

Stereo-Schreiben & -Zeichnen: Virtuelle Realität durch synchrones, beidhändiges Schreiben/Zeichnen unter Parallelblick und zwei Sprachlernanwendungen

Markus Rude

1. Einleitung

Beginnen wir mit einem kleinen Experiment: Halten Sie bitte einen kleinen Ringgummi rechts mit Daumen und Zeigefinger der rechten Hand und links mit Daumen und Zeigefinger der linken Hand. Halten Sie ihn leicht gespannt und waagrecht vor sich. Bitte bewegen Sie ihn dann nach rechts und links, nach oben und unten, immer in waagrechter Position, wobei der Abstand zwischen ihren Fingerspitzen annähernd gleich bleiben sollte. Geht das? Wahrscheinlich ja. Sie können also *gleiche Bewegungen*¹ mit Ihrer rechten und linken Hand ausführen. (2 *Freiheitsgrade* des Händepaars: 1. Rechts-links, 2. hoch-runter)

Nun ein zweites kleines Experiment: Halten Sie bitte den Ringgummi wiederum leicht gespannt, waagrecht, jetzt aber mittig (weder rechts noch links) vor sich. Dann spannen und entspannen Sie ihn abwechselnd (Hände nach außen, dann nach innen bewegen), aber achten Sie darauf, dass er waagrecht und mittig vor Ihnen bleibt. Geht das auch? Sehr gut. Sie können also auch *gegengleiche Bewegungen* mit Ihren beiden Händen ausführen. (3. *Freiheitsgrad* des Händepaars: gegengleich, bzw. symmetrisch)

Damit verfügen Sie über fast alle Voraussetzungen für das manuelle *stereoskopische* Schreiben oder Zeichnen, kurz *Stereo-Schreiben oder -Zeichnen*: Es erfordert lediglich die Ausführung einer geeigneten Kombination dieser beiden Bewegungstypen, d. h. von gleichen und gegengleichen Bewegungen Ihrer beiden Hände, um damit zwei Stifte *synchron* (gleichzeitig) über eine Schreibfläche – Papier, Whiteboard, etc. – zu führen.

Wenn es Ihnen zusätzlich gelingt, der Linie des rechten Stifts mit dem rechten Auge, der des linken mit dem linken Auge zu folgen², und wenn Ihrem interpretierenden

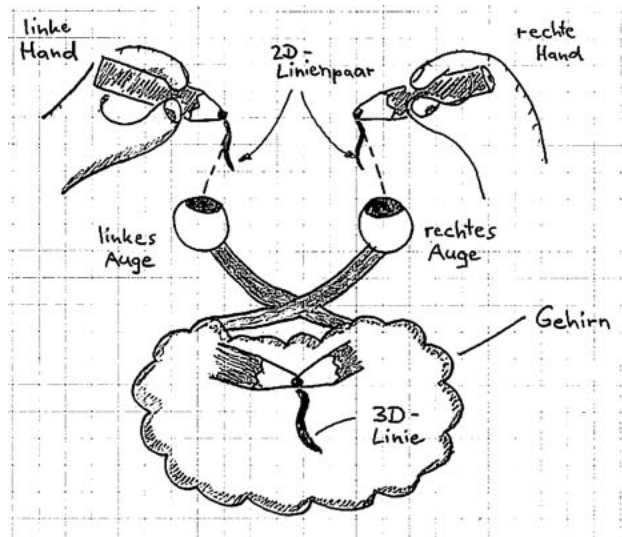


Abb. 1 Prinzip des Stereo-Schreibens oder -Zeichnens. Synchrone Linienführung auf einer Schreibfläche; die rechte Hand zieht die rechte Linie, die linke Hand die linke Linie (Linienabstand: z. B. etwa 50 mm). Unter Parallelblick (rechtes Auge fixiert rechte Linie, linkes Auge fixiert linke Linie) kann daraus eine fusionierte virtuelle Linie wahrgenommen werden (plus zwei schwächere Linien rechts und links davon), die scheinbar aus der Schreibfläche herausragt (bei kleiner werdendem Linienabstand) bzw. in sie eindringt (bei größer werdendem Abstand): manuell erzeugte virtuelle Realität.

Gehirn genügend Grund zur Annahme gegeben wird, es handele sich nicht um eine zweidimensionale Schreibfläche (2D), sondern um einen virtuellen „Schreibraum“ (mit Tiefe, also 3D), auf dem nur eine, dafür aber räumliche Linie entsteht, dann sind Sie in der Lage, in 3D zu schreiben oder zu zeichnen, und das freihändig ohne Computer.³

Prinzipiell ist es tatsächlich so einfach, denn gleiche Bewegungen rechts/links führen zu zwei horizontal gegeneinander verschobenen, sonst aber identischen Linien auf dem Papier. Im virtuellen Schreibraum resultiert daraus – ähnlich wie beim normalen Schreiben bzw. Zeichnen auch – eine einzige virtuelle Linie auf einer virtuellen Schreibebeine hinter der reellen Schreibfläche. Gegengleiche Bewegungen rechts/links führen allerdings zu einer Querverschiebung (*Querdisparation*) von Teilbildern, die das Gehirn als Tiefenunterschied interpretiert. Dadurch können die virtuellen Linien auch vor oder hinter die virtuelle Schreibebeine führen.⁴

In der Praxis ist allerdings Stereo-Schreiben & -Zeichnen nicht ganz so einfach. Es braucht Übung, beidhändig gleiche Bewegungen präzise auszuführen. Noch präziser

müssen die horizontal gegengleichen Bewegungen ausgeführt werden, denn bereits kleine Querverschiebungen erzeugen den Eindruck eines großen Tiefensprungs; und vertikal gegengleiche Bewegungen müssen ganz vermieden werden, da die entstehenden vertikal verschobenen Liniensegmente bei der Betrachtung natürlicher 3D-Szenen nicht vorkommen und darum von unserem Gehirn nicht fusioniert werden können.

Natürlich kann manuelles Stereo-Schreiben & -Zeichnen nicht die Präzision computererstellter *Stereogramme* erreichen. Dennoch kann es hierfür nützliche Anwendungen geben: z. B. das schnelle Erstellen einer 3D-Skizze, die anschließend in einer 3D-Computer-Grafik detailliert werden kann; die Entwicklung technischer Produkte könnte so beschleunigt werden. In diesem Aufsatz sollen zwei mögliche Anwendungen für den Zweitspracherwerb vorgestellt werden, das Glossing und die Prosodische Schrift.

Im folgenden 2. Kapitel geht es um das 3D-Sehen und um die komplexen Prozesse im menschlichen Gehirn, die Bewegungen planen und koordinieren, und zwar auf Grundlage von kontinuierlich eintreffenden Sensordaten (*Feedback* von Daten des Sehens und Fühlens). Im 3. Kapitel wird daraus die These der Machbarkeit des Stereo-Schreibens- & -Zeichnens abgeleitet. Beispiele belegen die Machbarkeit und damit einen Teil der These. Im Fazit werden die Beschränkungen des Verfahrens aufgelistet sowie eine weitere Forschungsfrage und eine Hypothese zum virtuellen Fühlen formuliert.

Einige dieser Gedanken wurden bereits vorgestellt: das Glossing in 3D bereits vor einigen Jahren auf einer JALT-CALL-Tagung, die Idee handschriftlichen Stereo-Schreibens & -Zeichnens auf zwei Vorträgen 2016, und zwar auf Deutsch (JGG Frühlingstagung) und auf Englisch (G30-Vortragsreihe der Universität Nagoya).

Ich danke den kritischen Leser(inne)n Torsten Rupp, Anna Asteriadis, Sophia Asteriadis und Sabine Sachsenweger Ballantyne für zahlreiche hilfreiche Verbesserungsvorschläge und Kommentare. Verbliebene Fehler liegen ganz in meiner Verantwortung.

2. Stereo-Sehen und mehrdimensionale Bewegungen

Dieses Kapitel geht auf das Thema Stereo-Sehen (bzw. stereoskopisches Sehen) ein, soweit es für das Stereo-Schreiben/-Zeichnen wesentlich ist. Dann werden zwei mögliche Sprachlernanwendungen vorgestellt, die von 3D-Darstellungen profitieren könnten. Schließlich behandelt das Kapitel die komplexe Bewegungsplanung und

-ausführung des Menschen, die ebenfalls Voraussetzungen des hier vorgestellten Verfahrens sind.

