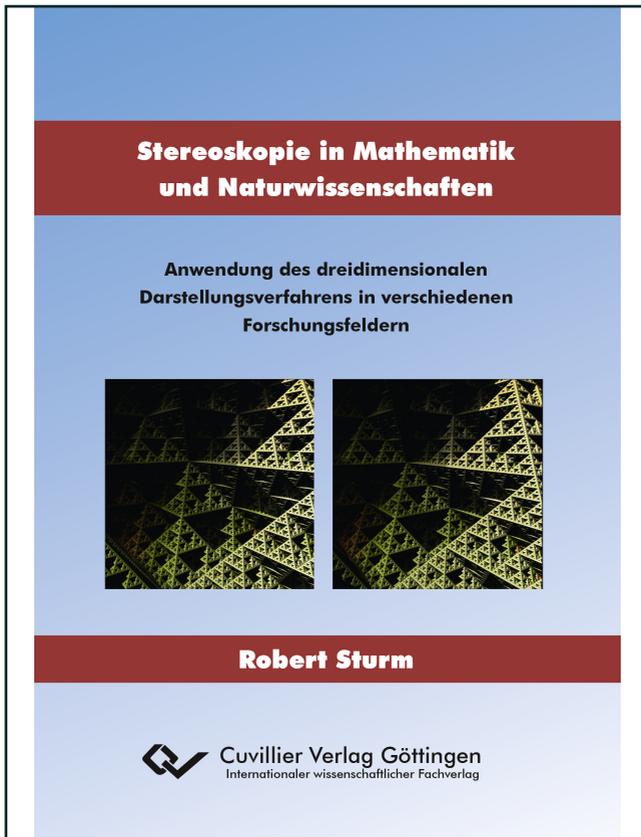




Robert Sturm (Autor)

## **Stereoskopie in Mathematik und Naturwissenschaften**

Anwendung des dreidimensionalen Darstellungsverfahrens  
in verschiedenen Forschungsfeldern



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7373>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# 1. Einleitung

Der Mensch verfügt über zwei Augen, welche ihm die räumliche Wahrnehmung der Umwelt ermöglichen. Die beiden optischen Sinnesorgane nehmen aufgrund ihrer leicht versetzten Anordnung unterschiedliche Bilder eines Gegenstandes wahr. Diese Bildeindrücke werden infolge koordinierter Muskelsteuerung und normaler Netzhautkorrespondenz zu einem Einzelbild fusioniert. Der Prozess der Bildverschmelzung wird in der Fachsprache auch als sogenanntes binokulares Einfachsehen bezeichnet. Die eigentliche dreidimensionale Information wird erst im Sehzentrum des Gehirns erzeugt, wo die gewonnenen Bilder anhand hochkomplexer neuraler Vorgänge einer räumlichen Modellierung unterzogen werden (Helmholtz, 1910; Hecht, 2005).

Das Phänomen des räumlichen Sehens spielte in der menschlichen Evolution eine sehr bedeutsame Rolle, wurde es einzelnen Individuen damit doch ermöglicht, sich in der Umgebung genau zu orientieren, Entfernungen abzuschätzen und andere Objekte zu lokalisieren. Gerade das räumliche Orientierungsvermögen trug wesentlich dazu bei, dass sich der Mensch als Jäger und Sammler in der Natur zu etablieren vermochte und seinen Weg an das obere Ende der Nahrungskette beschreiten konnte (Scheidel, 2009).

Bereits in der Antike ging man in vermehrtem Maße der Frage nach, inwieweit es möglich sei, in flächenhafte Darstellungen (Zeichnungen, Malerei) räumliche Information einfließen zu lassen. Diese Problematik resultierte einerseits in der Entwicklung geometrischer Konstruktionsverfahren, welche bis zum heutigen Tag zur Anwendung gelangen, beflügelte jedoch andererseits auch die Fantasie der Künstler, in deren Bildwerke vermehrt illusionistische, die Tiefe des Raumes suggerierende Elemente Eingang fanden. Als Höhepunkt alter malerischer Illusion darf sicherlich die pompejanische Wandmalerei des ersten vor- und nachchristlichen Jahrhunderts gelten, die den Betrachter durch ein Fenster in eine idyllische Naturlandschaft blicken lässt.



