



X . media . press



Armin Grasnick

X.media.press ist eine praxisorientierte Reihe zur Gestaltung und Produktion von Multimedia-Projekten sowie von Digital- und Printmedien.

3D ohne 3D-Brille

Handbuch der Autostereoskopie



Springer Vieweg

X.media.press



X.media.press ist eine praxisorientierte Reihe zur Gestaltung und Produktion von Multimedia-Projekten sowie von Digital- und Printmedien.

Armin Grasnick

3D ohne 3D-Brille

Handbuch der Autostereoskopie

 Springer Vieweg

Armin Grasnack
Moos-Bankholzen, Deutschland

ISSN 1439-3107

X.media.press

ISBN 978-3-642-30509-2

ISBN 978-3-642-30510-8 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-30510-8

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg

*In Gedenken an meinen Mentor und Freund
Christoph Baron von Düsterlohe, dessen souveräne
Gelassenheit und unerschütterliche Heiterkeit mir
als beständige Ratgeber zur Überwindung der
täglichen Widrigkeiten dienen.*

*Für meine geliebte Frau Annett, die in den
vergangenen Jahren den von mir dauerhaft
vergessenen Alltag so vortrefflich bewerkstelligt
hat, dass ich nunmehr glaube, in einem vollständig
automatisierten Haushalt zu leben.*

Vorwort

Ende 2009 kam der 3D-Blockbuster „Avatar“ in die Kinos und wurde einer der erfolgreichsten Filme aller Zeiten. Der kommerzielle Erfolg der Stereoskopie (3D mit Brille) führte in der Folge zu einem massivem „roll-out“ von 3D-Filmen und 3D-Fernsehern. Mittlerweile sind 3D-Darstellungen zu einem alltäglichen Ereignis geworden, und es gelingt längst nicht mehr, den Kinobesucher durch einzelne 3D-Effekte zu überraschen. Das Publikum hat inzwischen auch die unangenehmen Nebenwirkungen des 3D-Kinos erkannt und beginnt, die Brauchbarkeit der 3D-Brille zu hinterfragen. Mit zunehmender Vertrautheit mit der bisherigen Technik steigt auch der Wunsch nach Verbesserung.

Neben den allgemein bekannten Brillentechniken existieren aber auch Verfahren, die keine 3D-Brille bei der Wiedergabe benötigen. Die Verfahren der 3D-Darstellung ohne Brille werden unter der Bezeichnung Autostereoskopie zusammengefasst.

Das vorliegende Buch beschreibt die derzeit verfügbaren Technologien der Autostereoskopie deren Funktionsweise, Anwendung und Limitierung.

Halbinsel Hóri im Bodensee im Winter 2016

Armin Grasnick

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Die Evolution der Raumbilder	5
2.1	Binokulare Dominanz	5
2.2	Plastische Reproduktionen	7
2.2.1	Jungpaläolithische Kleinkunst	7
2.2.2	Griechische und römische Skulpturen	9
2.3	Grafische Realisierung	10
2.3.1	Perspektivische Parietalkunst	10
2.3.2	Vitruvianische Perspektive	11
	Literatur	20
3	Raumwahrnehmung	23
3.1	Visuelles System	23
3.1.1	Optischer Apparat	23
3.1.2	Okulomotorik	26
3.1.3	Kognitive Datenverarbeitung	34
3.2	Monokulare Raumwahrnehmung (Monovision)	35
3.2.1	Perspektive	36
3.2.2	Morphologie	42
3.3	Binokulare Raumwahrnehmung (Stereopsis)	43
3.3.1	Augenabstand	43
3.3.2	Disparation	44
3.3.3	Horopter	46
3.3.4	Panum-Raum	48
	Literatur	49
4	Raumbildtechnik	53
4.1	Stereoskope	53
4.1.1	Spiegelstereoskop nach Wheatstone	54
4.1.2	Linsenstereoskop nach Brewster	55