2.1 Räumliches Sehen: Wahrnehmung der Umwelt in drei Dimensionen (3D)

Hier wird grob erläutert, wie der Mensch mit seinen zwei physiologisch beschränkten Augen ein sich ständig änderndes Abbild seiner sichtbaren dreidimensionalen 3D-Umwelt erzeugt. Dabei geht es zum ersten um das Stereo-Sehen und darum, dass *räumliches Sehen* im eigentlichen Sinne nur in einem sehr eng umgrenzten Entfernungsbereich möglich ist. Zum zweiten, was geschieht, wenn verschiedene Objekte im Sichtfeld sind, deren Entfernungen stark voneinander abweichen: *Doppelbilder* entstehen. Zum dritten wird angerissen, wie neben dem Stereosehen andere Faktoren das Tiefsehen unterstützen. Beim konventionellen Lesen und Zeichnen wird Stereosehen zwar benutzt, aber nicht genutzt: Wir könnten ein Auge ohne wesentlichen Informationsverlust schließen.

Stereosehen: Zwei Augen ermöglichen visuelle Perception (Wahrnehmung) mit Tiefsehen

Das optische System der menschlichen Augen ist einem Kamerasystem ähnlich: Die Linse erzeugt ein dynamisches Abbild, einen „Film“ der sichtbaren Umgebung auf der Retina, und diese Bildsequenz, besser gesagt, das konstituierende Bildpunktgeprassel wird durch eine Vielzahl von Nervenfasern ins Gehirn geleitet. Die Bilder auf der Retina sind 2D, unsere 3D-Wahrnehmung der Umgebung entsteht erst durch die kombinierte Auswertung der Signale aus beiden Netzhäuten (Retinae), teilweise schon im Nervenplexus hinter den Augen, zum Großteil im visuellen Cortex des Großhirns (Glaser 1997, 238).

Tiefeninformation naher Objekte wird am exaktesten aus Unterschieden dieser Halbbilder gewonnen. Blicken wir auf ein Gesicht, so konvergieren unsere Augen auf den Kopf insgesamt, z. B. auf die Augen, so dass die Hauptfläche des Gesichts auf korrespondierenden Retinabereichen abgebildet wird. Eine hervorspringende Nase liegt dann aber nicht auf diesen genau korrespondierenden Bereichen, denn *Konvergenz* beider Augen auf einen Punkt liegt zu jedem gegebenen Zeitpunkt nur für einen bestimmten Tiefenwert (Abstand) vor. Das Bild der Nase liegt also auf den beiden Retinaflächen nicht an korrespondierenden Stellen, sondern etwas weiter außen. Diese kleine Abweichung (Querdisparation) wird von unserer Perception in

Tiefeninformation „umgerechnet“.

Auch unsere eigene Nase wird von unseren Augen gesehen, obwohl sie meist nicht bewusst wahrgenommen wird. Hier liegen aber die beiden Bereiche der Retina, auf die die beiden Halbbilder zu liegen kommen, so weit nach außen versetzt, dass keine Fusion und damit kein räumliches Sehen möglich ist. Dann entstehen Doppelbilder, die von der selektiven Aufmerksamkeit meistens⁵ ausgefiltert werden (dito).

Abb. 2 (aus Rude 2013) zeigt ein einfaches Stereogramm, ein Haus vor dem Fujiyama (Fuji-san), das den Unterschied zwischen räumlichem Sehen in engerem Sinn und Doppelbildern in natürlichen Szenen demonstrieren soll. Sind die Entfernungen des Betrachters zu zwei Objekten sehr unterschiedlich (z. B. zu Haus und zu Fujiyama), so ist auch die Querverschiebung groß, man kann nur das Haus oder den Berg *fokussieren*, nicht aber beide gemeinsam. Dadurch entstehen Doppelbilder des jeweils nicht fokussierten Objekts. Beim Haus (Front und Dach) dagegen ist die Querverschiebung klein. Es kann als Ganzes fokussiert werden, wodurch die leichte Neigung des Daches nach hinten sichtbar wird. Die Teilbilder können im Gehirn fusioniert und aus der Quersparation die Abstandsverhältnisse bestimmt werden. So entsteht räumliches Sehen im eigentlichen Sinne. Natürlich sieht man auch, dass

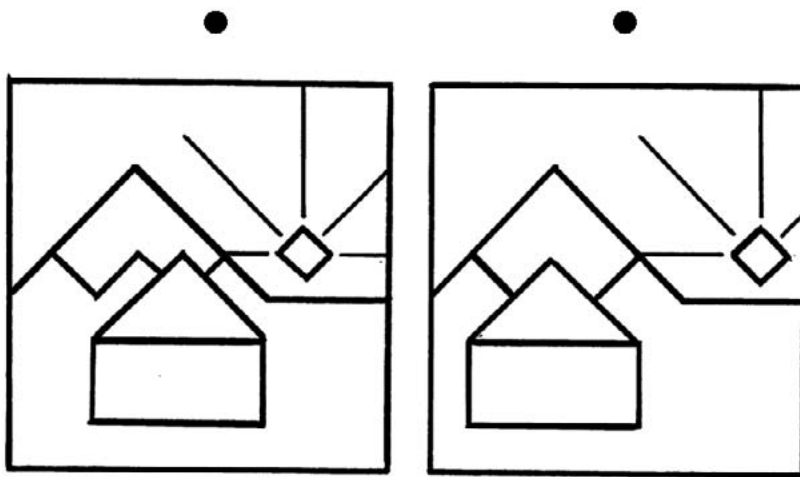


Abb. 2 (aus Rude (2013, S. 246)): Einfaches Stereogramm, ein Haus vor Fujiyama. Unter Parallelblick (schwarze Punkte zur Deckung bringen) sieht man bei Fokussierung des Hauses die leichte Dachschräge nach hinten (eigentliches räumliches Sehen). Den Berg sieht man dagegen unklar (Doppelbild). Fokussiert man hingegen den Berg, so erscheint das Haus unklar. (zwei Tipps: (1) mit der Nase auf dem Papier das *Fusionieren* beginnen und dann langsam den Abstand vergrößern und scharf stellen; (2) eine Lesebrille verwenden)

der Berg hinter dem Haus steht. Aber dieses „Sehen“ nutzt den *propriozeptiven* Gefühlseindruck, der entsteht, wenn die Augen, die zunächst auf das Haus konvergiert haben, auf den Berg umspringen, divergieren (Entspannung der Augenmuskeln); weiterhin nutzt es Überlappungen (das Haus verdeckt einen Teil der Schneekappe des Berges) und Erfahrungswissen; es handelt sich also um räumliches Sehen in weiterem Sinne bzw. um räumliche Wahrnehmung; sie benötigt z. B. die visuelle Abtastung einer Szene über einen gewissen Zeitraum hinweg.

Andere Faktoren und ihre Wechselwirkung mit Stereosehen

Der beschriebene Stereo-Effekt ist nur einer der Effekte, die Menschen ihre 3D-Umwelt räumlich wahrnehmen lassen; es gibt viele Hinweise auf Tiefe: Überlappungen (das Verdeckende ist näher als das Verdeckte), Perspektive (reelle Strecken scheinen schräg betrachtet verkleinert, Winkel ändern sich, ...), Gradient (Textur verdichtet sich mit der Entfernung, Farben verblassen oder ändern ihre spektrale Zusammensetzung) usw. Bei natürlichen Szenen wird die 3D-Perzeption durch diese Hinweise unterstützt. Bei Stereogrammen können diese zusätzlichen Hinweise gewollt (z. B. „hintere“ Linien dünner gezeichnet) oder zufällig sein (z. B. ein Fleck auf dem Papier überdeckt eine Linie); sie können unterstützend oder hemmend auf den 3D-Eindruck wirken, ähnlich wie zusätzliche Hinweise bei Spiegelbildern (z. B. ein Fleck auf einem Hohlspiegel überdeckt das Bild vor ihm, es scheint daher hinter ihm zu sein), wie bereits Hermann von Helmholtz feststellte (Helmholtz 1867, 824).

Zusammenfassung

Der Mensch kann durch komplexe perzeptive Prozesse räumlich sehen und ein großer Teil seines Gehirns ist darauf spezialisiert. Aber 3D-Sehen (Perzeption) oder virtuelle Realität (Perzeption plus Interaktion) wird bisher in der Lehre nur in Spezialanwendungen, vielleicht bei Computerspielen häufiger verwendet.

2.2 Mögliche Anwendungen in der Sprachlehre: Glossing und Prosodische Schrift

Beispiel 1A: Glossing (stereoskopisch mit Computer)

Beim Design von Texten für Sprachenlerner muss geklärt werden, wo Worterklärungen platziert werden: Am Ende eines Buches oder auf derselben Seite? Rechts oder unterhalb der Textstelle? Schreiben in 3D ergibt eine neue Möglichkeit: Hinter der

Textstelle.

