d'angoli e d'eguale grandezza... e benchè il loro concorso sia intersegato e in tessuto, non dimeno si confodono una con l'altra ...»<sup>89</sup>*

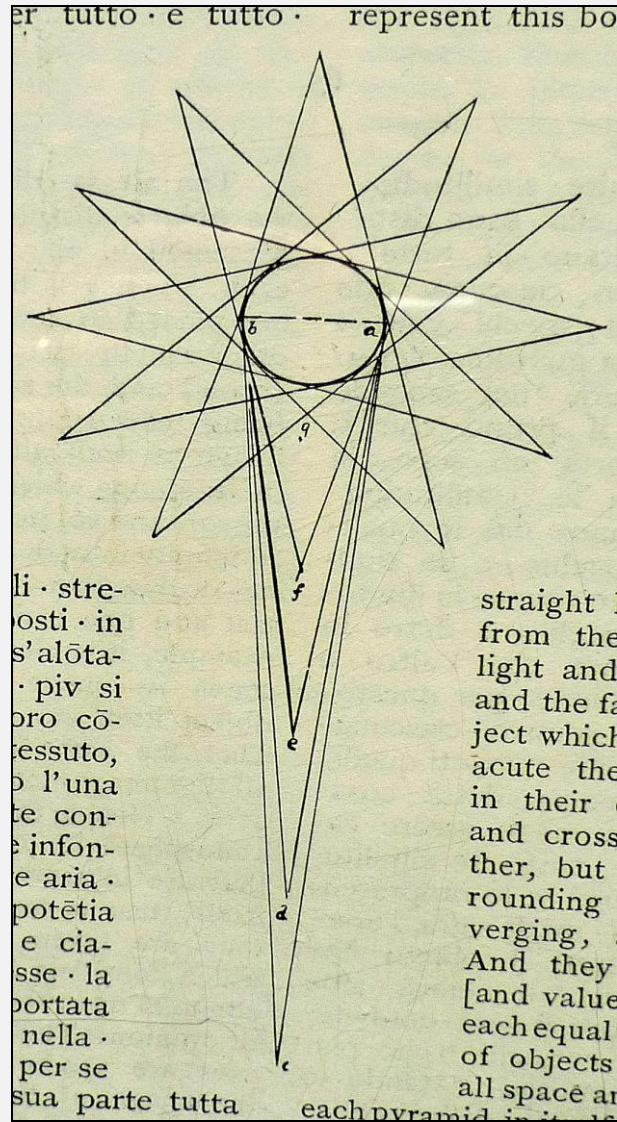
*«Jeder schattengebende Körper füllt die umgebende Luft mit unendlich vielen Ähnlichkeiten („Abbildungen“), welche durch unendlich viele Pyramiden... diesen Körper repräsentieren... Jede Pyramide, bestehend aus langen Strahlenbündeln enthält in sich unendlich viele Pyramiden, und eine jede hat dieselbe Kraft...; Die äquidistante kreisförmige Anordnung der Pyramiden erzeugt bei den Objekten gleiche Winkel und gleiche Grössen... und obwohl sie sich in ihrem Verlauf überschneiden und kreuzen, vermischen sie sich nicht (Abb. 6.26)<sup>90</sup>.*

---

<sup>89</sup> Im Folgenden zeige ich jeweils den Originaltext Leonardos (gemäss Richter), um den Lesern zu ermöglichen, allfällige Mehrdeutigkeiten selbst zu interpretieren. Übersetzungen aus dem Italienischen von GE

<sup>90</sup> Richter, S. 39

Abb. 6.26: Die unendliche Zahl der Sehpyramiden



Zahlreiche Pyramiden ziehen vom Objekt in alle Richtungen, wobei weder aus der Zeichnung noch aus dem begleitenden Text hervorgeht, was die Pyramidenspitzen repräsentieren sollen: Augspunkte, Fernpunkte oder Spitzen von „luftefüllenden“ Pyramiden?

Gegen unten werden Pyramiden in verschiedenen Längen gezeigt, deren Spitzenwinkel bei jeder Vergrößerung des Abstandes enger werden.

*«L'aria è piena d'infinite similitudini delle cose le quali infra quella sono distribuite e tutte si rapresentano in tutte e tutte in vna e tutte in ciascuna onde accade che se saranno 2 spechi volti in modo che per linia retta si guardino l'uno l'altro il primo si spechierà nel secondo e il secondo nel primo: il primo che si spechia nel secondo porta con seco la similitudine di se con tutte le similitudini che dentro vi si representano ... e da similitudine in similitudine se ne vanno in infinito ...»<sup>91</sup>*

*„Die Luft ist voll von unendlich vielen Bildern der Dinge die darin verteilt sind und alle sind repräsentiert in allen und alle in einer und alle in jeder, vergleichbar mit zwei Spiegeln, bei denen in direkter Linie der eine den anderen anschaut, der eine sich im zweiten spiegelt und der zweite im ersten: Der erste, der sich im zweiten spiegelt, repräsentiert in sich die Ähnlichkeit von sich selbst mit allen Ähnlichkeiten die sich in ihm repräsentiert haben ... und von Ähnlichkeit zu Ähnlichkeit geht es bis in die Unendlichkeit ...*

Interessant ist hier die Beweisführung mittels zweier gegeneinander gestellten Spiegel<sup>92</sup>. Einst magisch aufgeladen, sind diese für uns Heutige bloss noch physikalische Objekte.

Nicht weniger interessant ist der Beweis für das Verweilen der Bilder im Auge. Heute sprechen wir von Nachbildern, die auf langsamen chemischen Veränderungen in den Zellen der Netzhaut beruhen.

*«Guardando il sole o altra cosa luminosa e serrando poi l'occhio la rivedrai similmente dentro all'occhio per lungo spatio di tempo; questo è segno che le spetie entrano dentro.»*

*„Wenn man die Sonne oder eine andere Lichtquelle anschaut, und dann das Auge schliesst, sieht man diese im Auge für eine lange Zeit. Dies ist ein Zeichen, dass die Bilder ins Auge hineingehen.“*

---

<sup>91</sup> Richter, S. 40

<sup>92</sup> Siehe auch die Illustrationen zur früher aufgestellten Hypothese von Brunelleschis Demonstrationen mit Doppelspiegeln

## *Die Einteilung der Perspektiven*

Leonardo unterteilte die Perspektiven in drei Kategorien:

*„3 sono le parti della prospettiva di che si serve della pictura, delle quali la prima s’astende alla diminutione delle quantità de corpi oppachi, la seconda è delle diminutioni e perdimenti delli termini d’essi corpi opiaçai. La terza è della diminutione e perdimenti di colore in lunga distantia<sup>93</sup>*

*„Drei sind die Arten der Perspektiven, derer sich die Malerei bedient, von denen sich die erste mit der Verkleinerung der Dimensionen von undurchsichtigen Körpern beschäftigt, die zweite mit der Verkleinerung und dem Verlust der Konturen dieser Körper. Die dritte betrifft die Verminderung und den Verlust an Farbe bei grossen Abständen.“*

An anderer Stelle benannte Leonardo die drei Arten von Perspektive folgendermassen:

- *Prospettiva lineale*: Lineare Perspektive
  
- *Prospettiva di speditione*: Perspektive der Schwindung
  
- *Prospettiva di colore*: Farbperspektive

Soweit die Kategorien, wie sie Leonardo systematisch darstellte. Weitere Arten von Perspektiven beschrieb er innerhalb von Textstellen, wo u.a. auch die *prospettiva artificialis* und die *prospettiva naturalis* aufgeführt wurden, wenn auch in anderer Interpretation als heute üblich.

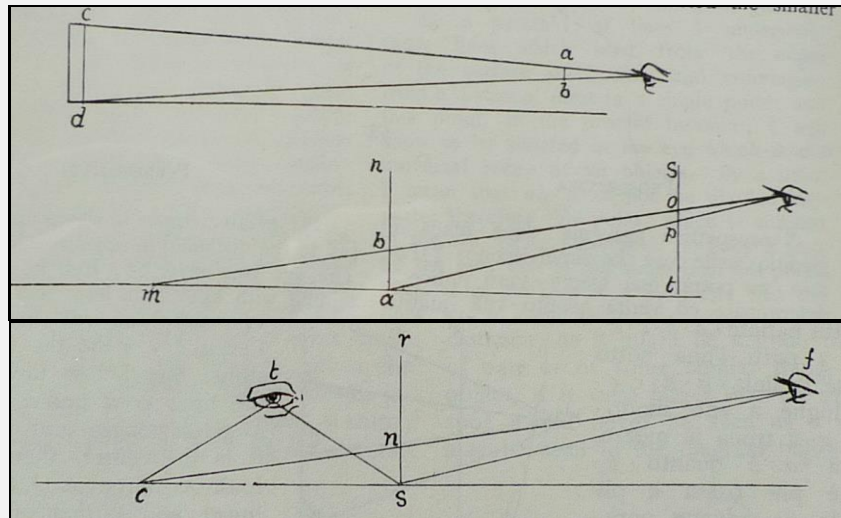
---

<sup>93</sup> Richter, S. 16

### Die tiefen-gerichtete Konvergenz (Frontalperspektive)

Wie man aus Seitenrissen eine Frontalperspektive konstruiert, zeigte Leonardo in den Skizzen der **Abb. 6.27**.

**Abb. 6.27: Skizzierung des etablierten Wissens über Sehpyramiden**



*Oben:* Ansicht von frontalen Aufrissen in verschiedenen Abständen vom Auge: **c-d** wird gleich gross wahrgenommen wie **a-b**

*Mitte:* Seitenansicht der Projektion des Grundrisses **a-m** auf Vertikale in verschiedenen Abständen **a-n**, resp. **s-t**: Dem Betrachter erscheinen **a-b** und **p-o** gleich gross

*Unten:* Die Darstellung von Seiten- und Frontalrissen in Anlehnung an Abbildungen nach Alberti<sup>94</sup>

*Beachte:* Die Spitzen der Pyramiden sind als Augspunkte markiert, die Geraden sind demnach Lichtstrahlen, die ins Auge gelangen. Von Fluchtpunkten und imaginären Hilfslinien ist hier nicht die Rede.

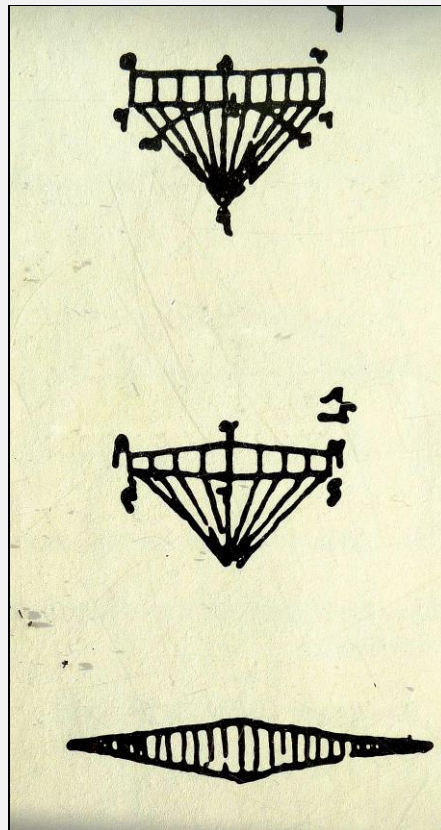
<sup>94</sup> Richter S. 34



### Entwicklung der seitlich-gerichteten Konvergenzen (Lateralperspektive)

Eine eigentliche Innovation Leonardos ist die Entwicklung der Lateralperspektive<sup>95</sup>, wie Benvenuto Cellini (1500 – 1571) schreibt: „...das Schönste, das je von irgendjemand gefunden wurde auf der Welt, denn die Regeln der Perspektive zeigen nur die Verkürzung in der Länge und nicht zur Seite oder nach oben. Leonardo nun hat die Regeln gefunden, und hat sie so klar verständlich gemacht, dass jedermann, der sie sah, dazu fähig war<sup>96</sup>“.

Abb. 6.28: Entwicklung der Lateralkonvergenz



Leonardos Zeichnung<sup>97</sup>

Verkürzung mit zunehmendem Abstand beim Blick zur Seite

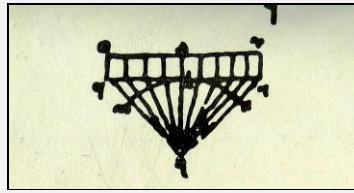
<sup>95</sup> Während man sich bei Viator fragt, was die seitlichen Konvergenzpunkte bedeuten, ist bei Leonardo die laterale Konvergenzmethode genau definiert.

<sup>96</sup> White, S. 207, Übersetzung GE

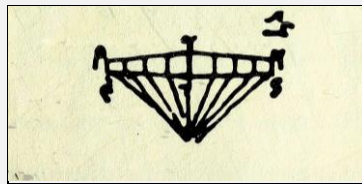
<sup>97</sup> Abgebildet in Wright S. 90



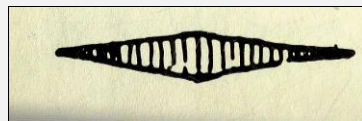
Detailanalyse



Ausgangslage: Ein langes Rechteck mit parallelen Horizontalen liegt vor dem Auge. Die Kreislinie bezeichnet diejenigen Stellen, die den gleichen Abstand vom Augspunkt haben.



Leonardo zeigt, dass bei Zunahme des seitlichen Abstandes die Rechtecke kleiner erscheinen. Deswegen beginnen die horizontalen Geraden lateralwärts zu konvergieren.



Je weiter sich ein Objekt seitlich ausbreitet, desto stärker die Verkleinerung, bis es schliesslich zum Punkt wird.

Bei der Analyse der lateralen Perspektive stiess Leonardo auf ein seltsames Paradox: Lateral gelegene Objekte werden scheinbar gleichzeitig verkleinert und vergrössert. **Exkurs 6.11** zeigt, dass alle Objekte mit gleichem Verkürzungsgrad und Verzerrungsgrad in gleichem Abstand vom Auge (äquidistant) auf einer Kreislinie liegen. Werden sie hingegen auf eine gerade Linie projiziert, so werden die Wege zu seitlichen Partien immer länger; die Bildverzerrungen und Bildverkleinerungen werden lateralwärts stärker, je weiter man sich von der Mitte entfernt.

Leonardo weist immer wieder darauf hin, dass solche Probleme vor allem ins Gewicht fallen, wenn der Abstand vom Betrachter zum Objekt klein ist. Es wächst dann die Gefahr, dass Bilder „unangenehm“ wirken und deshalb sollte der Maler eine bestimmte Distanz (für die Leonardo verschiedene Angaben macht) nicht unterschreiten<sup>98</sup>:

<sup>98</sup> White, S. 12

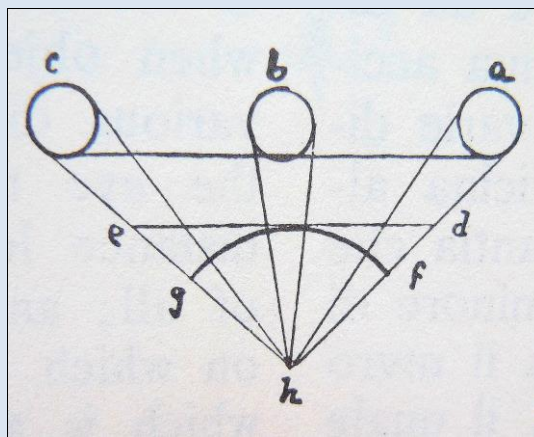
„La cosa diminutiva deve essere riguardata a quella medesima distantia e altezza e dirittura, que ponesti il punto dei tuoi occhio, altrimenti la scientia non avrà bono effetto.<sup>99</sup>»

Das verkleinerte Objekt muss in gleicher Distanz und Höhe und Richtung gesehen werden wie du den Punkt deines Auges positionierst, ansonsten wird die Erfahrung kein gutes Resultat erzielen.

**Exkurs 6.11:**

**„Leonardos Paradox“:**

**Probleme bei Projektionen auf äquidistante Kreislinien und plane Flächen**



**a**

Leonardos Zeichnung<sup>100</sup>:

**a** „ e questa tal pariete sia **d e** nella qual si figuran 3 circoli equali che son doppo esso **d e**, cioè li circoli **a b c**; ora tu vedi che l'occhio **h** vede sulla pariete retti linia li tagli delle spetie maggiori nelle maggiori distantie o minori nelle vicine<sup>101</sup>. »

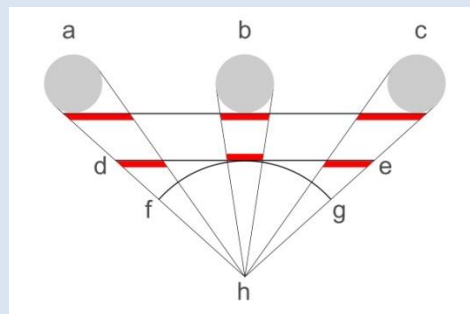
„... und diese Wand sei **d-e**, auf der drei gleich grosse Kreise dargestellt sind, die hinter **d-e** liegen, d.h. die Kreise **a-b-c**. Nun siehst du, dass das Auge **h** auf der flachen Ebene die Schnitte der Bilder grösser sieht in grösserer Ferne und kleiner in der Nähe“.

<sup>99</sup> Richter, S. 272

<sup>100</sup> Beachte die inverse Folge der Buchstaben von rechts nach links, was man als Folge der Spiegelschrift Leonardos interpretieren könnte. Die Buchstaben selbst sind aber regelrecht geschrieben.

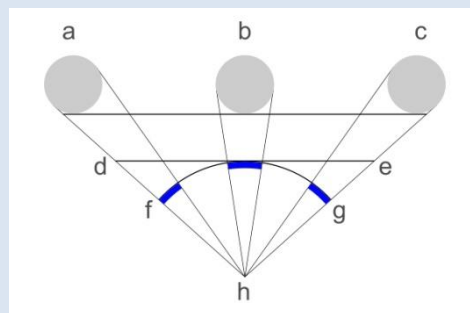
<sup>101</sup> Richter, S. 63

Analyse der Zeichnung



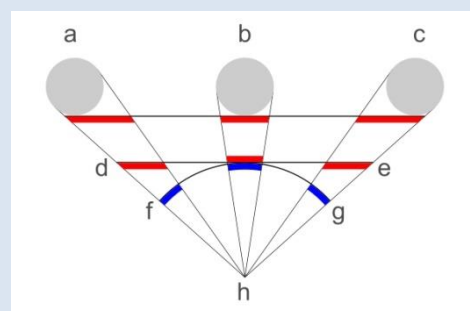
**b**

**b** Mit zunehmendem Abstand von der Mittelachse werden die Projektionen auf die *Horizontalen* grösser, d.h. das Gegenteil von dem, was man auf Grund der Verkürzungsregel erwarten würde.



**c**

**c** Für den *Kreis* mit dem Mittelpunkt im Auge werden die *lateralen* Sehwinkel schmäler, da wir die Säulen in grösserem Abstand sehen.

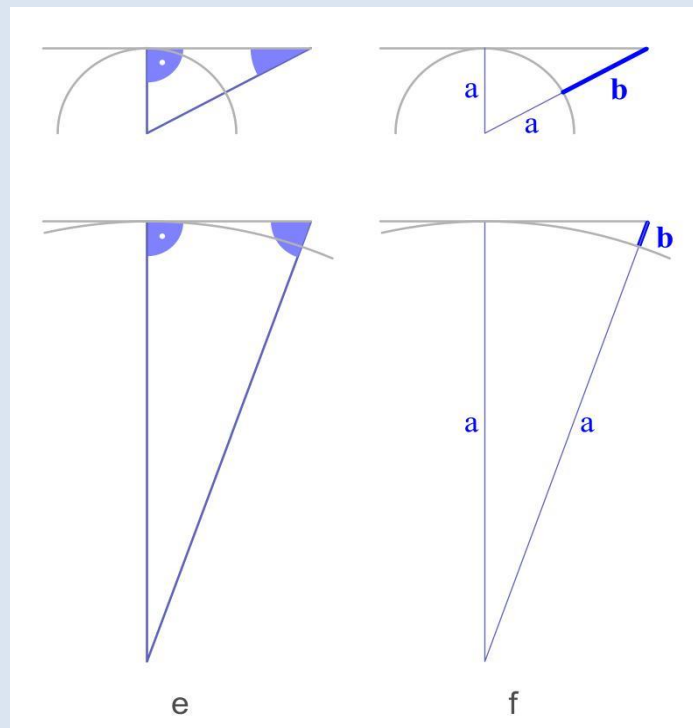


**d**

**d** Das scheinbare Paradox Leonardos in einem einzigen Schema vereint.

*Der Einfluss des Abstandes*

Am kürzesten ist – bei gegebenen geometrischen Bedingungen - der Abstand vom Auge zu einem Objekt, wenn die Blickachse senkrecht auf seine Oberfläche trifft. Seitlich davon wird der Abstand grösser und so sieht man dort die Objekte unter kleinerem Einfallswinkel und in verminderter Grösse.



**e Verzerrungen:** Wenn Gerade vom Kreismittelpunkt zur horizontalen Tangente ziehen, verkleinern sich lateralwärts die Einfallswinkel. Verlängert man den Abstand (*unten*), reduzieren sich die Differenzen der Winkelunterschiede und deren verzerrenden Störeffekte.

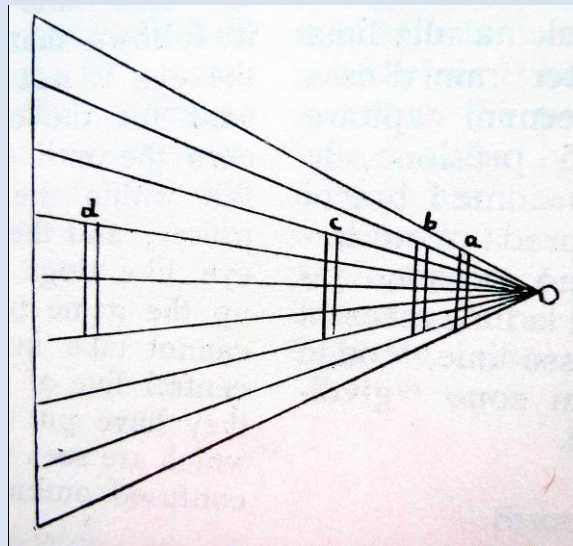
**f Verkleinerungen:** Gerade, welche die Horizontale nicht rechtwinklig treffen, sind länger als der Radius **a**, nämlich **a + b**. Vergrössert man den Kreisradius (*unten*) verringert sich die Längendifferenz **b** und dadurch auch das Ausmass der Verkleinerungen.

## Andere geometrische Probleme

Im gleichen forschenden Geist, mit dem Leonardo das Licht und seine Rolle bei der Entstehung von Bildern analysierte, ging er den geometrischen Problemen auf den Grund. Immer versuchte er, Beobachtetes rational zu begründen. Für uns sind seine Überlegungen noch immer nachvollziehbar, auch wenn wir auf Grund heutiger Erkenntnisse die Phänomene anders erklären (siehe einige Beispiele im **Exkurs 6.12**).

### Exkurs 6.12: Leonardos Beschreibungen von wissenschaftlichen Beobachtungen, und wie man diese heute interpretieren würde

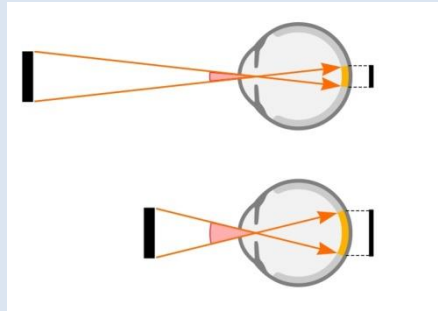
*Warum nehmen wir Entferntes kleiner wahr als Nahes?*



a

**a** Leonardo<sup>102</sup>: «*infra le cose d'equal grandezza quella che sarà piv distante dall'ochio si dimonstrerà di minore figura*». Der Text stellt lediglich fest, dass Fernes kleiner ist als Nahes und gibt keine weitere Erklärung. Aus der Zeichnung geht aber hervor, dass für Leonardo Entferntes deshalb kleiner erscheint, weil von ihm weniger Lichtstrahlen ins Auge gelangen.

<sup>102</sup> Richter S. 58

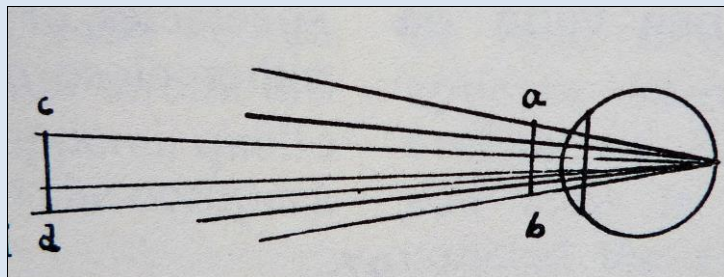


**b** *Moderne Auffassung (Wiederholung der Abb. 4.3):*

Entfernte Objekte werden unter kleineren Winkeln gesehen als nahe und erzeugen deshalb ein kleineres Bild auf der Netzhaut des Auges (*oben*) als nahe Objekte (*unten*).

\*\*\*

**Warum sehen wir bei nahen Objekten die Randgebiete unscharf?**

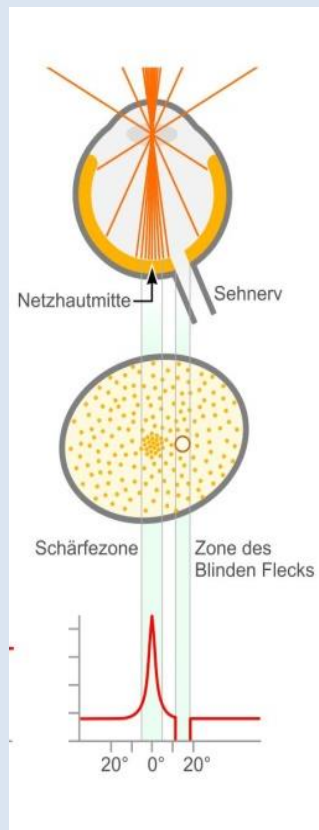


**c**

**c** *Leonardo*: Objekte, die sich nahe am Auge befinden, erscheinen zu konfus, um als Ganzes klar erkannt zu werden: „...la ragion si è che l'occhio fa una linia maestra la quale per distantia igrossa... quando le cose si trovano piv lontane dal centro in essa circulatione sono meno potenti a cognoscere il vero;“<sup>103</sup>

Der Grund ist, dass das Auge eine Hauptlinie aufweist, die sich mit zunehmendem Abstand verbreitert... Wenn die Objekte weiter entfernt sind vom Zentrum dieser Zone, sind sie weniger fähig, das Richtige zu erkennen.

<sup>103</sup> Richter S. 57



d

**d** *Moderne Auffassung (Wiederholung aus Exkurs 2.2 und Abb. 2.16):*

Nicht die Dichte der einfallenden Lichtstrahlen, sondern die Dichte der *Sinneszellen* in der Netzhaut ist massgebend für das Gefühl eines „Zentralstrahls“. Die höchste Dichte hat das Zentralfeld der Netzhaut.

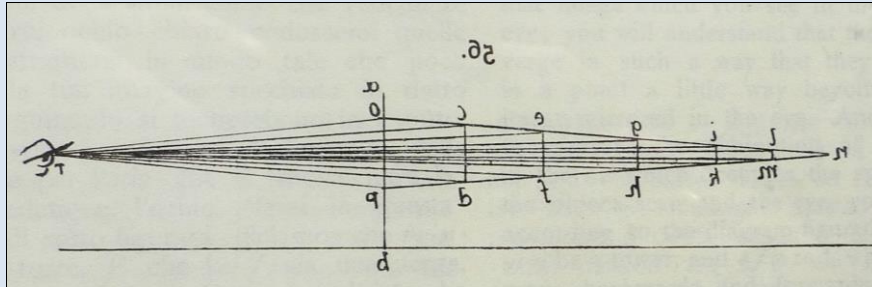


Im Gesichtsfeld wird deshalb nur die Mitte scharf gesehen, das Umfeld hingegen erscheint unscharf.



\*\*\*

### Wie koexistieren Augspunkt und Diminutionspunkt?



e

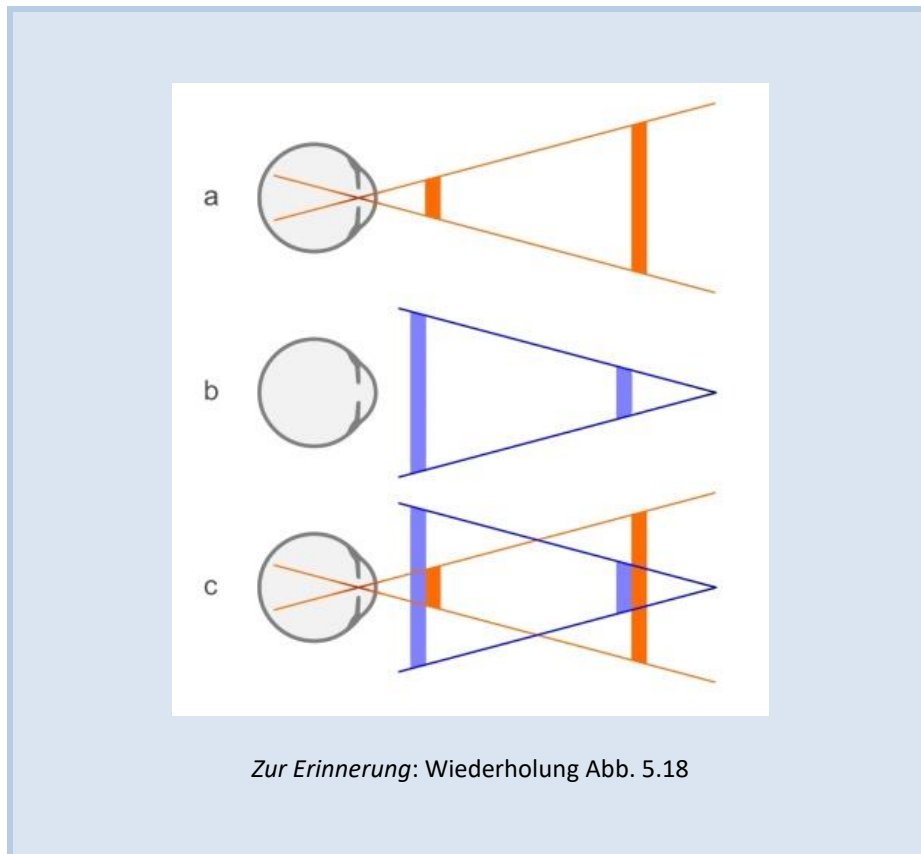
e Leonardo: *...l'ochio à in sè quello punto in quale si dirizano e congivngono tutte le piramidi che portano le spetie deli obietti all ochio; E questo punto sempre si diriza col punto della diminvtione il quale appare nel fine delle cose vedute; e dalla base della prima piramide insino al punto della diminvtione non si trova se non base senza piramidi le quali sempre diminviscono insino a esso punto;...*<sup>104</sup>

*...das Auge hat in sich denjenigen Punkt, gegen den alle Pyramiden konvergieren, welche die Bilder der Objekte ins Auge bringen; Und dieser Punkt richtet sich immer aus zum Punkt der Verkleinerung, der am Ende der sichtbaren Dinge erscheint; und von der Basis der ersten Pyramide bis zum Verkleinerungspunkt befinden sich nur Basen ohne Pyramiden, die sich immer mehr verkleinern bis zu eben diesem Punkt...*

Leonardo stellt in seiner Zeichnung dar, wie zwei entgegengesetzte Konvergenzen Verschiedenes repräsentieren, nämlich zum einen Strahlen, zum anderen Querschnitte. In dieser Schrift beschreibe ich das, was Leonardo in seinem Entwurf zeigt, als *bipolare Konvergenzen* und unterscheide die Strahlengänge farblich: Nahkonvergenz rot, Fernkonvergenz blau.

(siehe die Wiederholung der **Abb. 5.18**)

<sup>104</sup> Richter S. 35



Wenn man das Werk Leonardos überblickt, sei es sein Gesamtwerk, seien es auch nur die Schriften zur Malerei, wird wohl jedermann den Reichtum an Ideen, die Sorgfalt der Beobachtungen und die Qualität der Analysen bewundern und der Aussage beistimmen, dass er ein Genie war. Er war ein hervorragender Beobachter und Theoretiker. Einen Einfluss auf die Eroberung des Raumes hatte er aber kaum, weil er, aus welchen Gründen auch immer, den Zeitgenossen den Zugang zu seinen Errungenschaften versperrt hielt. Wie oben erwähnt, hatte er sein Werk in schwer entzifferbarer Schrift verfasst und die Notizen zur Malerei unsystematisch verteilt, sodass man sich fragt, ob er überhaupt wollte, dass man sie lese.

Erst in neuerer Zeit gelang es, sein Werk zu editieren und für einen weiten Interessentenkreis lesbar zu machen. Eine spannende Lektüre, die den Intellekt des Lesers fordert.