4.1.3	Stereoskopische Stroboskope	59
4.1.4	Stereoskopische Brillen	61
4.1.5	Bildfrequenz temporaler Stereoskope	70
4.2	Stereoskopische Geometrie	72
4.2.1	Stereobasis	72
4.2.2	Stereoskopische Tiefe	74
4.3	Grenzen der Stereoskopie	76
4.3.1	Stereoskopische Defizite	76
4.3.2	Hype-Cycle	80
4.4	Autostereoskopische Systeme	87
4.4.1	Wechselbilder	88
4.4.2	Parallaxbarriere	97
4.4.3	Linsenraster	124
4.5	Klassifikation der Raumbildtechnik	142
4.5.1	Reale Existenz	143
4.5.2	Binokulare Illusion	144
4.5.3	Übersichtsbild	145
	Literatur	146
5	Autostereoskopisches Bild	157
5.1	Bildgewinnung	157
5.1.1	Kameraaufnahme	157
5.1.2	2D/3D-Konvertierung	159
5.2	Kombinationsvorschrift	163
5.2.1	Stereoskopische Dreieckszahl	163
5.2.2	Bildkombination	167
5.2.3	Moirés	178
	Literatur	185
6	Hyperview	187
6.1	7680 Views	187
6.2	5.760.000 Views	190
	Literatur	193
	Schluss	195
	Sachverzeichnis	197

Großartig oder grauenhaft?

Natürliches 3D ist in der Realität allgegenwärtig, für jedermann beiläufig und ohne Anstrengungen konsumierbar. Der uns umgebende reale Raum existiert ohne unser Zutun, die räumliche Wahrnehmung erfolgt unbewusst. Der 3D-Eindruck fällt erst dann ins Gewicht, wenn er wegfällt, z. B. in einer künstlich erzeugten Abbildung oder einem flachen Bild.

Künstliches 3D ist dagegen schwer zu erzeugen und häufig fehlerbehaftet. So hat sich z. T. eine vorgefasste, bisweilen ablehnende Meinung gebildet. Und es ist wahr: 3D ist wenig glamourös und verfügt über keinen großen Glitzerfaktor. 3D ist weder Bestandteil einer klassisch humanistischen Bildung noch ein allgemein erstrebenswerter Lebensraum.

Wird man gefragt: „Womit beschäftigen Sie sich derzeit?“, reicht die Antwort „3D“ in der Regel nicht aus, um beim Gegenüber Begeisterung zu erzeugen: „3D – ja das kenne ich, diese schrecklichen Brillen, die Wackelbilder aus der Kellogg’s-Schachtel!“

Man könnte jetzt erklären, das war früher, da gibt es heute ganz ernsthafte Anwendungen, erstaunliche Technologien, neuerdings sogar Filme im Kino, in 3D und digital. Sie werden zwangsläufig irgendwann an jemanden geraten, dem im „Avatar“ unglaublich schlecht geworden ist, und natürlich macht er dann Sie für sein Unwohlsein verantwortlich. „Das machen Sie?“ Vielleicht haben Sie aber auch Glück und geraten nur in den Verdacht, ein fanatischer Anhänger von Raumschiff Enterprise und Star Wars zu sein . . .

Ist das wahr? Sind Sie ein Freak? Wenigstens ein bisschen? Gut. Dann sind Sie hier richtig! Die Entwicklung neuer Technologien setzt neben dem notwendigen Grundlagenwissen auch Neugier und Kreativität voraus, neue Ideen basieren immer auch auf einer ungewöhnlichen, überraschenden Sichtweise.

Wackelbilder oder 3D-Filme sind bekannte Arten aus der Frühzeit der 3D-Darstellung, Dinosaurier der Stereoskopie. Dennoch stellen diese Entwicklungen einen wichtigen Schritt in der 3D-Evolution dar. Das Funktionsprinzip der historischen Stereoskopie ist eine notwendige Grundlage für das Verständnis aktueller Technologien.

Tatsächlich findet sich auch in neuen, revolutionären Formen der räumlichen Darstellung ein erstaunlich hoher Anteil an stereoskopischem „Erbgut“. Dieses „3D-Gen“ spielt eine entscheidende Rolle bei der 3D-Wahrnehmung. Die Stereoskopie ist im allgemeinen Verständnis allerdings mit der Nutzung einer 3D-Brille verknüpft.