Hier bieten sich große Tiefensprünge an, die man durch große Querverschiebungen zwischen den Teilbildern erzeugen kann. Im Kopf des Betrachters entstehen so Doppelbilder: entweder Haupttext oder Erklärungen können fokussiert werden, nicht beides gleichzeitig. Dies führt zu einer Art „Verstecken“ der Erklärungen, die aber durch Fokussierung jederzeit lesbar gemacht werden können, ungefähr so, als sei der Haupttext auf eine Glasscheibe geschrieben, die Erklärungen auf einer zweiten Glasscheibe ein gutes Stück dahinter (siehe Abb. 3).

Man könnte sich auch mehr als zwei Schreibebeben (Glasscheiben) vorstellen, z. B. den Haupttext auf Ebene 1, Worterklärungen in der Zielsprache auf Ebene 2 und Worterklärungen in der Muttersprache auf Ebene 3. Leser könnten dann im 3D-Leseraum⁶ (analog zu obigem virtuellen Schreibraum) gerade soweit in die Tiefe „navigieren“, bis sie eine hinreichende Erklärung gefunden hätten. Die Tiefensprünge wären einheitlich, so dass die Augen schnell gelernt hätten, wie

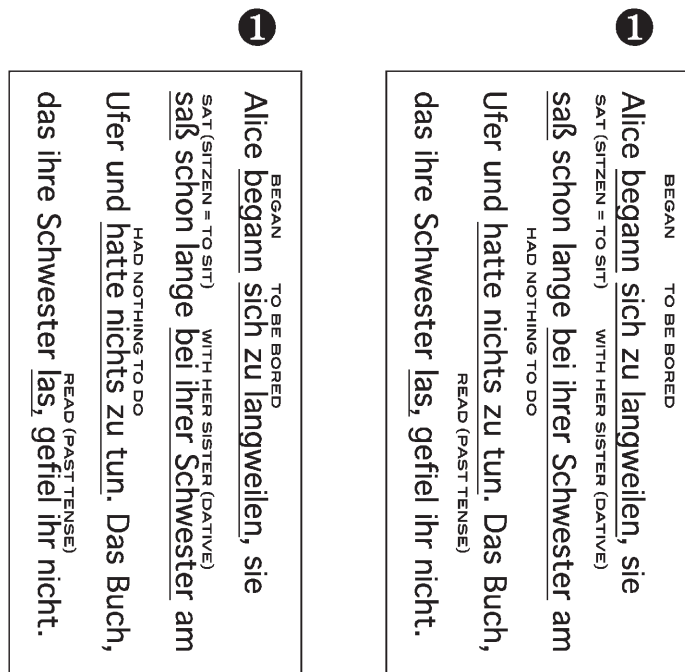


Abb. 3: Beispiel eines Stereogramms (Parallelblick) für Glossing (Text mit Worterklärungen), bei dem Erklärungen (kleinere Schrift) hinter dem Haupttext erscheinen. Entweder Haupttext oder Erklärungen können fokussiert werden, nicht beides gleichzeitig. Text aus „Alice im Wunderland“ von Lewis Carrol.

„tief“ sie springen müssten (welche Glasscheibe sie fokussieren müssten), um die jeweilige Erklärung zu erhalten.

Das beschriebene Verstecken⁷ von Erklärungen könnte Sprachenlerner dazu animieren, Bedeutungen häufiger zu erraten. Die einheitliche Platzierung der mehrstufigen Erklärungen, die vom Auge gezielt und schnell angesprungen bzw. fokussiert werden können, würde dennoch effizientes „Nachschlagen“ erlauben. Diese Form des Glossings könnte also das Lernen unterstützen.

Beispiel 2A: Prosodische Schrift (Monoskopisch, Computer und Handschrift)

Prosodische Schrift (PW = Prosodic Writing) ist eine Form der Verschriftung gesprochener Sprache, in der die Prosodie – die Sprechmelodie – fast vollständig durch definierte Formelemente dargestellt ist. Der Zweck von Prosodischer Schrift (PW) ist es, Sprachenlernern beim Erwerb der zielsprachlichen Prosodie – insbesondere der Intonation und des Rhythmus – zu unterstützen.

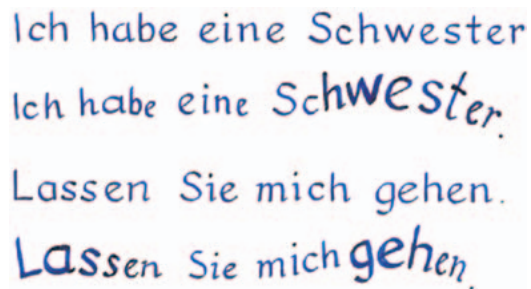
PW ist konzeptuell eine 3D-Schrift:

- Auf-ab-Bewegungen (d. h. Höhenvariationen) zeigen die Tonhöhenbewegung und damit Intonation,
- Nah-fern-Bewegungen (bzw. Groß-klein-Variationen) zeigen Lautheitsschwankungen und somit Satzakkente/Rhythmus, und
- Dehnungen-Kompressionen in Schreibrichtung zeigen zeitliche Dehnungs-Kompressions-Zyklen und damit ebenfalls Rhythmus.

Diese drei Bewegungen gehen typischerweise einher mit dem Wechsel von betont-unbetont, dem silbischen Rhythmus des Deutschen. Hier gibt es noch keine computer-generierte 3D-Schrift. Abb. 4 zeigt ein 2D-Computerbeispiel, Abb. 5 ein handschriftliches Beispiel, ebenfalls in 2D.

Ich habe eine Schwester.

Abb. 4: Computer-erzeugte Prosodische Schrift mit PW-Creator (by Nakane Takakazu; Rude et al. 2014). PW ist konzeptionell 3D (3-fach wellenförmig: nach oben/unten für Intonation hoch/tief, nach vorn/hinten für Lautheit laut/leise, sowie in Schreibrichtung gedehnt/gestaucht für langsamer/schneller).



Ich habe eine Schwester
Ich habe eine Schwester.
Lassen Sie mich gehen.
Lassen Sie mich gehen.

Abb. 5: Manuell-erzeugte Prosodische Schrift: Zwei Sätze, „Ich habe eine Schwester.“ und „Lassen Sie mich gehen“, jeweils in Normalschrift und in Prosodischer Schrift. Alphabet nach Herold (2016).

Zusammenfassung

In diesem Abschnitt wurden zwei mögliche Sprachlernanwendungen für 3D-Visualisierungen aufgeführt, das Glossing (Worterklärungen) und Prosodische Schrift (PW). Beim Glossing könnte man Haupttext auf eine Schreibe Ebene, Worterklärungen auf andere Ebenen positionieren (wie das Schreiben auf mehrere Glasscheiben hintereinander). Zu einem gegebenen Zeitpunkt kann man nur den Haupttext lesen, denn die Erklärungen der anderen Ebenen werden als Doppelbilder von unserer Aufmerksamkeitssteuerung ausgeblendet; sie können aber bei Bedarf schnell fokussiert und gelesen werden. Bei PW ist die Prosodie in 3D-Bewegungen des Schriftzugs kodiert (Höhe = Tonhöhe; Nähe bzw. Größe = Intensität; Horizontaldehnung = Zeitdehnung). Beide Anwendungen könnten das Sprachenlernen vereinfachen, 3D-Displays gehören heute zum Stand der Technik.

2.3 Der Bewegungsapparat: Der Mensch hat die Möglichkeit bzw. Freiheit, sich im 3D-Raum beliebig zu bewegen

So ausgeklügelt wie das visuelle System des Menschen ist auch sein Bewegungssystem. Der Mensch besitzt einen vielseitigen Bewegungsapparat und koordiniert im Wachzustand eine Unmenge von Muskeln (ca. 665) in meist perfekt koordinierter Form. Die Planungs- und Steuerungssysteme für diese Bewegungsprozesse sind hoch komplex.

3 mögliche Verschiebungen und 3 Rotationen = 6 Freiheitsgrade.