Mit der Entwicklung der Fotografie in den 1830er Jahren entstand zum wiederholten Male das Befürnis nach einer raumgetreuen Darstellung von verschiedensten Objekten. Man hatte bereits relativ früh erkannt, dass anhand eines einzelnen Bildes eines Gegenstandes zwar dessen räumliche Ausdehnung näherungsweise erahnt werden kann, jedoch die Entsprechung der Sicht eines einäugigen Menschen vorliegt. Dadurch kommt es in vielen Fällen zur Generierung falscher Tiefeninformation. Einen bahnbrechenden Fortschritt hinsichtlich dieser wichtigen Frage konnte schließlich der Brite Charles Wheatstone erzielen, der das Doppelbildprinzip etablierte und als Gründer der Stereoskopie anzusehen ist (Wheatstone, 1838; Sturm, 2016). Im Laufe von 150 Jahren hat sich die Stereoskopie zu einer eigenen wissenschaftlichen Disziplin entwickelt, welche sich mit dem räumlichen Sehen und der Herstellung möglichst naturgetreuer Raumabbildungen beschäftigt. Der Begriff Stereoskopie leitet sich von den beiden altgriechischen Wörtern στερεός (stereos = solide, starr, körperlich, räumlich) und σκοπέω (skopeō = prüfen, untersuchen, ansehen, betrachten) ab. Er bezeichnet die Gesamtheit all jener Techniken, welche der Erzeugung oder Steigerung der Tiefenillusion eines Bildes dienen (Scheidel, 2009). Der Mensch verwendet zu diesem Zweck einerseits das bereits erwähnte binokulare Sehen, verfügt jedoch auch über einen speziellen Tiefenwahrnehmungssinn, der in der Fachsprache mit dem Terminus Stereopsis (ὄψις/opsis = Sehen, Wahrnehmung, Betrachtung) belegt ist. Die Erstellung stereoskopischer Bilder wird im Allgemeinen als Stereografie (γράφω/grāphō = zeichnen, malen, einritzen, schreiben) bezeichnet. In Anlehnung an diese Terminologie verwendet man für das Raumbild selbst den Begriff Stereogramm (γράμμα/grammā = Buchstabe, Inschrift, Zeichnung, Gemälde). Die Betrachtung von Stereogrammen kann entweder ohne Hilfsmittel oder anhand eines sogenannten Stereoskops erfolgen. Die Stereofotografie (φῶς/phōs = Licht) schließlich widmet sich der Generierung von Stereogrammen mithilfe von Analog- beziehungsweise Digitalkameras.

Für die Anfertigung von Raumbildern ist es erforderlich, zwei Fotografien eines Objektes zu erstellen, welche dieses aus geringfügig unterschiedlichen Perspektiven zeigen. Idealerweise entspricht ein Bild der Perspektive des linken Auges, das andere hingegen der Perspektive des rechten Auges. Die beiden auf diese Weise erzeugten Aufnahmen werden allgemein als stereoskopische Halbbilder bezeichnet. Die „große Kunst“ besteht nun darin, jedem Auge getrennt sein zugehöriges Halbbild zugänglich zu machen, also dafür zu sorgen, dass das linke Auge lediglich das linke Halbbild und das rechte Auge lediglich das rechte Halbbild zu sehen bekommen. Die auf der jeweiligen Netzhaut entworfenen Bilder entsprechen denen des „freien Sehens“ und werden in weiterer Folge im Gehirn zu einem einzelnen Raumbild verschmolzen (Bahr, 1991; Abé, 1997; Bräutigam, 2004; Kuhn, 1999).

Die Fähigkeit des räumlichen Sehens darf keineswegs als Selbstverständlichkeit erachtet werden. Neben all jenen Menschen, die den Verlust eines Auges zu beklagen haben, bleibt sie vor allem Personen mit Schielerkrankungen oder ähnlichen gesundheitlichen Defiziten versagt. Hier liegt nämlich sehr häufig eine signifikante Beeinträchtigung der Fusionsfähigkeit des Gehirns vor, was entweder in der Wahrnehmung von Doppelbildern oder schlichtweg der Unterdrückung einer der beiden Netzhautabbildungen resultiert. Neueren wissenschaftlichen Studien zufolge liegt in der Bundesrepublik Deutschland jener Anteil der Bevölkerung mit nicht vorhandener Befähigung des räumlichen Sehens zwischen 3 und 15 %, was insgesamt zwischen 2,5 und 12 Millionen (!) Individuen entspricht (Scheidel, 2009). Für Österreich und die Schweiz können sicherlich ähnlich hohe Relativwerte angenommen werden, wodurch das Phänomen der Tiefenwahrnehmung mit all ihren Vor- und Nachteilen noch weiter an Bedeutung gewinnt. Die Vermittlung eines räumlichen Eindrucks mithilfe zweidimensionaler Fotografien stellt schon längst nicht mehr ein alleinstehendes Forschungsfeld dar. Stereoskopische Aufnahmetechniken haben im Laufe der vergangenen Jahrzehnte Einzug in viele Bereiche der Wis-