Funktioniert 3D aber auch ohne 3D-Brille? Nun, man könnte jetzt die 3D-Bilder vom Kiosk erwähnen. Technisch gesehen handelt es sich dabei um autostereoskopische Prints. Die Wortschöpfung „autostereoskopisch“ beschreibt zunächst einmal nur den sich selbsttätig einstellenden Raumeindruck, wobei diese Bezeichnung lediglich den Wegfall der 3D-Brille meint. Die häufig anzutreffende Gleichsetzung von Autostereoskopie mit „3D ohne Hilfsmittel“ ist falsch, wie später noch gezeigt wird. Hilfsmittel zur Erzeugung des 3D-Bildes werden immer benötigt – wenn auch nicht immer eine Brille.

Mit einigem Recht könnten Sie nun fragen, was mich in Anbetracht der vorherigen Betrachtungen dazu bewogen hat, mich gerade diesem Thema so eingehend zu widmen. Mitte der 1990er-Jahre beschäftigte ich mich unter anderem mit der Erstellung von 3D-Prints, die den späteren Umbau des Berliner Bahnhofs Potsdamer Platz virtualisierten. Tatsächlich fanden diese 3D-Bilder ein gewisses Interesse, sodass der naheliegende Wunsch nach Interaktion mit dem Modell aufkam. Nach diversen Versuchen und Fehlschlägen konnte ich wenige Jahre später nicht nur einen funktionsfähigen 3D-Monitor präsentieren, sondern darauf bereits einen 3D-Realfilm präsentieren (Abb. 1.1 Realfilmaufnahme mit



Abb. 1.1 Der Autor bei der Aufnahme eines autostereoskopischen Films am Ende des 20. Jahrhunderts

acht parallelen Kameras). Dieser Monitor war aber kein „gewöhnlicher“ 3D-Bildschirm, sondern wies einen entscheidenden Vorzug gegenüber dem Stand der Technik auf:

3D ohne 3D-Brille

Ich möchte Sie im Folgenden mit dem Nutzen des 3D-Sehens vertraut machen, Ihnen die Probleme der 3D-Brille erläutern und die Möglichkeiten der Autostereoskopie darstellen.

Im Kapitel „Evolution der Raumbilder“ möchte ich Ihnen aufzeigen, dass der Wunsch nach möglichst realistischer Nachbildung der Wirklichkeit keine neuzeitliche Erfindung ist, sondern bereits seit der Steinzeit existiert. Dieses Verlangen nach weitgehender Übereinstimmung mit der Natur brachte nicht nur die uns noch heute bekannten Felsenmalereien und Skulpturen hervor, sondern führte in der Folge auch zu den perspektivischen Darstellungen des griechischen Bühnenmalers Agatharchos. Diese Frühformen der Perspektive wurden durch die Schriften des Vitruv von den schriftkundigen Mönchen des Mittelalters an die Maler der Renaissance überliefert, die den Grundstein realistischer Darstellung legten.

Das Kapitel „Raumwahrnehmung“ wird nicht nur zeigen, dass die perspektivischen Elemente und Wirkungen eines flachen Bildes schon Künstlern wie da Vinci bekannt waren, sondern geht insbesondere auf die Funktionsweise des räumlichen Sehens ein. Dabei wird auch erläutert, dass die Wahrnehmung sich nicht nur auf die optische Abbildung des Auges beschränkt, sondern in besonderer Weise von der Leistungsfähigkeit des menschlichen Gehirns abhängt.

Sie werden einiges über die Entwicklung der Raumbildtechnik erfahren, aber auch über die Verfahren und Limitationen der verwendeten Technik. Die technischen Details einzelner Techniken sind jeweils an ausgewählten Beispielen illustriert, die aus heutiger Kenntnis ein erstes Auftreten einer bestimmten Methode markieren.

Unbedingt notwendig ist aus meiner Sicht die Kenntnis der Grenzen der Stereoskopie, das Verständnis für die Probleme stereoskopischer Präsentationen, die letztlich zu dem zyklischen Auftauchen und Verschwinden der 3D-Darstellung beiträgt – dem Hype-Cycle.

In der Beschreibung der autostereoskopischen Bildschirmtechnik wurde von mir eine subjektive Auswahl vorgenommen – nicht jeder einzelne Erfinder oder jedes Unternehmen konnte Erwähnung finden. Ich habe dennoch versucht, die Autostereoskopie so allgemein wie möglich zu beschreiben und so die Ähnlichkeiten der einzelnen Verfahren auf eine gemeinsame Grundlage zurückzuführen. Neben den Erläuterungen zur technischen Wirkungsweise verschiedener autostereoskopischer Bildschirme sollen auch grundlegende Anleitungen zur Erstellung autostereoskopischer Bilder gegeben werden.