Die Bewegungssteuerung des menschlichen Körpers ist eine der wesentlichen

Funktionen des menschlichen Gehirns (im Zusammenspiel mit dem Rückenmark). Wir können uns im 3D-Raum in 3 Richtungen bewegen (3 translatorische Freiheitsgrade der Bewegung durch Verschiebungen längs nach vorn/hinten, quer nach links/rechts und vertikal nach oben/unten) und um ebensoviele – nämlich 3 – Achsen rotieren (3 rotatorische Freiheitsgrade der Bewegung, um die Hochachse nach rechts/links drehen, um die Querachse nach vorne/hinten fallen, oder um die Längsachse nach rechts oder links fallen). Es gibt also insgesamt 6 unabhängige Bewegungsmöglichkeiten (*Freiheitsgrade*), und jede Bewegung eines Starrkörpers im Raum lässt sich durch eine Kombination aus diesen 6 Bewegungen beschreiben. Zur Steuerung dieser 6 Freiheitsgrade (und damit wir eben nicht fallen) sind mindestens 6 *Aktuatoren* (= Motoren, Muskelgruppen) erforderlich, die unabhängig voneinander steuerbar sein müssen. In Wirklichkeit besitzt der Mensch viel mehr Muskelgruppen, die es gilt, koordiniert zu benutzen. Doch fast jeder erwachsene Mensch ist dank der effizienten Steuerungsmechanismen im Gehirn (in Verbindung mit den menschlichen Sinnen/der Sensorik, z. B. Sehen, Hören, Fühlen, ...) hierzu in der Lage.

Das bedeutet insbesondere, dass er prinzipiell all diese 6 Grundbewegungen (3 Verschiebungen in die 3 Raumrichtungen, 3 Rotationen um die 3 Raumachsen) innerhalb gewisser Grenzen in beliebigen Kombinationen ausführen kann (z. B. entspricht der dreifache Axel beim Eiskunstlauf einer Rotation um die Hochachse).

Zusammenfassung

Wie wir gesehen haben, ist eine der Hauptaufgaben des menschlichen Gehirns die Bewegungssteuerung des Menschen, die auf eine Vielzahl von Sensoren zurückgreift. Hierzu sind mindestens 6 Freiheitsgrade der Bewegung zu steuern, wozu eine Vielzahl von Muskelgruppen (Aktuatoren) koordiniert gesteuert werden müssen; der Mensch verfügt also über ein mindestens 6-dimensionales Steuerungssystem für seine Bewegungen (tatsächlich ist das System viel komplexer). Das nächste Kapitel handelt nun davon, wie visuelles System und Bewegungssystem über dieses Steuerungssystem verbunden werden können, um manuelles Stereo-Schreiben/Zeichnen zu realisieren.

3. Das freihändige Stereoschreiben und -Zeichnen

Dieses Kapitel dreht sich um das freihändige Stereoschreiben und -Zeichnen. Zunächst wird die Forschungsfrage spezifiziert. Dann wird sie argumentativ beantwortet. Schließlich wird die Antwort mit einigen Beispielen belegt.

3.1 Kann der Mensch freihändig virtuelle Realität in Form von Stereogrammen erzeugen?

So lautet die Forschungsfrage, grob formuliert. Im Einzelnen können drei Teilfragen genannt werden: Erstens, kann ein Mensch freihändig beidhändig schreiben oder zeichnen, diesen Prozess mit Parallelblick betrachten (rechtes Auge sieht rechten Schreibprozess, linkes Auge sieht linken Schreibprozess) und dadurch ein Stereogramm erzeugen, das für ihn in 3D wahrnehmbar ist? Zweitens, sind so erzeugte Stereogramme auch für andere in 3D wahrnehmbar? Und drittens, kann der Schreibende bereits den Produktionsprozess als ein Agieren in einer virtuellen 3D- Welt erfahren?

Diese Fragen wurde teilweise bereits im Ausblick von Rude (2016) gestellt, aber eine Antwort nur als Hypothese gegeben. Heute fällt die Antwort in Form einer These positiv aus. Sie soll argumentativ begründet und mit Beispielen belegt werden.

3.2 Zwei Augen und zwei Hände plus die Plastizität des menschlichen Gehirns sind hinreichende Voraussetzungen zur Erzeugung eines virtuellen 3D-Schreib-/Zeichenraums.

Der Mensch besitzt alle physiologischen und kognitiven Fähigkeiten zum Stereo-Schreiben & -Zeichnen. Das konventionelle Schreiben & Zeichnen mit einer Hand aktiviert wesentliche sensorische und bewegungsplanende Ressourcen des Gehirns nicht. Der Erfolg von Computerspielen, bei denen es häufig um schnelle und komplexe Interaktionen in virtuellen 2D- und 3D-Räumen geht, ist ein Indiz dafür, dass diese Areale des menschlichen Gehirns genutzt sein „wollen“⁸.

Die Argumentation in diesem Aufsatz geht aber einen anderen Weg: Zunächst wird logisch begründet, dass der Mensch die kognitive Plastizität besitzt, die notwendige Kombination von Bewegungs- und Blickmanövern zu erlernen, um in Stereo schreiben und zeichnen zu können. Dann werden einige Beispiele vorgestellt, die diese Machbarkeit belegen sollen.

Zunächst werden noch einmal die Bewegungsprozesse der gleich- und gegengleich gerichteten 2D-Bewegungen aus der Einleitung – hier übertragen auf die Spitze eines Schreibwerkzeugs – betrachtet und kategorisiert. (Tab. 1)

Dieses Schema ist nicht trivial⁹. Jedoch wurde oben beschrieben, dass der Mensch ein komplexes Steuerungssystem besitzt, mit dem er seinen gesamten Körper und Körperteile in mindestens 6 Freiheitsgraden steuern kann. Hier handelt es sich lediglich um 4 Freiheitsgrade, um die 2 des normalen Schreibens (gleiche Bewegungen

Tab. 1: Zehn Kombinationen von Schreibbewegungen links/rechts, ihre Fusionierbarkeit (sind entstehende Linienpaare visuell matchbar/fusionierbar?) und zugehörige Richtung der entstehenden virtuellen Linie. Zeilen 1–8: alle möglichen elementaren Bewegungskombinationen. Zeilen 9–10: zwei Beispiele für zusammengesetzte Schreibbewegungen. Der 4. Freiheitsgrad muss unbenutzt bleiben, falls eine virtuelle Linie entstehen soll (denn wir können nicht gleichzeitig mit einem Auge nach oben und mit dem anderen nach unten blicken, und darum Teilbilder mit Höhenverschiebung nicht zur Deckung bringen).

	Bewegungsrichtung Schreibspitze links	Bewegungsrichtung Schreibspitze rechts	Gleich oder gegengleich?	Matchbar? (Parallelblick)	Bewegungsrichtung der virtuellen Schreibspitze = momentane Richtung der entstehenden virtuellen Linie.	Freiheitsgrad
1	←	←	gleich	ja	nach links	1
2	→	→	gleich	ja	nach rechts	
3	↑	↑	gleich	ja	nach oben	2
4	↓	↓	gleich	ja	nach unten	
5	→	←	gegengleich	ja	nach vorne	3
6	←	→	gegengleich	ja	nach hinten	
7	↑	↓	gegengleich	nein	(inkongruente Doppelbilder)	4
8	↓	↑	gegengleich	nein	(inkongruente Doppelbilder)	
9	↗ = →+↑	↗ = →+↑	gleich	ja (ja+ja)	nach schräg rechts oben	1, 2
10	↘ = →+↓	↘ = →+↓	teils teils	nein (ja+nein)	(inkongruente Doppelbilder)	1, 4

in der Horizontalen und Vertikalen), plus um den zusätzlichen 3. Freiheitsgrad des Schreibens in der Tiefendimension: gegengleiche Bewegungen in der Horizontalen erzeugen im Betrachter nämlich einen Tiefeneindruck, da die Augen bei der Linienverfolgung konvergieren oder divergieren. Der 4. Freiheitsgrad, gegengleiche Bewegungen in der Vertikalen, darf nicht genutzt werden: In der Vertikalen ist exakte Synchronität der Bewegungen erforderlich, wenn gute Fusionierbarkeit zu einer virtuellen 3D-Linie gelingen soll.

Die Frage lautet, ob diese Bewegungskombinationen, oder genauer, ob die dazu notwendigen sensorischen *Rückkopplungen* über die virtuelle Realität erlernbar sind. Eine Analogiebetrachtung soll die Machbarkeit demonstrieren: Ein Hubschrauber besitzt 6 Freiheitsgrade, die durch das Zusammenspiel der mit Händen und Füßen zu bedienenden drei Steuerungselemente eingeregelt werden (er kann nach oben/unten, nach rechts/links, nach vorn/zurück fliegen, diese sind die 3 translatorischen Freiheitsgrade; außerdem kann er um die Hochachse nach rechts/links rotieren, um die Längsachse nach rechts/links kippen, oder um die Querachse die Nase nach oben/unten drehen, dies sind die 3 rotatorischen Freiheitsgrade). Interessanterweise sind die Wirkungen der Steuerungselemente auf die 6 Freiheitsgrade in komplexer Weise miteinander verkoppelt, so dass für ein gewünschtes Manöver fast immer eine geeignete Kombination von Steuerungseingriffen vorgenommen werden muss, sonst gerät das Gerät außer Kontrolle und stürzt ab. Die Steuerung eines Helikopters

ist vollkommen artifiziell und hat nichts mit der Steuerung des menschlichen Körpers zu tun. Doch eine Privatpilotenlizenz kann laut Internetwerbung einiger Helikopterschulen nach etwa 50 Flugstunden und mit 100 Theoriestunden erworben werden.