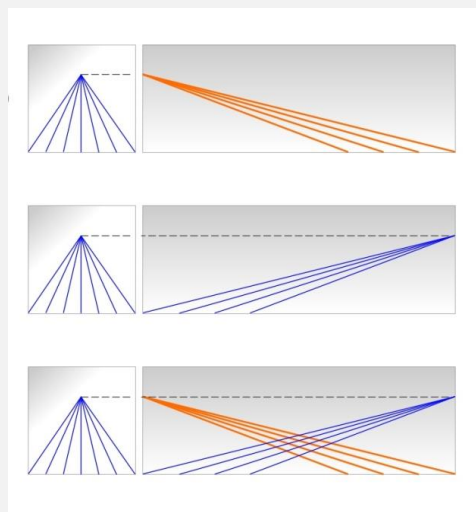
## Die Dualität der Konvergenzpunkte im Frontalriss

Aus den bisherigen Ausführungen geht hervor, dass in einem Frontalriss der Konvergenzpunkt sowohl Augspunkt als auch Fernpunkt sein kann. Allein auf Grund eines Frontalrisses kann man deshalb nicht entscheiden, was ein Konvergenzpunkt bedeutet. So entstanden Theorien, wonach er ein und dasselbe sei, eine *Einheit in der Dualität*, die Einheit des Sehenden mit dem Gesehenen, die Einheit des ICHs mit der Welt. Das Thema ist bis heute Anlass zu ausgedehnten Debatten unter Philosophen, Psychologen, Kunstwissenschaftlern, visuellen Wissenschaftlern etc.

Wer auch immer sich mit solchen Fragen beschäftigt, sollte sich stets im Klaren sein, dass die Dualität<sup>105</sup> der Konvergenzpunkte im Frontalriss einfach das Produkt der Konstruktion von Seitenrissen nach dem Modell Alberti / Ivins ist (**Abb. 6.29**). Weitere Aspekte dieses Problems werde ich in den folgenden Kapiteln behandeln.

**Abb. 6.29: Frontal- und Seitenrisse**

*Wiederholung eines Ausschnittes aus der **Abb. 6.12***



Der Frontalriss ist sowohl bei Nahkonvergenz als auch bei Fernkonvergenz gleich: Dualität der Konvergenzpunkte.

<sup>105</sup> *Beachte:* Die *Dualität* ist ein reines Element der Konstruktion, indem sie Aufrisse in einem Schema repräsentiert - im Gegensatz zur *Bipolarität*, in der die Konvergenzen einerseits physikalische und andererseits physiologische Phänomene sind.

## Die weitere Entwicklung

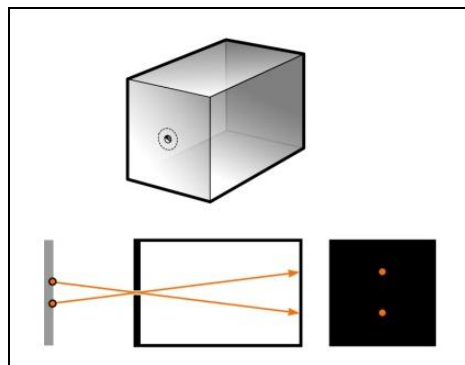
Nachdem sich die handwerklichen Regeln einmal etabliert hatten, kam nichts grundsätzlich Neues hinzu. Die weitere Entwicklung fand auf dem Gebiet der *Mathematik* statt. Sie kulminierte im Werk von Girard Desargues „Brouillon projet d'une atteinte aux évènements des rencontres du cone avec un plan“ (1639), das als Grundlage der Darstellenden Geometrie gilt.

### Grenzen der Konstruierten Perspektive

Die Konstruierte Perspektive basiert auf einem streng fixierten Standort und einer streng fixierten Blickrichtung. Ein passendes Modell ist die Lochkamera, die man schon seit der Antike kannte und an der Griechen, Araber und Gelehrte des Mittelalters ihre Experimente zur Optik durchführten. Auch für die Entwicklung der perspektivischen Theorien in der Renaissance waren die Erkenntnisse, die man von einer Lochkamera gewann, massgebend.

#### Lochkamera als Modellvorstellung des Sehprozesses

Fixierter Standort und fixierte Blickrichtung



Wiederholung der Abb. 2.6

Diese Art von Optik jedoch hat ihre Grenzen, denn:

*So nehmen wir nicht wahr*

# 7 Beobachtete Perspektive

## **Bewegtes Sehen**

### **Das Blickbündel**

*Die Achse des Blickbündels*

*Die Spitze des Blickbündels: Der Fernkonvergenzpunkt*

*Bewegungsmuster des Blickbündels*

*Horizontale vs. vertikale Blickbewegungen*

*Der Horizont*

## **Der gekrümmte Raum**

### **Verzerrungen und Anamorphosen**

### **„Beschleunigte“/„forcierte“ Perspektive**

### **Fester Standort vs. Bewegung**

### **Konstruierte vs. beobachtete Perspektive**

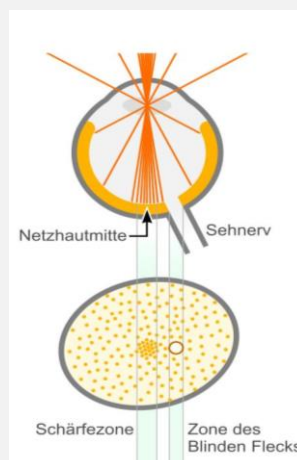
## Bewegtes Sehen

Die beobachtete Perspektive unterscheidet sich von der konstruierten Perspektive dadurch, dass der Mensch einbezogen wird. Sie beschäftigt sich mit der Frage, wie ein geometrisch konstruierter Raum die Wege der Informationsverarbeitung im Visuellen System passiert und – gewissermassen gefiltert – im ICH wahrgenommen wird.

Für das Visuelle System ist der Raum nicht homogen, da wir – wie früher beschrieben - nur im Zentralfeld der Netzhaut scharf sehen (**Abb. 7.1**).

**Abb. 7.1: Sehschärfe im Zentralfeld der Netzhaut**

(Zur Erinnerung: Wiederholung der **Abb. 2.12**)



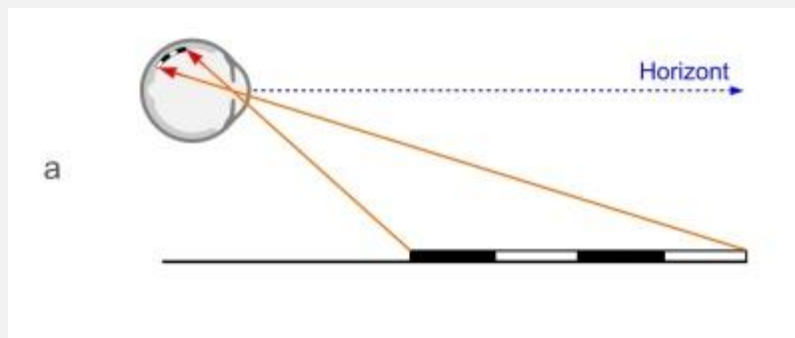
In der Netzhautmitte stehen die Sehzellen, in denen einfallende Lichtstrahlen einen Impuls auslösen, dicht beieinander, und dort resultiert eine hohe Sehschärfe. In der Peripherie werden die Abstände zwischen den Sehzellen zunehmend grösser, und die Sehschärfe sinkt.

Die Pioniere der Perspektive in der Renaissance gingen davon aus, dass das Auge den ganzen Raum in gleicher Schärfe wahrnimmt, wenn es unbewegt horizontal in die Ferne blickt (**Abb. 7.2a**). Allein, das Sehen mit unbewegtem Auge beruht auf einer falschen Vorstellung<sup>106</sup>. Wir sehen, indem wir die Augen stetig bewegen, oder pointierter formuliert: Wir sehen *nur*, wenn wir die Augen bewegen<sup>107</sup> (**Abb. 7.2b**).

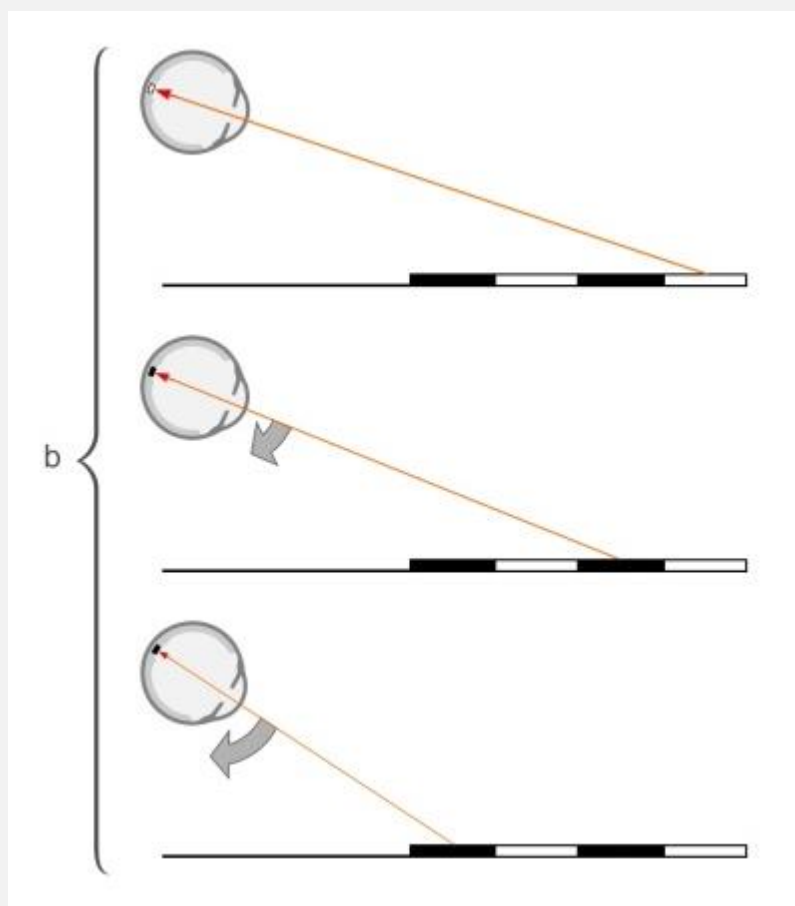
<sup>106</sup> Einen fixierten Blick setzt man nur in der Vermessungstechnik ein, wo er essentiell für gute Resultate ist

<sup>107</sup> Neben den hier diskutierten Bewegungen gibt es noch Mikrosakkaden, die für das Sehen unentbehrlich sind, da sie die Lokaladaptation austricksen. Ihre Darstellung überschreitet jedoch den Rahmen meines Themas (für Details siehe Internet unter „Sakkaden, Mikrosakkaden“)

**Abb. 7.2: Statisches und bewegtes Auge**



**a** Vorstellung des *statischen Auges*: Der Beobachter blickt geradeaus, zum „Horizont“ auf Augenhöhe. Die Lichtstrahlen vom Grundrissmuster (Schachbrett) werden simultan über die ganze Netzhaut verteilt (Kreuzungspunkt: Pupille).

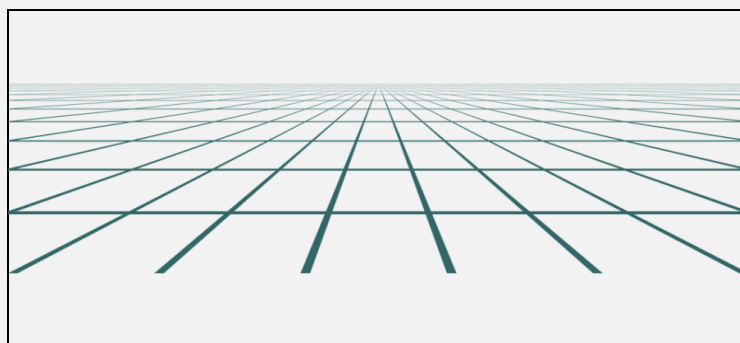
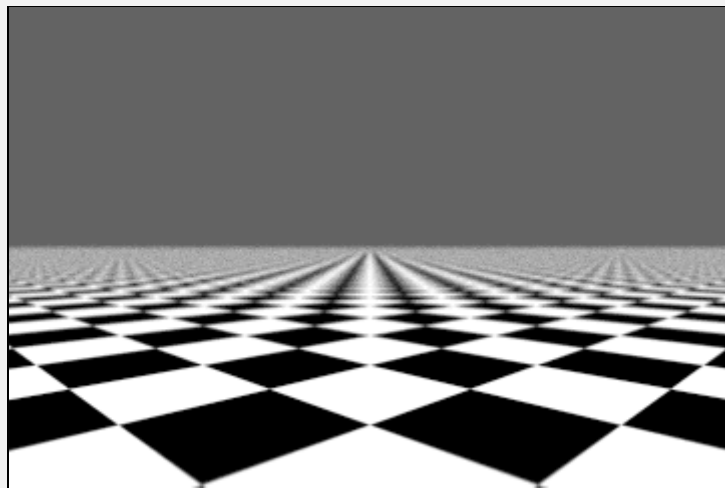
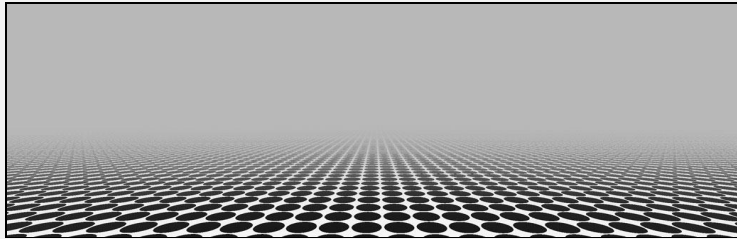


**b** *Bewegtes Auge*: In der Realität werden die Augen bewegt, bis das Zentralfeld alle Stellen des Interesses erfasst hat (Drehpunkt: Mittelpunkt des Auges).



Jede Blickrichtung hat ihre eigene Perspektive, und daraus folgt, dass wir die Welt in unendlich vielen unterschiedlichen Perspektiven sehen (**Abb. 7.3**). Da wir uns dessen aber nicht bewusst werden, liegt die Hypothese nahe, dass es im Visuellen System Programme gibt, die die multiplen sukzessiven Perspektiven *zeitlich* und *räumlich* zu einem *Ganzen* kombinieren.

**Abb. 7.3: Multiple Perspektiven**



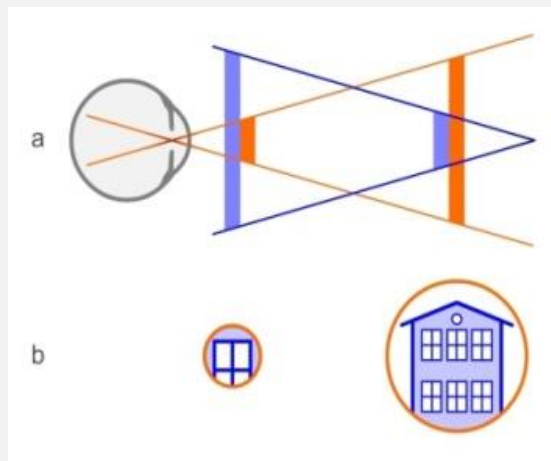
Variationen von Computergrafiken, die zeigen, wie in vielen Blickrichtungen perspektivische Ansichten entstehen.

Beobachtete Perspektive ist demnach *bewegte* Perspektive. Was dabei bewegt wird, ist das Blickbündel.

## Das Blickbündel

Das Blickbündel enthält beide Komponenten der bipolaren Konvergenzen. Dabei kommt es jedoch zu einem Paradoxon: Mit zunehmendem Abstand vom Auge werden bestimmte Parameter grösser und gleichzeitig kleiner (**Abb. 7.4**).

**Abb. 7.4:** Das „Paradox des bipolaren Blickbündels“



**a** Bipolare Anordnung durch Überlagerung der beiden Konvergenzsysteme (Wiederholung der **Abb. 5.18c**).

**b** Das „Paradox“, wie wir es - unbewusst - im Alltag erfahren: In der Nähe ist das Gesichtsfeld klein, die darin enthaltenen Objekte erscheinen gross. In der Ferne hingegen wird das Gesichtsfeld grösser, und die Objekte sehen wir kleiner<sup>108</sup>.

Die *nahkonvergente* Komponente ist aufgebaut aus *realen* Lichtstrahlen. Diese transportieren die visuellen Informationen und vereinigen sie in der Mitte der Pupille an einem einzigen Ort (der somit als Punkt alle Informationen enthält!). Von dort ziehen die Lichtstrahlen, nunmehr *divergent*, weiter bis zur Netzhaut, wo sie absorbiert werden.

Die *fernkonvergente* Komponente hingegen besteht aus *imaginären* Linien, die im Konvergenzpunkt zusammen treffen und dort enden. Hier handelt es sich nicht um physikalische Realitäten, sondern vielmehr um imaginierte Verbindungslinien als mentale Hilfsmittel zur gesetzmässigen Verkleinerung von Objekten.

<sup>108</sup> Mit einem ähnlichen Phänomen sind die Fotografen vertraut. Es hat jedoch andere Ursachen, was daran ersichtlich ist, dass in der Fotografie das Gesichtsfeld immer gleich gross ist – im Gegensatz zu Abb. 7.4. Es geht hier allein darum, was in den Bildrahmen hinein passt, d.h., um Vergrösserungseffekte. Bei starker Vergrösserung ist es wenig, aber gross, bei kleiner Vergrösserung hingegen klein, aber viel.

Die Hilfslinien übermitteln keine Informationen und auch ihr Konvergenzpunkt enthält keinerlei Information. Sie sind reine Konstruktionen unseres Gehirns.

Obwohl grundsätzlich verschieden, haben Nah- und Fernkonvergenzen eines gemeinsam: Ihre Endpunkte liegen beide auf ein und derselben Sehachse. Sie existieren simultan und agieren simultan.

### *Die Achse des Blickbündels*

Betrachtet man allein die *Blickrichtung*, lässt sich das Blickbündel auf eine einzige Linie reduzieren, die Blickachse. Diese zieht als imaginäre Gerade vom Zentrum des Schärfefeldes in der Netzhautmitte durch die Mitte der Pupille in die Ferne. Sie endet, wo sie auf ein undurchsichtiges Hindernis trifft und wird dort zum Blickpunkt.

Diese Blickachse wird subjektiv als Vertreter des Blickes, den man auf etwas wirft, empfunden. Sie wurde - wie bereits erwähnt - schon von den Pionieren der Perspektive mit besonders ehrenvollen Begriffen ausgezeichnet, wie z.B. der Razzo Centrico als „Dux“ oder als „Princeps“ bei Alberti.

Die Blickachse ist kein physikalisch existenter Lichtstrahl. Sie ist ein geistiges Konstrukt im Visuellen System, das auf der Konzentration der Lichtempfindung in der *Netzhautmitte* beruht.

### *Die Spitze des Blickbündels: Der Fernkonvergenzpunkt*

Der Fernkonvergenzpunkt des bipolaren Blickbündels tritt, je nach Kontext, unter verschiedenen Bezeichnungen auf, wie z.B.:

1. Spitze der ferngerichteten Pyramide (in der konstruierten Perspektive)
2. Blickpunkt (in der beobachteten Perspektive)
3. Nullpunkt (in der Theorie),
4. Fluchtpunkt (in der gemalten Perspektive)
5. Ferner auch: punto centrico, punctum diminutionis, point principal, vanishing point, etc.

In der *Mathematik* treffen sich Parallelen an einem Punkt im Unendlichen. So weit jedoch reicht unser Sehvermögen nicht. Innerhalb unseres Sehbereichs bleiben Parallelen parallel, d.h. wir müssten eigentlich unsere Umgebung parallelperspektivisch wahrnehmen. Dass dem so nicht ist, beruht auf der Arbeitsweise des *Visuellen Systems*, in dem das Intervall zwischen den Parallelen mit zunehmender Distanz immer kleiner erscheint, bis es nur noch zu einem Punkt („Null“) wird.

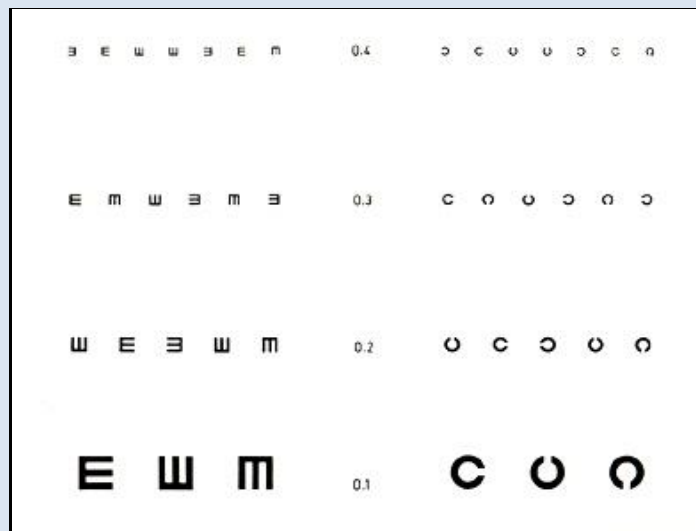
Nah- und Fernkonvergenzpunkt sind miteinander verbunden durch die Blickachse<sup>109</sup>. Daraus folgt für die Beobachtete Perspektive eine neue *Definition* der beiden Konvergenzpunkte: Nah- und Fernpunkt (Aug - und Fluchtpunkt) sind die Enden der Blickachse. Während der Nahpunkt im Auge des Beobachters liegt, bewegt sich der Fernpunkt mit jedem Blick. Sein Abstand vom Auge ist keine feste Grösse, sondern hängt ab von der *Sehschärfe* des Beobachters einerseits und von der Grösse des *Intervalls* zwischen den Parallelen andererseits.

Die *Sehschärfe* wird definiert als Fähigkeit, nahe beieinander liegende Punkte als getrennte Punkt zu sehen<sup>110</sup> (siehe **Exkurs 7.1**). Daraus folgt, dass eine *Verbesserung der Sehschärfe* den Fernkonvergenzpunkt weiter in die Ferne hinaus verlagert (siehe **Selbstversuch 7.1**).

**Exkurs 7.1: Sehschärfe (Auflösungsvermögen des Auges)**

Zwei getrennte Punkte kommen mit zunehmendem Abstand vom Auge einander immer näher, bis man sie schliesslich nicht mehr voneinander unterscheiden kann.

Tafel zur Prüfung der Sehschärfe:



Geprüft wird, welche Zeichen wir gerade noch identifizieren können, d.h. wie klein die Zwischenräume sind, die wir sehen.

<sup>109</sup> Um es zu betonen: Die unter verschiedenen Namen auftretenden Konvergenzpunkte – Nahpunkt, Fernpunkt, Augspunkt, Fluchtpunkt, etc. und insbesondere ihre Einheit in der Gegensätzlichkeit - werden in der Literatur kontrovers diskutiert. In der Beobachteten Perspektive aber sind sie die Enden der Blickachse und haben keine anderen Bedeutungen

<sup>110</sup> Die Sehschärfe der Augen wird in Seh winkeln ausgedrückt und beträgt in normalen Augen 0,5 – 1,0 Bogenminuten (ca. 1 mm gesehen in 3 - 6 Metern).

**Selbstversuch 7.1: Einfluss der Sehschärfe auf die Position des Fernkonvergenzpunktes**

Man stelle sich an einen Ort, von dem parallele Geraden in die Ferne ziehen (Autobahnbrücke, Bahngleise, Kanal) und registriere die Position des Fernkonvergenzpunktes anhand von Merkmalen in seiner Umgebung.

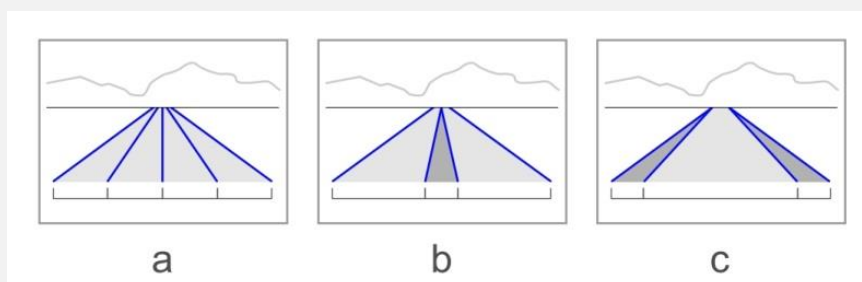
*Versuch 1:* Man betrachte die Szene von blossem Auge und dann mit einem Fernglas und vergleiche die Positionen des Fernkonvergenzpunktes.

*Versuch 2:* Man fotografiere die Szene mit normaler Ferneinstellung und dann noch einmal mit vergrößerndem Zoom.

*Resultat:* Je stärker die Vergrößerung, desto entfernter wird der Fernkonvergenzpunkt erscheinen.

Die *Grösse des Abstandes* zwischen den Parallelen ist der zweite Faktor, der die Lage des Fernkonvergenzpunktes bestimmt. Bei grossen Intervallen erscheint dieser weiter entfernt als bei kleinen, und daraus folgt, dass nicht alle tiefengerichteten Parallelen auf einen einzigen Nullpunkt hinstreben. Von ein und demselben Standpunkt aus gesehen, konvergieren weit auseinander liegende Parallelen auf einen fernerer Nullpunkt als nahe beieinander liegende Parallelen (**Abb. 7.5** und **Abb. 7.6**).

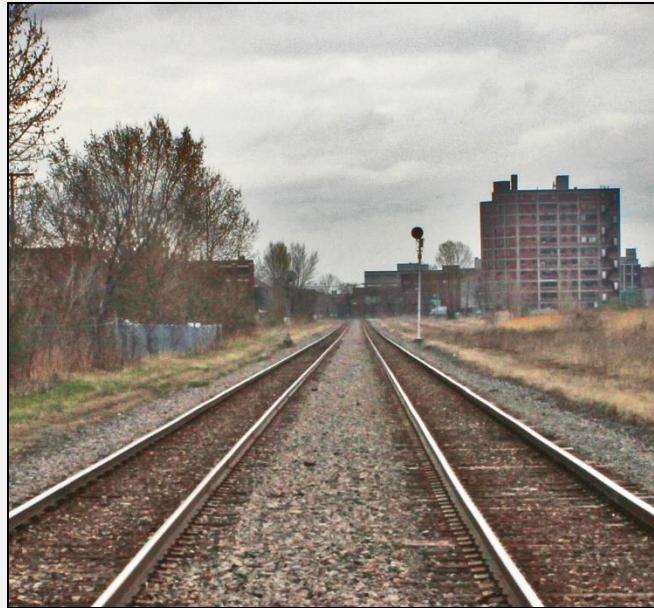
**Abb. 7.5: Position des Fernkonvergenzpunktes in Abhängigkeit vom Abstand der Parallelen**



**a** Bei gleichen Abständen zwischen den Parallelen liegt für alle der Konvergenzpunkt am gleichen Ort.

**b und c** Bei schmäleren liegt der Konvergenzpunkt näher als bei breiten Intervallen.

**Abb. 7.6: Beispiele für unterschiedliche Konvergenzpunkte**



**a**

**a** Die Geleise haben ein kleineres Intervall als die Schotterzone in ihrer Mitte und treffen deshalb früher an einem Punkt zusammen (siehe **Abb. 7.5c**).



**b**

**b** *Strasse in Ägypten*: Gleiches Phänomen wie in **a**: Während die schmalen Seitenbänder bereits am ihrem Fernkonvergenzpunkt ankommen, führen die Parallelen der Strasse noch weiter.

Der Fernkonvergenzpunkt ist als Teil des imaginären Blickbündels ebenfalls imaginär. In der Realität treffen die Parallelen nirgends zusammen. Wenn wir auf einer geradlinigen Strasse fahren, so wandert der Fernkonvergenzpunkt stetig vor uns her, und an keiner Stelle repräsentiert er eine Verengung, die uns blockiert (siehe **Exkurs 7.2**).

### Exkurs 7.2: Eine geschlossene Allee?



Zwei Bewohner mit mentalem Handicap versuchen aus einer psychiatrischen Einrichtung zu fliehen. Sie haben es bis zum Portal geschafft, bis zur Allee, die in die Freiheit führt. Da sagt der eine zum andern: „Du, wir geben auf. Da vorne stehen die Bäume so dicht, da kommen wir niemals durch!“.

Diese Geschichte, einst als Witz erzählt (heute gewiss verpönt!) zeigt eine Wahrheit: Die beiden Bewohner sind keineswegs dumm, sondern reagieren einfach unvoreingenommen. Denn die Frage ist berechtigt: Woher können wir wissen, dass eine Allee an ihrem Ende genau so breit ist wie am Anfang?

Der Fernkonvergenzpunkt entsteht nicht in der Umwelt, sondern - da abhängig von der Sehschärfe - im Visuellen System.

### *Bewegungsmuster des Blickbündels*

In der beobachteten Perspektive gleitet das Blickbündel bei jeder Augenbewegung von einem Ort des Interesses zum nächsten. Was angesteuert werden soll, bestimmt das Visuelle System / ICH.

Die *schnellen* Bewegungen (Sakkaden) verlaufen geradlinig zwischen den Fixierpunkten, sind nicht dem Willen unterstellt und bleiben unbewusst (**siehe Exkurs 7.3**). Demgegenüber sind die *langsam gleitenden* Bewegungen, welche Konturen und Mustern folgen, von unserem ICH gesteuert, folgen einer Absicht und werden uns bewusst.



### Exkurs 7.3: Experimentelle Untersuchungen von Fixierpunkten und Augenbewegungen

Bei Blickbewegungen unterscheidet man zum einen die *Fixierpunkte*, an denen der Blick innehält, und zum anderen die *Bewegungen* vom einen Fixierpunkt zum anderen.

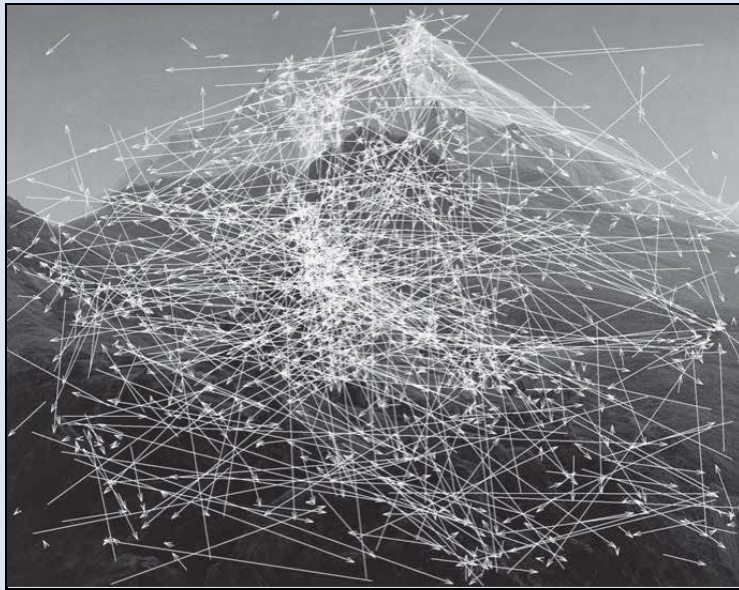
In Experimenten untersuchten *Rosenberg et al.* 20 Versuchspersonen mit einem Eyetracker, der die Fixierpunkte und Augenbewegungen während 2 Minuten registrierte. Mit statistischen Methoden errechneten sie dann die Bewegungslinien, die das Gehirn bevorzugte.



Caspar David Friedrich: *Der Watzmann* 1824-25



Aufzeichnung der Fixierpunkte mit einem Eyetracker



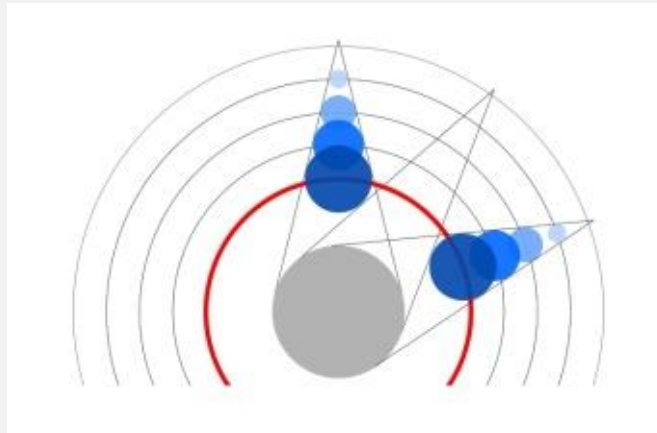
Aufzeichnung der Blickbewegungen



Errechnung der bevorzugten Augenbewegungen

Alle Blickbewegungen haben ein gemeinsames Bewegungsmuster, denn ein Blickbündel dreht sich immer um den Mittelpunkt des Auges. Alle Orte in *gleichem Abstand* bewegen sich auf einer Kugeloberfläche, resp. auf einem Kreis mit *gleichem Verkleinerungsgrad* (Äquidiminationskreis **Abb. 7.7**). Daraus folgt, dass alle Stellen, die nicht auf dem gleichen Äquidiminationskreis liegen, in unterschiedlichem Ausmass verkleinert werden (**Abb. 7.8**).