Am Schluss des Buches habe ich mir erlaubt, einen kleinen Einblick in mein aktuelles Forschungsgebiet zu geben, der gleichzeitig auch einen Ausblick auf die Möglichkeiten der Autostereoskopie bietet.

Dieses Buch soll Ihnen nicht nur einen Überblick über die brillenfreie 3D-Darstellung geben, sondern v. a. eines sein: ein praktikabler Begleiter bei der Arbeit mit 3D – ein Handbuch der Autostereoskopie.

2.1 Binokulare Dominanz

Die Erkennung der natürlichen Umgebung durch den Menschen erfolgt grundsätzlich räumlich und unwillkürlich. Zur Erzeugung des räumlichen Eindrucks werden keinerlei Hilfsmittel benötigt, die Raumwahrnehmung arbeitet automatisch und bedarf keiner willentlichen Aktivierung.

Das dafür zuständige visuelle System war bereits den frühen Primaten eigen.

Es ist vielleicht überraschend, aber tatsächlich existiert heute kein einziges Lebewesen auf der Erde, das nur über ein einziges, hoch entwickeltes Auge verfügt (von den einfachen Medianaugen einiger Krebstiere und Insekten abgesehen). In den Millionen von Jahren, in denen durch zufällige Variation immer wieder neue Arten hervorgebracht oder durch natürliche Auslese vernichtet wurden, konnte sich kein langfristig überlebensfähiges zyklopisches Lebewesen entwickeln. Im Sinne der darwinistischen Evolutionstheorie scheint das Vorhandensein zweier Augen und damit die Möglichkeit zur Einschätzung von Entfernungen evolutionär von erheblichem Vorteil zu sein.

Bei den einfachen Lebewesen konnten sich verschiedene Sehsysteme durchsetzen.

Lässt man die simpelsten Entwürfe beiseite, die ohne eine optische Abbildung auskommen (z. B. Flach- oder Grubenaugen), haben sich im Wesentlichen 3 Augentypen durchgesetzt: Facetten-, Loch- und Linsenaugen. Der optische Aufbau der Augen und deren Anordnung bestimmen letztlich die Eigenschaften des Sehapparates.

So gibt es zwischen den einzelnen Typen eine deutliche Varianz im Gesichtsfeld. Das Facettenauge (z. B. einer Fliege) hat mit 360° eine vollständige Rundumsicht, das menschliche Linsenauge kann selbst in jüngeren Jahren nicht einmal 180° erreichen. Weitere Unterschiede finden sich in der Auflösung, der Helligkeit oder der Bildqualität des Seheindrucks, den wahrnehmbaren Farben und sogar der Position der Augen.

Bei allen hoch entwickelten Lebewesen sind heute allerdings nur Linsenaugen, jeweils in zweifacher Ausführung und horizontaler Anordnung, zu finden. Im Sinne der Ziel-

stellung dieses Buches ist es ausreichend, sich nur den höheren Säugetieren und dabei insbesondere dem Menschen sowie dessen Vorfahren, den Primaten, zu widmen.

Zu den urzeitlichen Primaten liegen nur wenige gesicherte Informationen vor. Bei den wenigen erhaltenen Fossilien ist jedoch eines auffällig: Bereits in diesem frühen Stadium der Entwicklungsgeschichte lässt sich das Vorhandensein zweier Augen, die so angeordnet sind, dass ein 3D-Sehen möglich ist, nachweisen.

Hintergrundinformationen

Das älteste bekannte Primatenskelett wurde vor einigen Jahren (2002) in der chinesischen Hubei-Provinz von einer Gruppe um den Forscher Xijun Ni (Chinesische Akademie der Wissenschaften) gefunden [1]. Es datiert auf etwa 55 Mio. Jahre und gilt als die früheste Verbindung zur menschlichen Entstehungsgeschichte. Die Fossilien wurden einem engen Verwandten unserer Vorfahren, der Primatenfamilie „Trockennasaffen“ (*Haplorhini*) und darin einer neuen Gattung, „*Archicebus achilles*“ (Abb. 2.1), zugeordnet. Die Bezeichnung „*Archicebus achilles*“ ist eine Zusammensetzung aus dem griechischen Wort für Ursprung („*arche*“), dem wissenschaftlichen Namen des Kapuzineräffchens („*cebus*“) sowie dem Namen des homerischen Helden Achilles.