Im Vergleich dazu ist das Erlernen von Stereo-Schreiben/-Zeichnen wohl einfacher: Hier hat man es mit je 2 Freiheitsgraden der Steuerung der beiden Stiftspitzen, also mit 4 Freiheitsgraden (siehe oben) zu tun (Rotationen spielen bei den Punktbewegungen der Stiftspitzen keine Rolle, die Haltewinkel der Stifte sind frei wählbar). Nicht unterschätzen sollte man allerdings die Steuerung der Sensorik, die Augensteuerung: Bei gewöhnlichen Stereogrammen genügt ein Konvergenzwinkel der Augen, und falls er eingestellt ist, stimmt das ganze 3D-Bild und stabilisiert sich (vgl. dem Fokussieren nur des Hauses in Abb. 2). Beim Stereo-Schreiben/-Zeichnen erzeugt man ja erst die Szenerie, die das Stereogramm ergibt. Hier müssen also Augenbewegungen gelernt werden, die willentlich verschiedene Konvergenzwinkel der Augen einstellen können, z. B. solche für Parallelblick, oder für den Kreuzblick, oder von Zwischenstufen (vgl. dem Fokussieren aller Bildelemente in Abb. 2, plus dem von Zwischenstufen).

Im Prinzip besitzt auch die Augensteuerung beim Lesen 3 externe Freiheitsgrade (die Anzahl der beteiligten Muskelgruppen ist viel größer, hier geht es um die Freiheitsgrade der Fokussierung auf dem Papier): Gleichgerichtet nach oben/unten (Blick nach oben oder unten, d. h. in $\pm y$ -Richtung), gleichgerichtet nach rechts/links (Blick nach rechts/links, d. h. in $\pm x$ -Richtung), plus gegengerichtet rechts/links (der Konvergenzwinkel der beiden Augen). Damit wären wir bei 7 Freiheitsgraden des Systems Hände-Augen beim Stereoschreiben/-Zeichnen: 4 der beiden Stiftspitzen (beide in x - und y -Richtung), 3 des Augenpaares (beide in x , beide in y , oder gegengerichtet in x/x -Richtung). Das erscheint komplexer zu sein als die Helikoptersteuerung mit 6 Freiheitsgraden. Aber da 2 der visuellen Freiheitsgrade (gleichgerichtet nach oben/unten und nach rechts/links) identisch sind mit denen normalen Sehens, können wir die abziehen und erhalten 5 Freiheitsgrade, deren Steuerung neu gelernt werden muss. (Auch der Helikopterpilot benutzt seine Augen, und deren Steuerung haben wir bei der Helikoptersteuerung ebenfalls nicht mitgezählt).

Damit spricht vieles dafür, dass diese Bewegungskombinationen mit sensorischer Rückkopplung erlernbar sind; diese Rückkopplung erfolgt jetzt aber nicht über die Wahrnehmung von etwas Reellem, z. B. des eigenen Körpers oder der Lage und

Position des Helikopters, sondern über etwas Virtuelles. Natürlich werden dabei ebenfalls Sensordaten von real Existierendem verwendet: das Sehen zweier Stifte und zweier entstehender reeller Linien mit beiden Augen (visuell), weiterhin das Fühlen der Stifte direkt (*haptisch*) und der Papierkontakte¹⁰ indirekt (propriozeptiv); aber das bewusste Feedback verläuft über die virtuelle Realität und nutzt das Sehen einer einzigen virtuellen Linie (möglicherweise auch das Fühlen eines einzigen virtuellen Schreibraum-Kontaktpunkts oder gar eines einzigen virtuellen Stifts), um daraus bewusst die nächsten Bewegungen im virtuellen 3D-Raum zu planen, die dann wieder unbewusst umgesetzt werden in die realen paarigen Stiftbewegungen.

Zusammenfassung

Die zentrale Forschungsfrage lautete, ob manuelles Schreiben & Zeichnen in 3D möglich ist. Die positive Antwort, die Machbarkeits-These, wurde damit begründet, dass hinreichende physiologische Voraussetzungen vorhanden sind: zwei Hände mit der Fähigkeit gleicher und gegengleicher Bewegungen, zwei Augen mit der Fähigkeit des Stereosehens, komplettiert durch die menschliche Fähigkeit zur Erlernung komplexer sensorgesteuerter Bewegungsabläufe. Wie schwierig ist Stereoschreiben im Vergleich zum Helikopterfliegen? Beim Helikopter müssen über 3 Bedienelemente die 6 Freiheitsgrade des Geräts ständig gesteuert werden. Selbst das Schweben auf der Stelle erfordert windbedingt ständige Eingriffe. Beim Stereo-Schreiben & -Zeichnen sind es dagegen nur 5 Freiheitsgrade: Stereoschreiben ist damit zwar schwieriger zu erlernen als Autofahren, aber wohl leichter als Helikopterfliegen.

3.3 Anwendungsbeispiele

Vier Beispiele sollen die Machbarkeit Stereo-Schreibens & -Zeichnens belegen. Die beiden ersten sind Ergebnisse des Stereo-Schreibens, die Inhalte sind analog zu den Beispielen Glossing und PW in Kapitel 2. Beispiel 3 zeigt die freihändige Stereo-Zeichnung eines Kubus, Beispiel 4 das Ergebnis einer Kombination von Zeichnen und Schreiben: zuerst wurde ein Kubus stereo-gezeichnet und anschließend wurden die Kubusflächen mit einem Buchstaben stereo-beschrieben.

Beispiel 1B: Glossing (stereoskopisch, Handschrift)

Das erste Beispiel zeigt ein handgeschriebenes 3D-Stereogramm mit großen Tiefensprüngen: zu einem gegebenen Zeitpunkt kann daher nur einer der Texte, Haupttext oder Erklärungen, gelesen werden (Abb. 6). Teilweise können zwar

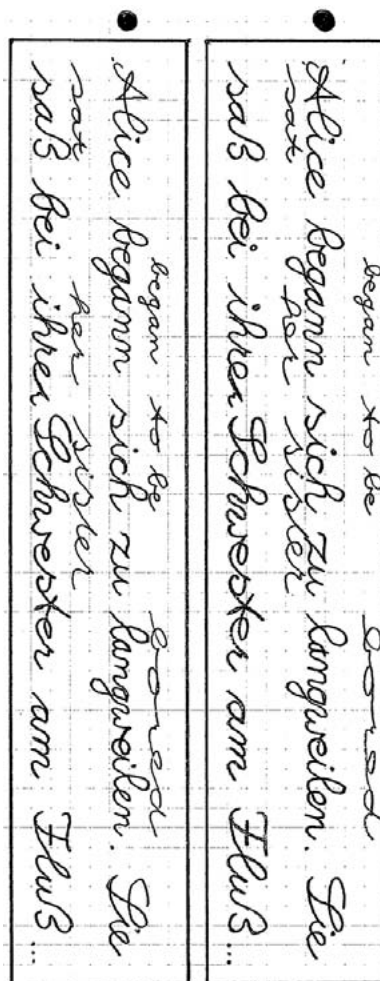


Abb. 6: Stereogramm. Stereo-Schrift des Texts aus Abb. 3 mit Glossing: Auch hier sind die Worterklärungen hinter dem Haupttext; (Schreibschrift¹², zweihändig synchron unter Parallelblick geschrieben).

auch Doppelbilder gelesen werden, aber das ist anstrengend und wird bei echter Konzentration auf den Haupttext eher nicht vorkommen. Es ist der Text von Beispiel 1A (Glossing). Die Erklärungen stehen reell direkt neben dem Haupttext, virtuell hinter ihm.