senschaft gehalten. Wie in den folgenden Kapiteln noch ausführlicher dargelegt werden soll, konnte die Stereoskopie in der technischen und naturwissenschaftlichen Forschung gleichermaßen ihre Anhängerschaft gewinnen (Lorenz, 1987, 1989, 1991; Helmcke, 1991). Auch Kunstgeschichte, Archäologie und Architektur bedienen sich in vermehrtem Maße der Methode, da gerade in diesen Forschungsfeldern die Vermittlung räumlicher Tiefeninformation häufig ein wichtiges Bedürfnis darstellt. Als relativ aktuell darf der Eingang stereoskopischer Verfahren in die Licht- und Elektronenmikroskopie bewertet werden (Sturm, 2015, 2016). Viele mikroskopisch kleine Objekte lassen sich letztendlich nur einer gezielten Untersuchung zuführen, wenn man möglichst exakte Kenntnis bezüglich ihrer dreidimensionalen Ausdehnung besitzt. Aus technischer Sicht stellt die Stereomikroskopie kein sonderlich aufwändiges Verfahren dar, da es lediglich notwendig ist, das zu untersuchende Objekt um ein paar Grad zu kippen, und die dazu erforderliche technische Vorrichtung vielfach bereits zur Standardausrüstung des Gerätes gehört.

In der medizinischen Forschung gibt es seit jeher das Bestreben einer möglichst detailgetreuen Raumdarstellung diverser Zellen, Gewebe und Organe. Wie anhand einiger nachfolgender Bildbeispiele demonstriert werden soll, vermag die Stereoskopie einen durchaus effektiven Beitrag zu dieser Problematik zu leisten. So lassen sich beispielsweise dreidimensionale Röntgenbilder und Sonogramme erstellen, welche die Ausdehnung innerer Organe oder Gefäßsysteme zur Darstellung bringen. Für komplexere Fragestellungen wie etwa die genaue Verortung und räumliche Entwicklung von Tumoren haben sich in der Medizin mit der Computertomografie und anderen bildgebenden Verfahren wesentlich aufwändigere und exaktere Methoden etabliert, bei denen aus einer Vielzahl an Schnittbildern mittels rechnerischer Unterstützung ein Raumbild erzeugt werden kann (Scheidel, 2009).

Seit den 2000er Jahren ist man auch in der Unterhaltungsindustrie um eine vermehrte Anwendung stereoskopischer Bilderzeugungsverfahren

ren bemüht. Das bereits in den 1930er Jahren entwickelte stereoskopische Kino sowie seine Renaissance in den 1980er Jahren, als man mehr oder weniger gute Filme durch die Rot-Grün-Brille betrachten konnte, stellten wesentliche Grundlagen für dieses technische Bestreben dar (Lehrle, 1953; Börner, 1989). Heute erlebt das dreidimensionale Kino einen sukzessiven Aufschwung, und aufwändige Filmproduktionen wie Avatar oder Star Wars werden dem Zielpublikum als 2D- oder 3D-Version vorgeführt. Dreidimensionales Fernsehen ist längst zu einer Standardtechnik avanciert, welche immer mehr Anhänger findet und den stereoskopischen Kinofilm direkt ins Wohnzimmer bringt. Auch die Videospiegelindustrie hat den Wert stereoskopischer Verfahren längst erkannt. Mittels spezieller dreidimensionaler Videokameras wird der Spieler direkt in das Spielgeschehen integriert und vermag so mit anderen Spielfiguren zu interagieren. Tragbare Spielkonsolen setzen ebenfalls auf den 3D-Effekt und lassen manche Spiele dadurch wesentlich dynamischer und realistischer erscheinen.

Gegenwärtig kann nur schwer abgeschätzt werden, ob dem Hype des dreidimensionalen Fernsehens und Videospielens eine längerfristige Zukunft beschert ist oder in den nächsten Jahren wieder mit einem Rückgang des Interesses gerechnet werden muss. Dies hängt wohl in erster Linie mit der Leistbarkeit entsprechender Geräte und der Verfügbarkeit von 3D-Medien zusammen. Gerade letzterer Faktor stellt einen wesentlichen Schwachpunkt dar, ist die Zahl der 3D-Filme doch noch sehr stark eingeschränkt. Wichtig wird hier vor allem sein, inwieweit einzelne Fernsehstationen im Zeitalter der HD-Übertragung auf den 3D-Zug aufspringen und ihre Programme unter Anwendung entsprechender Techniken ausstrahlen. Allen voran ein Großereignis wie die Fußball-Weltmeisterschaft böte hierfür – wie schon bei der Einführung des HD-Fernsehens – eine geeignete experimentelle Plattform.