Ein Mitglied der Forschergruppe, Christopher Beard vom Carnegie Museum of Natural History in Pittsburgh, erklärt die Namensbildung so [2]:

The heel bone is the reason we named it Achilles in the end ...

Zu den *Haplorhini* gehören die Menschenaffen und schließlich auch der Mensch. Von unseren gemeinsamen Vorfahren, den Trockennasaffen, sind bislang zwar noch keine fossilen Überreste entdeckt worden, dennoch werden diese neben den Feuchtnasaffen als Unterordnung der Ordnung der Primaten eingegliedert.

Es wird allgemein angenommen, dass die Anordnung der Augen sich evolutionär an die Lebensweise der Art angepasst hat. Für Fluchttiere (beispielsweise Pferde) ist eine permanente Rundumsicht vorteilhaft. Das spricht für eine vorzugsweise seitliche Anordnung der Augen am Kopf. Die Sehfelder der Einzelaugen überschneiden sich dadurch wenig und lassen nur einen schmalen Korridor zu, in dem ununterbrochenes Raumsehen möglich ist. Dieser Korridor liegt aber vorteilhaft in der gewöhnlichen Bewegungsrichtung des Tieres angeordnet, sodass auch bei schnellem Galopp Hindernisse zuverlässig erkannt werden

Abb. 2.1 Künstlerische Interpretation des *Archicebus achilles*. (Mit freundl. Genehmigung von Xijun Ni; Chinesische Akademie der Wissenschaften)



können. Der dadurch fehlende seitliche Raumeindruck kann dabei auch einäugig durch Bewegung des Kopfes gewonnen werden.

Für bestimmte Lebewesen (z. B. Raubtiere) hat sich dagegen ein nach vorne gerichtetes Sehen durch nebeneinander angeordnete Augen bewährt. Das gewährleistet neben einem ausgezeichneten räumlichen Sehen auch die hoch aufgelöste Fixierung von Beutetieren.

2.2 Plastische Reproduktionen

2.2.1 Jungpaläolithische Kleinkunst

Auch schon beim Frühmenschen lieferte die vorwärts gerichtete Beidäugigkeit ein exzellentes Raumbild und damit eine gewohnheitsmäßige Wahrnehmung von Entfernungen und Abmessungen. Der Wunsch nach möglichst wirklichkeitsnaher Darstellung existiert daher vermutlich seit Beginn künstlerischer Betätigung und hat sich spätestens im Jungpaläolithikum in figürlichen Darstellungen manifestiert.

Abb. 2.2 Venus vom Hohlefelds, Mammut-Elfenbein.
(Foto: Thilo Parg/Wikimedia Commons)



Die im September 2008 in der Höhle „Hohlefels“ im Achtal bei Schelklingen aufgefundene „Venus vom Hohlefels“ (Abb. 2.2; [3]) ist eine steinzeitliche, anatomisch korrekte Miniatur einer weiblichen Person der Altsteinzeit und stellt wohl die älteste naturalistische Interpretation der Realität durch einen Künstler dar.

Die Figur wurde vor etwa 35.000 bis 40.000 Jahren aus Mammutelfenbein gefertigt und befindet sich heute im Urgeschichtlichen Museum in Blaubeuren [4].