Beispiel 2B: Prosodische Schrift (stereoskopisch, Handschrift)

Das 2. Beispiel mit PW korrespondiert zu Abb. 4. Hier wurde auf 5-Millimeter-Karopapier geschrieben. Ein Gittermuster (kurz: Grid) ergibt im virtuellen

Schreibraum ebenfalls ein virtuelles Grid auf einer virtuellen Schreibebe-
 ne. Sie kann als Referenzebene dienen, und das wellenförmige Schreiben kann vor oder hinter
 dem Grid erscheinen. Da sich „Nähe“ intuitiv mit Lautheit bzw. Intensität assoziieren
 lässt, und „Ferne“ mit leiseren Tönen, könnte man den Sprachrhythmus und den
 Wechsel betonter und unbetonter Silben durch die Tiefendimension ausdrücken,
 indem betonte Silben vor, unbetonte Silben hinter dem Grid erscheinen (Abb. 7).
 Wie bereits gesagt besteht der Zweck Prosodischer Schrift darin, Lernende beim
 Erwerb zielsprachlicher Prosodie zu unterstützen. Da PW konzeptionell ohnehin
 3D ist, könnte eine echte 3D-Darstellung ähnlich der Abbildung hier effizienter
 sein und eine intensivere Wirkung auf Lerner haben als eine Darstellung in 2D.
 Falls die Sprachenlerner selbst Stereo-Schreiben beherrschen, könnten sie Gehörtes
 orthographisch und gleichzeitig auch prosodisch festhalten und dadurch die

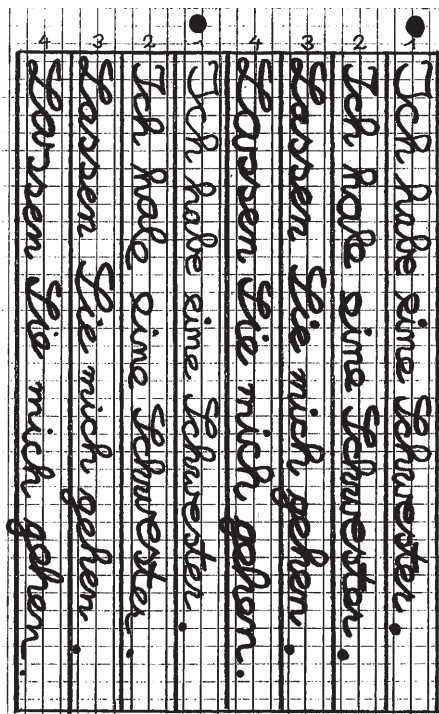


Abb. 7: Stereogramm. Stereoschrift der zwei Sätze „Ich habe eine Schwester“ und „Lassen Sie mich gehen“ aus Abb. 5; in den Zeilen 1 und 3 in Normalschrift und in den Zeilen 2 und 4 in PW mit Tiefenvariation (Schreibschrift. Normalschrift erscheint auf dem Grid; PW scheint an betonten Silben „ha“, „Schwe“, „Las“ und „geh“ vor das Grid zu treten);
 zweihändig synchron geschrieben.

Bewusstheit der Fremdsprache gleichzeitig segmentell (phonemisch, auf Buchstaben- bzw. Lautebene) als auch suprasegmentell (prosodisch, auf intonatorischer Ebene) schulen. Hier besteht ein unabsehbares Potenzial für das Sprachenlernen.

Beispiel 3: Stereo-Skizze eines Kubus (stereoskopisch, Freihand)

So wie das Quadrat eine Basisform beim 2D-Zeichnen ist¹³, stellt der Kubus eine Basisform des räumlichen Zeichnens dar. Abb. 8 zeigt drei Quadrate perspektivisch (oben) bzw. einen Kubus in Vorderansicht und daneben in Schrägansicht (unten). Hier sind die Gesetze der Perspektive klar verletzt (Fluchtpunkte nicht stimmig). Auch gelingt nur räumliches Sehen in weiterem Sinne durch visuelles Abtasten der Kanten (Doppelbilder entstehen wegen zu großer Querdissipation). Aber es geht hier zunächst um Fragen der Machbarkeit an sich, um die generelle Erzeugbarkeit und Wahrnehmbarkeit in 3D, weniger um Präzision.

Beispiel 4: Kubus mit Buchstabe „A“ auf einigen seiner Seiten (stereoskopisch, Freihand)

In Abb. 9 sind die Kuben von Abb. 8, unten dargestellt, jetzt mit dem Buchstaben „A“ auf einigen seiner Seiten.

Da die Vorstellung eines perspektivisch gesehenen Würfels leichter fällt als die

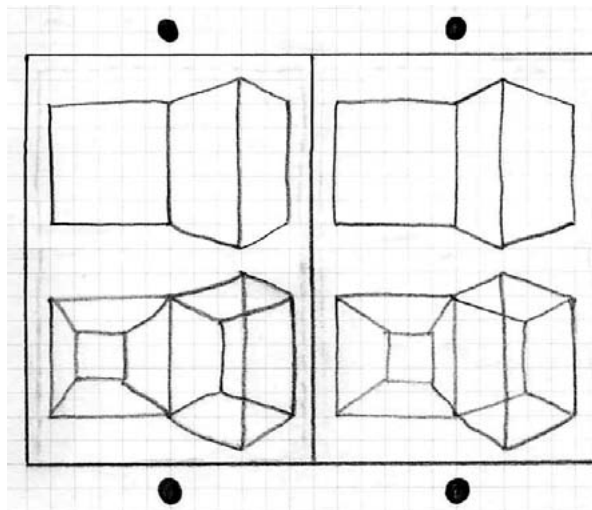


Abb. 8: Stereogramm. Drei sich seitlich berührende Quadrate (oben) und zwei sich an einer Kante berührende Draht-Kuben (unten), in Vorderansicht (linke virtuelle Bildhälfte) und Schrägansicht (rechte virt. Bildhälfte); zueinander synchron unter Parallelblick gezeichnet.

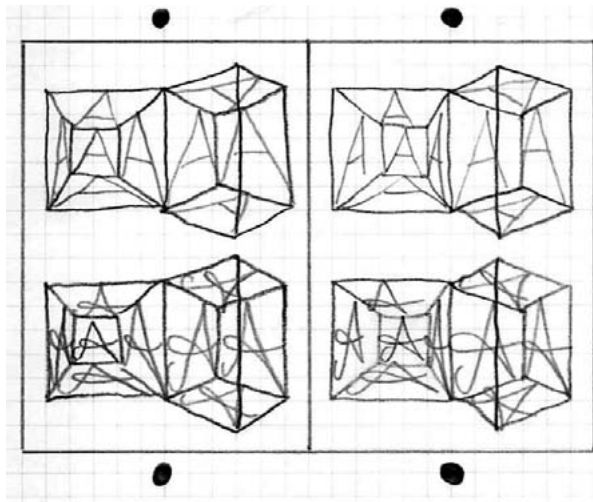


Abb. 9: Stereogramm. Oben zwei Kuben mit „A“ in Druckschrift, unten in Schreibschrift, jeweils auf einigen seiner Seitenflächen. Links im virtuellen Bild ist der Kubus in Vorderansicht, rechts – direkt daneben – in Schrägansicht zu sehen; zueinander synchron gezeichnet und anschließend ebenso beschrieben.

eines perspektivisch gesehenen Buchstabens, ist das Beschreiben virtueller Würfel­flächen eine gute Übung beim Stereo-Schreibenlernen. Ausreichendes Üben eines handschriftlichen Alphabets muss dem natürlich vorangehen; der Autor hatte das Glück dies unter Anleitung einer Spezialistin, der Kalligraphin Ingeborg Herold (2016), tun zu dürfen. Das Stereoschreiben auf einen virtuellen 3D-Würfel vermittelt dem Schreibenden mehr noch als das bloße Stereoschreiben auf, über oder unter ein virtuelles Grid ein Gefühl für „Tiefe“, da ein Würfel leicht vorstellbar und darum auch relativ leicht wahrnehmbar ist, so dass gleichzeitig auch seine Begrenzungsflächen in allen drei Raumrichtungen gut wahrgenommen werden können.

Damit würde man auch Forderungen des Wahrnehmungspsychologen James Gibson entgegenkommen, der meinte, bei der Wahrnehmung würde die Perzeption bzw. Interpretation von Flächen vor der Perzeption/Interpretation der Markierungen auf Flächen stehen. (Gibson 1980, xi)

Der „3D-Kubus“ könnte für das Stereoschreiben bzw. beginnende Stereo-Schreiber(innen) das sein, was die 2, 3 oder 4 Hilfslinien für den Erstklässler sind: Während es dort Begrenzungslinien für die Schriftzüge in 2D sind, bietet ein Kubus Begrenzungsflächen für Schriftzüge in 3D. Wie dort, wo diese Hilfslinien dabei helfen, eine normierte Buchstabenhöhe zu trainieren, könnten hier die

Stereo-Schreiben & -Zeichnen: Virtuelle Realität durch synchrones, beidhändiges Schreiben/Zeichnen

Kubusflächen dabei helfen, ein Gefühl für definierte Tiefensprünge – bzw. für 3D-Buchstabenbegrenzungsflächen – zu entwickeln.