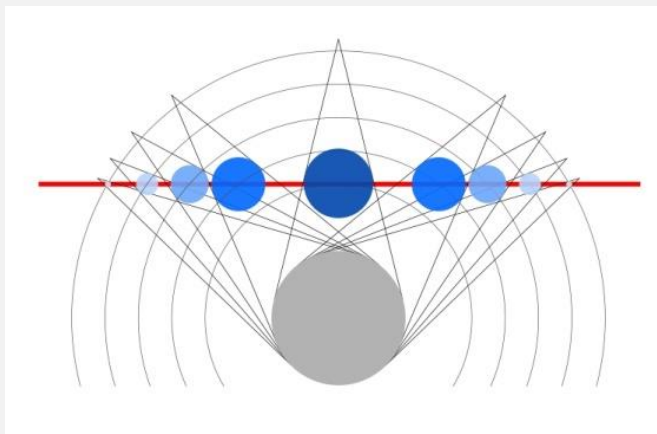
**Abb. 7.7: Bewegungen des Blickbündels bei Augenrotation**



Äquidiminationskreise:

Objekte im fernkonvergenten Bündel, die im gleichen Abstand vom Auge stehen, werden in gleichem Ausmass verkleinert. Sie liegen auf einem Kreis mit Mittelpunkt im Drehpunkt des Auges.

**Abb. 7.8: Verkleinerungseffekte quer zu den Diminutionskreisen**



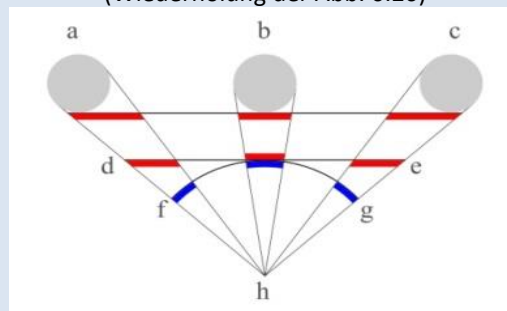
Querlinie:

Legt man quer durch die Kreise eine Gerade, so erscheinen die darauf liegenden Objekte, je weiter sie sich von der Mittelachse entfernen, desto kleiner.

Die Bewegungsmuster sehen auf Anhieb ähnlich aus wie das früher beschriebene Schema von Leonardo da Vinci, bei dem es ebenfalls um die Beziehungen von Geraden und Kreisen um den Augenmittelpunkt ging (siehe **Exkurs 7.4**).

**Exkurs 7.4: „Leonardos Paradox“:**

(Wiederholung der Abb. 6.26)



Leonardo geht in seinem Schema von drei Säulen aus, die auf einer Geraden liegen: **a,b,c**

Mit zunehmendem Seitenabstand wird das, was auf die horizontalen Geraden projiziert wird (d.h., was wir *konstruieren*) breiter.

Das auf den Kreis um den Drehpunkt des Auges Projizierte (d.h. was wir *sehen*) hingegen erscheint schmaler, da wir die Säulen in grösserem Abstand kleiner sehen.

Der Ansatz ist aber verschieden. Leonardo ging von der *Konstruierten* Perspektive aus mit unbewegtem Auge und fixiertem Blick. Er entwickelte sein Schema von *Objekten* her und zeigte deren Projektion mittels *nahkonvergenter* Pyramiden ins Auge.

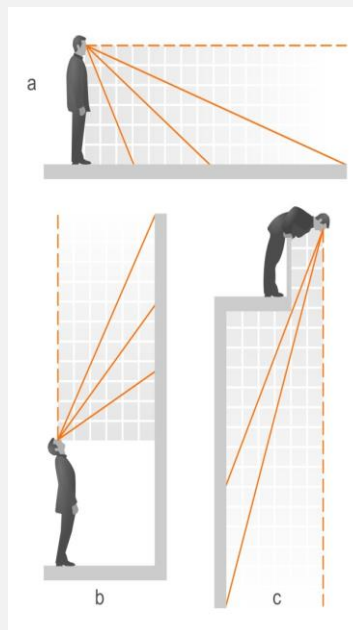
Das Bewegungsschema des Blickbündels hingegen betrifft die *Beobachtete* Perspektive. Es geht vom *Auge* aus und zeigt das Verhalten von *fernkonvergenter* Pyramiden.

### *Horizontale vs. Vertikale Perspektiven*

Wenn die Bewegungen des Blickbündels auch Bewegungen des Kopfes und des Körpers einbeziehen, gelangen Feedbacks nicht nur von den Augen, sondern auch solche von der Körpermuskulatur und vom Gleichgewichtsorgan ins Gehirn. Dadurch werden weitere Programme aktiviert und beeinflussen unsere Wahrnehmung.

Im Gegensatz zu den geometrischen Konstruktionsbedingungen (→ Aussenwelt), die bei Änderungen der Kopf- und Körperhaltung unverändert bleiben, verändert sich bei solchen Veränderungen die Empfindung des Raumes (→ Innenwelt) (**Abb. 7.9**). Die Wahrnehmung des Raumes hängt somit nicht nur von dessen Geometrie ab, sondern auch von den Feedbacks, die aus unserem Körper ins Gehirn gelangen.

**Abb. 7.9: Horizontale und vertikale Perspektiven**



**a** *Waagrechte* Perspektive: Aufrechte Haltung, Geradeausblick, Grundriss liegt horizontal

**b** *Senkrechte* Perspektive: Aufwärtsblick, Grundriss steht vertikal

**c** *Senkrechte* Perspektive: Abwärtsblick, Grundriss steht vertikal

In allen Blickrichtungen drehen sich die geometrischen Koordinatensysteme (schattiert) mit, d.h. die perspektivischen *Konstruktionsbedingungen* bleiben sich gleich.

Bei horizontalen Perspektiven entspricht die Empfindung des Raumes unseren Gewohnheiten.

Anders hingegen bei den vertikalen Perspektiven. Hier löst eine Kopfwendung nach oben oder unten unerwartete Sensationen aus (**Abb. 7.10**).

Beim *Aufwärtsblick*: Wenn wir nahe an einer hohen Wand, einem Wolkenkratzer oder einer steilen Bergfluh stehen, so kann dies auf uns bedrohlich wirken.

Beim *Abwärtsblick*: Wenn man von einem Turm oder einer Bergfluh nach unten blickt, kann man sich unbehaglich fühlen, und das mag so weit gehen, dass man schwindlig wird.



**Abb. 7.10: Vertikale Perspektiven**

In beiden Abbildungen sind die perspektivischen Verkürzungen gleich<sup>111</sup>.



**a**

**a Aufwärtsperspektive:** Die konvergenten Fluchtlinien treffen sich im All (oder anders ausgedrückt: im „Nichts“), wo alle Zusatzinformationen fehlen.



**b**

**b Abwärtsperspektive:** Blickt man von einem hohen Standort nach unten, streben die Fluchtlinien in die Tiefe und enden auf dem Boden. *Beachte:* Die Raumempfindung ist ungewohnt.

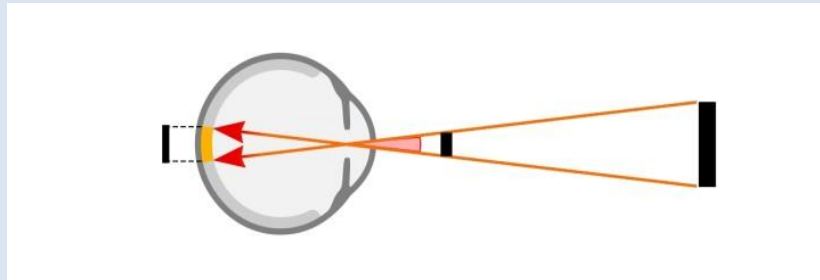
-----  
In einem *Selbstversuch* drucke man die beiden Bilder aus, hebe sie einmal nach oben und sehe sie im Aufwärtsblick an, wiederhole dann dieselbe Prozedur beim Blick nach unten. Wie unterscheiden sich die Raumempfindungen?

<sup>111</sup> Bild **a** ist dasselbe wie **b**, jedoch bearbeitet vom Autor

Dies ist seltsam, und es stellt sich die Frage: Worauf beruht die räumliche Unsicherheit bei Vertikalperspektive? Einer der Gründe könnte sein, dass die Grössenkonstanz (siehe **Exkurs 7.5**) in verschiedenen Körperhaltungen variiert.

#### Exkurs 7.5: Grössenkonstanz

Wie früher beschrieben, versteht man unter dem Begriff Grössenkonstanz die Fähigkeit, Objekte - unabhängig vom Abstand - in richtiger Grösse wahrzunehmen.



Die Grösse des Netzhautbildes hängt vom Sehwinkel ab. Dieser liefert aber keine Informationen zu Abstand und Grösse des abgebildeten Objekts. Wenn ein Objekt auf der Netzhaut klein abgebildet ist, wissen wir nicht, ob es tatsächlich klein ist und nahe steht, oder ob es gross ist, aber sich in weiter Ferne befindet. Damit das Visuelle System dies beurteilen kann, braucht es Zusatzinformationen.



Wiederholung von **Abb. 4.4**

In diesem Beispiel stammt die Zusatzinformation von einem Menschen, der den Massstab vorgibt und zeigt, dass es sich links um eine Hundehütte (in der Nähe) und rechts um ein Wohnhaus (in der Ferne) handelt.

Bei *Horizontalperspektiven* funktioniert die Grössenkonstanz, da uns die Beziehungen zwischen Objektgrössen und Zusatzinformationen vertraut sind.



Bei *Aufwärtsperspektiven* hingegen fehlen die Zusatzinformationen bereits nach kurzer Distanz. Danach setzen sich die Fluchtlinien fort ins Leere, hinein in den Himmel, wo jegliche Anhaltspunkte für Distanzen fehlen. Wie weit Wolken von uns entfernt sind, können wir nicht abschätzen, es sei denn, sie schmiegen sich an Berggipfel (= Zusatzinformation) an<sup>112</sup>. Analog verhält es sich bei Deckengemälden, falls wir nicht wissen, wie gross z.B. die Engelchen, die dort schweben, tatsächlich sind.

In der *Abwärtsperspektive* funktioniert die Grössenkonstanz offensichtlich anders. Kleines nehmen wir nicht als Grosses in weiter Ferne wahr, sondern interpretieren es als Kleines in der Nähe. Objekte in ferner Tiefe wirken auf uns, als ob sie neben unseren Füßen auf dem Boden lägen, z.B. Menschen als Ameisen, Fahrzeuge als Bakterien, Gebäude als Spielzeughäuser.

### *Der Horizont*

Im Gegensatz zur Konstruierten Perspektive gibt es in der Beobachteten Perspektive keinen vorgegebenen Horizont, auf den sich alle Fernkonvergenzpunkte ausrichten müssen. Diese entstehen vielmehr in jeder Blickrichtung, und deshalb gilt für den Horizont eine andere Definition: *Über* ihm kann man nichts von *unten* und *unter* ihm nichts von *oben* sehen.

### **Der gekrümmte Raum**

Es gibt verschiedene Arten von Raumkrümmungen, die man nicht verwechseln sollte:

- Die Raumkrümmung der *Astrophysik*, welche physikalische Gegebenheiten betrifft.
- Krümmungen durch *Abbildungsfehler* von optischen Hilfsgeräten, wie z.B. Fischaugenlinsen, mit deren Hilfe sich die Welt über die natürlichen Grenzen unseres Gesichtsfeldes hinaus abbilden lässt (**Abb. 7.11**).
- Krümmungen aufgrund der optischen Eigenschaften des *Auges* (**Abb. 7.12**). Diese kann man aus den optischen Daten errechnen, aber wir nehmen sie nicht wahr.
- *Geometrische* Krümmungen des Raumes, die mit Augen- und Körperbewegungen zusammenhängen.

---

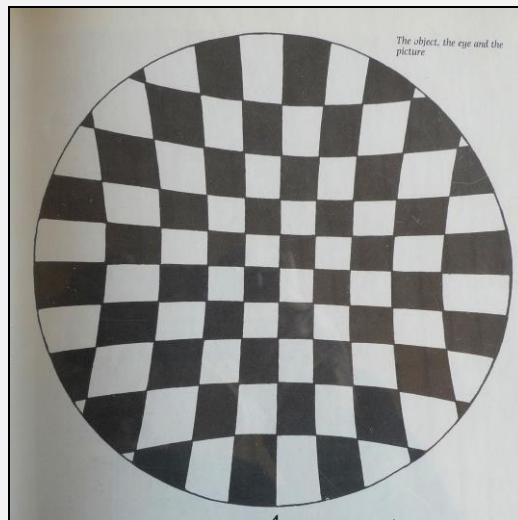
<sup>112</sup> Ein weiteres Beispiel ist der nächtliche Himmel, an dem wir wegen fehlender Zusatzinformationen die Distanz zu den Sternen nicht beurteilen können und – wie schon früher erwähnt – alle in gleichem Abstand wahrnehmen (→ Himmelskugel).

**Abb. 7.11: Bildkrümmung bei Fotos mit speziellen optischen Abbildungssystemen**



Ein Fischaugenobjektiv erweitert das Gesichtsfeld in der ganzen Zirkumferenz, allerdings zum Preis einer ausgeprägten Wölbung des Bildes.

**Abb. 7.12: Bildverformung infolge der Netzhautwölbung**



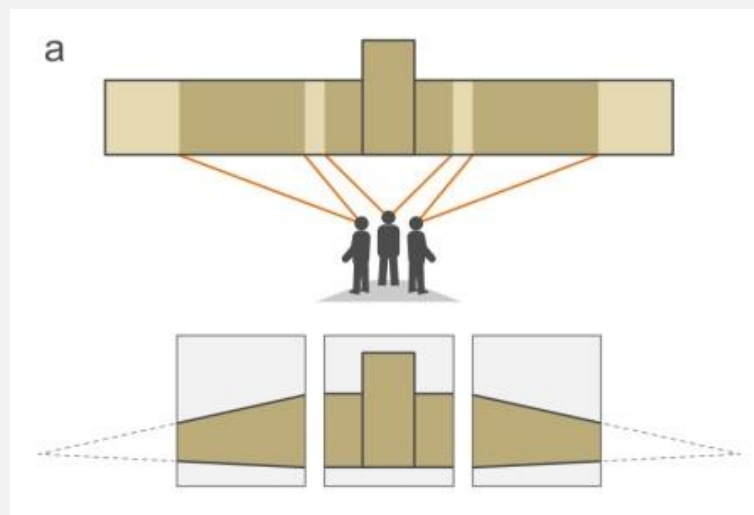
Nach Helmholtz

Das auf die Netzhaut projizierte Schachbrettmuster wird gegen den Rand hin aus optischen Gründen gedehnt.

Um die *bewegungsbedingten* Krümmungen zu verstehen, versuchen wir ein Gedankenexperiment. Stellen wir uns vor, wir stünden vor der Front eines grossen Palastes (**Abb. 7.13**). Blicken wir geradeaus, so fällt die Blickachse senkrecht auf seine Fassade, und wir sehen die betroffene Partie unverformt in der Frontalprojektion.

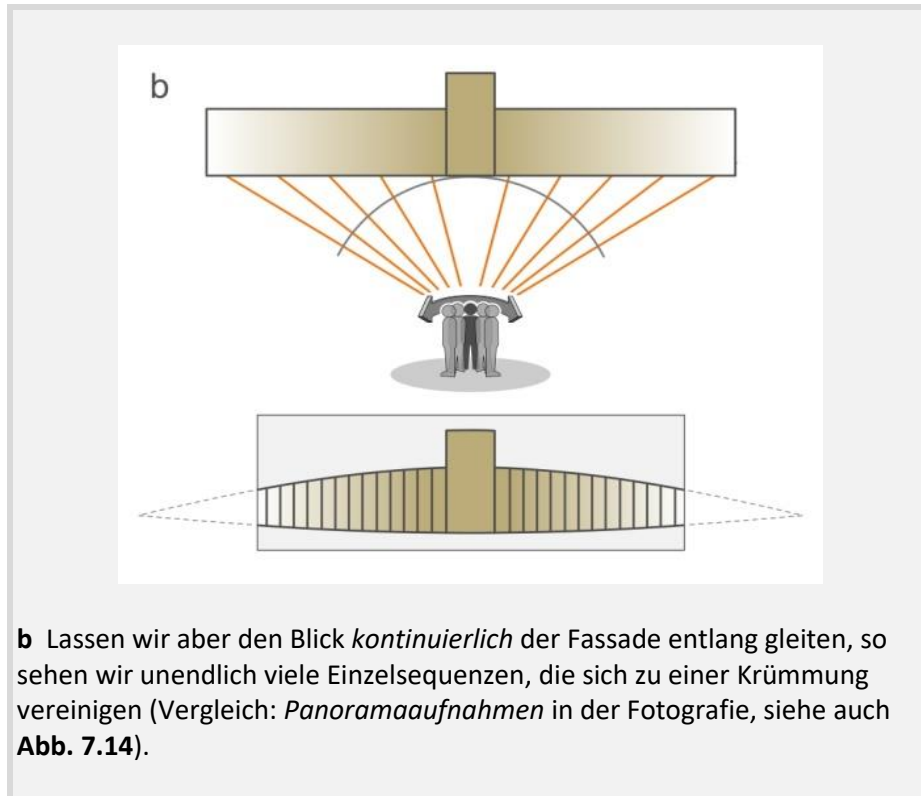
Lenken wir den Blick nach links oder nach rechts, so wird der Abstand zur Fassade stetig grösser, und entsprechend erscheint uns diese zunehmend verkleinert. Der Verkleinerungsgrad verändert sich jedoch nicht linear, und die Fassade wird deshalb auch nicht linear verkleinert. Sie erscheint gekrümmt, wobei das Ausmass der Krümmung von der Grösse der Bewegungsamplitude, und damit von der Distanz zur Fassade, abhängt<sup>113</sup>.

**Abb. 7.13: Bildkrümmung infolge Blickbewegungen**



**a** *Oben*: Palast mit langer, geradliniger Fassade.  
*Unten*: Wenn wir mit unserem Blick *einzelne* Stellen der Front fixieren, entstehen jeweils Standbilder mit farnkonvergenten *geradlinigen* Fluchtlinien. (Als Vergleich: *Einzelbilder* in der Fotografie).

<sup>113</sup>Deshalb warnte - wie bereits früher erwähnt - schon Leonardo da Vinci vor zu kurzen Abständen



Subjektiv nehmen wir den Raum indessen nicht so wahr. Wie immer auch wir unsere Augen bewegen, nie werden wir uns einer Krümmung gewahr.

Die verschiedenen Prozesse lassen sich gesamthaft als *Unterdrückungsprogramm* der bewegungsbedingten Krümmungen interpretieren. Das eine Programm läuft analog zu den früher beschriebenen Programmen unbewusst ab und kann auch mit grösster Anstrengung nicht bewusst gemacht werden und lässt sich nicht austricksen. Die Entkrümmung funktioniert jedoch nur für *Gerades*, das erst bei Bewegungen des Blickbündels gekrümmt erscheint (→ Innenwelt). Ist hingegen der Raum auf einem Bild bereits von vornherein gekrümmt dargestellt (→ Aussenwelt), so wirkt er auf uns verfremdet, und wir sind irritiert (**Abb. 7.14**).

**Abb. 7.14: Unwirksamkeit des „Entkrümmungsprogramms“ bei gekrümmten Vorlagen**



**a** Das Donauufer der Stadt Regensburg wird mit dem Panoramaprogramm einer Kamera gekrümmt wiedergegeben.



**b**

**b** Eine Standortänderung des Beobachters beweist, dass es sich nicht um eine echte Krümmung handelt. Die Ufer verlaufen gerade.

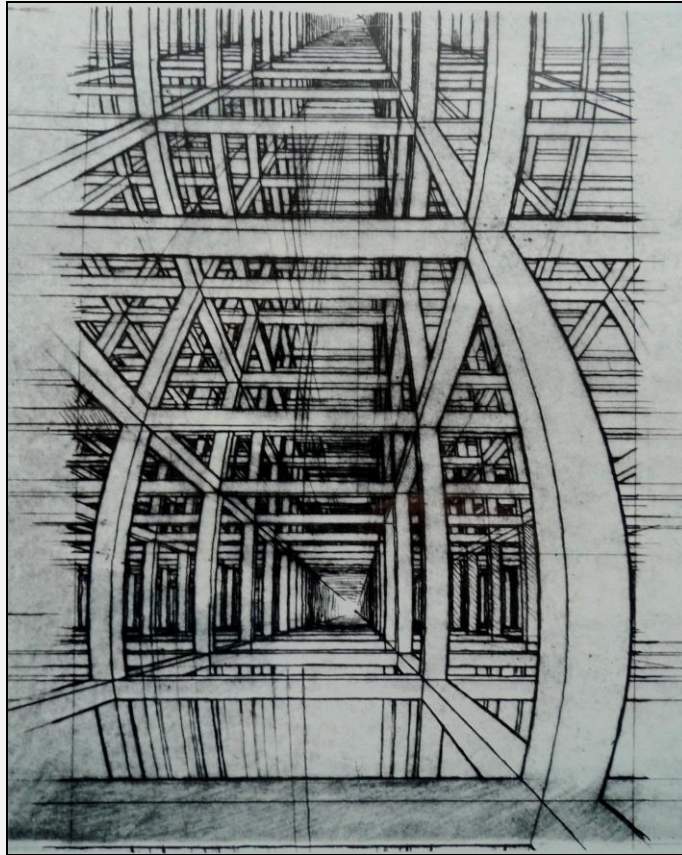
\*\*\*



**c**

**c** Foto von Wolkenkratzern in New York, die mit einem vertikalen Panoramaprogramm in ihrer ganzen Höhe abgebildet wurden.

\*\*\*



d

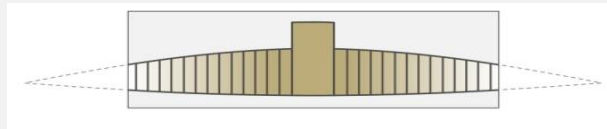
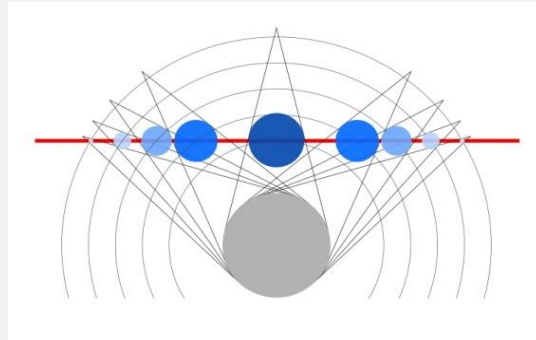
d Als Gegensatz: *M.C. Escher, Studie für „Treppenhaus“*. Interessantes Experiment, das von manchen Autoren als Darstellung einer Raumkrümmung interpretiert wird. Es hat indessen nichts mit der bewegungsbedingten Krümmung des Raumes zu tun, was sich allein schon daran zeigt, dass nur die Vertikalen betroffen sind und die Horizontalen geradlinig bleiben.

Da uns die Raumkrümmungen nicht bewusst werden, haben sie in der Praxis keine Bedeutung. In der *Theorie* des Raumes spielten sie jedoch seit den Frühphasen der Perspektive eine Rolle und ihre Grundlagen werden noch immer diskutiert.

Wenn dabei curvo-lineare Schemata gezeigt werden, muss man sich als Leser bewusst sein, dass deren Aussagen je nach Fragestellung verschieden sind (**Abb. 7.15**). Einige spezielle Beispiele zeigen die **Exkurse 7.6 – 7.8**.



**Abb. 7.15: Unterschiedliche Fragestellungen bei Curvo-linearen Schemata**



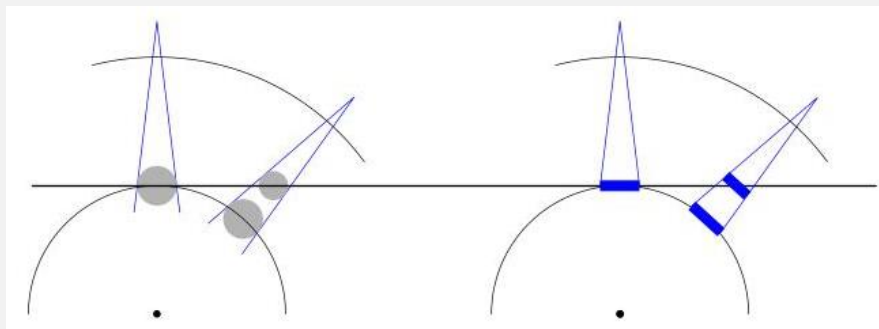
**a**

**a** *Oben:* Zur Erinnerung: *Wiederholung von Abb. 7.8*

Legt man eine Gerade quer durch Äquidiminationskreise, so erscheinen die darauf liegenden Objekte, je weiter sie sich von der Mittelachse entfernen, desto stärker verkleinert.

*Unten: Wiederholung von Abb. 7.13*

Am Beispiel des Palastes sieht man die Krümmung des Raumes, die beim Seitenblick entsteht.



**b**

*Fernkonvergenz*

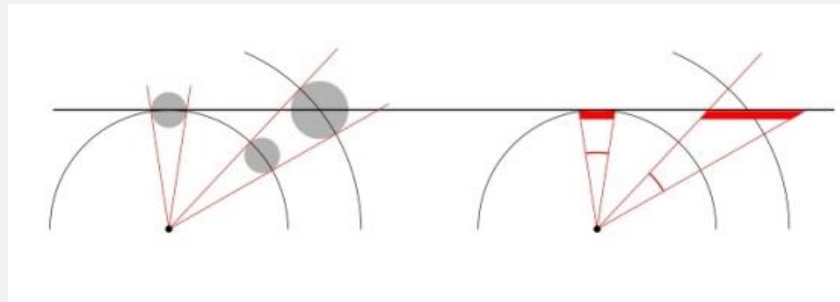
**b** *Faktoren, die die Raumkrümmung verstärken.*

*Fragestellung:* Wie stark werden gleich grosse Objekte bei Seitenblick verkleinert?

*Links:* Kreise als Objekte (siehe a)

*Rechts:* Querschnitte der Objekte, wie wir sie sehen





c

*Nahkonvergenz:*

c Methoden, um die Krümmung zu *verhindern*

*Fragestellung:* Wie stark muss man Objekte bei Seitenblick vergrössern, damit man sie gleich gross sieht wie bei Geradeblick, resp. technisch ausgedrückt: ...damit die Sehwinkel gleich bleiben?

*Links:* Wenn der Sehwinkel gleich bleiben soll, muss bei zunehmendem Abstand (= entferntem Diminutionskreis) die Kreisscheibe grösser werden

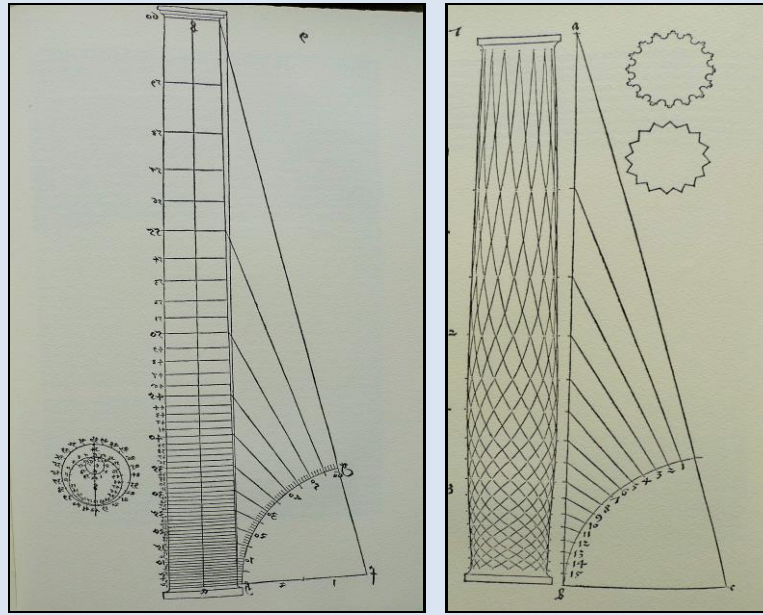
*Rechts:* Schneidet eine Gerade das Blickbündel, so werden bei Seitenblick die Schnittflächen grösser. Handelt es sich um ein Bild, so muss ein Maler die Flächen breiter gestalten, wenn der Sehwinkel gleich bleiben soll.

#### **Exkurs 7.6: Schemata, welche die Fragestellungen der Abb. 7.15 illustrieren**

*Aus Albrecht Dürer (1471 – 1528): „Unterweisung der Messung mit dem Zirkel und Richtscheit“*

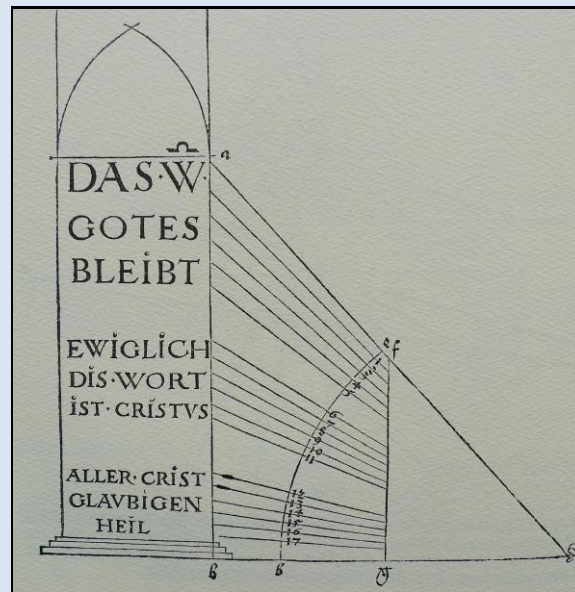
Dürer stellt zum einen die Frage, wieviel kleiner man die Objekte sieht, wenn sie weiter entfernt sind (siehe **Abb. 7.15c**), zum anderen wieviel man sie vergrössern müsste, damit alle für den Beobachter gleich gross aussehen (siehe **Abb. 7.15b**)

Die Lösung des Problems verlangt, dass alle Sehwinkel gleich gross werden, d.h. die Spitzenwinkel aller Sehpyramiden gleich sind. Diese Aufgabe untersucht Dürer anhand einer Säule, die er von unten her beobachtet.



**a** (seitenverkehrt)

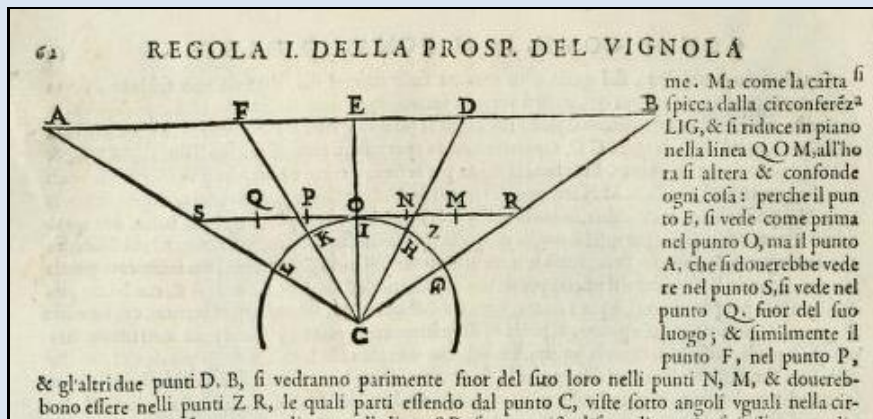
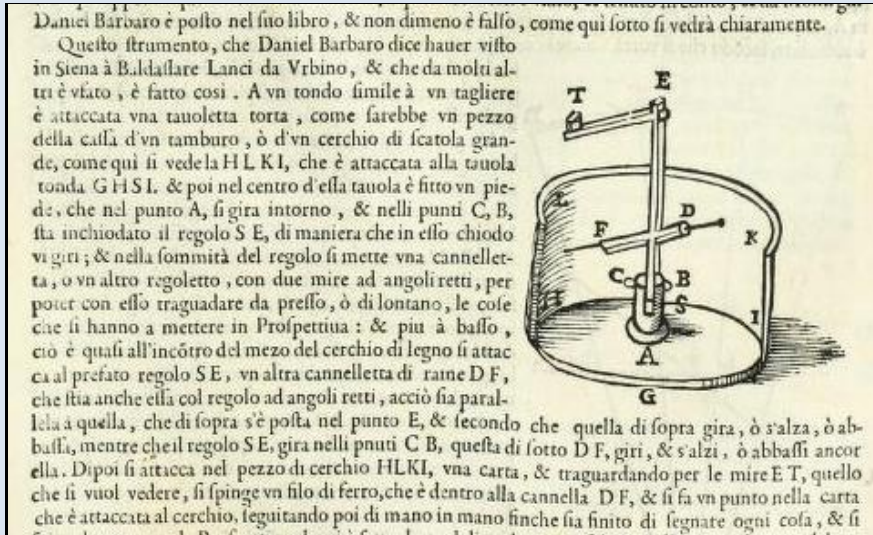
**b** (seitenverkehrt)



**c**

- a** Masstäbe: Die Gerade als Längenmasstab, der Kreis als Winkelmesser.
- b** Veranschaulichung anhand der Dehnung eines dekorativen Musters.
- c** Veranschaulichung anhand der Vergrößerung von Buchstaben, die man alle gleich gross wahrnehmen will.