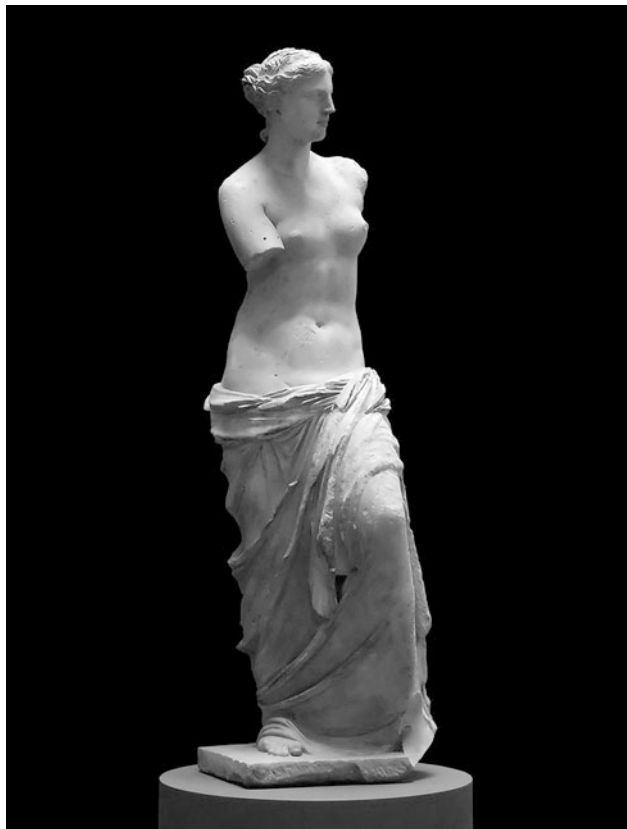
Hintergrundinformationen

Unbekannt bleibt der Grad der Wirklichkeitsnähe des Kunstwerkes. Setzt man aber eine große Ähnlichkeit der damaligen Cromagnonmenschen mit dem heutigen Homo sapiens voraus, so darf eine gewisse künstlerische Freiheit unterstellt werden.

Der Archäologe Mellars von der Cambridge University hat die Figur in einen eindeutigeren Zusammenhang gebracht [5]:

And the figure is explicitly – and blatantly – that of a woman, with an exaggeration of sexual characteristics ... that by twenty-first-century standards could be seen as bordering on the pornographic.

Abb. 2.3 Aphrodite von Milos (Venus de Milo) im Louvre. (Foto: Shawn Lipowski/Wikimedia Commons)



Dieses im Wissenschaftsmagazin *Nature* veröffentlichte Statement wurde in der Onlineausgabe um ein Video mit dem Titel „Prehistoric Pin-up“ [6] ergänzt, wodurch sich ein gewisses Interesse der Presse einstellte und somit auch ein höherer Bekanntheitsgrad erreicht wurde.

So titelte z. B. *Der Spiegel* [7] „Venus-Fund auf Schwäbischer Alb: Steinzeit-Sexsymbol betört Forscher“. Im *Handelsblatt* war zu lesen [8]: „Das älteste Pin-up stammt aus Schwaben“.

Allerdings bleibt Mellars Deutung umstritten [9].

2.2.2 Griechische und römische Skulpturen

Diese und ähnliche realitätsnahe Skulpturen (etwa die „Venus von Willendorf“ [10]) waren für viele Jahrtausende eine unübertreffliche Möglichkeit, die Welt in ihren Raumdimensionen (Länge, Breite, Höhe) wiederzugeben, obgleich sich im Verlauf der Zeit Stil und handwerkliche Möglichkeiten veränderten. In vielen Museen weltweit kann man noch heute Kunstwerke aus der griechischen und römischen Antike bewundern. Ein bekanntes

Abb. 2.4 Porträtkopf des Gaius Julius Cäsar, Turin, Museo d'Antichità, 40 v. Chr., Universität zu Köln, Archäologisches Institut. (Antikensammlung Erlangen Internet Archive)