Zusammenfassung

In diesem Abschnitt wurden vier manuell erzeugte Beispiele beschrieben, und zwar zwei für das Stereo-Schreiben, eines für das Stereo-Zeichnen und eines für eine Kombination aus einer Stereo-Zeichnung als Grundkörper (Kubus mit seinen Seiten als virtuelle Zeichenflächen), und aus dem Stereo-Beschreiben dieses Körpers. Alle Beispiele wurden unter Parallelblick erzeugt. Die stereoskopische Wahrnehmung gelingt manchen Lesenden wohl nicht auf Anhieb. Ihnen wird in Abschnitt 4.2 noch ein Tipp gegeben. Außerdem sei noch einmal erwähnt, dass es hier in erster Linie um das Prinzip geht. Die technologischen Voraussetzungen für praktische Anwendungen für komfortableres 3D-Sehen sind vorhanden.

4. Fazit

4.1 Zusammenfassung des Aufsatzes

Die These dieses Aufsatzes lautet, dass Stereo-Schreiben & -Zeichnen unter Parallelblick freihändig möglich ist, und dass damit manuell 3D-Schrift oder 3D-Zeichnungen erstellt und wahrgenommen werden können. Die These wurde argumentativ begründet (die sensorischen, aktuatorischen und kognitiven Ressourcen sind vorhanden) und mit Beispielen belegt. Im ersten Beispiel (Abb. 6) ist Tiefensehen auf zwei Ebenen möglich, das Auge kann aktiv die Ebene auswählen, der die momentane Aufmerksamkeit gilt. Die Tiefenstufen sind *diskret*. Im zweiten Beispiel verlaufen die Schriftzüge wellenförmig, und zwar abwechselnd vor- und hinter der virtuellen Schreibfläche; die Tiefe ändert sich kontinuierlich (Abb. 7). Natürlich sind auch Kombinationen möglich, z. B. könnte in einer 3D-Verschriftung die individuelle, phonetische Intonation kontinuierlich, der phonologische Satzakzent (auf dem Wort mit der Hauptinformation des Satzes) diskret dargestellt werden. Ein Blick auf eine virtuelle 3D-Seite würde dann Wörter mit Satzakzenten heraustreten lassen wie Inseln in einer bewegten See, wobei die Wogen der See die intonatorischen Auf- und Abbewegungen der Sprecher(innen)stimme darstellten.

4.2 Beschränkungen

Es gibt einige Beschränkungen des Stereo-Schreibens & -Zeichnens:

- 1) Parallelblick ermöglicht nur eine Bildbreite von 50 – 70 mm (dem Augenabstand

des Menschen); sind die Teilbilder weiter voneinander entfernt, können sie von unserem visuellen System nicht mehr fusioniert werden.

(Kreuzblick hat diese Beschränkung nicht, ist aber ermüdender – wie bereits erwähnt.)

- 2) Die bevorzugte Schreibrichtung beim Stereo-Schreiben ist von oben nach unten (siehe Beispiele). Prinzipiell kann man zwar auch von links nach rechts schreiben, aber durch Beschränkung (1) ist dann die Zeilenlänge auf max. 50 bis 70 mm beschränkt. Außerdem verwischt man bei dieser Schreibrichtung leicht das gerade Geschriebene mit der linken Hand, oder man überdeckt es mit der linken Schreibhand und macht damit den Stereoeffekt lokal zunichte. Diese Nachteile hat man bei senkrechter Schreibrichtung nicht, bei der fast ständig das gesamte Schreiblinienpaar bis zu Seitenhöhe sichtbar ist.
- 3) Es bedarf viel Training, um diese Technik aktiv zu beherrschen (mindestens ca. 50 Stunden), doch auch zur Wahrnehmung der Stereogramme braucht es Übung; vielleicht auch nur bessere Beispiele als in diesem Aufsatz.
(Sehhilfen wie z. B. eine starke Lesebrille, ein senkrecht stehendes Kartonpapier, ein Stereodiabetrachter usw. können helfen. Siehe auch Tipps zu Abb. 2)

4.3 Neue Forschungsfrage und Hypothese

Schließen soll diese Arbeit mit einer neuen Forschungsfrage und Hypothese: Wir haben gesehen, dass koordiniertes synchrones Schreiben ein flächiges Linienpaar erzeugt, das als eine einzige räumliche Linie gesehen werden kann, als eine virtuelle 3D-Linie. Können wir etwas Entsprechendes über die haptischen und propriozeptiven Sinneseindrücke sagen? Zeichnen wir mit einem Finger einen Kreis auf den Tisch, so sehen wir einen Kreis, aber wir fühlen auch den Kreis und zwar in zweierlei Hinsicht, nämlich als eine kreisförmige Bewegung des Finger-Hand-Systems (propriozeptiv: durch die Muskelgruppen in Finger, Hand und Arm) als auch als eine kreisringförmige, ebene Kontaktfläche (haptisch: durch die Berührung des Tisches mit der Fingerkuppe). Könnte es also sein, dass durch Stereo-Schreiben oder -Zeichnen auch die paarigen propriozeptiven und haptischen Gefühlseindrücke fusionieren, und dass ein neuer Sinneseindruck entsteht für räumliche Bewegungen als auch für die Berührung einer räumlichen Kontaktfläche, beides in einem virtuellen 3D-Raum? Die Optimierungsstrategien menschlicher Kognition sprechen dafür.

Referenzen

- Duden (2010). Fremdwörterbuch (10. Auflage).
- Gibson, James J. (1980). „Foreward: A prefatory Essay on the Perception of Surfaces versus the Perception of Markings on a Surface.“ In: *The Perception of Pictures*. Hagen, Margaret A. (Hrsg.). New York: Academic Press.
- Helmholtz, Hermann von (1867). *Handbuch der physiologischen Optik*. Leipzig: L. Voss.
- Herold, Ingeborg (2016). Intensivkurs Kalligraphie im März 2016 und am 16. August 2016.
- Rude, Markus, Takakazu Nakane, Kiyofumi Motoyama & Katsufumi Narita (2014). „Prosodic Writing for visualizing spoken language for learners: how to improve its flexibility and usability“. In: *Designing Objects Connects Literacy. International Symposium on Visual Literacy*. Post Proceedings. Nagoya University.
- Rude, Markus (2013). „Prosodic Writing with 2D- and 3D-fonts: An approach to integrate pronunciation in writing systems“. In: *Studies in Language and Culture* 言語文化論集. Vol 35 (1). Nagoya University (p. 233-252).
- Rude, Markus (2016). „Prosodic Writing shows L2 learners intonation by 3D letter shapes: state, results, and attempts to increase 3D perception“. In: *Studies in Language and Culture* 言語文化論集. Vol 37 (2). Nagoya University (p. 103-120).
- Glaser, Wilhelm R, J. (1997). „Wahrnehmung“. In Straub, J., Kempf, W., & Werbik, H. (Hrsg.). *Psychologie. Eine Einführung*. München: Deutscher Taschenbuchverlag (dtv).

Glossar (Definitionen für diesen Aufsatz. Oft angelehnt an Duden, 2010)

Aktuator

eigentlich ein Begriff aus der Technik: Bauelement am Ausgang eines Regelungs- bzw. Steuerungssystems (Adj.: aktuatorisch). Hier auch: biologisches Antriebselement.

analog

kontinuierlich, stufenlos, stetig veränderbar

diskret

abzählbar; hier: durch einheitliche Abstände getrennt. Ggs.: *analog*

Doppelbilder

Retinale Bilder, die auf nicht korrespondierenden Bereichen der beiden Netzhäute entstehen und darum nicht fusioniert werden können. Schielt man, so sieht man das gesamte visuelle Umfeld doppelt, alle Objekte erscheinen als Doppelbilder. Doch auch wenn wir ein Objekt in der Nähe fokussieren, erzeugen weit entfernte Objekte Doppelbilder und umgekehrt. Sie werden meist nicht bewusst wahrgenommen.

Feedback

siehe Rückkopplung (Synonym)

fokussieren

auf einen Punkt ausrichten. Hier: Die Sehstrahlen beider Augen auf einen Punkt aus-

richten. (Die Adaption der Linsenform wird in diesem Aufsatz nicht berücksichtigt. Die Schwierigkeit vieler Betrachter von Stereogrammen, diese in 3D wahrzunehmen, besteht oft darin, dass Linsenadaption und Konvergenzwinkel der Augen in ungewohnter Kombination benötigt werden: Parallelblick erzeugt ein virtuelles Bild, das weit vom Betrachter entfernt liegt, aber der Bildträger ist normalerweise nah, so dass die Linse auf ein nahes Bild adaptieren muss. Darum hilft eine Lesebrille.)