**Exkurs 7.7: Ein Schema, das die Mängel einer Zeichenmaschine aufzeigt**

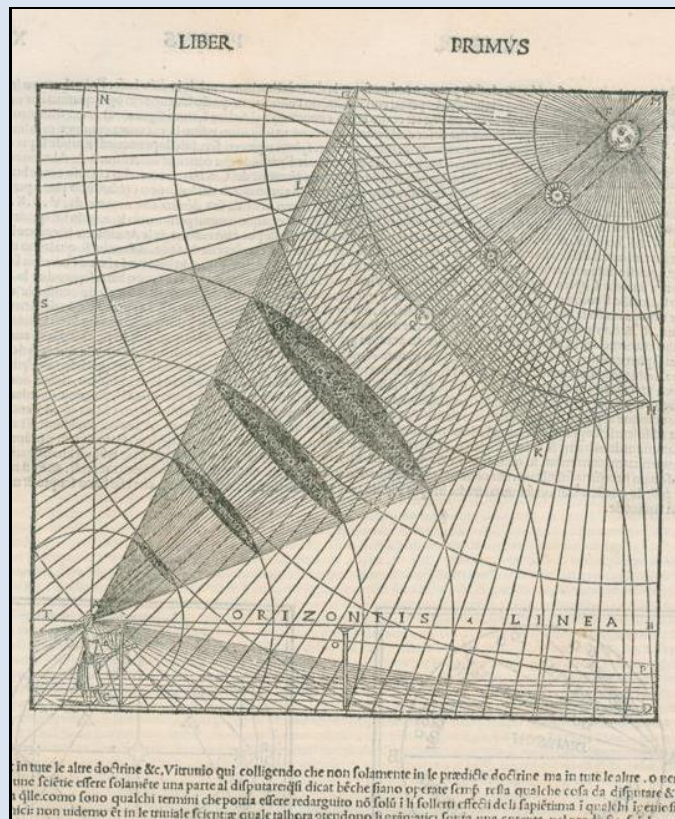


Aus «Le due regole della prospettiva» de Jacopo Barozzi da Vignola, 1507 – 1573:

*Oben:* Apparat zum Zeichnen curvilinearer Perspektiven, bei dem anvisierte Objekte auf das Papier in der Innenseite eines Halbzylinders übertragen werden.

*Unten:* Das Schema erklärt, dass die Proportionen nicht mehr mit dem gezeichneten Raum übereinstimmen, sobald man das Papier entfaltet und ausbreitet.

**Exkurs 7.8: Ein curvo-lineares Schema, das perspektivisch gedeutet werden kann, aber es nicht ist**



Aus: Cesare Cesariano: Vitruv „De Architectura“ 1521

Am unteren Rand erkennt man das „Schema von Alberti“ mit der *orizontis linea* (Horizontlinie). Dieses, wie auch die bipolaren Konvergenzen und die Kreise, lassen eine perspektivische Thematik vermuten. In diesem Sinne ist die Figur auch in der Literatur interpretiert und unter mannigfachen philosophischen Gesichtspunkten kommentiert worden.

Allerdings wäre es dann seltsam, dass die einschlägigen Parameter nicht in den richtigen Grössenverhältnissen stehen und z.B. die Abstände zwischen den Kreislinien alle gleich gross sind.

Und in der Tat: Der zugehörige Text weist in eine andere Richtung: In „De Architectura“ steht die Abbildung nämlich nicht im Zusammenhang mit Perspektive, sondern mit den Eigenschaften, die Vitruv von einem guten Architekten fordert.

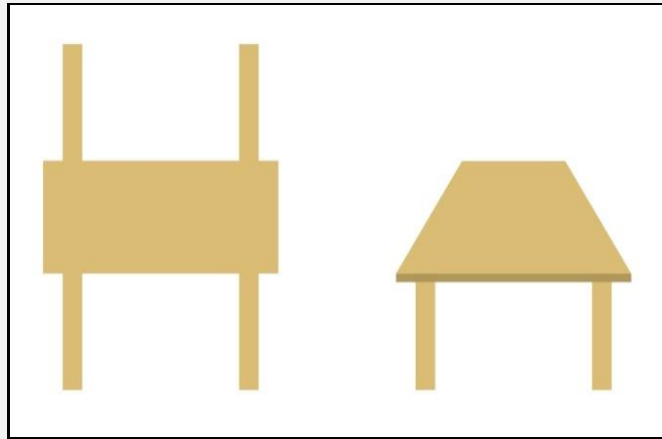
Die Grafik symbolisiert die Kenntnisse, über die dieser verfügen sollte: Die Regeln der Perspektive (Alberti, unten), Kenntnisse der Astronomie (Planeten), Eigenschaften der Musik und die Beziehungen der Tonleitern zu den Bahnen der Planeten (Kreise).



## Verzerrungen und Anamorphosen

Dass uns die Objekte, je nach ihrer Position im Raum, in unterschiedlicher Weise verzerrt erscheinen, ist eine banale Erfahrung, und gerade dank dieser Erfahrung können wir sie in unserem ICH entzerren (**Abb. 7.16**).

**Abb. 7.16: Unverzerrtes als „unnatürlich“ und Verzerrtes als „natürlich“**



*Links:* Wie der Tisch *ist*: In der plangerechten Darstellung sieht man den Tisch rechteckig und erkennt alle vier Beine. Der Plan ist zwar „richtig“, erscheint jedoch unnatürlich.

*Rechts:* -Wie man den Tisch *sieht*: Perspektivisch gesehen erscheint die Platte als Trapez und von den Beinen sieht man nur deren zwei.

Nur bei senkrechtem Auftreffwinkel erscheint uns ein Objekt unverzerrt, und da dies in unserem Umfeld lediglich an wenigen Punkten der Fall ist, „sehen wir die Welt nicht so, wie sie ist“. Je flacher der Winkel zwischen Blickachse und Objektoberflächen, desto stärker die resultierenden Verzerrungen.

Die Verzerrungen stören uns allerdings im Alltag kaum, denn unser Visuelles System kann sie offensichtlich entzerren. Voraussetzung sind allerdings die Vorkenntnis der eigentlichen Form der Objekte, die Vertrautheit mit dem Kontext und mit den Bewegungen, bei denen die Objekte in immer neuen Perspektiven erscheinen (**Abb. 7. 17**).

**Abb. 7.17: Verzerrungen, die wir nicht als störend empfinden**



**Giovanni Paolo Pannini: Gemäldegalerie mit Ansichten des antiken Rom (1758)**

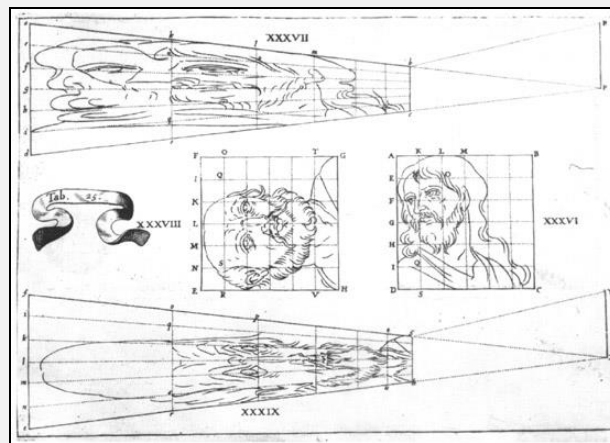
Manche Bilder an den Seitenwänden sind bis zur Unkenntlichkeit verzerrt. Sie werden aber in der gegebenen Situation nicht als unnatürlich empfunden, da wir den Kontext kennen und unbewusst bereits unsere Standortwechsel antizipieren.

Es gibt jedoch Grenzen. Wenn der Auftreffwinkel zu klein ist, erscheinen die projizierten Figuren so realitätsfremd, dass wir ihre Form nicht mehr entschlüsseln können. Extremfälle sind die sog. *Anamorphosen*. Sie werden nur unter ungewöhnlichen und nicht voraussehbaren Blickwinkeln identifizierbar, und sie offenbaren sich nur denjenigen, die den einen einzigen Standpunkt kennen, von dem man sie betrachten muss. Dank diesen Eigenschaften wurden Anamorphosen früher benutzt zur Übermittlung geheimer Botschaften, wobei der richtige Standpunkt der Code zur Entschlüsselung war<sup>114</sup>.

In freier Natur nehmen wir anamorphotisch Verzerrtes nicht als solches wahr, sondern übersehen/unterdrücken es. Auch in Bildern werden Anamorphosen kaum je gemalt<sup>115</sup>, und wenn, dann als unterhaltende geometrische Spielereien<sup>116</sup> (**Abb. 7.18**).

**Abb. 7.18: Verzerrungen, die stören: Anamorphosen**

*Anamorphosen aus der Frühzeit der Perspektive:*



**a**

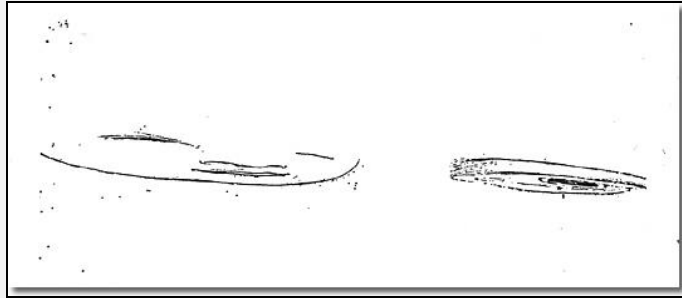
**a** Aus „*La Perspective Curieuse*“ von Jean-François Nicéron (1613 – 1646): Darstellung der mathematischen Grundlagen. Der Augspunkt ist an den rechten Bildrand verschoben, so nahe wie möglich an der Papieroberfläche. Verzerrung durch Koordinatenkonstruktion (→ inverse Perspektive)

<sup>114</sup> Anamorphosen wurden auch als Metaphern aufgefasst für die Welt, in der wir leben

<sup>115</sup> Siehe nächstes Kapitel: Gestaltete Perspektive

<sup>116</sup> Neben den hier beschriebenen perspektivischen Anamorphosen gibt es noch eine andere Art, bei der die Objekte mit besonderen optischen Hilfsmitteln, z.B. zylindrischen Spiegeln, verschlüsselt sind (Katoptrische Anamorphosen). Auf diese kann ich hier im Rahmen meines Themas nicht eingehen und verweise auf die entsprechenden Artikel in der Literatur und im Internet.





**b**

**b** Aus dem «Codex Atlanticus» des Leonardo da Vinci (1485): Spielerei. Augspunkte an beiden Bildrändern, dicht an der Papieroberfläche.

### „Vorweggenommene“ Perspektiven

In der Architektur ist die Vorwegnahme der Perspektive bei der Gestaltung von Gebäuden, Platzgestaltungen und Gartenanlagen ein beliebtes Mittel, um die räumliche Wahrnehmung zu „beschleunigen“ und zu „forcieren“<sup>117</sup>. Bei der Planung des öffentlichen Raumes kann man sie ausnützen, um Paläste und Kirchen als Ausdruck der Macht imposanter, Plätze und Schlossanlagen grossflächiger und enge Räume weiter wirken zu lassen. Statt vieler Worte einige Beispiele in den **Exkursen 7.9 – 7.11**.

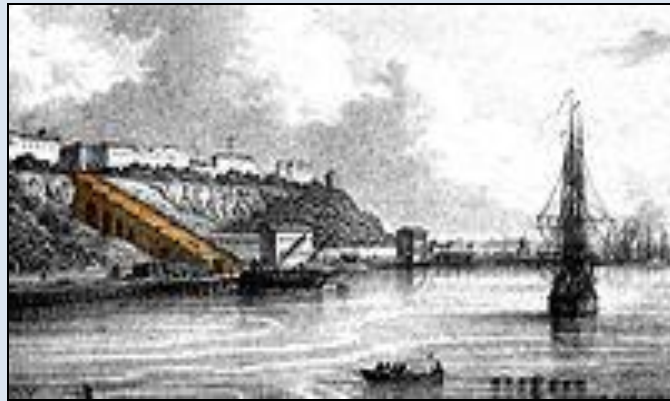
#### **Exkurs 7.9: Vorwegnahme der Konvergenz zur Überhöhung der Räumlichkeit**

##### *Die Potemkin'sche Treppe in Odessa*

Die Treppe zwischen Hafen und Stadt, berühmt geworden durch den Film „Panzerkreuzer Potemkin“ (1925), wurde Mitte des 19. Jahrhunderts gebaut. Statt eines rechteckigen wurde ein trapezförmiger, gegen die Oberstadt zu konvergierender Grundriss gewählt, damit die Treppe vom Meer her höher und länger erscheint und die darüber liegenden Gebäude wuchtiger wirken<sup>118</sup>.

<sup>117</sup> „Perspective accélérée,“ und „forced perspective“ werden im französischen und englischen Sprachgebrauch für die hier dargestellte architektonisch übertriebene Perspektive gebraucht. Ich bevorzuge allerdings den Begriff „vorgezogen“, da die beiden erstgenannten Wörter auch für völlig andere Arten von Perspektive eingesetzt werden (Man google die Begriffe und betrachte dann den zugehörigen Bilderteil)

<sup>118</sup> Hinsichtlich anderer visueller Täuschungen bei der Treppe (Gestaltung der Stufen und Treppenabsätze) siehe Wikipedia: „Potemkin'sche Treppe“



Ansicht der Treppe kurz nach der Fertigstellung 1850.  
Länge 142 Meter, Höhendifferenz 30 Meter



*Google Earth*

Unten im Bild sieht man den Hafen, oben die Stadt mit repräsentativen Gebäuden. Konvergente Konstruktion: Breite unten 21,7 Meter, oben 13,4 Meter



Majestätischer Anblick auf einer Postkarte, Ende 19. Jahrhundert.  
Die konvergenten Fluchtlinien streben gegen einen Fluchtpunkt im Himmel.

### Exkurs 7.10: Gegensätzliche Perspektiven

#### *Die Piazza San Pietro in Rom*



Google Earth

Der Grundriss der Piazza zeigt im Zentrum ein Oval, vor dem Dom ein divergentes Trapez (*links*) und auf der Gegenseite einen konvergenten Platz.





Ansicht der Piazza vom Dom aus: Fernkonvergenz



Für den Papst auf dem Balkon des Domes erscheint der Platz perspektivisch konvergent. Er erstreckt sich dank der anschließenden Piazza Pio II und der Via della Conciliazione weit in die Tiefe und erscheint erfüllt von einer unendlichen Menge von Pilgern.

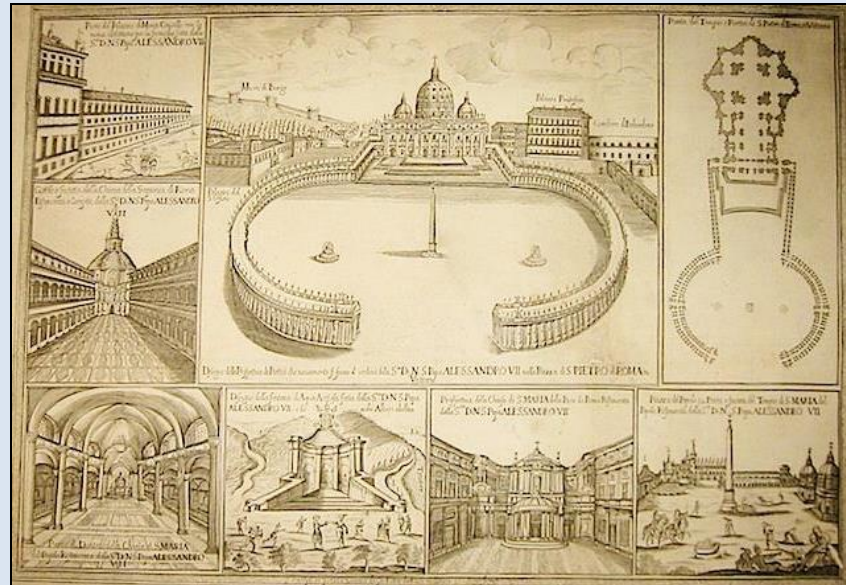
Für den Betrachter der auf dem Platz, zum Dom in die Gegenrichtung blickt, erscheint hingegen alles breiter und näher wegen der Divergenz, und der Dom wirkt mächtiger. Sobald man umherblickt – d.h. das Blickbündel seitwärts wendet - verschwindet allerdings der Eindruck einer Divergenz. Die lateralen Partien werden ins Bild einbezogen, und man nimmt den Platz konvergent wahr.



Auf dem oben stehenden Foto wird dieser Effekt durch die spezielle Weitwinkeloptik der Kamera imitiert.



Den gleichen - hier subjektiven - Eindruck geben auch Künstler wieder. So zeigt die Grafik von Jean Barbault (circa 1760) fälschlicherweise die Breitseite des Trapezes nach vorne geöffnet, dem Betrachter zugewendet.



In einem anderen Druck ist das Trapez ebenfalls so abgebildet, auch wenn daneben der korrekte Grundriss steht. (Beachte auch die manipulierten Perspektiven in den kleinen Veduten).

Man kann nun darüber spekulieren, weshalb die Künstler – gegen besseres Wissen – solch „falsche“ Zeichnungen entwarfen.

**Selbstversuch:** Man reise nach Rom, stelle sich auf die Piazza San Pietro und überzeuge sich selbst von der Wirkung der raffinierten Architektur.



**Exkurs 7.11: Vorweggenommene Konvergenzen in der Gartenarchitektur**

*Die Anlage des Barockgartens beim Schloss Gottorf (Schleswig)*



Die bepflanzten Felder im Grundriss. Der Aussichtspunkt des Schlosses ist im Bild nicht sichtbar, er läge unterhalb des rechteckigen Teiches.

Mit zunehmendem Abstand werden die Felder seitlich schmaler.





Dank der konvergenten Gartengestaltung wirkt der Garten auf Betrachter vor dem Schloss grösser als er in Wirklichkeit ist.

\*\*\*

*Die Italienische Grotte im Park von Kerdalo (Bretagne)*

Besonders beliebt sind vorweggenommene Konvergenzen dort, wo in einem Garten der Raum knapp ist.



Der Steg zur Italienischen Grotte ist ca. 2 Meter kurz, erscheint aber dank der perspektivischen Wirkung der vorweggenommenen Konvergenz deutlich länger. Im Vergleich wirkt dann auch die Grotte grösser.



Blickt man in die Gegenrichtung, so erscheint der Steg nicht fernkonvergent (analog der vorherigen Abbildung), sondern parallel (Zufälliges Resultat der Kombination von gebauter Divergenz und wahrgenommener Konvergenz)

## Fester Standort vs. Bewegung

Dieses Kapitel beschrieb die Unterschiede zwischen der Beobachteten Perspektive und der Konstruierten Perspektive. Die Konstruierte Perspektive setzt voraus, dass der Standpunkt des Beobachters und die Blickrichtung starr fixiert sind. Die Beobachtete Perspektive hingegen impliziert unablässige *Bewegungen* des Blickbündels und die Verrechnung der resultierenden multiplen Perspektiven im Visuellen System.

Das Problem ist jedoch, dass man Bewegungen nicht malen kann.

### Konstruierte vs. beobachtete Perspektive

#### Grundlagen:

*Konstruierte* Perspektive beruht auf Geometrie, Mathematik. Sie bezieht zwar den Standpunkt des Betrachters bei der Konstruktion mit ein, existiert aber auch unabhängig von seiner Gegenwart.

*Beobachtete* Perspektive bezieht sich auf den Betrachter.

#### Verhältnis zum Raum

Die *Konstruierte* Perspektive kann Raum schaffen, der nicht vorhanden ist.

Die *Beobachtete* Perspektive lässt den Raum erleben, der existiert.

#### Position des Auges

Die *Konstruierte* Perspektive geht davon aus, dass das Bild von der gesamten Netzhaut erfasst wird und das Auge fix geradeaus blickt.

Die *Beobachtete* Perspektive berücksichtigt, dass nur die Netzhautmitte eine Rolle spielt und das Auge sich dauernd bewegen muss.

#### Konvergenzpunkte

In der *Konstruierten* Perspektive liegt der Fernkonvergenzpunkt im Unendlichen und hinter ihm gibt es Nichts.

Die *Beobachtete* Perspektive setzt den Fernkonvergenzpunkt dort, wo das Intervall der Parallelen für uns zu klein erscheint; hinter ihm liegt noch unendlich viel Raum. Oder anders ausgedrückt: Der Weg vom beobachteten Fernpunkt zum konstruierten Fernpunkt ist noch unendlich lange.

#### Blickachse

Nahpunkte, Fernpunkte, Augspunkte, Fluchtpunkte sind in der Beobachteten Perspektive nichts anderes als Anfang und Ende der Blickgeraden.

# 8 Gestaltete Perspektive

## Konstruierte und beobachtete Perspektiven als Instrumente der Maler

### Die Perspektive als Ziel an sich

Ausrichtung von Linien

Wahl des Bildformats

Wahl der Koordinaten:  
Horizont, Fluchtpunkte und Fluchtlinien

### Die Wahl der Fluchtpunktperspektiven

*Einpunktperspektive bei fixiertem Blick (Zentralperspektive)*

*Zweipunktperspektive (Lateralspektive)*

*Vertikale Perspektiven*

### Gekrümmter Raum

#### Anamorphosen

*Spielerische Anamorphosen*

*Korrektive Anamorphosen*

### Das Wesen der Kompromisse

## Konstruierte und beobachtete Perspektiven als Instrumente der Maler

Aus den beiden vorangegangenen Kapiteln geht hervor, dass unter der Bezeichnung „Perspektive“ zwei Darstellungsmethoden des Raumes figurieren, die in ihren Grundlagen völlig verschieden sind. Die Konstruierte Perspektive geht von *der Geometrie*, die Beobachtete Perspektive hingegen vom *Beobachter* aus. Es gibt somit keinen Grund, die beiden gemeinsam zu behandeln, aber in der Gestalteten Perspektive sind sie so eng miteinander verwoben, dass es bei der Betrachtung eines Bildes wenig Sinn macht, bestimmte Elemente ausschliesslich der einen oder der anderen Kategorie zuzuordnen zu wollen. Maler streben denn auch nicht danach, in ihren Kompositionen die beiden Perspektiven scharf auseinanderzuhalten, sondern navigieren zwischen ihnen nach pragmatischen Gesichtspunkten.

Wenn Maler versuchen, in den Raumdarstellungen aus Bewegtem Unbewegtes zu schaffen, zeigt sich, wie komplex die Interaktionen sind. Es geht zum einen darum, die vielen Perspektiven, die das bewegte Blickbündel dem Gehirn übermittelt, zu derjenigen *Einzigsten* zu vereinen, die ein Betrachter auf dem Bild wahrnimmt (siehe **Exkurs 8.1**)<sup>119</sup>. Zum andern müssen Maler in einer bewegten Welt den richtigen Moment des *Stillstandes* finden.

### Exkurs 8.1: Vergleich Kamera und Visuelles System

#### *Momentaufnahmen vs. Bildsequenzen*

Bei einer *Fotokamera* sind die Lichtsensoren nicht zentrumsbetont. Weil die Suchbewegungen während der Bildentstehung entfallen liefert sie immer eine stabilisierte *Momentaufnahme*. Diese basiert auf Geometrie. Verarbeitungsmechanismen des Visuellen Systems sind bei der *Aufnahme* nicht beteiligt, sondern kommen erst beim *Betrachten* der fertigen Fotografie ins Spiel.

Ganz anders jedoch, wenn ein Mensch das Werk gestaltet. Dann ist es das Visuelle System, welches sowohl *zeitliche* als auch *örtliche* Elemente zu einem Gesamten verarbeitet, d.h. zu dem Eindruck, den unser ICH als *Moment* – hier und jetzt - empfindet.

---

<sup>119</sup> Bei allen Überlegungen zum Thema muss man sich stets bewusst sein, dass die Maler bis zur Erfindung der Farben in Tuben (im 19. Jahrhundert) vorwiegend im Atelier malten und keine direkte Anschauung des Raumes hatten, den sie gerade abbildeten. Sie gestalteten ihn selbst, sei es nach Phantasie in Befolgung der einschlägigen Konstruktionsregeln, sei es nach Erinnerung von einstigen – bewegten - Beobachtungen.

## Die Perspektive als Ziel an sich

Perspektive hatte nicht nur die Aufgabe, Szenen in die richtigen räumlichen Verhältnisse einzubetten. Sie konnte auch ein „Ziel an sich“ sein, losgelöst vom Thema eines Gemäldes, gewissermaßen ein *Leistungsausweis* des Malers. Der Anreiz dazu war Prestige, zum einen dasjenige des Malers, der seinen Status als Kenner der Mathematik stärkte, zum anderen dasjenige des Auftragsgebers, der seinen Kunstverstand demonstrieren wollte. So resultierten komplizierte Fluchtpunktperspektiven, die in ihrem Aufwand weit über die Anforderungen der dargestellten Szene hinausgingen (**Exkurs 8.2**).

### Exkurs 8.2: Perspektive als Leistungsausweis

Die aufwendige perspektivische Architektur dominiert, während die Szene zurücktritt.



a

*Piero Della Francesca 1460-1492 Verkündigung*

a Die Hauptfiguren werden durch eine Säulenhalle getrennt, die perspektivisch mit beeindruckender Perfektion gemalt ist. Sie führt aber nirgendwohin und hat keine Funktion in der Szene - es sei denn, sie repräsentiere eine Symbolik, mit der allfällige Betrachter vertraut sind.

\*\*\*





**b**

*Pietro Benci, genannt Il Pollaiuolo, Verkündigung, um 1470,*

**b** Oberhalb der eigentlichen Szene gibt es zwei unabhängige Räume, jede mit einer eigenen Perspektive, jedoch ohne Funktion im Geschehen. *Beachte* die Fluchtlinien in den Fliesen und in den Deckenkassetten. Der Horizont ist das Meer (im Fenster) und liegt hoch. Die Personen hingegen sind perspektivisch von einem niedrigeren Standort aus gestaltet.

\*\*\*



**c**

*Fra Carnevale 1416–1484*

**c** Grosser architektonischer Aufwand, der jedoch die Szene mehr stört als unterstützt. Einzelne Kompartimente sind perspektivisch korrekt, das Gesamte aber zeigt, dass der Maler in Bezug auf Perspektive noch ein Suchender ist.

\*\*\*



d

*Masolino (1383 – 1447): Das Gastmahl des Herodes*

d Das architektonische Element dominiert (*rechts*). Der Fluchtpunkt liegt nicht etwa bei den Hauptpersonen Herodes oder Salome, sondern nahe am Kopf von einer der daneben stehenden Personen (dem Auftraggeber?)

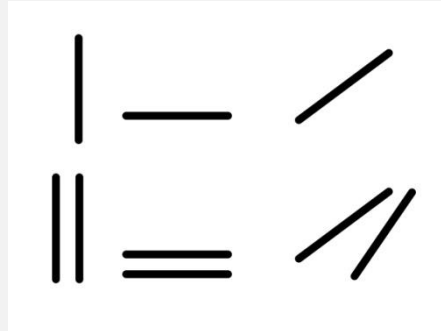
Noch heute stehen wir fasziniert vor den Werken, die wir wegen der kunstvollen Kombination der perspektivischen Einzelelemente bewundern. Einige dieser Elemente sollen im Folgenden analysiert werden.

### Die Ausrichtung von Linien

In der Mathematik sind Linien aneinandergereihte Punkte und alle gleichwertig. Im Visuellen System jedoch werden ihnen unterschiedliche Werte zugewiesen. Horizontale und Vertikale, die, wie früher gezeigt, in beiden Hirnhälften symmetrisch repräsentiert werden, sind immer eindeutig. Von wo auch immer man sie betrachtet, bleiben Horizontale horizontal und Vertikale vertikal, und sie verändern sich auch nicht bei Standortwechseln.

Schräge Linien hingegen sind für uns mehrdeutig (**Abb. 8.1**, siehe auch **Selbstversuch 8.1**).

**Abb. 8.1: Der Einfluss der Richtung auf die Wahrnehmung von Linien**



*Oben:* Waagrechte und Senkrechte wirken flach, bei Schrägen hingegen kann man immer auch eine räumliche Komponente erahnen.

*Unten:* Mehrfache Horizontale und Vertikale sind immer parallel. Schräge Gerade können auch konvergent oder divergent verlaufen, was räumliche Effekte auslöst.

### **Selbstversuch 8.1**

#### **Die Stabilität von Waagrechten und Senkrechten im Visuellen System**

Man zeichne waagrechte, senkrechte, sowie schräge Linien mit verschiedenen Neigungen (gemäss **Abb. 8.1**). Nachdem man sie eine Weile betrachtet hat, wende man sich ab und versuche, die Linien aus dem Gedächtnis auf Papier wiederzugeben. Dies wird bei den Horizontalen und Vertikalen mühelos und mit hoher Präzision gelingen, während die Schrägen mit der Vorlage weniger übereinstimmen werden.

Den gleichen Versuch kann man mit mehreren Versuchspersonen durchführen und wird feststellen, dass bei allen die Präzision von Waagrechten und Senkrechten hoch ist, nicht aber bei Schrägen.

## **Die Wahl des Bildformats**

Die Wahl des Bildformats bedeutet die Wahl von Grenzen. Diese limitieren das Feedback, welches das Gehirn beim Absuchen der Bildflächen erhält, d.h. das Feedback über die Zahl der Augenbewegungen und ihre Amplituden. Miniaturen, die mit beinahe unbewegtem Blick überschaubar sind, wirken eher als Kleinode denn als Raum, im Gegensatz zu Wandgemälden mit grossen Bewegungsamplituden.

## Die Wahl des Horizontes

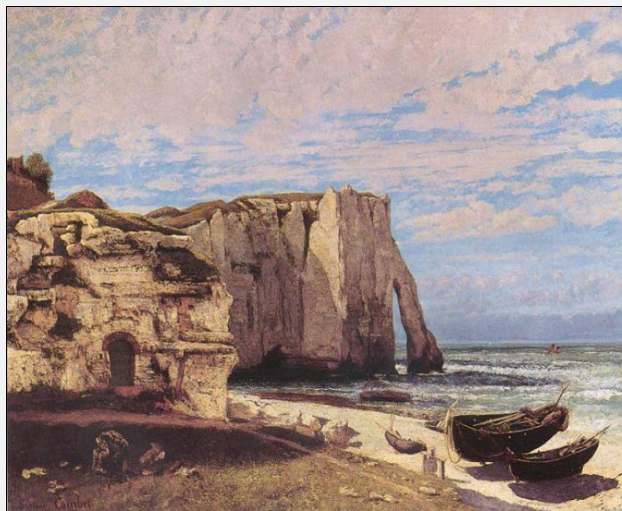
Der Horizont (auch: „*linea centrica*“, „*ligne pyramidale*“) ist ein Parameter der *konstruierten* Perspektive, der auf einem fixen Geradeausblick auf Augenhöhe basiert – im Gegensatz zur *beobachteten* Perspektive, wo der Blick in vielen Richtungen umherschweift.

Den Horizont der Perspektive sollte man nicht verwechseln mit der Geländesilhouette (z.B. Bergsilhouette), die Himmel und Erde voneinander trennt und in der Umgangssprache ebenfalls als Horizont bezeichnet wird. Nur am Meer fallen die beiden Horizonte zusammen.

Üblicherweise malt der Maler den Horizont nach der Höhe seines Standortes, d.h. nach den Regeln der Konstruierten Perspektive (**Abb. 8.2**).

### Abb. 8.2: Die Höhe des Standortes bestimmt die Höhe des Horizontes

Das Standortprinzip zeigt sich am eindrucklichsten in Meeresbildern



a

a *Gustave Courbet: Küste bei Étretat.*

Zentrum des Interesses: Die Mächtigkeit der Klippen.

→ Standort des Malers am Ufer, tiefer Horizont

\*\*\*





**b**

**b** *Claude Monet: Küste bei Pourville.*

Zentrum des Interesses: Weite des Meeres, Wellenspiel

→ Standort des Malers auf hoher Klippe, hoher Horizont

Für ein Bild des weiten Himmels über einer flachen Landschaft wird ein Maler den Horizont tief wählen (**Abb. 8.3a**). Für Szenen, die sich auf der Erde weit in die Ferne erstrecken, setzt er hingegen den Horizont hoch (**Abb. 8.3b**).

**Abb. 8.3: Künstlerische Kriterien für die Wahl des Horizontes**



**a**

**a:** *Jakob Issakzoon van Ruisdael:*

Ansicht von Haarlem (1665) von einem niedrigen Hügel aus.

Der Horizont in der flachen Landschaft Hollands ist niedrig, betont wird das Wolkenbild

\*\*\*



**b**

**b:** Pieter Bruegel der Ältere: *Hochzeitstänze im Freien* (ca. 1566). Den Horizont hat der Maler hoch, nahe dem oberen Bildrand, gewählt, um die lebendige Szenerie weit in die Tiefe verfolgen zu können. Die Figuren sind perspektivisch so gemalt, wie sie von einem erhöhten Standort aus erscheinen: Man blickt auf die Köpfe von oben (vergleiche mit Exkurs **8.2b**).