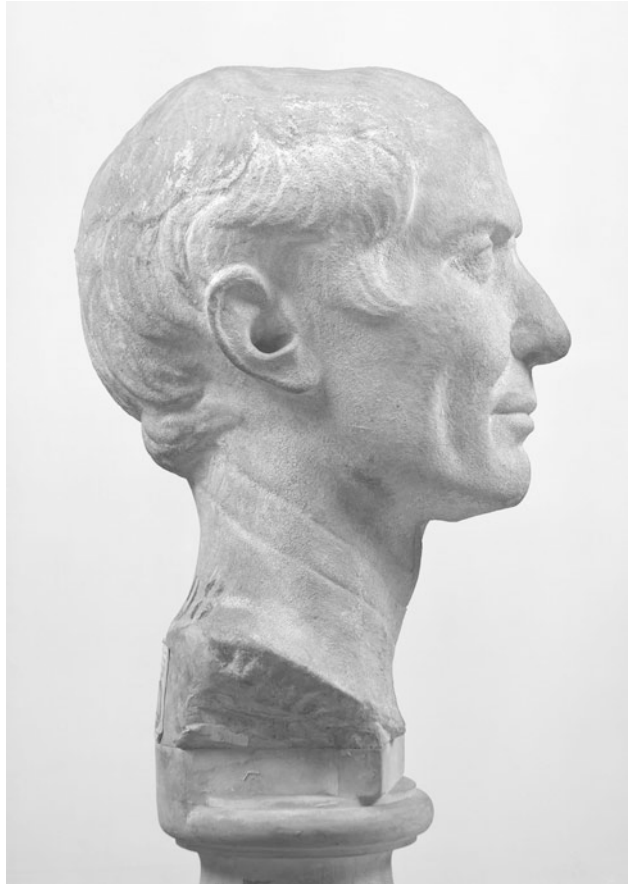


Abb. 2.5 Abbild des Gaius Julius Cäsar auf einer Münze, 44 v. Chr. (Foto: Classical Numismatic Group/Wikimedia Commons)



Beispiel ist die „Venus von Milo“ (Abb. 2.3; ausgestellt im Louvre, Paris [11]), in der sich die ausgereifte Kunstfertigkeit antiker Künstler manifestiert. Häufig wurden detailreiche und lebendige Skulpturen geschaffen, die selbst in Einzelheiten sehr präzise waren. Die in Tusculum Anfang des 19. Jahrhunderts ausgegrabene Büste [12] zeigt den römischen Kaiser Gaius Julius Cäsar (Abb. 2.4) und stellt neben den Abbildungen auf den römischen Münzen (Abb. 2.5) eine der wenigen erhaltenen Abbildungen dar, die noch zu seinen Lebzeiten angefertigt wurden.

2.3 Grafische Realisierung

2.3.1 Perspektivische Parietalkunst

Eine räumliche Abbildung muss sich nicht auf figürliche Darstellung begrenzen. Auch mit den Mitteln der Malerei lassen sich auf ebenen Flächen plastisch wirkende Bilder erzeugen. Diese Interpretationsform ist etwa in der gleichen Zeit entstanden wie die figurative Reproduktion.

Gleichzeitig mit dem Auftauchen größerer Höhlenbilder wurden Elemente der räumlichen Darstellung in der bildhaften Ausführung verwendet.

Bei den zwischen 30.000 und 40.000 Jahre alten Zeichnungen in der Höhle von Chauvet, wird man mit einer erstaunlichen Plastizität überrascht (Abb. 2.6). Die vorgeschichtlichen Gemälde weisen Schattierungen auf, die einzelnen Objekte sind im Raum gestaffelt und überdecken sich, wodurch sich der Raumeindruck noch verstärkt.

Hintergrundinformationen

Aufgrund der außergewöhnlichen darstellerischen Qualität gibt es immer wieder Zweifel an der Authentizität der Zeichnungen. So weist Appleton in seinem Artikel „Disney-Cartoons aus der Eiszeit“ [13] unter anderem auf die Verwendung moderner stilistischer und perspektivischer Elemente im „Disney-Stil“ hin.

Die Höhle gehört seit 2014 zum UNESCO-Weltkulturerbe [14]. Um die Malereien (Abb. 2.6) zu erhalten, wurde die Höhle geschlossen und das „Grand Projet La Caverne du Pont-d’Arc“ ins Leben gerufen, in dem die gesamte Höhle mit allen Wandbildern nachgebildet werden sollte [15]. Im April 2015 wurde die Replik der Höhle im Beisein des französischen Präsidenten Hollande für



Abb. 2.6 Detailfotografie der Pferdszene aus der Caverne du Pont-d'Arc. (T. Thomas, The Adventurous Eye/Wikimedia Commons)

den Publikumsverkehr offiziell geöffnet [16]. Dennoch kann man auch heute noch die Originalhöhle in 3D erleben: in Werner Herzogs Dokumentarfilm „Die Höhle der vergessenen Träume“ (2010).

2.3.2 Vitruvianische Perspektive

Schon in der Antike bediente man sich der perspektivischen Darstellung. So findet sich noch heute vor der Casa del Fauno in Pompeji ein beeindruckendes 3D-Mosaik (Abb. 2.7). Im konkreten Fall handelt es sich um ein Opus sectile, ein aus größeren Platten geschnittenes Werk. Diese heute auch als Trompe-l'Œil (Vortäuschung realer Gegenständlichkeit

Abb. 2.7 Fußboden in der Casa del Fauno, Pompeji. (Foto: Armin Grasnick)



mit malerischen Mitteln) bekannte Technik liefert die Illusion der Räumlichkeit durch Perspektive, Überdeckung oder den geschickten Einsatz vermeintlicher Licht- und Schatteneffekte.