Frühe wissenschaftliche Abhandlungen zum Thema Stereoskopie datieren in die Mitte des 19. Jahrhunderts (Wheatstone, 1838; Brewster, 1856; Ruete, 1867) und setzten sich in der Hauptsache mit den Grund-



theorien des stereoskopischen Sehens und der Entwicklung des Stereoskops auseinander. An der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert nahm man sich in vermehrtem Maße der physiologischen Grundlagen der räumlichen Wahrnehmung (Stolze, 1894; Helmholtz, 1910), der stereoskopischen Theorie (Schilling, 1910; Scheffer, 1914) und der praktischen Anwendung des optischen Verfahrens (Bergling, 1896; Mittag, 1904; Hartwig, 1907) an. Die rasche Entwicklung und Verbreitung der Stereofotografie im frühen 20. Jahrhundert bewirkte freilich, dass thematische Publikationen insbesondere in den 1930er und 1940er Jahren einer Aktualisierung unterzogen werden mussten. Dieser Umstand resultierte letztlich in einer erklecklichen Anzahl neuer Veröffentlichungen (Lüscher, 1928, 1931, 1932, 1940; Widmayer, 1932; Stenger, 1937; Barsy, 1943). In der Nachkriegszeit führte die Konzeption moderner Stereokameras und Betrachtungsverfahren zu einem neuerlichen Anstieg der Publikationstätigkeit, wobei technische Aspekte verstärkt in den Fokus entsprechender Abhandlungen gerieten (Pietsch, 1953a, 1953b, 1959; Selle, 1952, 1953).

Ab der Mitte der 1980er Jahre erlebte die im Zusammenhang mit dem optischen Verfahren stehende literarische Aktivität wiederum eine Renaissance (Waack, 1985; Börner, 1989; Burkhardt, 1989; Helmcke, 1989; Lorenz, 1987, 1989, 1991; Waack & Kemner, 1989). Diese Entwicklung resultierte einerseits aus dem vermehrten Eingang der optischen Methode in Film und Fernsehen und andererseits aus deren intensiverer wissenschaftlicher Anwendung. Gegenwärtig kann die jährliche Anzahl an Veröffentlichungen zur Stereoskopie nach wie vor als hoch bewertet werden. Neben jenen Werken, welche sich einem allgemeinen Publikum zuwenden (Baccei, 1994; Bartl et al., 1994; Klein et al., 1994; Wolff, 1998; Grossman, 2003; Bauer & Graf, 2007; Tauer, 2010; Bräutigam, 2014), wurden zahlreiche Hochschulschriften zu spezifischen stereoskopischen Techniken und Anwendungen (Steffen, 2008; Knorr, 2009; Scheidel, 2009) und wissenschaftliche Arbeiten zu speziellen Fragestellungen (Sturm, 2009a, 2009b, 2015, 2016) publiziert.

## 2. Geschichte der Stereoskopie

Der Umstand, dass unsere beiden Augen zwei leicht voneinander verschobene Bilder wahrnehmen und dadurch ein räumliches Sehvermögen entsteht, war bereits manchem antiken Gelehrten bekannt. Der um 300 v. Chr. lebende griechische Mathematiker Euklid etwa wies in einer Schrift zumindest andeutungsweise auf die Fähigkeit des Menschen hin, Gegenstände bezüglich ihrer räumlichen Ausdehnung wahrnehmen zu können. Zu einem ähnlichen Schluss gelangte auch der ungefähr 480 Jahre später tätige Arzt Galenos, ohne dabei jedoch genauere Erklärungsansätze abzuliefern (Pietsch, 1959). Deren Formulierung erfolgte erst im 15. Jh. durch den Universalgelehrten Leonardo da Vinci; seine Deutung des Phänomens beruhte darauf, dass man durch Betrachtung eines Gegenstandes mit beiden Augen gleichsam um diesen herum zu blicken vermag und damit räumliche Information über das Objekt erhält. Den Beweis für seine Hypothese erbrachte da Vinci, indem er zwei Kerzen, welche die beiden menschlichen Augen simulieren sollten, links und rechts vor einem Gegenstand positionierte und den Verlauf ihrer Lichtstrahlen hinter dem Objekt genau studierte. Er konnte feststellen, dass sich die Strahlen in einem gewissen Abstand hinter dem Gegenstand wieder treffen und legte damit unbewusst einen Grundstein für die im 18. und 19. Jh. ins Leben gerufene geometrische Optik (Senf, 1989).

### 2.1. Erste Ansätze einer stereoskopischen Bildgestaltung

Die erste bildliche Darstellung des stereoskopischen Effektes gelang dem Italiener Jacopo Chimenti da Empoli, der um 1600 zwei Tuschezeichnungen einer sitzenden männlichen Person anfertigte. Die beiden Bilder zeigen den Protagonisten aus geringfügig unterschiedlichen Perspektiven (Abb. 2.1.). Mithilfe eines speziellen Apparates, welcher dem linken Auge lediglich das linke Bild und dem rechten