In Szenerien, bei denen der Blick nach *unten* gerichtet ist, entfällt jedoch der Horizont. In den Seerosenbildern von Claude Monet, z.B., zeigen die Reflexe an der Oberfläche des Wassers an, was darüber und was darunter liegt (**Abb. 8.4**). Das Fehlen des Horizontes, die Beliebigkeit des Standortes und die Unbestimmtheit der Blickführung verleihen solchen Gemälden etwas Meditatives<sup>120</sup>.

---

<sup>120</sup> Besonders eindrücklich bei den raumfüllenden Grossformaten von Monets *Nymphéas in der Orangerie* (Paris)



**Abb. 8.4: Fehlen eines Horizontes beim Blick nach unten**

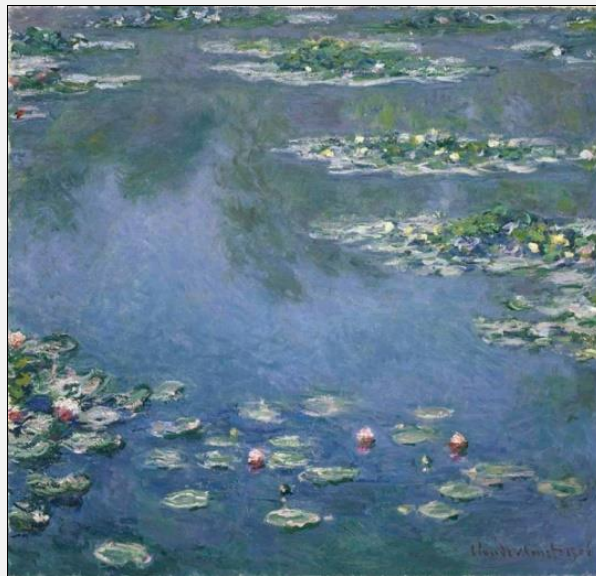


**a**

**a:** *Claude Monet: Nymphéas (1905)*

Ein steiler Einfallswinkel ermöglicht den Blick in die Tiefe des Wassers und lässt den Grund durchschimmern. Das Ufer des Teiches liegt hoch oben im Bild; es ist jedoch kein Horizont, der den Blick führt.

\*\*\*



**b**

**b:** *Claude Monet: Nymphéas (1906)*

Die Oberfläche des Wassers wird hier unter einem flachen Einfallswinkel gesehen, für den sich Monet – nach seinen eigenen Worten – tief bücken musste. Sie erscheint als Reflex, der Himmel und Bäume wiederspiegelt.

Durch die Wahl des Horizontes definiert ein Maler nicht nur die Höhe des *Standortes*, von dem aus man das Bild betrachten, sondern auch die Höhe, auf der man das Bild platzieren sollte. Bei *Tafelgemälden* lässt sich allerdings dieser Gesichtspunkt nicht immer berücksichtigen. Wenn man Bilder mit einem hohen Horizont (siehe **Abb. 8.3b**) nicht genug tief hängen kann, sollte man idealerweise für eine perspektivisch korrekte Betrachtung einen erhöhten Standpunkt einnehmen können.<sup>121</sup>.

*Wandgemälde* sind unverrückbar. Hier muss der Maler entscheiden, ob er den Horizont nach der Position des Betrachters im Gesamtraum oder nach Kriterien innerhalb des Bildes bestimmen will. Im ersten Fall die Szene als Raumillusion wirken, wie sie ein Betrachter als Realität wahrnimmt (**Abb. 8.5a**). Im zweiten Fall kann der Maler den Horizont frei nach den kompositorischen Notwendigkeiten einer Szenerie festlegen. (**Abb. 8.5b**).

**Abb. 8.5: Wahl des Horizontes nach äusseren Kriterien (Standort des Betrachters) oder nach inneren Kriterien (Bildkomposition)**

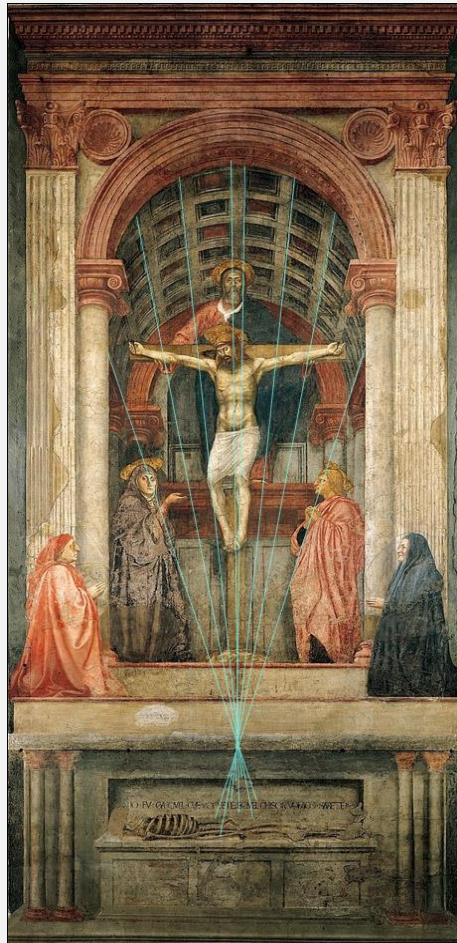


a

**a** Botticelli, Sandro: *Tod der Lukrezia* (1500)

*Konstruktionsbezogene Perspektive:* Der Fluchtpunkt liegt nach kompositorischen Gesichtspunkten innerhalb der Szenerie. Er hat keinen Bezug zum Standort des Betrachters

<sup>121</sup> Man versuche, wenn es möglich ist, zum Betrachten eines originalen Bruegelbildes mit hohem Horizont auf einen Stuhl zu steigen, und vergleiche den Effekt (Bei einem Museumsbesuch rüste man sich dazu mit einer Zeitung aus...)



b

**b** Masaccio (Tommaso di Ser Giovanni di Mone Cassai)  
*Trinità* (1425-1428)

*Betrachterbezogene Perspektive:* Masaccios Trinität gilt als erstes Bild, das nach den Theorien Brunelleschis geschaffen wurde. Noch ist die Perspektive in der Frühphase, sie erscheint richtig, jedoch sind Nah- und Fernpunkt hier vereint<sup>122</sup>.

Ohne Rücksicht auf die Szenerie legt der Maler den Konvergenzpunkt an einen Ort, der kompositorisch belanglos ist, aber nach der perspektivischen Theorie korrekterweise auf Augenhöhe des Betrachters liegt.

Hängt aus architektonischen Gründen ein Bild zu hoch, stimmt die Perspektive für den Betrachter nicht mehr (**Abb. 8.6**). Interessanterweise stört die „falsche“ Position des Horizontes aber kaum, denn wir wissen, dass es sich nicht um eine reale Szene, sondern um ein Bild handelt und stellen uns mit unserem Visuellen System entsprechend darauf ein.

<sup>122</sup> Beachte die Kontroversen in der Literatur bei Analysen des Werkes



**Abb. 8.6: Diskrepanz von Bildhorizont und Augenhöhe in hoch platzierten Wandgemälden:**

*Leonardo da Vinci: Das Abendmahl*  
1494- 1498



**a**



**b**

**a:** Der Horizont liegt auf der Höhe des Hauptmotivs, nämlich des Kopfes von Jesus. Das ganze Bild ist perspektivisch so konstruiert, wie wenn die Augen der Betrachter die Szene von ebendieser Höhe sehen würden.

**b:** Die Mönche, die einstmals im Saal speisten, sassen jedoch viel tiefer. Wäre das Bild aus ihrer Perspektive gemalt worden, so hätten sie weder die Speisen auf dem Tisch noch die Oberkörper der Personen sehen können.

\*\*\*

Raffaello Santi: die Schule von Athen  
1510 -1511



c



d

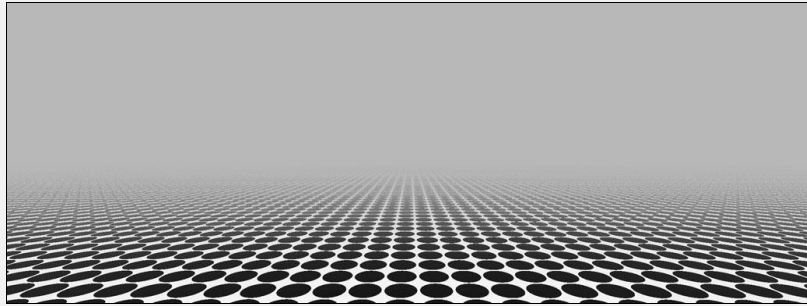
c: Der Horizont liegt auf Bauchhöhe der Gelehrten in der oberen Reihe. Auf dieser Höhe ist auch der Standort des Malers anzunehmen.

d: Der Betrachter jedoch sieht die dargestellten Menschen von unten, da sich das Wandbild hoch über seinem Kopf befindet (vgl. die Höhe der Türe).

## Fluchtpunkte und Fluchtlinien

„Fluchtpunkt“ wird in der Malerei als Begriff für die Fernkonvergenzpunkte beim Aufbau eines Gemäldes verwendet. In der *Konstruierten* Perspektive benötigt die Rekonstruktion des dreidimensionalen Raumes – wie früher dargestellt - drei Fluchtpunkte. In der *Beobachteten* Perspektive hingegen gibt es so viele Fluchtpunkte, wie es Blicklinien gibt (**Abb. 8.7**).

**Abb. 8.7: Multiple Fluchtpunkte der Beobachteten Perspektive**



a

a „Musterperspektive“; „Pattern perspective“. (Wiederholung der **Abb. 7.3**):  
In der beobachteten Perspektive gibt es in allen Blickrichtungen  
Fluchtpunkte.

\*\*\*



b

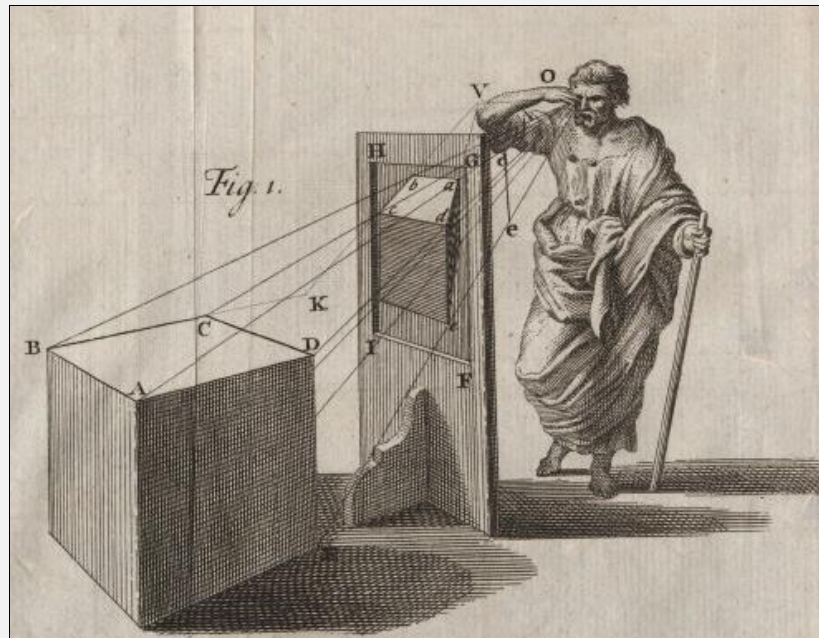
b *Biblioteca nazionale Marciana, Venedig*:  
Das Bodenmuster zeigt Fluchtpunkte in mehreren Blickrichtungen

Für die Mehrdeutigkeiten der Fluchtpunkte, lassen sich auf Gemälden – unter Ausnützung der Fehlertoleranz - Lösungen finden. Auf Schemazeichnungen hingegen ist es ein unlösbares Problem, den Raum als geistiges *Konstrukt* und den Raum als visuelle *Erfahrung* in ein und demselben Schema überzeugend darzustellen (**Abb. 8.8**).



**Abb. 8.8: Versuch der Darstellung von konstruierten und beobachteten Konvergenzen im gleichen Schema**

*Taylor, Brook: New Principles of Linear Perspective 1715*



*Sehpyramide und perspektivische Zeichnung*

Taylor versucht, im gleichen Schema Elemente der Konstruierten und Beobachteten Perspektive zu vereinen.

Die Schwierigkeiten sind u.a. ersichtlich an den Positionen

K : Knick in der Geraden und

V : konstruierter Fernkonvergenzpunkt, der von der Abbildungsfläche aus gesehen auf Seite des Beobachters statt auf Seite des Würfels erscheint).

Auf Gemälden sind die Fluchtpunkte selbst nur selten sichtbar. Die Maler pflegen sie durch vorgelagerte Objekte zu verdecken, und ihre Position lässt sich dann nur durch die Konvergenz der zuführenden Linien („Fluchtlinien“) erschliessen (**Abb. 8.9**).

**Abb. 8.9: Verdeckte Fluchtpunkte**



**a**

**a** *Francesco di Giorgio Martini: Die ideale Stadt, ca. 1495*

Die Fluchtlinien sind durch die Bodenpflasterung angegeben. Der Fluchtpunkt selbst wird durch ein Schiff in weiter Ferne markiert, das keinen Bezug zur Szenerie hat.

\*\*\*

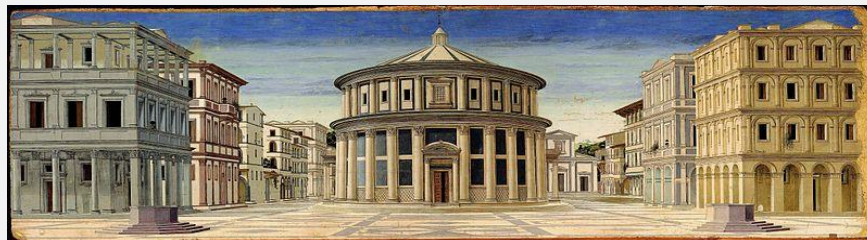


**b**

**b** *Luciano Laurana zugeschrieben: Die Ideale Stadt ca. 1470 - 1480*

Der Fluchtpunkt ist durch ein Gebäude hinter dem Torbogen verdeckt

\*\*\*



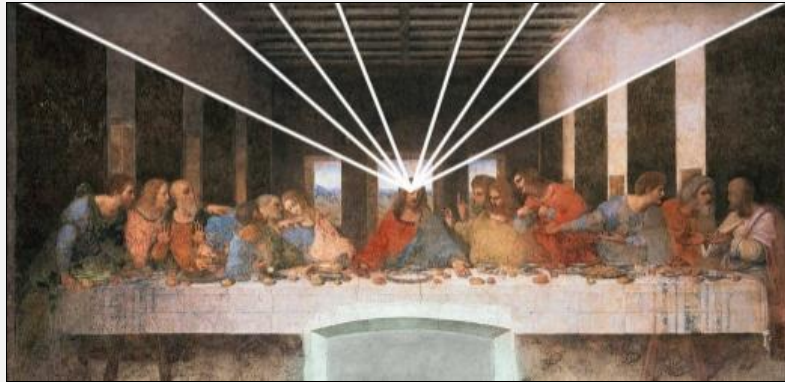
**c**

**c** *Piero della Francesca (1420 -1492) zugeschrieben: Die ideale Stadt*

Im Zentrum verhindert ein grosser Rundbau den Blick auf den Fluchtpunkt, der hinter der halboffenen Türe verborgen ist.

Fluchtpunkte und Fluchtlinien sind aber nicht nur Mittel zur *geometrischen Erfassung* des Raumes sondern auch zur *Führung des Blickes*. Ist dies das Ziel, konstruieren die Maler den Raum von vornherein so, dass die Fluchtlinien den Blick zu den Zentren der Aufmerksamkeit führen (**Abb. 8.10**).

**Abb. 8.10: Raumperspektive als Mittel zur Blickführung 1**



*Leonardo da Vinci, Abendmahl:*  
Der Fluchtpunkt liegt im Haupte Jesu.

**Abb. 8.11: Raumperspektive als Mittel zur Blickführung 2**

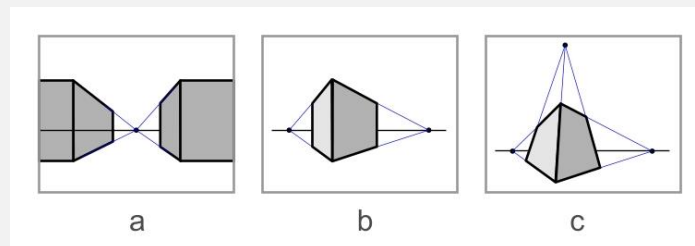


*Raffaello Santi: Die Schule von Athen:*  
Die Fluchtlinien weisen auf die beiden wichtigsten Gelehrten Platon und Aristoteles hin. Der Fluchtpunkt liegt nicht auf deren beiden Köpfen, sondern dort, wo sie sich auf Bauchhöhe an einem Punkt treffen, und so signalisiert er ihre Einheit.

## Die Wahl der Fluchtpunktperspektiven

Wie erwähnt, braucht es nach den Regeln der *Konstruktiven* Perspektive die Projektion des dreidimensionalen Raumes auf eine Bildfläche drei Fluchtpunkte (**Abb. 8.12**), während es in der *Beobachteten* Perspektive viele Fluchtpunkte gibt, die bei jeder Bewegung des Blickes wandern. Die Maler arbeiten mit beiden Komponenten und müssen bei jedem ihrer Gemälde bestimmen, welche Kompromisse sie eingehen wollen.

**Abb. 8.12: Fluchtpunktperspektiven**



**a Einpunktperspektive:** Der Fluchtpunkt und die konvergenten Fluchtlinien liegen alle innerhalb des Bildes. Nach der Faustregel bleiben die bildrandparallelen Horizontalen horizontal, die Vertikalen vertikal.

**b Zweipunktperspektive:** Alle Horizontalen verlaufen hier schräg, konvergent. Nur die Vertikalen bleiben vertikal

**c Dreipunktperspektive:** Der dritte Fluchtpunkt liegt nicht auf dem Horizont. Die Vertikalen verlaufen jetzt ebenfalls schräg

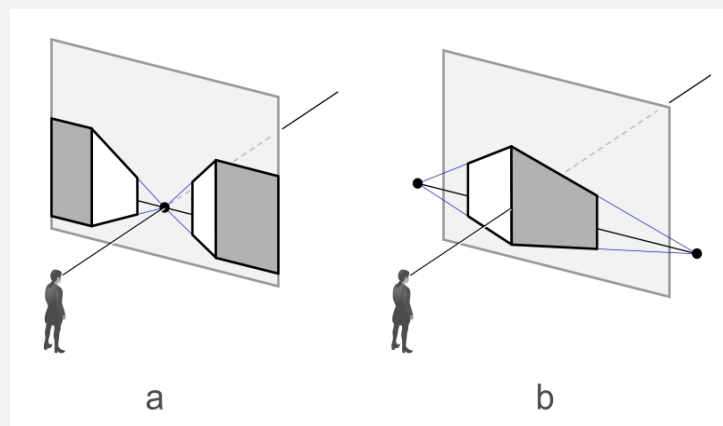
### *Zentrierte Einpunktperspektive (Zentralperspektive)*

Bis ins 17. Jahrhundert verstand man unter Perspektive (unter welcher Bezeichnung auch immer) die Zentralperspektive, d.h. eine Einpunktperspektive bei Geradeausblick, deren Fluchtpunkt in der Mitte des Bildes liegt. Zwar findet man in den Schemata der damaligen Zeit auch seitliche Konvergenzpunkte, aber bei diesen handelt es sich eher um Augspunkte der Maler, resp. Betrachter in seitlicher Projektion (*Nah*konvergenzpunkte), als um *Fern*konvergenzpunkte (**Abb. 8.13**).





**Abb. 8.14: Lage der Fluchtpunkte und Blickachsen**



**a Einpunktperspektive:**

Der Fluchtpunkt liegt bei der Zentralperspektive innerhalb des Bildes. Der konstruktionsbedingte Konvergenzpunkt und die, von den Konvergenzlinien geführte, Blickachse treffen am gleichen Ort zusammen.

**b Zweipunktperspektive:**

Die Fluchtpunkte liegen quer zur Blickachse, seitlich ausserhalb des Bildes.

Einpunktperspektiven gibt es nur in der Zentralperspektive, wie der folgende Abschnitt zeigt.

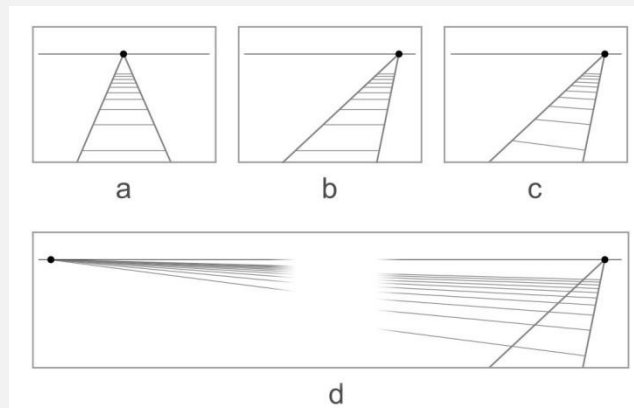
### *Dezentrierte Einpunktperspektive*

Wenn man bei Einpunktperspektiven den Fluchtpunkt ein wenig seitlich verschiebt, so entstehen nicht einfach asymmetrische Zentralperspektiven, sondern vielmehr Zweipunktperspektiven, bei denen der eine Fluchtpunkt weit hinaus verlagert wurde.

Sie unterscheiden sich somit von den Konstruktionen Albertis, wo bei seitlichen Verschiebungen des Konvergenzpunktes die horizontalen Geraden horizontal bleiben (**Abb. 8.15**). In der Praxis wirkt sich der Unterschied allerdings kaum aus (→ Fehlertoleranz), theoretisch hat er aber eine Bedeutung und spielt in der einschlägigen Literatur eine Rolle.



**Abb. 8.15: Einpunktperspektive vs. Zweipunktperspektive**



**a und b:** Konstruktionen im Sinne Albertis:  
Nicht nur in der Zentralperspektive, sondern auch in der dezentrierten Einpunktperspektive bleiben die bildrandparallelen Horizontalen horizontal.

**c und d:** Die exzentrische „Einpunktperspektive“ als Zweipunktperspektive. Der eine Fluchtpunkt befindet sich innerhalb des Bildes (= Einpunkt), aber es gibt noch einen zweiten, der weit ausserhalb liegt<sup>123</sup>.



**e**



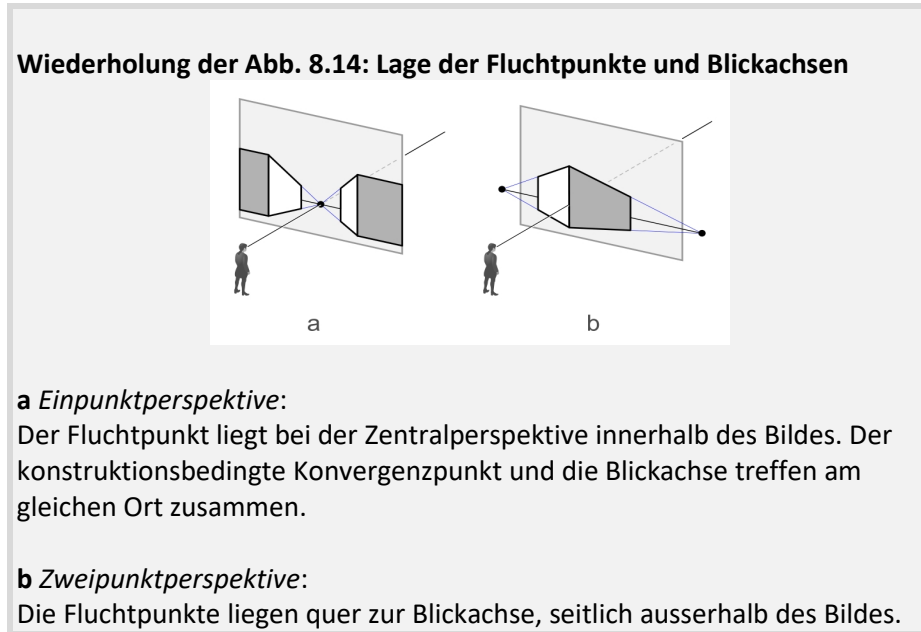
**f**

**e und f:** Illustration des Übergangs von Ein- zu Zweipunktperspektive durch eine kleine Verschiebung des Fluchtpunktes zur Seite.

<sup>123</sup> Die linke Seite liegt aus Platzgründen zu nahe

## Zweipunktperspektive (*Lateralsperspektive*)

Die Zweipunktperspektive war historisch eine Neuerung, die darin bestand, dass nicht nur die tiefengerichteten, sondern auch die horizontalen Parallelen auf Fluchtpunkte hin konvergieren. Die Konvergenzpunkte sind hier reine Konstruktionen, unabhängig vom Beobachter und seiner Blickachse (siehe Wiederholung der **Abb. 8.14b**). Im Gegensatz zur Zentralperspektive dienen sie nicht zur Blickführung.



Da die Fluchtpunkte ausserhalb des Bildrahmens zu liegen kommen, wird das Verfahren für die Maler kompliziert:

Wird die Perspektive *konstruiert*, so benötigt man Hilfsflächen, um die seitlichen Fluchtpunkte unterzubringen.

Zeichnet man nach der *Beobachtung*, braucht man Hilfsgeräte, wie z.B. ein Velum oder eine Camera Obscura, mit denen man die Schräge der Seitenkonvergenzen ablesen kann, ohne die lateralen Fluchtpunkte zu kennen.

Werden die Konvergenzen in Ermangelung solcher Hilfsmittel freihändig nach *Intuition* gezeichnet, nimmt man zwar Ungenauigkeiten in Kauf, aber das Bild kann dank unserer Fehlertoleranz dennoch überzeugend wirken (siehe **Selbstversuch 8.2**).

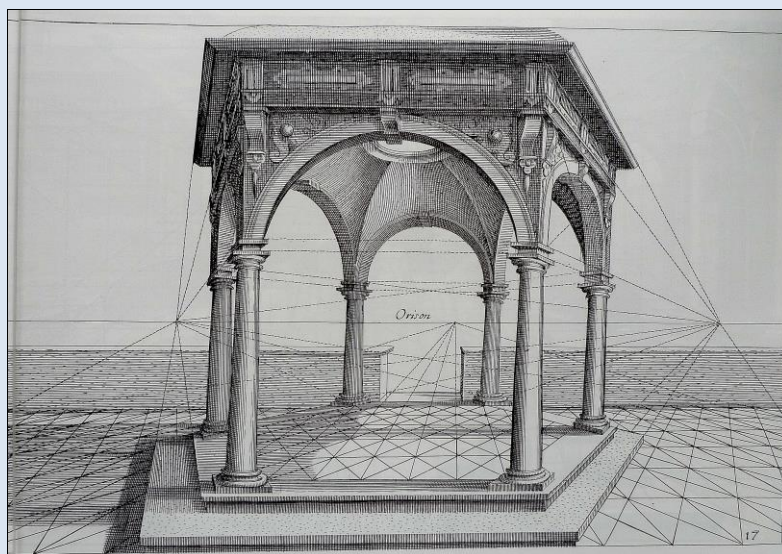
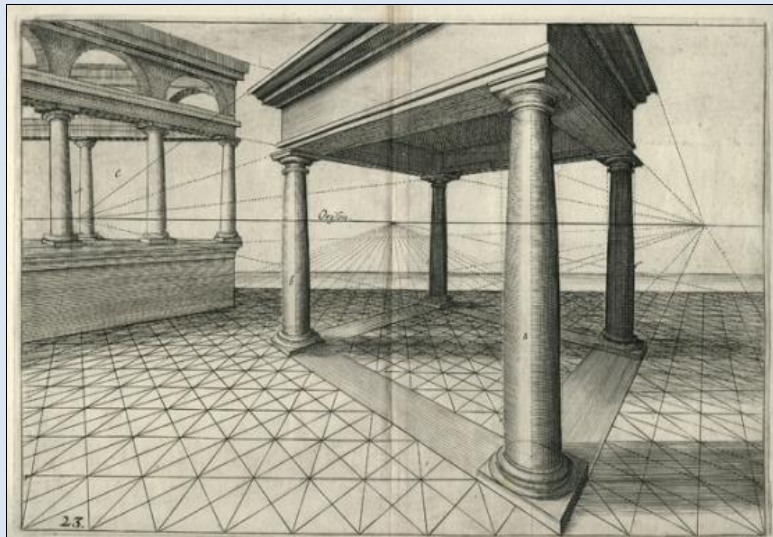
### Selbstversuch 8.2: Einfluss der Fehlertoleranz

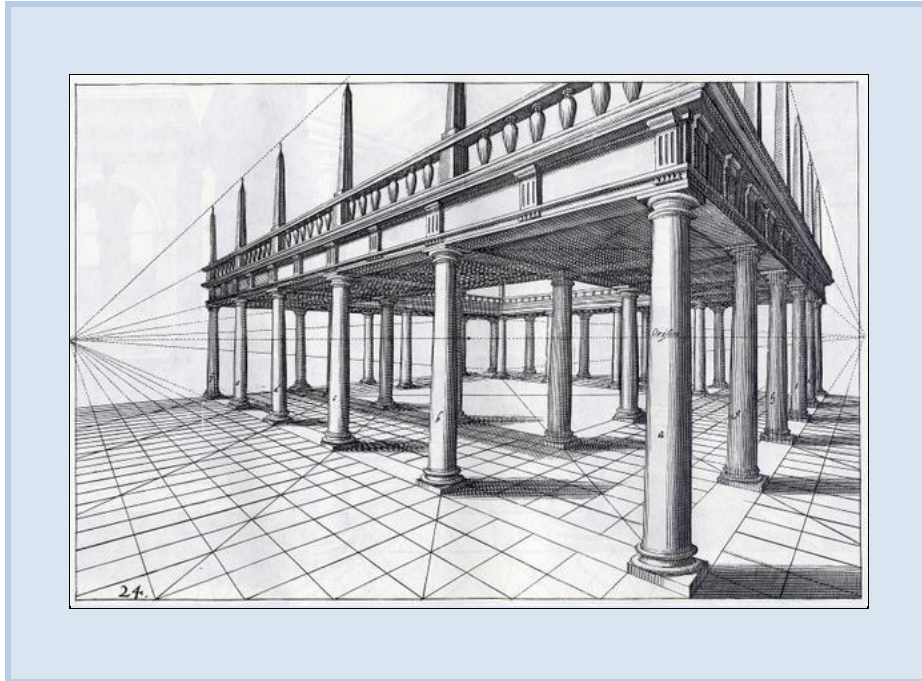
Man messe auf Reproduktionen – möglichst in Originalgrösse – die Konvergenzen nach. Dabei wird man feststellen, dass fast alle Gemälde irgendwo eine Fehlertoleranz beanspruchen.

In Frühphasen der Zweipunktperspektive versuchte man die ob genannten Probleme zu vermeiden, indem man die seitlichen Fluchtpunkte im Innern des Bildes platzierte. Das Resultat enthielt allerdings Verzerrungen, weil die Konvergenzen eher in die Tiefe als zur Seite führten (siehe **Exkurs 8.4**).

#### Exkurs 8.4: Verzerrte Konstruktionen

Setzt man die seitlichen Fluchtpunkte einander zu nahe, so werden die konstruierten Objekte verzerrt. In den drei Beispielen unten platzierte der Maler *Jan Vredeman de Vries* (1527 – 1609) die lateralen Fluchtpunkte ins Innere des Bildes. Dabei kommt es zur Konfusion, denn nun kann man diese nicht nur als Lateralfuchtpunkte der Konstruierten Perspektive interpretieren, sondern sie wirken auch als exzentrische Fernkonvergenzen des Blickbündels.





### Der gekrümmte Raum

Da wir die Krümmung des Raumes nicht wahrnehmen, verwundert es nicht, dass sie nicht gemalt wird. So sind denn auch nur vereinzelte Gemälde bekannt, bei denen eine beabsichtigte Raumkrümmung vermutet wird. Allerdings ist es fraglich, ob die Maler dieser Bilder wirklich versuchten, die theoretisch existierende Raumkrümmung abzubilden.

In einschlägigen Schriften werden zwei Maler zitiert, Jean Fouquet und Konrad Witz, von denen aber keiner die Kriterien voll erfüllt.

*Jean Fouquet* (1420 – 1478) malte Miniaturen, in denen die Bewegungsamplituden des Blickbündels zu klein sind, um eine relevante Krümmung bewirken zu können. Ausserdem krümmt er nicht konsequent das Ganze, sondern bloss den Fussboden, während die anderen Bildabschnitte geradlinig konstruiert sind (**Abb. 8.16**).