Die wahrgenommene Gegenständlichkeit ergibt sich in diesem Muster rein aus der kubischen Wirkung der einzelnen hexagonalen (sechseckigen) Rhomboidmuster. Jedes einzelne Muster ist wiederum das Resultat dreier Rauten, die aus verschiedenartigen Materialien (hellgrau, weiß und dunkelgrau) zusammengesetzt sind (Abb. 2.8). Der sich ergebende Seheindruck entspricht dem eines von schräg oben betrachteten Würfels in längentreuer (isometrischer) Darstellung.

Die Winkel zwischen den Achsen (x, y, z) betragen jeweils 120° . Dadurch ergibt sich ein Seitenverhältnis der Rhomben von $y = x \cdot \tan(60^\circ)$, wobei $\tan(60^\circ)$ auch gleich der Wurzel aus 3 ist. Dieses Verhältnis ist als Konstante von Theodorus bekannt und lässt sich überdies auch ohne Kenntnis von Wurzel und Tangens aus der Distanz zwischen 2 gegenüberliegenden Seiten eines regulären Sechsecks mit gleicher Seitenlänge ermitteln. Das entspricht nach heutiger Bezeichnung einer senkrechten Parallelprojektion (Orthogonalprojektion). Auf Basis dieser Grundlagen lässt sich recht einfach ein ähnliches Muster erzeugen.

Die Abb. 2.9 zeigt einen bearbeiteten Ausschnitt des Fußbodens und Abb. 2.10 im Vergleich eine eigene, auf der Konstante von Theodorus beruhende Interpretation.

Abb. 2.8 Zeichnung einer einzelnen Raute

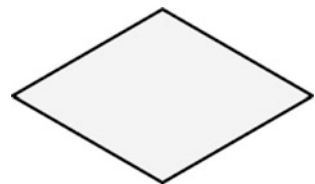
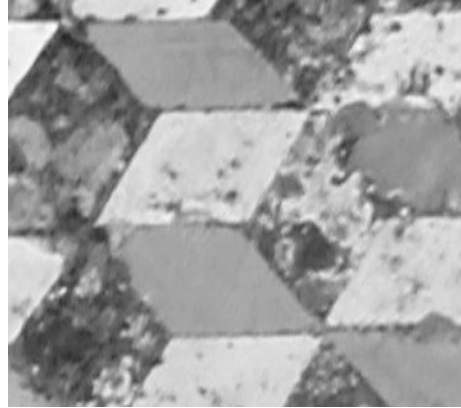


Abb. 2.9 Ausschnitt des Bodens in der Casa del Fauno, Pompeji



Obgleich dieses Muster noch ein Projektionszentrum vermissen lässt, zeigen verschiedene Wandgemälde vom gleichen Ort und aus der gleichen Zeit eine deutliche Perspektive.

Ein Wandbild aus dem Haus des Apoll wurde besonders eingehend von Martin Blazeby und seinem Team am Kings College in London analysiert [17, 18]. Die Fotografie des Bildes (Abb. 2.11) zeigt den bemerkenswert guten Erhaltungszustand sowie die Qualität der Ausführung.

Im Jahr 1841 hat Mastracchio [19], der als Zeichner bei den Ausgrabungen von Pompeji zugegen war, das Wandbild grafisch rekonstruiert. Am Kings College wurde 2005 das Bild analysiert, und die verschiedenen Fluchtpunkte wurden eingezeichnet. Das Bild weist eindeutig Merkmale der Zentralperspektive auf, in den Außenbereichen dagegen findet sich eine Parallelperspektive. Alle Perspektivlinien gehen von der zentralen Achse aus.

Wenn die Lage des Fluchtpunktes bekannt ist, lassen sich durch fotogrammetrische Analyse auch die Tiefenwerte bestimmen und somit die dritte Dimension herleiten.

Blazeby [20] hat diese Analyse durchgeführt und aus der Perspektive die implizite 3D-Architektur ermittelt. Das Ergebnis wurde als 3D-Modell dargestellt.

Abb. 2.10 Moderne Interpretation nach Theodoros