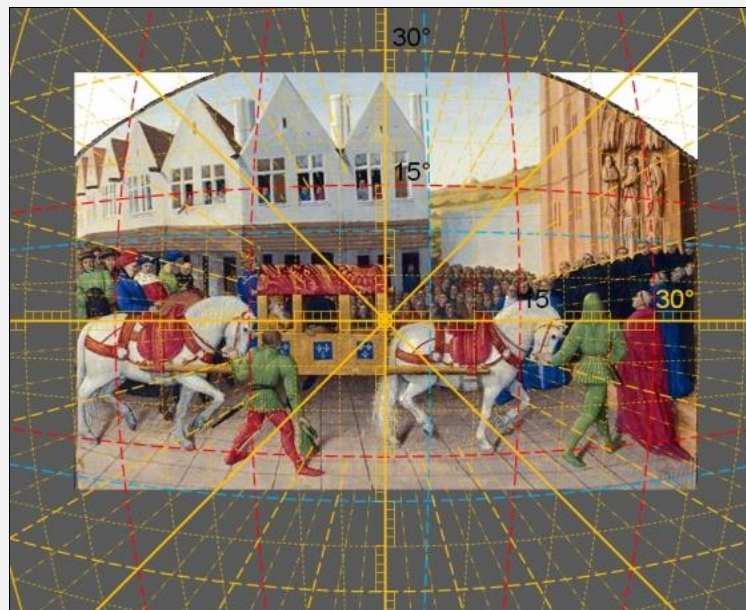
**Abb. 8.16: Seitlich gerichtete Krümmungen**

*Jean Fouquet (ca. 1460): Grandes Chroniques de France*



**a**

**a** Das Strassenpflaster ist gekrümmt. Demgegenüber sind bei den einzelnen Häusern die Fronten gerade, dem Strassenverlauf folgend sind sie jedoch geknickt. Die Vertikalen sind überall geradlinig.



**b**

**b** In diesem Schema wird versucht, mittels eines konstruierten curvilinearen Koordinatenrasters die theoretisch begründete Krümmung in das Bild hinein zu interpretieren. Wenn man jedoch die einzelnen Gebäudelinien genau verfolgt, stimmen sie nicht genau mit dem Raster überein. Die vertikalen Krümmungen existieren im Bild überhaupt nicht.



C

c Nur das Strassenpflaster ist gekrümmt, und zwar weit stärker, als es mit einer korrekten Konstruktion kompatibel wäre. Die Häuserfronten sind geradlinig.



d

d Auch hier ist das Pflaster übermässig gekrümmt. Die Vertikalen sind gerade. Die Stadtmauer ist konkav gekrümmt, müsste aber, falls die Krümmung von Blickbewegungen verursacht wäre, konvex gekrümmt sein.





e

e Diese Miniatur ist – wie viele andere - frei von Krümmungen, und dies beweist, dass Fouquet die Idee von gekrümmten Perspektiven keineswegs konsequent verfolgte.

**Abb. 8.17: Tiefengerichtete Krümmung**

*Konrad Witz (1400 – 1446)*



a

a Es sind die tiefengerichteten Horizontalen, die leicht gekrümmt sind. Sie verlaufen somit anders, als Krümmungen, die auf laterale Blickamplituden zurückzuführen sind



b

Auch hier ist die Krümmung in die Tiefe nach hinten gerichtet. Sie verläuft konvex.

Bei *Konrad Witz* gibt es in einigen Gemälden ebenfalls Krümmungen, aber sie verlaufen axial in die Tiefe, d.h. in einer Richtung, in der gar keine Blickamplituden auftreten (**Abb.8.17**).

Offensichtlich benützten Jean Fouquet und Konrad Witz die Krümmungen nicht als räumliches Konstruktionsprinzip, sondern einfach, im Rahmen der künstlerischen Freiheit, als Mittel zur Dynamisierung der Bilder.

## Verzerrungen und Anamorphosen

### *Spielerische Anamorphosen*

Wenn Anamorphosen absichtlich gestaltet werden, so sind sie, wie im vorhergehenden Kapitel bereits erwähnt, Themen von Experimenten und Spielereien. In Gemälden sind sie extrem selten, und wenn in der Kunstliteratur von Anamorphosen die Rede ist, geht es immer um das Bild „Die zwei Gesandten“ von Holbein. Dort umfasst die Anamorphose jedoch nur ein einziges Objekt, während alles andere in normalen Proportionen gemalt ist.

Der Standort, von dem aus man die Anamorphose entziffern kann, ist so unbequem, dass man sich fragt, ob Holbein die Lösung des Rätsels verhindern wollte. Es handelt sich offensichtlich um eine Spielerei, deren Zweck umstritten ist (**Abb. 8.18**).

**Abb. 8.18: Anamorphose**

*Hans Holbein, der Jüngere: Die Gesandten (1533)*



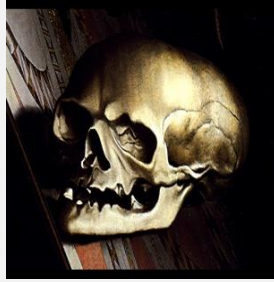
**a**

**a:** In der Bildmitte unten gibt es ein seltsames, helles Gebilde, dessen Form nicht zum Ganzen passt.



**b**

**b:** Blickt man flach vom richtigen Augspunkt, erweist es sich als Schädel.



c

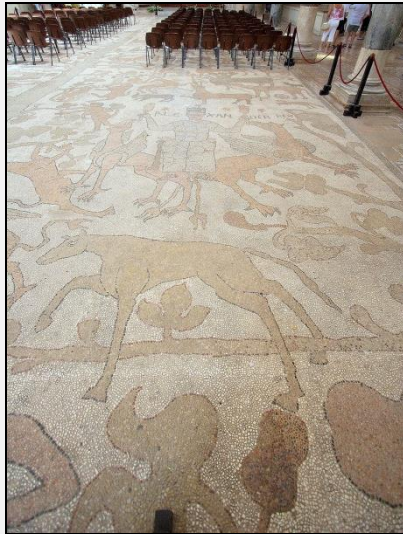
c: Der Totenkopf, über dessen Bedeutung man bis heute rätselt<sup>124</sup>.

### *Korrektive Anamorphosen*

Alle Bilder, die wir unter einem schrägen Beobachtungswinkel betrachten, sehen wir anamorphotisch verzerrt (**Abb. 8.19** und **8.20**). Um dem entgegen zu wirken, müsste man sie in entgegengesetzten Verzerrungen malen (**Abb. 8.21**). Die Regeln zur Entzerrung waren seit der Antike bekannt.

#### **Abb. 8.19: Beobachtete Anamorphosen bei Motiven auf Fussböden**

*Bodenmosaik in der Kathedrale von Otranto, Apulien*



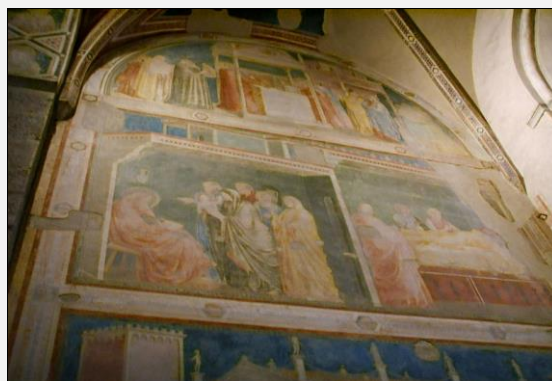
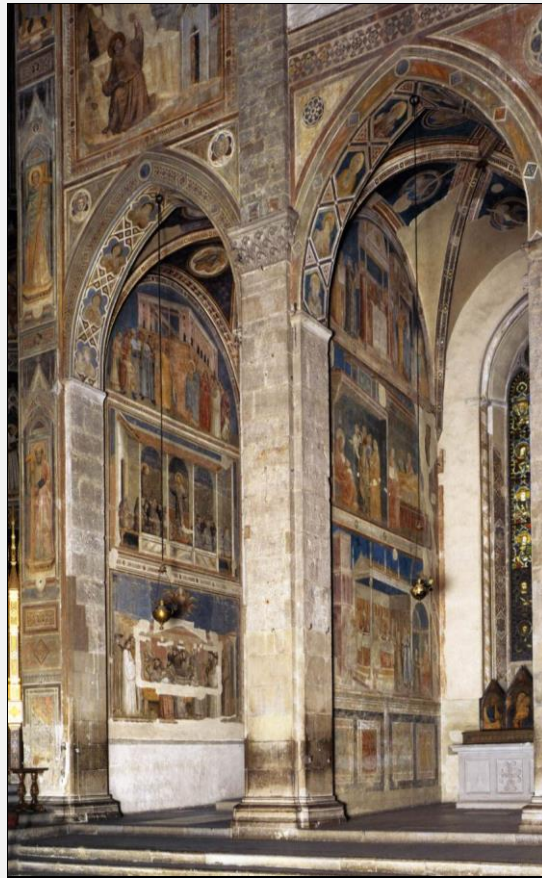
Der Abstand der Augen vom Fussboden ist gering. Je weiter die Motive vom Betrachter entfernt sind, desto kleiner wird der Beobachtungswinkel, und deshalb erscheinen die Figuren bis zur Unkenntlichkeit verzerrt.

<sup>124</sup> Eine instruktive bewegliche Version unter: <http://www.michaelbach.de/ot/sze-anamorph/index-de.html> [2018]



**Abb. 8.20: Anamorphotische Ansichten in engen Raum-verhältnissen**

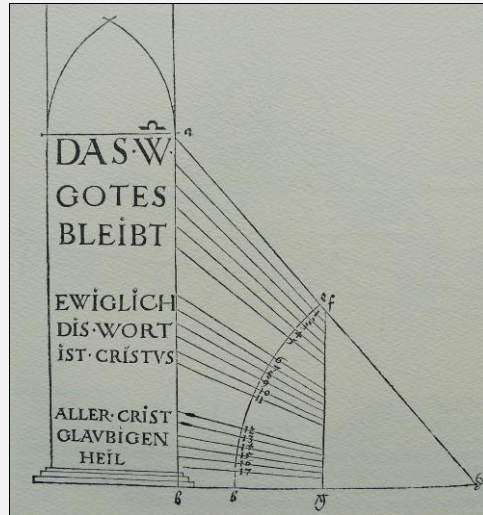
*Capella Bardi und Capella Peruzzi in Santa Croce, Florenz*



Die Platzverhältnisse in der Seitenkapelle sind eng. Die Betrachter sind deshalb gezwungen, nahe an der Bildwand zu stehen. Gegen oben wird dann der Beobachtungswinkel immer spitzer, und die Motive erscheinen extrem verkürzt.

**Abb. 8.21: Korrektive Anamorphosen als Mittel zur Neutralisierung der perspektivischen Verzerrung**

*(Wiederholung aus Exkurs 7.5)*



**a**

**a** Albrecht Dürer: Je weiter entfernt die Buchstaben von uns sind, desto grösser muss man sie machen, damit wir sie gleich gross wahrnehmen wie die näheren

*Zum Vergleich: Moderne Korrektive Anamorphose*



**b**

**b** Praktische Anwendung: Strassenmarkierung

Wohl aber wurden sie in der Architektur benutzt. Ebenfalls angewendet wurden sie bei Statuen auf erhöhten Basen, in Tympana oder auf hohen Sockeln, indem man die Kopfparten vergrösserte, um sie den Betrachtern in normalen Proportionen erscheinen zu lassen (**Abb.8.22**).



**Abb. 8.22: Entzerrung der perspektivischen Verzerrung**

*Michelangelo: Statue von David, Höhe: 5,17 Meter*



*Links:* Original im Museum in Florenz: Frontal, von erhöhtem Standort aus fotografiert, erkennt man, dass die Kopf- und Schulterpartien grösser gestaltet sind als der übrige Körper.

*Rechts:* Kopie vor dem Palazzo Vecchio: Die Höhe des Sockels erhöht den Abstand des Kopfes von den Betrachtern, die auf der Piazza von unten auf die Statue blicken, und deshalb erscheint die vergrösserte Kopfpartie wieder verkleinert. Die Betrachter nehmen sie somit in normalen Proportionen wahr.

In Gemälden kommen jedoch „Korrektive Anamorphosen“ kaum vor. Dies ist erstaunlich, denn man hätte erwartet, dass, um den perspektivischen Verzerrungen entgegenzuwirken, auch die Maler der Renaissance bei hochgelegenen Gemälden (z .B. **Abb. 8.20**) korrektive Anamorphosen verwendet hätten. Aber erstaunlicherweise hat es kaum je einer getan.

Möglicherweise hat das Unbehagen eine Rolle gespielt, das wir empfinden, wenn Menschen, die wichtig genug sind, um abgebildet zu werden – seien sie Heilige, Helden, Magistraten oder Auftraggeber – verzerrt dargestellt werden. Und dieser Gesichtspunkt war wohl wichtiger als derjenige der Betrachter, die hoch platzierte Bilder nur extrem verzerrt sehen können, sie aber wegen der unbequemen Kopfhaltung ohnehin nur kurz anschauen.

In der *Praxis* lässt sich die – schon früher erwähnte - Grundbedingung von Anamorphosen kaum je erfüllen, nämlich die Forderung nach einem einzigen, präzise definierten Standort von Maler und Betrachter.

Bei Bodenmosaiken bedarf dies keines Kommentars. Bei Wandgemälden würde es bedeuten, dass nur eine Person allein das Bild richtig sähe, was in einem öffentlichen Gebäude dem Zweck der Bebilderung widerspräche. Wenn wir die verzerrten Bilder korrekt wahrnehmen, so beruht dies wohl auf einer grosszügigen Fehlertoleranz.

*Beachte:* Die oben beschriebene Korrektive Anamorphose folgt den gleichen geometrischen Regeln der Forcierten Perspektive, die im vorhergehenden Kapitel beschrieben wurde. Die Zielsetzung ist jedoch eine andere.

Die Existenz oder das Fehlen einer Korrektiven Anamorphose drückt den Willen des Malers aus

1. entweder ein Bild nach den Bedürfnissen seines inneren Aufbaus zu komponieren
2. oder ein Bild genau nach dem richtigen Standpunkt eines Betrachters zu gestalten
3. oder ein Bild von mehreren Standpunkten aus korrekt erscheinen zu lassen, und dazu die Fehlertoleranz auszuloten.

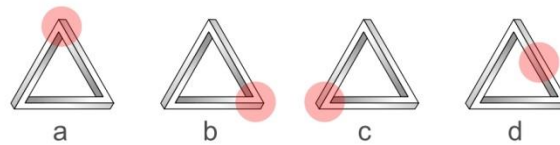
### Das Wesen der Kompromisse

Wenn ein Maler seine Wahl unter den bisher beschriebenen Kriterien treffen muss, so ist ein wichtiger Gesichtspunkt die Standortfrage. Die Forderung der Konstruierten Perspektive nach einem einzigen, genau definierten Augspunkt ist nicht praxistauglich. Wenn der Maler auch die Ansprüche der beobachteten Perspektive berücksichtigen will, muss er davon ausgehen, dass mehrere Menschen gleichzeitig sein Werk betrachten wollen, dass diese nicht alle frontal davorstehen können und dass sie sich in verschiedenen Richtungen bewegen werden. Und genau so muss er sich während des Malens selbst bewegen und jeweils prüfen, ob die gewählten Kompromisse akzeptabel sind.

#### **Warum irritiert uns das nicht?**

Interessanterweise stört es uns nicht, wenn ein Gemälde aus verschiedenen Perspektiven zusammengesetzt ist. Der Grund liegt in unserem zentrumsbetonten Gesichtsfeld und seinem zentralen Schärfefeld. Wie die verschiedenen Programme im Visuellen System daraus ein Ganzes machen, habe ich in früheren Kapiteln beschrieben. Ich erinnere hier bloss an das Beispiel des Penrosedreiecks, dessen Wirkung als sensorische Täuschung auf diesen Phänomenen beruht:

**Segmentales Sehen am Beispiel des „unmöglichen“ Penrose-Dreiecks**  
Wiederholung der Abb. 2.19:



**a:** Richten wir das Schärfefeld auf die obere Spitze, so erscheint uns diese korrekt zu sein.

**b und c:** Wenden wir nun das Schärfefeld auf die beiden anderen Spitzen, so erscheint jede einzelne ebenso korrekt, obwohl sie geometrisch nicht dem gleichen Dreieck angehören kann.

**d:** Die drei Spitzen werden durch Verbindungsgerade zusammengehalten, die wir im Schärfefeld ebenfalls korrekt wahrnehmen.

Jedes einzelne Feld erscheint korrekt, das Gesamte aber ist eine „unmögliche Figur“. Wir werden uns dessen aber nicht bewusst, und erst wenn wir darauf aufmerksam gemacht werden, erkennen wir die „Täuschung“.

Ähnlich verhält es sich, wenn wir vor einem Gemälde stehen. Wenn die Kompromisse auch verschiedene Perspektiven erzeugen, so fällt uns deren Vielzahl nicht auf (siehe **Abb. 8.23**).



**Abb. 8.23:** Giuseppe Galli di Bibbiena (1696-1756) Szenographie für „*Didone abbandonata*“  
Multiple Perspektiven im gleichen Bild

## 9 Betrachtete Perspektive

### Warum können wir die perfekte Illusion von Raum nicht erreichen?

*Amplituden der Blickbewegungen*

*Vor- und rückwärts Bewegungen: Änderungen des Sichtfeldes*

*Seitliche Bewegungen: Parallaxe vs. Verzerrungen*

*Einfluss der Körperhaltung*

### Wie weit kann man sich Illusionen annähern?

*Trompe l'oeil*

*Stilleben*

*Panoramen*

### Grenzen der Illusionen

## Warum können wir die perfekte Illusion von Raum nicht erreichen?

Dass die Realität und ihr Bild nicht dasselbe sind, ist heute eine geläufige Erkenntnis. In der Entwicklungsphase der Perspektive jedoch stand den Pionieren das Ziel vor Augen,

- dass man das, was man sieht, so zeichnen kann, wie man es sieht,
- und dass dann die Betrachter das Gezeichnete als Realität wahrnehmen.

Wenn dem nicht so ist, stellt sich die Frage: Warum?

Für die Betrachter kommt zum bisher Diskutierten noch ein weiterer Begriff hinzu: Die *Raumempfindung*, d.h. das Gefühl, sich bei einem Bild in einem wirklichen Raum zu befinden.

Ob wir eine bestimmte Szene in der Realität oder auf einem Bild betrachten, auf der Netzhaut entwirft sie das gleiche Abbild. Egal ob die eintreffenden Lichtstrahlen von einer dreidimensionalen oder einer zweidimensionalen Quelle stammen, das Netzhautbild ist flach, und die weiteren Schritte der Verarbeitung im Visuellen System bleiben gleich.

Was hingegen die beiden Prozesse unterscheidet, sind die Zusatzinformationen, die – wie früher dargestellt – bei der Interpretation von räumlichen Situationen eine entscheidende Rolle spielen.

Die einen sind *kognitiv*, d.h. sie werden uns bewusst: Wir „wissen“, ob wir eine Realität oder ob wir ein Bild betrachten, und unser Visuelles System stellt sich entsprechend ein.

Andere sind *sensorisch*, d.h. uns unbewusst. Sie aktivieren oder unterdrücken Programme, die für die Raumbewertung essentiell sind. Auf alle Details einzugehen, ist hier nicht möglich, weshalb ich mich auf ein Beispiel beschränke: die Rolle von *Feedbacks aus der Körpermuskulatur*.

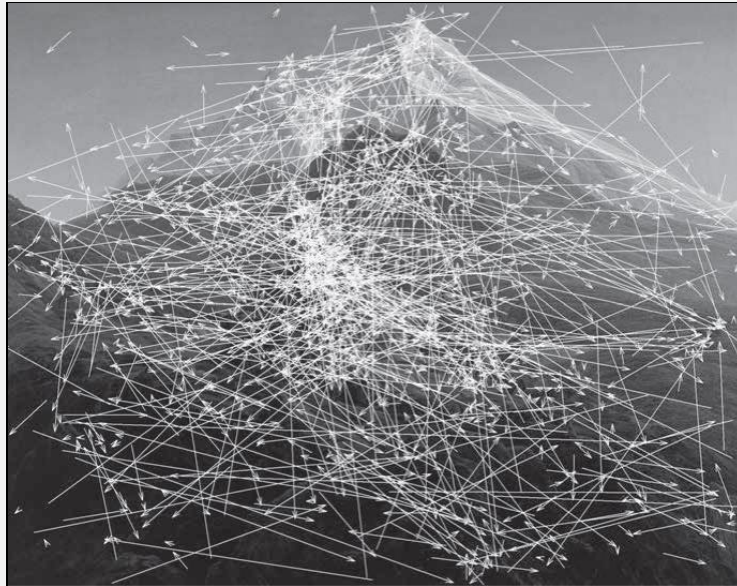
Die Raumempfindung ändert sich, wenn man beim Betrachten seine Körperhaltung, seinen Standort oder die Amplituden seiner Blickbewegungen verändert.

### *Amplituden der Blickbewegungen*

Die früher beschriebenen Feedbacksysteme der Blickbewegungen – die Impulse zur Auslösung der Augenbewegungen, deren Registrierung im Gehirn, ihre Unterdrückung im Bewusstsein – sie alle bestimmen unser Raumgefühl. Wenn wir z.B. grossformatige Bilder betrachten, sind die Blickamplituden grösser als bei Kleinformaten, und entsprechend unterscheiden sich die Feedbacks zum Gehirn (**Abb. 9.1**).

**Abb. 9.1: Aufzeichnungen der Blickamplituden**

*Wiederholung aus Exkurs 7.3*



Die weissen Linien sind die Blickbewegungen, die beim Betrachten des Bildes aufgezeichnet wurden.



Stark verkleinert kann das Bild beinahe bewegungsfrei überblickt werden.

Wandgemälde erzeugen somit andere Raumgefühle als Miniaturen, Originale andere als Reproduktionen (siehe **Exkurs 9.1**).

**Exkurs 9.1: Original und Reproduktion**

Bei Gemälden, die in Büchern oder auf Bildschirmen verkleinert abgebildet sind, werden die Amplituden der Blickbewegungen kleiner. Wenn wir ein Bild einmal im Original und dann in seiner Abbildung in einem Buch betrachten, so zeigt das Netzhautbild zwar in beiden Fällen die gleichen Details des dargestellten Motivs, aber wir empfinden es räumlich anders.



Wir kommen leicht zu falschen Schlüssen, wenn wir Aussagen über Bilder auf verkleinerte Reproduktionen in Büchern abstützen, da uns die früher beschriebenen Elemente zur Beurteilung von räumlichen Effekten fehlen.

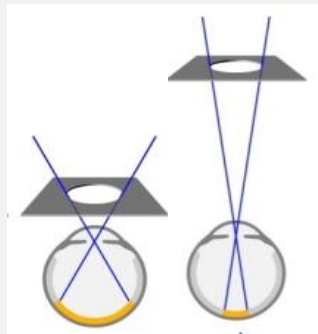
*Vor- und rückwärts Bewegungen: → Änderungen des Sichtfeldes*

Wenn man sich vor einem *realen* Fenster nach vorn oder nach hinten bewegt, verändert sich der Ausschnitt aus der Welt, den man überblicken kann. Je näher man beim Fenster steht, desto grösser wird das überblickbare Feld, und je weiter man sich davon entfernt, desto kleiner wird es (**Abb. 9.2**).

Beim Betrachten von *Gemälden* spielen Schlüssellochphänomene hingegen keine Rolle. Zwar könnte man den Bildrahmen als optische Blende betrachten, aber so wirkt er nicht; hinter ihm liegt nichts, er ist lediglich eine Grenze für das, was darin abgebildet ist. Bewegt man sich vor einem Gemälde vor- oder rückwärts, ändert sich das Sehfeld nicht. Was sich ändert, ist die Vergrößerung, und dann gilt das oben Gesagte über die Blickamplituden<sup>125</sup>.

**Abb. 9.2:**  
**Änderung der Blendenwirkung bei Änderungen des Abstandes**

„Schlüssellochphänomene“



Zur Erinnerung: Wiederholung der **Abb. 2.8** (Ausschnitt):

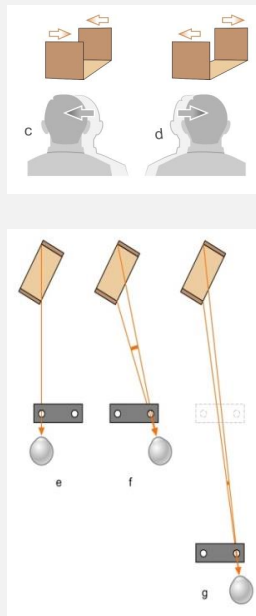
Je grösser der Abstand der Blende vom Beobachter in der realen Welt (Fenster), desto kleiner wird der Sehwinkel und desto kleiner wird das Sichtfeld (*gelb*).

<sup>125</sup> Wenn man den Abstand zu einem Bild vergrössert, ändern sich zusätzlich weitere Faktoren: Randkontrast (Randschärfe), Farbkontrast (Farbintensität) etc., die den Bildcharakter beeinflussen, die aber hier nicht weiter abgehandelt werden können

*Seitliche Bewegungen: → Verzerrungen*

Wenn man sich vor einem *realen* Fenster *zur Seite* bewegt, ändert sich der Blickwinkel, und das, was hinter dem Fenster liegt, wird verschoben. Das Ganze verschiebt sich gegenüber dem Fensterrahmen, und die dahintergelegenen Objekte verschieben sich gegenläufig. Dies sind die – schon früher beschriebenen - Dynamischen Kulisseneffekte („Parallaxe“). Sie wirken je nach Abstand verschieden stark, und die Wahrnehmung dieser Unterschiede ist ein wesentliches Feedback für räumliche Interpretationen (**Abb. 9.3**).

**Abb. 9.3:**  
**Abhängigkeit der Parallaxe von der Beobachtungsdistanz**



*Zur Erinnerung: Wiederholung aus **Selbstversuch 4.2**:*

Wenn sich das beobachtende Auge in der realen Welt von links nach rechts (**e → f**) verschiebt, so ändern sich die Winkel, unter denen man Objekte sieht. Wenn man den Abstand vergrößert (**g**), so wird dieser Winkel kleiner und somit auch die Wirkung der parallaktischen Verschiebung.

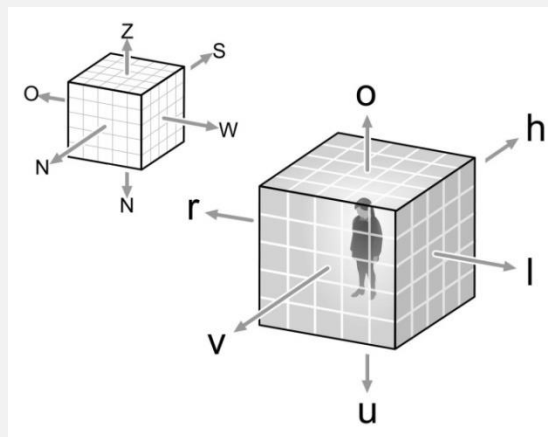
Bei Betrachtung von flächenhaften *Gemälden* hingegen entsteht keine Parallaxe, denn Standortveränderungen verursachen keine Verschiebungen, sondern lediglich *Verzerrungen*. Anders ausgedrückt: Bei Bewegungen des Betrachters ändern sich in der realen Welt die Sehwinkel gegenüber jedem *einzelnen* Objekt im Raum, bei Gemälden hingegen der Winkel gegenüber der *gesamten* Bildfläche. Das Erstaunliche ist, dass uns das nicht stört (→ Fehlertoleranz).

### Der Einfluss der Körperhaltung

Wenn ein Individuum seine Körperhaltung ändert, so drehen sich seine persönlichen Raumkoordinaten mit (**Abb. 9.4**), und rein *geometrisch* bleiben diese somit, welche Position man auch einnimmt, konstant (**Abb. 9.5**). Man müsste deshalb erwarten, dass sich bei Bewegungen das *Raumgefühl* nicht verändert. Dem ist aber nicht so. Wie früher beschrieben (→ „Beobachtete Perspektive“), kommen bei Veränderungen der Körperhaltung zusätzliche Feedbacks ins Gehirn (nicht nur von der Muskulatur, sondern auch vom Gleichgewichtsorgan) und beeinflussen die *Wahrnehmung* unserer Umwelt. So stellt sich die Frage, ob auch beim *Betrachten* von Bildern die Körperhaltung eine Rolle spielt, und falls ja, welche?

Wenn ein Bild senkrecht an einer Wand hängt und der Betrachter senkrecht davor steht, so korrespondieren die Positionen der Bildebene und diejenige des Kopfes. Das gleiche gilt, wenn ein waagrechtes Deckengemälde von einem Betrachter gesehen wird, der seinen Kopf so weit zurückbeugt, dass auch dieser waagrecht liegt (**Abb. 9.6**). Bei solcher Korrespondenz ist das Raumgefühl „normal“<sup>126</sup>.

**Abb. 9.4: Persönliche Koordinaten:**

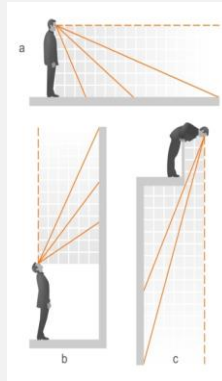


Geografische Koordinaten: *Ost* ↔ *West*, *Nord* ↔ *Süd*, *oben (Zenit)* ↔ *unten (Nadir)*. Sie sind invariabel und unabhängig von Personen.

Demgegenüber sind persönliche Koordinaten (*Links* ↔ *Rechts*, *Vorn* ↔ *Hinten*, *Oben* ↔ *Unten*) einem Individuum zugeordnet. Sie sind nur für dieses relevant, und sie bewegen sich mit ihm.

<sup>126</sup> Was bei einem Raumgefühl normal ist, lässt sich – wie andere Gefühle – in Worten nicht präzise ausdrücken. Aber wenn wir es fühlen, wissen wir es...

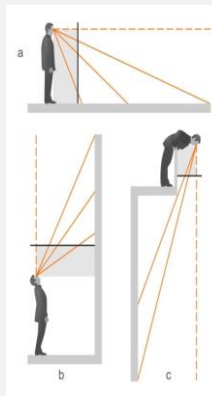
**Abb.9.5: Persönliche Koordinaten bei Änderungen der Körperhaltung**  
(Wiederholung von **Abb. 7.9**)



Die persönlichen Koordinaten drehen sich bei Bewegungen des Individuums mit.

- a** *Geradeaus-* Perspektive: Subjektives „Geradeaus“ bedeutet horizontal.
- b** *Aufwärts-* Perspektive: Subjektives „Geradeaus“ bedeutet aufwärts.
- c** *Abwärts-* Perspektive: Subjektives „Geradeaus“ bedeutet abwärts.

**Abb. 9.6: Einbezug der Bildebenen:**



**a** *Horizontalperspektive*: Stehen Betrachter und Bildebene beide aufrecht, erscheint der Raum im Bild „natürlich“.

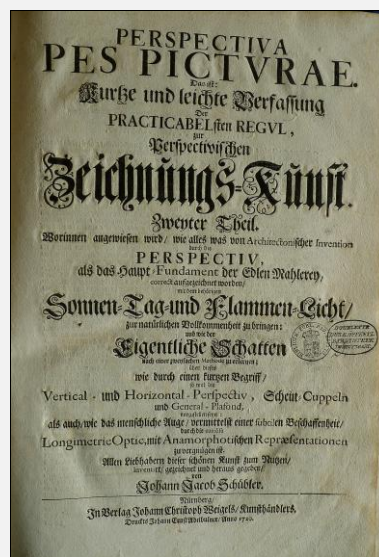
**b** *Aufwärtsperspektive*: Wenn ein Betrachter den Kopf so weit nach hinten beugt, bis dieser waagrecht liegt, und wenn auch die Bildebene waagrecht liegt, so erscheint das Bild ebenfalls „natürlich“ (z.B. Deckengemälde).

**c** *Abwärtsperspektive*: Die Bildebene liegt auch hier waagrecht.

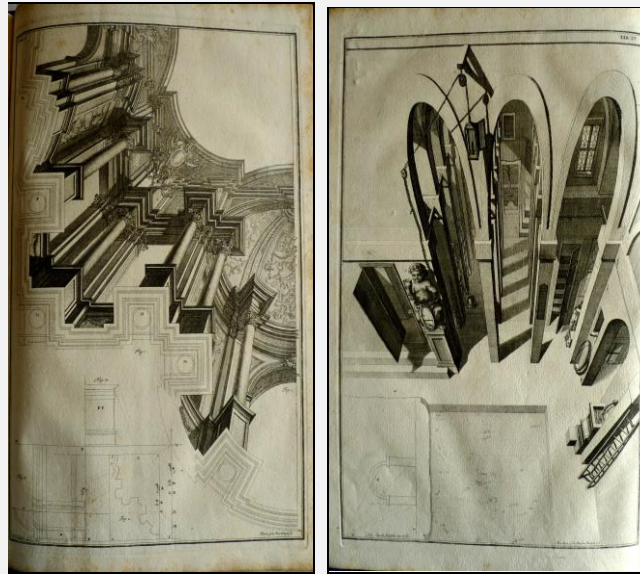
Wenn wir indessen ein Bild, das der Maler für eine *waagrechte* Kopfhaltung gemalt hatte, zum Betrachten *aufrecht* stellen, so korrespondiert die perspektivische Darstellung nicht mehr mit den Körperfeedbacks und unser Raumgefühl ändert sich. Einige Beispiele sollen das illustrieren (**Abb. 9.7**, **Abb. 9.8** und **Abb. 9.9**).

**Abb. 9.7: Korrespondenz der Position von Bildebene und Kopfhaltung in einem Lehrmittel für die Konstruierte Perspektive**

*Konstruktionen der Fluchtpunktperspektiven im Lehrbuch der Perspektive „Perspectiva Pes Picturae“ von Johann Jacob Schübler (1720)*



**a** *Geradeaus-Perspektive*: Bildebene und Kopfhaltung stimmen überein. Die Ansicht erscheint «normal».



**b** Aufwärtsperspektive: Konstruktion für den Blick nach *oben*. Bei Betrachtung im Buch, d.h. mit senkrechter oder nach unten gewendeter Kopfhaltung, erscheint uns die Perspektive verfremdet.

**c** Abwärtsperspektive: Konstruktion für den Blick nach *unten*.

**Abb. 9.8: Übereinstimmung von Körperhaltung und Position der Bildfläche - und deren Fehlen - bei einem Deckengemälde**



(Wiederholung von **Abb. 3.17**)

*Sant'Ignazio di Loyola in Campo Marzio*: Deckengemälde von Andrea Pozzo, 1685



Das Deckengemälde von Pozzo gilt als Paradebeispiel für die überzeugende Verwandlung einer flachen Decke in eine Darstellung von Raum. Betrachten wir das Deckengemälde an Ort mit rückwärts gewendetem Kopf, so erscheint die himmlische Illusion als Realität. Hält man hingegen, um die Betrachtung zu erleichtern, eine Kopie des Gemäldes senkrecht vor sich, so verschwindet die Raumillusion, und das Bild wird wie ein Teppich empfunden.

**Abb. 9.9: Mischung von architektonischer und narrativer Perspektive bei einem Deckengemälde**



*Michelangelo, Sixtinische Kapelle: Deckengemälde mit der Darstellung von Noahs Dankopfer*

Die Decke ist gewölbt, und die architektonischen Elemente mit den nackten Körpern sind entsprechend gemalt. Das zentrale – narrative - Bildfeld hingegen ist konstruiert in Geraden-Perspektive. Deshalb verliert es seinen Bezug zum Gesamtraum und wirkt verfremdet inmitten der vertikal konstruierten Umgebung.

### **Wie weit man sich Illusionen annähern kann**

Wenn die Erfinder/Entdecker der Perspektive auch das Ziel vor Augen gehabt haben mögen, eine perfekte Raumillusion zu schaffen, so wurde dies bisher nicht erreicht. Damit stellt sich die Frage, welche Hindernisse im Wege stehen und ob man diese überwinden kann.

## *Trompe l'oeil*

Als Trompe l'oeil wird ein Gemälde bezeichnet, das mit dem Zweck gemalt wird, den Betrachtern eine Realität vorzutäuschen, die nicht existiert. Abbildungen in natürlicher Grösse und in fotografischer Genauigkeit sind Voraussetzung, aber sie sind keine Garantie dafür, dass für uns die Illusion einer echten Räumlichkeit entsteht, denn Stereopsis und Parallaxe entfallen (**Abb. 9.10**).

**Abb. 9.10: Trompe l'oeil-Malerei an einer Hausfassade**



Die Szene sieht hier auf der Abbildung realistisch aus. In der Realität jedoch wirkt die Täuschung aber nur, wenn der Betrachter so weit entfernt steht, dass die Amplituden der Bewegungen des Blickbündels und die parallaktischen Verschiebungen keine Rolle mehr spielen<sup>127</sup>.

Eine Illusion, bei der man Bild und Realität kaum mehr unterscheiden kann, setzt voraus, dass sich ein Betrachter genau an dem Standort befindet, den der Maler vorgegeben hat (**Abb. 9.11** und **Abb. 9.12**).

<sup>127</sup> Die Stereopsis als Mittel der Räumlichkeit steht hier nicht zur Diskussion, denn das beidäugige Raumsehen wird – wie früher beschrieben – nur im Nahbereich unter 20 Metern wirksam

**Abb. 9.11: Abhängigkeit der Raumillusion vom Standort bei Geradeausperspektive**

*Wandmalerei in der Kapelle von Bramante in Santa Maria bei San Satiro in Mailand*



**a**

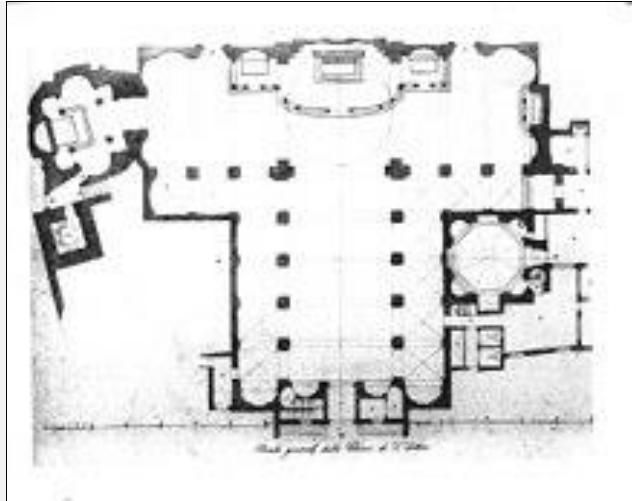
**a** Obwohl es sich in Wirklichkeit um ein Gemälde auf flacher Wand handelt, überzeugt die räumliche Wirkung der Apsis bei Frontalansicht.



**b**

**b** Die Ansicht von einem anderen Standort aus jedoch zeigt eine unnatürliche Verzerrung (*rechts*, vgl. das real existierende Gewölbe *links*), und die Täuschung wird entlarvt.





c

c Grundriss der Kirche. Wo sich die Apsis befinden sollte, verläuft die Mauer (oben) geradlinig und die Ausbuchtung, die das oben abgebildete Gemälde Bramantes vortäuscht, existiert nicht.

**Abb. 9.12:**  
**Abhängigkeit der Raumillusion vom Standort bei Aufwärtsperspektive**

*Kuppel in der Kirche St. Hubertus, Turin*



a

a Wenn man vom Eingang des Kirchenraums in die Kuppel blickt, glaubt man, in der Mitte der Kuppel einen Kuppelaufsatz („Laterne“) zu sehen.



**b**

**b** Dass dieser in Wirklichkeit nicht existiert, zeigt der Blick von einem anderen Standort, der die Illusion enttarnt.

Wenn man sich vom definierten Standort weg bewegt, wird die Raumillusion gestört, denn dann realisiert man, dass es auf dem Bild keine parallaxische Verschiebung gibt. Ein wirkliches, von jedem Standpunkt aus überzeugendes Trompe l'oeil kann nur dort entstehen, wo keine Parallaxe zu erwarten ist, d.h. dort wo alles Gemalte auf dem gleichen Niveau, d.h. - um zum Vergleich mit einem Fenster zurückzukehren - auf dem Niveau des Fensterrahmens liegt (**Abb. 9.13**).

**Abb. 9.13: Unabhängigkeit eines Trompe l'oeil vom Standort**

*Häuser in der Altstadt von Bern.*

Alles in gleichem Abstand, alles auf gleichem Niveau: Die Trompe l'Oeils behalten ihre Wirkung, auch wenn sich der Betrachter bewegt. Dass es sich um Täuschungen handelt, ist nur unter bestimmten Bedingungen erkennbar.

Einige Fenster sind Trompe l'oeils.

Sowohl diese Fenster als auch ihre Rahmen liegen auf dem gleichen Niveau. Das heisst, sie sind frei von Parallaxe, und die Trompe l'Oeils wirken so natürlich, dass die wenigsten Passanten sie als solche erkennen.



a



b



c

a Das berühmte „Café Fédéral“ auf dem Bundesplatz, gegenüber dem Parlamentsgebäude, betrachtet von frontal: Echte und gemalte Fenster sind kaum unterscheidbar.

b und c Erst in einer definierten Schrägansicht erkennt man die Trompe l'oeils, weil in den Fensterscheiben keine Reflexe auftreten.

\*\*\*



d

d Das „Gespensterhaus“ in einer Seitengasse: Die Trompe l'oeils (jeweils Mitte) sind nur am Fehlen von Reflexen auszumachen.





e

e Das gemalte Gespenst steht so nahe am Fenster, dass das Fehlen der Parallaxe nicht auffällt.

### *Stilleben*

Bei Stilleben gelten die gleichen Kriterien. Eine echte Raumillusion kann nur dann entstehen, wenn die Motive so flach sind, dass weder Parallaxe noch Stereopsis eine Rolle spielen (**Abb. 9.14**).

**Abb. 9.14: Stilleben vs. Trompe l'oeil**



**a**

**a Willem Claesz. Heda: Stilleben mit Austern, 1634:**

Dieses Bild zeigt Objekte, die hinter dem Rahmen liegen. Der Maler versucht, zumindest an einigen Stellen den räumlichen Eindruck zu verbessern, indem er Objekte nach vorne herausragen lässt und Teile des Tellers und der Zitrone vor den Tischrand setzt. Aber zu räumlichen Effekten, welche die Betrachter glauben machen, sie könnten die Objekte greifen, kommt es nicht.

\*\*\*



**b**

**b Samuel van Hoogstraten: Trompe l'oeil, 1664:**

Alle Objekte sind flach und liegen auf flachem Untergrund auf dem gleichem Niveau wie der Rahmen. Dies wird betont durch die horizontalen Bänder.

Die Rolle von Parallaxe ist hier vernachlässigbar. Deshalb könnte das Bild die Realität täuschend nachahmen, allein es fehlt hier die Stereopsis.

## Panoramen

Unter dem Begriff „Panorama“ werden im allgemeinen Sprachgebrauch Bilder verstanden, die sich seitlich extrem weit ausdehnen<sup>128</sup>. Im engeren Sinne sind Panoramen *Rundum-Gemälde* (360 Grad), die als Publikumsattraktionen in speziell konstruierten Rundbauten ausgestellt werden.

Das perspektivische Gestalten von Panoramen ist anspruchsvoll, da sich hier zwei Komponenten der Bildbetrachtung akzentuieren: Das Ausmass der *Amplituden* bei Blickbewegungen und die Zahl der *Standbilder* bei Blickstillstand.

Während bei flachen Bildern die *Amplituden* der gleitenden Blickbewegungen durch die Rahmen eingeschränkt werden, sind sie in Rundbildern beinahe unbegrenzt, und entsprechend wachsen die Probleme mit Krümmungen des Raumes. Die Aufgabe des Malers besteht nun darin, Rundbilder so zu malen, dass die Betrachter sich keiner Krümmungen bewusst werden<sup>129</sup>.

Berücksichtigen müssen die Maler ferner, dass es bei Rundbildern weit mehr Standorte für die Betrachter gibt als bei Flachbildern. Von jedem dieser Orte entsteht eine eigene Perspektive, und die Maler stehen vor der Herausforderung, sie zu einem kontinuierlichen Ganzen zu vereinigen.

Im Folgenden erläutere ich dies anhand zweier Beispiele,

- an einem *räumlichen* Panorama (**Exkurs 9.2**) dessen Motive so weit entfernt sind, dass weder Stereopsis noch Parallaxe zu beachten sind
- an einem *narrativen* Panorama (**Exkurs 9.3**), wo versucht wurde, durch besondere Vorkehrungen Stereopsis und Parallaxe zu schaffen.

### Exkurs 9.2: Beispiel eines räumlichen Panoramas: Woher-Panorama in Thun

Das von *Marquart Woher (1809 – 1814)* geschaffene Panorama (38 x 7,5 Meter) stellt die Altstadt von Thun dar.

*Räumliche* Panoramen sollen den Raum erleben lassen und die Illusion verschaffen, man befände sich an einem Ort von besonderem Interesse. Die perspektivischen Gesichtspunkte spielen eine Hauptrolle, die szenischen Elemente sind untergeordnet.

---

<sup>128</sup> Beispiele sind Panoramafotos, bei denen es darum geht, ein möglichst weites Gelände abzubilden, jedoch nicht um *Trompe l'oeil* Illusionen zu schaffen

<sup>129</sup> Allerdings werden diese Krümmungen manifest, wenn man das Rundgemälde aufrollt und auf einer ebenen Fläche ausbreitet, resp. wenn man das Panorama fotografiert und auf flachem Untergrund reproduziert.

Damit die Perspektive echt wirkt, muss der *Standort* des Betrachters sich im Mittelpunkt des Panoramas (d.h., ringsum in gleichem Abstand vom Gemälde) und auf der Höhe des Horizontes befinden (damit die räumliche Tiefe korrekt wahrgenommen wird).



**a**

**a** Die Bildkrümmung ist evident, stört aber nur bei einer Abbildung des Rundbildes auf ebener Fläche.



**b**



**b** Wenn die Betrachter das Bild nur in - frontal gesehenen - Ausschnitten wahrnehmen, fällt die Krümmung kaum auf.



**c**

**c** Stufen führen die Beobachter zum richtigen Standort für die Betrachtung des Panoramas, d.h. zum Zentrum des Rundgemäldes und auf die Höhe des Horizontes.



### Exkurs 9.3: Beispiel eines narrativen Panoramas: Das Bourbaki-Panorama in Luzern

Das Panorama von *Edouard Castres (1881)*, ursprünglich 112 x 15 Meter, heute 112 x 10 Meter, zeigt die Aufnahme von 87 000 Soldaten der Bourbaki-Armee in die Schweiz 1871.

Das *narrative* Panorama bildet Geschehnisse ab und hat das Ziel, die Betrachter als Teilnehmer in die Ereignisse einzubeziehen. Um den Eindruck der Realität zu verstärken, sind zwischen Betrachtern und Panoramaleinwand Puppen und reale Gegenstände aufgestellt, die sowohl Parallaxe als auch Stereopsis erzeugen.



a

a Die einzelnen Szenen sind verteilt über eine weite, schneebedeckte Landschaft. Beachte die verschiedenen, voneinander unabhängigen Zentralperspektiven.



b

b Die Szenerie kann von verschiedenen Standorten aus realistisch empfunden werden



c

c Die Ereignisse, die auf der Leinwand des Gemäldes dargestellt werden, sind so weit von den Betrachtern entfernt, dass die Parallaxe keine Rolle mehr spielt und deren Fehlen auch nicht empfunden wird.

Um dennoch eine realistische Raumempfindung zu erzielen, sind plastisch geformte lebensgroße, stereoskopisch wahrnehmbare Figuren auf einem Bodenrelief zwischen Geländer und Gemälde aufgebaut. Diese Figuren bilden einen Vordergrund, dank dem sich bei Bewegungen des Betrachters das dahinter gelegene Panorama parallaxtisch verschiebt.



## Grenzen der Illusionen

Panoramen sind die bestmöglichen Annäherungen an Raumillusionen, die man mittels flächenhaften Abbildungen erzielen kann. Als Betrachter ist man immer wieder beeindruckt von den erzielten Effekten, aber es gelingt nicht, Illusionen zu erzeugen von solcher Perfektion, dass man das Gemälde nicht mehr von der Realität unterscheiden kann. Ein Bild kann nicht den Raumeindruck von dem was hinter ihm liegt, vermitteln, sondern kann es gewissermassen nur ohne Worte beschreiben.

Eine Verbesserung erzielt man, wenn man zweidimensionale Gemälde unterstützt durch dreidimensionale Elemente, d.h. mit anderen Worten, indem man gewissermassen lebensgrosse Guckkasten baut.

Noch bessere Resultate sind nur dann zu erwarten, wenn man nicht mehr von zweidimensionalen Vorlagen ausgehen muss.

Die moderne Technik beschäftigt sich genau mit diesem Problem und versucht, dazu die Möglichkeiten der künstlichen Intelligenz in Form der Artificial Vision auszuschöpfen.

Die Entwicklung ist im Gange. Die neuen Methoden, den Raum perfekt zu imitieren, werden bisher unbekannte Raumerlebnisse ermöglichen. Ob sie auch unser *Denken* in gleichem Masse verändern können wie einst die Entdeckung/ Erfindung der Perspektive, wird sich zeigen.

# Schlussbemerkungen

**...the most important thing  
that happened during the Renaissance  
was the emergence of the ideas  
that led to the  
rationalisation of sight<sup>130</sup>**

Aussagen wie diese finden sich in beinahe allen Schriften, die sich mit dem Thema „Renaissance“ beschäftigen. Im wahren Sinne des Wortes „bahnbrechend“ kann man den Schritt bezeichnen, der damals getan wurde.

Wir können uns heute nicht mehr vorstellen, wie die Menschen vor der Renaissance ihre Welt wahrgenommen haben. Wir können uns nicht in die Zeit *vor* der Erfindung/Entdeckung der Perspektive zurückversetzen, denn es ist unmöglich, all die Faktoren *gleichzeitig* vor Augen zu haben, die das Denken zur damaligen Zeit bestimmten.

Wie erlebte man die Welt, als man - wie bereits erwähnt - noch nichts wusste

- von der Anatomie und der Funktion des Auges
- von den Verarbeitungsmechanismen im Visuellen System
- vom Begriff des Unendlichen in der Mathematik
- von den Gesetzen der Darstellenden Geometrie
- von früheren Versuchen zur Raumdarstellung in den Werken der antiken Malerei<sup>131</sup>.

Dazu kommt, dass das, was man wusste, nur schwer zugänglich war, verschlossen in Handschriften, verborgen in Klöstern und Bibliotheken, als Geheimnis streng bewahrt in Bauhütten und Gilden.

Und wie konnte man in solch einer Welt Methoden entwickeln zu einer korrekten Darstellung des Räumlichen? Welche Wege führten zum Ziel? Und welche waren erfolglos?

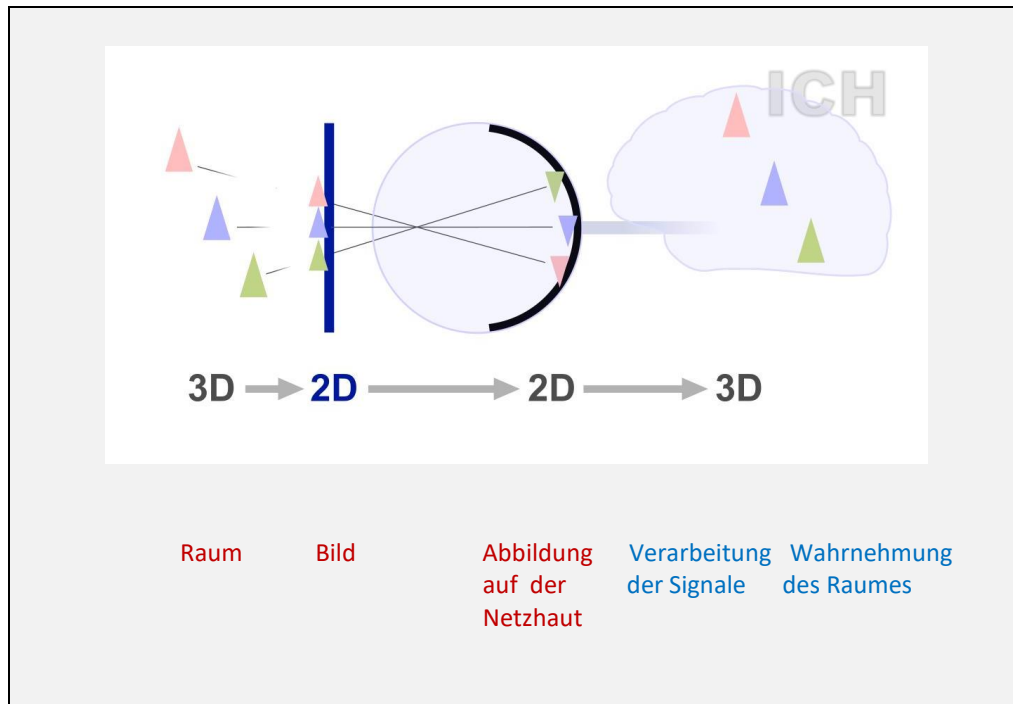
Bereits die Pioniere hatten erkannt, dass die Konstruierte Perspektive nicht alle Aspekte der Raumwahrnehmung erklärt. Geometrie stimmt nicht unbedingt mit der subjektiven Interpretation überein, denn unser ICH nimmt die Welt durch das Filter des Gehirns wahr. Die Art und Weise, wie dieses Filter die eingehenden optischen Signale verarbeitet, bestimmt schliesslich, *was* wir als Raum sehen und *wie* wir den Raum wahrnehmen. Deshalb war nach der perspektivischen Konstruktionslehre die Erforschung des Visuellen Systems ein weiterer elementarer Schritt in der „Eroberung“ des Raumes.

---

<sup>130</sup> William M. Ivins Jr. : On the Rationalisation of Sight, 1938

<sup>131</sup> Die antiken Wandmalereien von Pompei wurden erst im 18. Jhd. bekannt

Verschiedene Etappen auf dem Weg vom Raum zu dessen Wahrnehmung



Aussenwelt		Innenwelt
Optisches System		Neurales System
Physik		Physiologie / Psychologie
Per-spektive	Optik	Programme/ Wahrnehmung

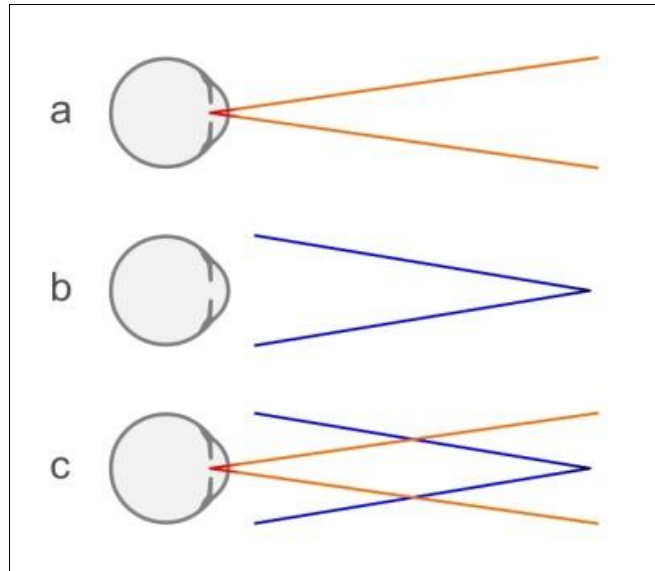
Wiederholung der **Abb. E2**

Projektion der dreidimensionalen Welt in eine zweidimensionale Vorlage → **Perspektive**

Projektion der zweidimensionalen Vorlage auf die zweidimensionale Netzhaut im Auge → **Optik**

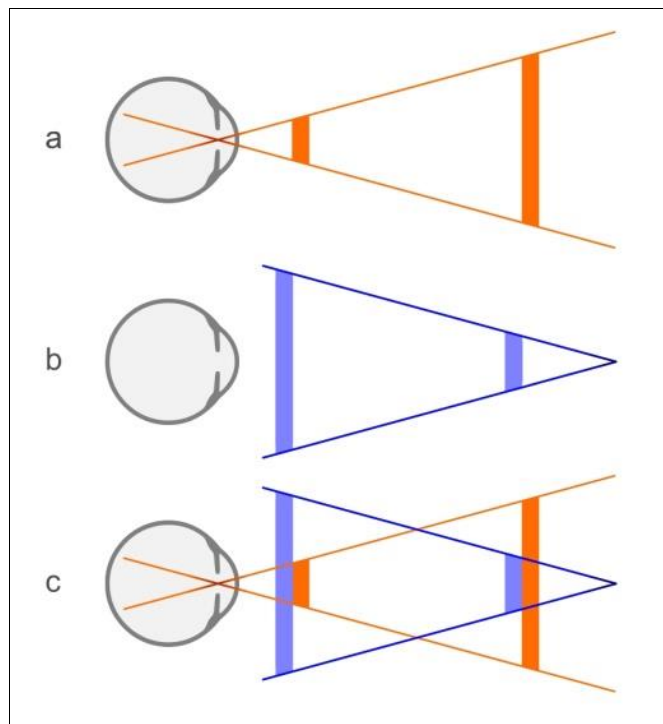
Verarbeitung der physikalischen Signale im Visuellen System (Gehirn/ICH) → dreidimensionale **Wahrnehmung**

Im Laufe der Jahrhunderte ist viel Verwirrendes entwirrt worden, jedoch gibt es eine Quelle von Konfusionen, die sich nicht beseitigen lässt: Die *Bipolarität der Konvergenzen*. Die unten stehenden Wiederholungen früherer Abbildungen zeigen die Verwirrungen, die bei der Vermengung von zwei Systemen völlig verschiedener Natur, von Physik (Licht) einerseits und von geistigen Konstruktionen (imaginäre Verbindungslinien) andererseits entstehen, vor allem wenn sie im gleichen Schema abgebildet sind.



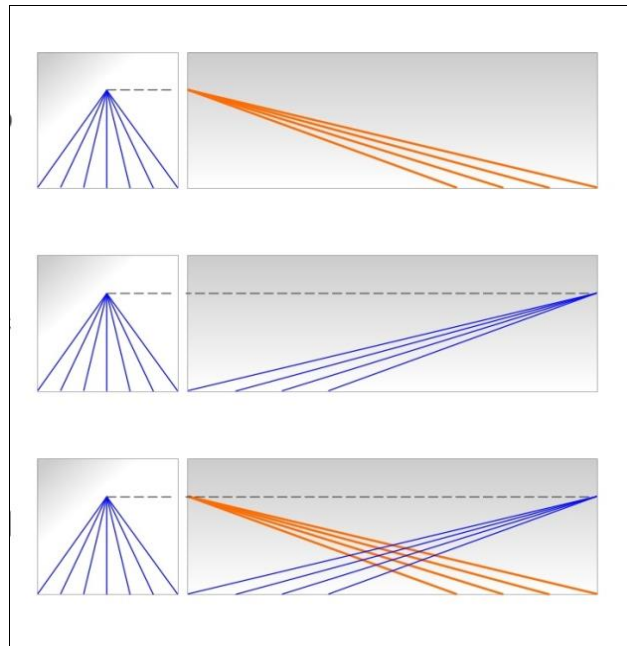
Wiederholung der **Abb. 4.11**

- a** Nahkonvergenz: Aussenwelt, materielle Welt → Physik
- b** Fernkonvergenz: Innenwelt, geistige Welt → Visuelles System
- c** Überlagerung beider Konvergenzen in gleichem Schema



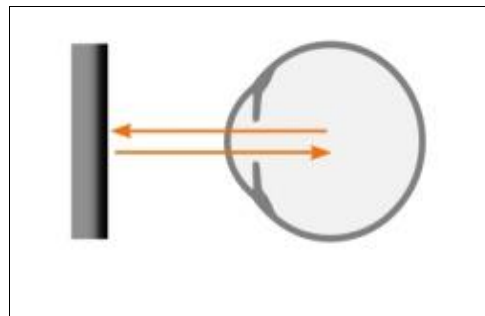
Wiederholung der **Abb. 5.18**

- a** Querschnitte durch die Pyramide bei Nahkonvergenz
- b** Querschnitte durch die Pyramide bei Fernkonvergenz
- c** Verwirrende Überlagerung beider Pyramiden im gleichen Schema



Wiederholung der **Abb. 6.13**

Im frontalen Aufriss, d.h. im Bild, das wir sehen (*links*), sind die Ansichten von Nahkonvergenz, Fernkonvergenz und Bipolar-Konvergenz identisch



Wiederholung der **Abb. 2.1**

*Beachte:* Die Dualität in der Bipolaren Konvergenz sollte nicht verwechselt werden mit derjenigen in der Emissionstheorie. Während es in dieser in beiden Richtungen um das gleiche Element, nämlich um Lichtstrahlen geht, handelt es sich in der Bipolaren Konvergenz einmal um Licht, das andere Mal um imaginäre Verbindungslinien

In der *malerischen* Praxis ist die Bipolare Konvergenz vernachlässigbar. Bei *philosophischen* und *psychologischen* Überlegungen hingegen ist die „Identität“ von Augs- und Fluchtpunkt eine Quelle von Irrungen und Wirrungen, wenn sie als Ausdruck unserer Beziehung zwischen unserem ICH und der Welt betrachtet wird.



Nachdem die Lehre der Perspektive vervollkommen war, begann sie an Bedeutung zu verlieren. Fotografie und Computerprogramme übernahmen die Darstellung des Räumlichen. Wozu sich dann noch mit Perspektive beschäftigen?

Wie eingangs erwähnt, lernen wir dank ihr, wie wir sehen und wie wir wahrnehmen. Wir lernen die Beziehungen zwischen der Wirklichkeit und unseren Sinnen zu verstehen; wir lernen, dass es Gesetze gibt, nach denen man die räumliche Welt flach konstruieren kann; und wir lernen, wie unser Visuelles System sie räumlich rekonstruiert.

Wir lernen aber auch, die Grenzen der Perspektive kennen, denn der Raum, wie wir ihn wahrnehmen, ist mehr als seine geometrische Transformation. Trotz aller Raffinements kann ein flaches Bild keine vollkommene Raumillusion erzeugen. Bessere Resultate sind erst von Vorlagen zu erwarten, die auch die anderen Elemente der Räumlichkeit enthalten und sowohl Stereopsis als auch Parallaxe imitieren können (z.B. Hologramme, Artificial Reality etc.).

Die digitalen Vorlagen werden gewiss bisher unbekannte Raumgefühle ermöglichen. Ob sie auch das Denken in gleich revolutionärer Weise verändern werden wie einst die Erfindung/Entwicklung der Perspektive, wird die Zukunft zeigen.

## Literatur

Die hier aufgeführten Werke sind diejenigen, die ich bei der Abfassung meines Werkes benutzt habe. Ich habe nicht aus jedem Zitate übernommen, sie haben aber mein Denken in verschiedener Hinsicht beeinflusst.

Alberti, Leon Battista: Die drei Bücher über die Malerei, Herausgeber Hubert Janitschek, Italienisch-Deutsch; Boer Verlag Grafrath 2015

Alberti, Leon Battista: Das Standbild, die Malkunst, Grundlagen der Malerei, Herausgeber Oskar Bättschmann und Christoph Schäublin, Lateinisch-Deutsch (2. Auflage); WGB Darmstadt, 2011

Arnheim, Rudolf: Anschauliches Denken, DuMont Buchverlag, Köln 1977

Arnheim, Rudolf: Kunst und Sehen, eine Psychologie des Sehens, Walter de Gruyter, Berlin 2000

Baltrusaitis, Yurgis: Anamorphoses, Les perspectives dépravées, Flammarion, Paris, 1984

Bechmann, Roland: Villard de Honnecourt, Picard, Paris, 1993

Borsi, F. et al.: Filippo Brunelleschi, Ecole nationale supérieure des Beaux-Arts, Paris, 1985

Camerota, Filippo: Linear Perspective in the Age of Galileo, Leo S. Olschki editore, Città di Castello 2010

Camerota, Filippo: La prospettiva der Rinascimento; Mondadori Electa 2006

Chastel, André: Leonardo da Vinci, Wissenschaftliche Buchgemeinschaft, Schirmer/Mosel, München 1990

Comar, Philippe: La perspective en jeu, Gallimard, Paris 1992

Dürer, Albrecht : Unterweisung der Messung mit dem Zirkel und der Richtschnur, Facsimile, Josef Stocker/Schmid, Dietikon/Zürich 1966

Edgerton, Samuel Y. :The Mirror, the Window and the Telescope, Cornell University Ithaka und London, 2009

Edgerton, Samuel Y. jun.: The Heritage of Giotto's Geometry, Cornell University Press, Ithaka und London, 1991

Ernst, Bruno: Unmögliche Welten, Taschen, Köln 2006

Gombrich, Ernst H., Schatten, ihre Darstellung in der abendländischen Kunst, Wagenbach, Berlin, 1996

Günzel, Stephan (Herausg.) Texte zur Theorie des Raumes, Reclam, Stuttgart, 2013

Hetherington, Paul: The Painter's Manual of Dionysios of Fourna, Oakwood Publications, Torrance, California, 1996

## Perspektive und visuelles System

Hoffmann, Volker: Massacios Trinitätsfresco, Die Perspektivkonstruktion und ihr Entwurfsverfahren, Mitteilungen des Kunsthistorischen Instituts in Florenz, 1996

Ivins, William M. Jr.: On the Rationalisation of Sight, Da Capo Press, New York 1973

James, Peter and Nick Thorpe: Ancient Inventions, Ballintyne Books, New York, 1994

Kandel, Eric: Das Zeitalter der Erkenntnis, Siedler Verlag, München, 2012

Kemp, Martin: The Science of Art, Yale University Press, New Haven 1990

Leonardo da Vinci: Traktat von der Malerei, (ed. Marie Herzfeld), Eugen Diederichs, Jena 1909

Leonardo da Vinci, Sämtliche Gemälde und die Schriften zur Malerei, ed. André Castel, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1990

Léonard de Vinci, Traité de la peinture, (ed. Péladan) Ch. Delagrave 1910

Linksz, Arthur: An Ophthalmologist Looks at Art, Smith Kettlewell Eye Foundation, San Francisco, 1980

Locher, J.L.: De werelden van M. C. Escher, Meulenhoff International, Amsterdam 1971

Lynes, John A : Brunelleschi's Perspectives Reconsidered; Perception 1980, Vol 9, P. 87 -99, <http://www.perceptionweb.com/fulltext/temp/0/p090087.pdf> [2010]

Manetti, Antonio und Giorgio Vasari: Filippo Brunelleschi, École nationale supérieure des Beaux-Arts, 1985

Nicéron, Jean François: La perspective curieuse. Hachette, BnF, sans date

Péladan: Léonard de Vinci, Traité de la peinture,

Panovski, Erwin: Aufsätze zu Grundfragen der Kunstwissenschaft, „Die Perspektive als symbolische Form“, Verlag Bruno Hessling, Berlin 1964

Richardson, Carol M., Kim M. Woods and Michael W. Franklin: Renaissance Art Reconsidered, Backwell Publishing 2007

Richardson, Donald: Alberti: Calling his Bluff, <http://www.donaldart.com.au/Writings2/Alberti.html> [June, 2009]

Richter, Jean Paul: The Notebooks of Leonardo da Vinci, Dover Publications, New York 1970

Sachs, Oliver: An Anthropologist on Mars, Picador, London, 1995

Schober, Herbert: Das Sehen, VEB Buchverlag, Leipzig, 1970

Thorpe, Peter James and Nick, Ancient Inventions, Ballantine Books, New York, 1994

Tyler, Christopher W., The Human Expression of Symmetry: Art and Neuroscience, [https://www.academia.edu/37136573/The\\_Human\\_Expression\\_of\\_Symmetry\\_Art\\_and\\_Neuroscience.http](https://www.academia.edu/37136573/The_Human_Expression_of_Symmetry_Art_and_Neuroscience.http) [2018]

## Perspektive und visuelles System

Vasari, Giorgio: Das Leben des Brunelleschi und des Alberti; Herausgeber Matteo Burioni; Klaus Wagenbach, Berlin 2012

de Vries, Jan Fredeman: Studies in Perspective, Dover Publications, New York, 1968

Vitruvii de Architectura Libri Decem: Curt Fensterbusch: WGB Darmstadt, 1964

White, John: The Birth and Rebirth of Pictorial Space, Harper and Row, New York 1972

Wootton, David: The Invention of Science, Penguin Random House UK 2015

Wright, Laurence: Perspective in Perspective, Routledge and Kegan Paul, London 1983

## Verdankungen

Ich danke folgenden Personen, ohne deren Mitwirkung ich diese Schrift nicht hätte verfassen können:

- *Peter Schneider*, wissenschaftlicher Zeichner an der Universität Bern, der in einer Diskussion über die Perspektive den Anstoss zu dieser Arbeit gab
- *Hans Holzherr*, wissenschaftlicher Zeichner (Universität Bern, Schweiz), der meine Skizzen in gut lesbare Schemata umsetzte und auf meine unendlich vielen Abänderungsvorschläge mit unendlicher Geduld einging.
- *Roland Bertschinger*, IT-Spezialist in Schaffhausen, der meine Webseite gestaltete und mir so diese Publikation ermöglichte.
- *Susanne Eisner-Kartagener*, meiner Ehefrau, die mein Manuskript mit grosser Sorgfalt (und ebenfalls unendlicher Geduld) überprüfte, bis es schliesslich eine verständliche Form erhielt.
- *Miriam Eisner Müller*, meine Tochter, die das Manuskript vom Gesichtspunkt einer Journalistin korrigierte.
- *Raphael Rosenberg*, Professor an der Universität Wien, der mir wertvolle Hinweise zu Augenbewegungen vermittelte und die Publikation einschlägiger Bilder gestattete.
- *Gaby Grossen-Dalang*, die mir interessante Informationen gab.

## Liste der Abbildungen

Die Schemata wurden nach detaillierten Entwürfen des Autors ausgeführt von Hans Holzherr, Wissenschaftlicher Zeichner, Universität Bern

Für die Abbildungen sind die Bewilligungen auf diese Publikation im Internet gewährt worden und gelten nicht für andere Benutzer.

Sollten trotz aller Bemühungen Fehler entstanden sein, bitte ich um Benachrichtigung, damit ich dies unverzüglich korrigieren kann.

### E

SV E1

Foto G.Eisner

Exk. 3

<https://de.wikipedia.org/wiki/Globus>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Weltkarte#/media/File:Klimag%C3%BCrtel-der-erde.svg>

### 1

1.4

Foto G.Eisner

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vel%C3%A1zquez\\_Venus.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vel%C3%A1zquez_Venus.jpg)

<http://www.zeno.org/Kunstwerke/B/Kitagawa+Utamaro%3A+Eine+Sch%C3%B6ne+vor+dem+Spiegel/>

Foto G.Eisner

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f7/Edgar\\_Degas\\_-\\_Mrs\\_Jeantaud\\_in\\_the\\_Mirror\\_-\\_Google\\_Art\\_Project.jpg\\_1875](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f7/Edgar_Degas_-_Mrs_Jeantaud_in_the_Mirror_-_Google_Art_Project.jpg_1875)

<https://zinnaida.blogspot.com/2015/05/lectia-de-balet-degas.html>

Kunstsammlung Hans und Marlis Suter

1.5

<https://www.wikiart.org/en/rene-magritte/where-euclide-walked-1955>

Foto Georg Eisner

1.8

[http://www.ilusionario.es/CONTEMPOR/del\\_prete.htm](http://www.ilusionario.es/CONTEMPOR/del_prete.htm)

### 2

2.4

<http://www.gib.uni-tuebingen.de/own/journal/pdf/IMAGE%2024.pdf>

SV 2.4

[https://en.wikipedia.org/wiki/Visual\\_field](https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_field)



Exk 2.3

[http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/what- where/what-where.html](http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/what-where/what-where.html)

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f5/Retinotopic\\_organization.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f5/Retinotopic_organization.png)

2.10

Aga Bojko, Eye Tracking the User Experience, A Practical Guide to Research, Rosenfeld Media, 2013

2.12

Yarbus (1967, figures 114 and 115) Springer Science and Business Media)

Exk. 2.4

Andreas Vesalius: De Humani Corporis Fabrica, 1543

2.15 raphael.rosenberg@univie.ac.at CReA, Institut für Kunstgeschichte, Universität Wien. )

2.17

<https://de.wikipedia.org/wiki/Rorschachtest>

2.18

<https://de.wikipedia.org/wiki/Vulkan>

<https://hiveminer.com/Tags/emmental,h%C3%BCgel>

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hodler - Thunersee mit Niesen -  
\\_1910.jpeg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hodler_-_Thunersee_mit_Niesen_-_1910.jpeg)

2.20

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:RUS-2016-Aerial-SPB-Peterhof\\_Palace.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:RUS-2016-Aerial-SPB-Peterhof_Palace.jpg)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Verbotene\\_Stadt#/media/File:Ausblick auf die Verbotene Stadt.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Verbotene_Stadt#/media/File:Ausblick_auf_die_Verbotene_Stadt.jpg)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Islam\\_in\\_Mali](https://en.wikipedia.org/wiki/Islam_in_Mali)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Mogul-Architektur>

## 3

3.2

Herbert Schober, Das Sehen, 1960

3.3

<http://www.spektrum.de/lexikon/psychologie/machsche-baender/9037>

3.4

[https://de.wikipedia.org/wiki/Die\\_Geburt\\_der\\_Venus\\_\(Botticelli\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Die_Geburt_der_Venus_(Botticelli))

<https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=mona+lisa>

[https://www.google.com/search?client=firefox-b- d&q=george+seurat+les+poseuses](https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=george+seurat+les+poseuses)

3.6

[https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:1460 Bouts Christus im Haus des Pharis%C3%A4ers Simon a nagoria.JPG](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:1460_Bouts_Christus_im_Haus_des_Pharis%C3%A4ers_Simon_a_nagoria.JPG)

3.10

<http://www.gwick.ch/Perspe/Pictures/AutorBE.html>

*Jean Le Pelerin (Viator) De Artificiali Perspectiva (1505)*

*Henri-Émile-Benoît Matisse (1869 – 1954)*

3.12

12

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/49/Arcimboldo\\_Vegetables.jpg/770px-Arcimboldo\\_Vegetables.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/49/Arcimboldo_Vegetables.jpg/770px-Arcimboldo_Vegetables.jpg)

*Utagawa Kuniyoshi, 1797 – 1861*

*Ritueller Ring, Bronze, Besitz G.E*

3.13

Fotos G.Eisner

<https://www.tate.org.uk/art/artworks/turner-storm-in-the-st-gotthard-pass-the-first-bridge-above-altdorf-sample-study-d36135>

Flicker 4621447982\_9fe49ac6f4\_m

3.20

[https://de.wikipedia.org/wiki/Sant%E2%80%99Ignazio\\_\(Rom\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Sant%E2%80%99Ignazio_(Rom))

3.21

[http://www.wikiwand.com/en/Rubin\\_vase](http://www.wikiwand.com/en/Rubin_vase)

<https://www.rtl.de/cms/optische-taechung-mann-oder-frau-was-sie-hier-sehen-verraet-viel-ueber-ihre-psyche-4134341.html>

## 4

4.1

b: <https://deskgram.net/explore/tags/stereoScopic>

d <http://userwww.sfsu.edu/hl/stereo.html>

c, d: Fotos G.Eisner

Exk. 4.3

<http://www.photography-news.com/2016/07/mooc-stereoscopy-introduction-to.html>

SV 4.3

<http://lookmind.com/illusions.php?cat=11&id=2232>

<http://www.hidden-3d.com/index.php?id=gallery&oid=&pk=289&gallery=animals>

[http://www.hidden-3d.com/index.php?id=gallery&pk=204&gallery=gene\\_levine](http://www.hidden-3d.com/index.php?id=gallery&pk=204&gallery=gene_levine)

Exk. 4.4

<https://lernprocessing.wordpress.com/2012/01/09/3d-wie-beim-magischen-auge/>

4.6

<http://de.wikipedia.org/>

Foto Susanne Eisner

<http://www.toscana-edition.com/20-vom-duomo-zum-baptisterium-san-giovanni/>

4.8

Verlag Johann Christoph Weigels, Nürnberg 1720

<https://de.wikipedia.org/wiki/Schatten#Halbschatten>

4.9

<https://dg19s6hp6ufoh.cloudfront.net/pictures/612153221/large/320294-13004749-7.jpeg?1385940374>

<https://rachelenyssen.com/event/108797/mysterious-shadows-luminous-light>

[https://www.google.com/search?q=ombres+et+lumi%C3%A8res+art&client=firefox-b-d&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewjGybexgcbiAhVYwcQBHRvdBg8Q\\_AUIDigB&biw=1832&bih=1038#imgsrc=EjZo7zG2BYIP5M](https://www.google.com/search?q=ombres+et+lumi%C3%A8res+art&client=firefox-b-d&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewjGybexgcbiAhVYwcQBHRvdBg8Q_AUIDigB&biw=1832&bih=1038#imgsrc=EjZo7zG2BYIP5M)

<https://www.tumblr.com/tagged/alexey-bednij>

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1e/Pieter Bruegel the Elder - Children%E2%80%99s Games - Google Art Project.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1e/Pieter_Bruegel_the_Elder_-_Children%E2%80%99s_Games_-_Google_Art_Project.jpg)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Michelangelo Merisi da Caravaggio](https://de.wikipedia.org/wiki/Michelangelo_Merisi_da_Caravaggio)

<http://www.gauguin.org/ta-matete.jsp>

4.10

<http://www.artribune.com/2011/07/l%E2%80%99argentina-in-biennale-bella-senza-vittimismo/04-altdorfer-riposo-durante-la-fuga-in-egitto-1510/>

[https://www.google.ch/search?q=caspar+david+friedrich&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewjj4ePJ3e3LAhWBAJoKHTgTC70Q\\_AUIBygB&biw=1476&bih=933#imgsrc=IL2s7ZUvi8CPvM%](https://www.google.ch/search?q=caspar+david+friedrich&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewjj4ePJ3e3LAhWBAJoKHTgTC70Q_AUIBygB&biw=1476&bih=933#imgsrc=IL2s7ZUvi8CPvM%)

## 5

5.1

<http://de.wikipedia.org/wiki/Ada-Gruppe>

<http://www.artbible.info/art/large/607.html>

<http://thouarthistory.blogspot.ch/2009/04/four-styles-of-roman-wall-paintings.html>

5.2

<http://classes.bnf.fr/villard/feuilleet/>

<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b10509412z/f19.item>

5.3

<http://www.facsimile-editions.com/de/rm>

5.7

[http://www.artelino.com/articles/ukiyo-e\\_glossary.asp](http://www.artelino.com/articles/ukiyo-e_glossary.asp)

<http://www.gwick.ch/Perspe/Pictures/PerspeBilder.html#STICH>

<http://im-possible.info/english/art/various/anno.html>

5.10

<http://www.ikonen-museum.com/index.php?id=536>

<http://www.orthodoxie-online.de/fresken.html>

<https://www.uni-marburg.de/relsamm/ausstellung/ausstellungbilder/>

5.11

Bibliothek des St.Katherina-Klosters, Sinai

„In the Light of the Menorah“ ed. Yael Israeli The Israel Museum, 1999

5.12

[https://books.google.ch/books?id=UpAIAAAAQAAJ&pg=PT312&hl=de&source=gbs\\_selected\\_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false](https://books.google.ch/books?id=UpAIAAAAQAAJ&pg=PT312&hl=de&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false)

5.13

<http://classes.bnf.fr/villard/feuille/>

5.16

<http://www.musee-virtuel.com/docs/picasso/picasso.reservoir-1909.jpg>

## 6

6.1

[http://www.britishmuseum.org/research/collection\\_online/collection\\_object\\_details.aspx?objectId=1452041&partId=1](http://www.britishmuseum.org/research/collection_online/collection_object_details.aspx?objectId=1452041&partId=1)

6.2

[https://de.wikipedia.org/wiki/Theater\\_der\\_griechischen\\_Antike](https://de.wikipedia.org/wiki/Theater_der_griechischen_Antike)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Römische\\_Wandmalerei](https://de.wikipedia.org/wiki/Römische_Wandmalerei)

6.3

<http://www.webexhibits.org/arrowintheeye/brunelleschi1.html>

<https://www.arthistoricum.net>

<http://artpaintingsphotography.com/Photography/Pictures/ArchitModernMarvels/architecture.html>

6.4

<https://www.studyblue.com/notes/note/n/art-150-study-guide-2014-15-spongeon/deck/12306384>

<https://www.arthistoricum.net>

<http://www.webexhibits.org/arrowintheeye/window1.html>

Exk. 6.4

<http://www.martin-missfeldt.de/perspektive-zeichnen-tutorial/>

[https://www.google.ch/search?q=san+giovanni+firenze&client=firefox-b&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewjekNL1wsXNAhUDyRQKHXdYAlOQ\\_AUICCGb&biw=1052&bih=893#imgrc=EHjrM5kbAd1ijM%3A](https://www.google.ch/search?q=san+giovanni+firenze&client=firefox-b&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewjekNL1wsXNAhUDyRQKHXdYAlOQ_AUICCGb&biw=1052&bih=893#imgrc=EHjrM5kbAd1ijM%3A)

SV 6.1

Foto G.Eisner

6.7

Foto G.Eisner

<http://www.dotjack.com/opq/opq20120603.htm>

<http://www.museisenesi.org/museisenesistatici/sitosiena/donatello.html>

6.8

Fotos G.Eisner

<http://www.ebay.com/itm/1568-leon-battista-alberti-painting-statues-cryptography-54-woodcuts-rare-/200773233010>

6.9

[https://www.google.ch/search?q=alberti+della+pittura&client=firefox-b&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewiv\\_f7YtOnOAhWBVBQKHZsJCSIQ\\_AUICCGb&biw=1464&bih=941#imgrc=gt5au479VswBVM%3A](https://www.google.ch/search?q=alberti+della+pittura&client=firefox-b&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewiv_f7YtOnOAhWBVBQKHZsJCSIQ_AUICCGb&biw=1464&bih=941#imgrc=gt5au479VswBVM%3A)

[http://www.webexhibits.org/arrowintheeye/zoom.php?i=i/elements15\\_large.jpg&j=Fig+2.15+Leonardo+da+Vinci%2C+Alberti%27s+construzione+legittima+%28ca.+1492%29.+Manuscript+A%2C+Fol.+42r.+Biblioth%E8que+de+l%27Institut%2C+Paris](http://www.webexhibits.org/arrowintheeye/zoom.php?i=i/elements15_large.jpg&j=Fig+2.15+Leonardo+da+Vinci%2C+Alberti%27s+construzione+legittima+%28ca.+1492%29.+Manuscript+A%2C+Fol.+42r.+Biblioth%E8que+de+l%27Institut%2C+Paris)

6.10

William M. Ivins: On the Rationalization of Sight

<https://www.flickr.com/photos/31885064@N03/6129583730>

[http://www.webexhibits.org/arrowintheeye/elements\\_p4.html](http://www.webexhibits.org/arrowintheeye/elements_p4.html)

Exk. 6.9 William M. Ivins: On the Rationalization of Sight

6-14:

<http://www.luminous-lint.com/app/vexhibit/ THEME Drawing and optical devices 01/6/71/29157452457002961147/>

6.15

<https://drawingmachines.org/post.php?id=47>

[http://www.gutenberg-e.org/kirkbride/detail/fludd\\_city\\_velo\\_cca.html](http://www.gutenberg-e.org/kirkbride/detail/fludd_city_velo_cca.html)

Exk. 6.10

[http://everypainterpaintshimself.com/gallery\\_images\\_new/Artist\\_Sketching\\_a\\_Lute.jpg](http://everypainterpaintshimself.com/gallery_images_new/Artist_Sketching_a_Lute.jpg)

<http://thenewartcommunity.weebly.com/digital-classroom-resources>

<http://utisz.blogspot.ch/2009/03/perspective-machine.html>

<http://www.aphilia.de/kunst-albrecht-duerer-05-perspektive.html>

<https://virtualterritory.files.wordpress.com/2008/10/man-drawing-man-crop-sml-8001.jpg>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Fadengitter>

<https://screenshots.firefox.com/k8nLBDBjzbXUZdDW/www.flickr.com>

6.16

<http://www.facsimile-editions.com/de/rm>

6.17 [http://www.sienaguidavirtuale.it/accessible/eng/geo\\_duomo\\_piazza.html](http://www.sienaguidavirtuale.it/accessible/eng/geo_duomo_piazza.html)

[https://it.wikipedia.org/wiki/Studiolo\\_di\\_Federico\\_da\\_Montefeltro](https://it.wikipedia.org/wiki/Studiolo_di_Federico_da_Montefeltro)

6.18

Facsimile Jardin de Flore, Paris 1978

6.19

Facsimile Jardin de Flore, Paris 1978

6.20

Facsimile Jardin de Flore, Paris 1978

6.21

Facsimile Jardin de Flore, Paris 1978

6.22

Facsimile Jardin de Flore, Paris 1978

6.23

Facsimile Jardin de Flore, Paris 1978

6.24 Facsimile Jardin de Flore, Paris 1978

6.25

„Traktat von der Malerei“, herausgegeben von Marie Herzfeld, 1909

6.26

Richter

6.27

Richter

6.28

Richter

Exk. 6.11

Richter

Exk. 6.12

Richter



## 7

7.3

<http://www.treeshark.com/images/Persp/Polkatrad.jpg>

<http://wiki.mathnt.net/index.php?title=%EC%B2%B4%EC%BB%A4%EB%B3%B4%EB%93%9C%EC%9D%98%EC%9B%90%EA%B7%BC%EB%B2%95>

<https://pixabay.com/en/retro-perspective-grid-tron-synth-1548260/>

7.6

<http://www.vertice.ca/index.php/2012/sonic-vanishing-points/>

Foto G.Eisner

Exk. 7.3

Aus „Art, Aesthetics, and the Brain“ Raphael Rosenberg and Christoph Klein The moving eye of the beholder: Eye tracking and the perception of paintings, p. 79

<https://www.ploner-communications.com/2016/02/perspektiven-und-ihre-blickwinkel/>

7.11

[https://www.google.ch/search?q=fischaugenlinse&client=firefox-b&biw=1464&bih=941&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjzM2X3-LRAhXDsxQKHSUeAxUQ\\_AUICGgB#imgrc=blaB\\_T\\_kKAP7nM%3A](https://www.google.ch/search?q=fischaugenlinse&client=firefox-b&biw=1464&bih=941&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjzM2X3-LRAhXDsxQKHSUeAxUQ_AUICGgB#imgrc=blaB_T_kKAP7nM%3A)

7.12

Helmholtz: Handbuch der physiologischen Optik, 1896

7.14

[https://de.m.wikipedia.org/wiki/Benutzer:Grizurgbg#/media/Datei:3ARegensburg\\_Uferpanorama\\_08\\_2006.jpg](https://de.m.wikipedia.org/wiki/Benutzer:Grizurgbg#/media/Datei:3ARegensburg_Uferpanorama_08_2006.jpg)

<https://tourismus.regensburg.de/>

Foto Daniel Eisner

[http://mathstat.slu.edu/escher/index.php/House\\_of\\_Stairs](http://mathstat.slu.edu/escher/index.php/House_of_Stairs)

Exk. 7.6

Albrecht Dürer (1471 – 1528): „Unterweisung der Messung mit dem Zirkel und Richtscheit“ Josef Stocker-Schmid Zürich 1966

Exk. 7.7

<https://archive.org/details/dveregoledellapr00vign>

Exk. 7.8

<http://www.e-rara.ch/zut/content/pageview/1617022>

7.17

[https://de.wikipedia.org/wiki/Giovanni\\_Paolo\\_Pannini#/media/File:PanniniMusImagin.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Giovanni_Paolo_Pannini#/media/File:PanniniMusImagin.jpg)

7.18

<http://yrol.free.fr/PEINTURE/anamorphose/ana3.htm>

<http://www.wikiwand.com/fr/Anamorphose>

Exk. 7.9

[https://de.wikipedia.org/wiki/Potemkinsche\\_Treppe](https://de.wikipedia.org/wiki/Potemkinsche_Treppe)

Exk. 7.10

<https://sites.google.com/site/reggiekuan/vaticancity>

<http://www.abitarearoma.net/migliaia-fedeli-piazza-san-pietro-le-celebrazioni-pasqua-2017/>

[https://www.google.ch/search?q=piazza+san+pietro+vatican&client=firefox-b&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwif3vnT6uTSAhVhYpoKHV0NAnwQ\\_AUICGgB&biw=1464&bih=941#imgrc=FYbaATL8q-JXmM:](https://www.google.ch/search?q=piazza+san+pietro+vatican&client=firefox-b&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwif3vnT6uTSAhVhYpoKHV0NAnwQ_AUICGgB&biw=1464&bih=941#imgrc=FYbaATL8q-JXmM:)

[https://www.google.ch/search?q=piazza+san+pietro+vatican&client=firefox-b&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwif3vnT6uTSAhVhYpoKHV0NAnwQ\\_AUICGgB&biw=1464&bih=941#imgrc=LYKpBwuDEhWcEM:](https://www.google.ch/search?q=piazza+san+pietro+vatican&client=firefox-b&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwif3vnT6uTSAhVhYpoKHV0NAnwQ_AUICGgB&biw=1464&bih=941#imgrc=LYKpBwuDEhWcEM:)

<https://www.google.ch/search?q=Jean+Barbault:+Veduta+della+Basilica+e+Piazza+di+S.+Pietro+in+Vaticano.&client=firefox-b&tbn=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwj-l-aAOYPTAhXpFJoKHf9kDOIQ7AKIMw&biw=1052&bih=893#imgrc=bhz2bFYfzVICPM:>

Exk. 7.11

<http://earth.google.com/>

<http://blog.astronomieschule.de/2015/08/20/der-gottorfer-riesenglobus/>

<http://lejardincesttout.typepad.com/lejardincesttout/2008/02/perspectives-tr.html>

## 8

Exk. 8.2

<http://www.gwick.ch/Perspe/Pictures/Stich/VK.html>

<http://www.gwick.ch/Perspe/Pictures/Stich/VK.html>

<http://www.gwick.ch/Perspe/Pictures/Stich/VK.html>

<http://www.gwick.ch/Perspe/Pictures/Stich/AB.html>

8.2

[http://meinfrankreich.com/maunder\\_pays-de-caux\\_klippen/#jp-carousel-10217](http://meinfrankreich.com/maunder_pays-de-caux_klippen/#jp-carousel-10217)

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Claude\\_Monet\\_-\\_Temps\\_calme\\_Pourville.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Claude_Monet_-_Temps_calme_Pourville.jpg)

8.3

[https://en.wikipedia.org/wiki/Jacob\\_Isaakszoon\\_van\\_Ruisdael](https://en.wikipedia.org/wiki/Jacob_Isaakszoon_van_Ruisdael)

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/40/Pieter\\_Bruegel\\_the\\_Elder\\_-\\_Wedding\\_Dance\\_in\\_the\\_Open\\_Air\\_-\\_WGA03505.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/40/Pieter_Bruegel_the_Elder_-_Wedding_Dance_in_the_Open_Air_-_WGA03505.jpg)

8.4

[https://de.wikipedia.org/wiki/Claude\\_Monet#/media/File:Claude\\_Monet - Water Lilies - 1906, Ryerson.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Claude_Monet#/media/File:Claude_Monet_-_Water_Lilies_-_1906,_Ryerson.jpg)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Water\\_Lilies \(Monet series\)#/media/File:Claude\\_Monet - Le Bassin des Nymphes - Google Art Project.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Water_Lilies_(Monet_series)#/media/File:Claude_Monet_-_Le_Bassin_des_Nympheas_-_Google_Art_Project.jpg)

8.5

<https://www.martin-missfeldt.de/perspektive-zeichnen-tutorial/images/masaccio-dreifaltigkeitsfresko.jpg>

<http://www.gwick.ch/Perspe/Pictures/AutorBE.html>

8.6

[https://de.wikipedia.org/wiki/Das\\_Abendmahl \(Leonardo da Vinci\)#/media/File:%C3%9Altima Cena - Da Vinci 5.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Das_Abendmahl_(Leonardo_da_Vinci)#/media/File:%C3%9Altima_Cena_-_Da_Vinci_5.jpg)

<https://michaelamerz.files.wordpress.com/2016/10/leonardo-da-vinci-the-last-supper-2.jpg>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Die\\_Schule\\_von\\_Athen#/media/File:La scuola di Atene.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Die_Schule_von_Athen#/media/File:La_scuola_di_Atene.jpg)

[https://it.wikipedia.org/wiki/Stanza\\_della\\_Segnatura#/media/File:Raffael Stanza della Segnatura.jpg](https://it.wikipedia.org/wiki/Stanza_della_Segnatura#/media/File:Raffael_Stanza_della_Segnatura.jpg)

8.7

<http://www.treesark.com/images/Persp/Polkatrad.jpg>

[http://anagrafe.iccu.sbn.it/opencms/photo/IT/VE/0049/IT-VE0049\\_7.%20Sale%20Monumentali%20della%20Biblioteca%20Nazionale%20Marciana.%20Salone%20Sansoviniano.jpg](http://anagrafe.iccu.sbn.it/opencms/photo/IT/VE/0049/IT-VE0049_7.%20Sale%20Monumentali%20della%20Biblioteca%20Nazionale%20Marciana.%20Salone%20Sansoviniano.jpg)

8.8

[http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/ECHODOCView?url=/permanent/library/C2PG4QN1/pag\\_eimg&start=81&pn=90&mode=imagepath](http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/ECHODOCView?url=/permanent/library/C2PG4QN1/pag_eimg&start=81&pn=90&mode=imagepath)

8.9

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/Francesco di Giorgio Martini%2C veduta ideale di citt%C3%A0 fantastica%2C 1495 circa%2C Berlino.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/Francesco_di_Giorgio_Martini%2C_veduta_ideale_di_citt%C3%A0_fantastica%2C_1495_circa%2C_Berlino.jpg)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Idealstadt#/media/File:Citt%C3%A0 ideale 2.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Idealstadt#/media/File:Citt%C3%A0_ideale_2.jpg)

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Formerly Piero della Francesca - Ideal City - Galleria Nazionale delle Marche Urbino.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Formerly_Piero_della_Francesca_-_Ideal_City_-_Galleria_Nazionale_delle_Marche_Urbino.jpg)

8.10

<https://www.slideshare.net/mdickins430/ch05-space>

8.11

<http://manierisme.univ-rouen.fr/spip/?1-1-2-La-perfection-de-l-art>

8.13

<http://letteraturaartistica.blogspot.com/2013/11/english-version-rocco-sinisgalli-il.html>

Exk. 8.4

[http://www.gurari.com/architecture3.php?inv\\_id=139&spot=1](http://www.gurari.com/architecture3.php?inv_id=139&spot=1)

<http://antiochus.over-blog.com/article-perspectives-vredeman-de-vries-1527-1606-57435791.html>

8.16

<https://www.photo.rmn.fr/archive/13-525827-2C6NU0DH3TEN.html>

<http://descrittiva1.blogspot.ch/2004/05/le-proiezioni-curvilinee-1-elementi.html>

<http://saint-romans.forumactif.biz/t13-livre-chroniques-de-france>

<http://classes.bnf.fr/fouquet/grand/f048.htm>

<https://www.wikiart.org/de/jean-fouquet/emperor-cyrus-the-great-of-persia-who-permitted-the-hebrews-to-return-to-the-holy-land-and>

8.17

<http://storiellarte.com/2011/06/konrad-witz.html>

[http://oregu.info/mk/teory\\_color\\_itten/](http://oregu.info/mk/teory_color_itten/)

8.18

[https://de.wikipedia.org/wiki/Anamorphose#/media/File:Hans\\_Holbein\\_the\\_Younger\\_-\\_The\\_Ambassadors\\_-\\_Google\\_Art\\_Project.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Anamorphose#/media/File:Hans_Holbein_the_Younger_-_The_Ambassadors_-_Google_Art_Project.jpg)

8.19

[https://de.wikipedia.org/wiki/Santa\\_Annunziata\\_\(Otranto\)#/media/File:Otranto\\_cathedral\\_mosaic3.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Santa_Annunziata_(Otranto)#/media/File:Otranto_cathedral_mosaic3.jpg)

8.20

[https://www.wga.hu/support/viewer\\_m/z.html](https://www.wga.hu/support/viewer_m/z.html)

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chiesa\\_di\\_santa\\_croce,\\_affreschi\\_di\\_giotto\\_cappella\\_b\\_2.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chiesa_di_santa_croce,_affreschi_di_giotto_cappella_b_2.JPG)

8.21

<https://www.wlw.de/de/firmen/strassenmarkierungen>

8.22

<http://www.boredpanda.com/michelangelo-david-close-up-photos/>

<http://time-az.com/main/detail/48774>

8.23

<http://www.italianways.com/giuseppe-galli-da-bibbiena-scenografo-italiano-alla-corte-di-vienna/>

## 9

9.1

Rosenberg

9.7

„Perspectiva Pes Picturae“ von Johann Jacob Schübler (1720)

9.8

*Sant' Ignazio di Loyola in Campo Marzio*: Deckengemälde von Andrea Pozzo, 1685

9.9

<http://www.zeno.org/Kunstwerke/B/Michelangelo+Buonarroti%3A+Sixtinische+Kapelle%3A+Sch%C3%B6pfungsgeschichte%3A+Dankopfer+Noahs>

9.10

<http://edito.seloger.com/lifestyle/insolite/un-artiste-transforme-les-facades-des-immeubles-en-trompe-l-oeil-article-14438.html>

9.11

[https://de.wikipedia.org/wiki/Santa\\_Maria\\_presso\\_San\\_Satiro](https://de.wikipedia.org/wiki/Santa_Maria_presso_San_Satiro)

9.12

Foto Susanne Eisner-Kartagener

9.13

Fotos Georg Eisner

9.14 [https://de.wikipedia.org/wiki/Mahlzeitstillleben#/media/File:Willem\\_Claesz.\\_Heda\\_004.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Mahlzeitstillleben#/media/File:Willem_Claesz._Heda_004.jpg)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Stillleben#/media/File:Tromp-l-%27oeil\\_Still-Life\\_1664\\_Hoogstraeten.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Stillleben#/media/File:Tromp-l-%27oeil_Still-Life_1664_Hoogstraeten.jpg)

Exk. 9.2

<http://www.panoramafoto.ch/wocherpanorama.htm>

<http://www.kunstmuseumthun.ch/de/ausstellungen/vorschau/thun-panorama-das-aelteste-erhaltene-rundbild-der-welt-2460/>

<https://www.swissinfo.ch/ger/das-aelteste--kino--der-welt/7445530>

[http://www.zumbo.ch/maps/navigate/navigate.php?map\\_nr=62](http://www.zumbo.ch/maps/navigate/navigate.php?map_nr=62)

Exk. 9.3 <http://www.revue.ch/ausgaben/2017/03/detail/news/detail/News/rundbilder-die-wiedergeburt-eines-optischen-faszinosums/>

<https://www.myswitzerland.com/de-ch/bourbaki-panorama-riesenrundgemaelde.html>

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Luzern-Bourbaki.jpg>