Freiheitsgrade, Anzahl

Anzahl der möglichen, voneinander unabhängigen Bewegungsrichtungen eines Körpers oder mechanischen Systems: Ein Starrkörper kann im 3D-Raum in 3 Raumrichtungen verschoben werden (beschreibbar durch die Bewegung seines Schwerpunkts) und zusätzlich um die 3 Raumachsen rotieren (beschreibbar durch Rotationen um drei Achsen durch seinen Schwerpunkt). Ein Roboter mit 10 einfachen Achsen hat 10 Freiheitsgrade im „Gelenk-Raum“, kann aber dennoch ein Werkstück im 3D-Raum nur mit maximal 6 Freiheitsgraden bewegen. Man spricht hier von Redundanz.

fusionieren

beim Betrachten der beiden Teilbilder von Stereogrammen: zur Deckung bringen und sie als ein einziges Bild wahrnehmen, das auch einen Tiefeneindruck erzeugt. Arbeitet man ohne Hilfsmittel (z. B. Pappkarton zur visuellen Trennung der beiden Teilbilder), sieht jedes Auge beide Teilbilder, in den visuellen Cortex werden also vier Teilbilder übermittelt. Wenn zwei davon zu einem fusionieren, bleiben dennoch zwei Bilder übrig: Man sieht also unter Umständen drei Bilder, das mittlere mit Tiefeneindruck, und rechts und links davon je ein mehr oder weniger deutliches Teilbild, ohne Tiefeneindruck.

gegengleiche Bewegungen

Bewegungen, die in Betrag (Absolutwert der Geschwindigkeit) übereinstimmen, aber entgegengesetzte Richtung haben, d. h. ein entgegengesetztes Vorzeichen. (Bei einem elektrischen Signal entspräche diese Komponente dem Wechselanteil.)

gleiche Bewegungen

Bewegungen, die in Betrag (Absolutwert der Geschwindigkeit) und Richtung übereinstimmen (z. B. zwei Autos, die nebeneinander auf der Autobahn mit 100 km/h in dieselbe Richtung fahren). (Bei einem elektrischen Signal entspräche diese Komponente dem Gleichanteil.)

haptisch

berührungssensorisch; den Tastsinn betreffend

Konvergenz

gegenseitige Bewegung der Augen nach innen beim Sehen in unmittelbarer Nähe

Parallelblick

eine Blicktechnik zur Betrachtung von Stereogrammen: Der Betrachter blickt „durch“ die Bildebene und fokussiert einen weit entfernten Punkt (das „Unendliche“) derart, dass für ihn rechtes Halbbild und linkes Halbbild zur Deckung kommen, akkommodiert

Stereo-Schreiben & -Zeichnen: Virtuelle Realität durch synchrones, beidhändiges Schreiben/Zeichnen

die Linse aber auf die Bildebene. Das perzeptive System des Betrachters fusioniert die beiden Teilbilder zu einem virtuellen räumlichen und vergrößerten Bildobjekt hinter der Bildträgerebene. Gegensatz: Kreuzblick („Schielen“), bei dem ein virtuelles verkleinertes Bildobjekt vor der Bildebene entsteht. Der Kreuzblick ist meist einfacher zu realisieren, aber der Parallelblick ermüdet die Augen weniger.

propriozeptiv

muskelsensorisch, etc.; Wahrnehmungen aus dem eigenen Körper vermittelnd (aus Muskeln, Sehnen, Gelenken). Ggs.: exterozeptiv.

Querdisparation

Unterschied der beiden Netzhautbilder aufgrund des unterschiedlichen Ortes der beiden Augen. Bei Stereogrammen besteht die Querdisparation in einer Querverschiebung korrespondierender Bildteile relativ zu einem Normabstand (z. B. des Abstands der Rahmen beider Stereogrammbilder zueinander). Hieraus „berechnet“ das menschliche Gehirn Tiefeninformation: Je größer die Querverschiebung zwischen zwei Objektbildern, desto stärker der scheinbare Tiefenunterschied zwischen Objekt und Rahmen, d. h. desto weiter oder näher erscheint das Objekt relativ zum Rahmen.

Rückkopplung

Synonym: Feedback. Ein Mechanismus in biologischen, mechanischen oder informationsverarbeitenden Systemen, bei dem die Ausgangsgröße auf den Eingang des Systems zurückgeführt wird. Meistens ist diese Rückführung negativ, d. h. es gibt negatives Feedback. Möchte ich eine Tür aufschließen, und setze ich den Schlüssel zu hoch an, so korrigiere ich die Hand nach unten, also in die entgegengesetzte Richtung (darum negativ). Versuche ich dasselbe im Dunkeln, wird die Angelegenheit komplizierter, da das visuelle Feedback durch *haptisches* und *propriozeptives* Feedback ersetzt werden muss, das Grundprinzip negativen Feedbacks ist jedoch gleich.

Stereogramm

ein aus zwei Teilbildern bestehendes Bild, das – richtig betrachtet – im Gehirn zu einem einzigen Bild mit Tiefe *fusioniert* wird.

stereoskopisch

räumlich erscheinend, dreidimensional wiedergegeben

Stereo-Schreiben & -Zeichnen

das *synchrone*, beidhändige Schreiben & Zeichnen; hier: ohne mechanische Hilfsmittel, unter *Parallelblick*. Optisches Hilfsmittel: Starke Lesebrille. Sind die entstehenden Zeichen und Zeichnungen annähernd gleich und weisen nur in Horizontalrichtung kleine, konsistente Verschiebungen auf, so ergibt sich ein *Stereogramm* mit Tiefenwirkung.

synchron

gleichzeitig; hier zusätzlich: mit weitgehend *gleichen* Bewegungen, die aber auch kleine *gegengleiche* Bewegungsanteile zur Erzeugung räumlicher Tiefe beinhalten

virtuelle Realität

die Schaffung einer scheinbaren Welt; die Darstellung und Wahrnehmung der Wirklichkeit in einer computergenerierten ([hier:] oder manuell generierten), echt-erscheinenden Umgebung

¹ Beim ersten Auftreten kursiv gedruckte Ausdrücke stehen im Glossar.

² Diese Betrachtungsweise entspricht dem „Parallelblick“ bei Stereogrammen, beim „Kreuzblick“ ist es umgekehrt: Das rechte Auge blickt auf das linke Bild, das linke Auge auf das rechte. Man schießt. Das ist aber anstrengender und wird darum in diesem Bericht nicht verwendet. Falls Sie nur Kreuzblick können, schneiden Sie einfach die Bilder aus und vertauschen Sie sie. Sie erhalten so einen ähnlichen 3D-Eindruck; allerdings erscheinen die virtuellen Objekte kleiner, denn reelle Objekte, die man durch Schielen fokussieren kann, sind in der Regel sehr nah und darum klein, wie z. B. die eigene Nase. Reelle Objekte, die man durch Parallelblick fokussieren kann, sind dagegen weit weg und darum groß, wie z. B. der Mond.

³ Frage: Welchen Sinn macht es, manuell 3D zu zeichnen, wenn doch Computer heute allgegenwärtig sind und das exakter können? Antwort: Sollten wir menschliche Fähigkeiten aufgeben, sobald wir Maschinen entwickeln, die das besser können? Stereo-Schreiben/-Zeichnen ist eine völlig neue Form der Nutzung des menschlichen visuell-motorischen Systems, dessen Potenzial noch nicht abschätzbar ist; es wäre also falsch, wegen dem genannten Einwand das manuelle 3D-Zeichnen nicht weiter zu explorieren; genauso falsch wäre es allerdings, dieses bereits „unterrichten“ zu wollen.

⁴ Eine Leserin des Manuskripts schaffte es innerhalb einer Stunde, das japanische Silbenzeichen „ ϕ “ (ju) beidhändig in Stereo so zu schreiben, dass die in das untere Ende auslaufende Schleife zunächst „vor“ dem Rest des Zeichens nach oben, und dann weiter „hinter“ nach unten führte bzw. erschien.

⁵ F.: In welchen Fällen werden Doppelbilder nicht ausgefiltert? A.: Ähnlich wie man peripheres Sehen trainieren kann (man fixiert etwas im Blickzentrum, konzentriert sich aber darauf zu sehen, was in der Peripherie des Blickfelds liegt), kann man auch das bewusste Sehen von Doppelbildern trainieren. Aber die Wahrnehmung von Doppelbildern gelingt den meisten Menschen auch spontan und zwar dann, wenn sie „Gefahr“ signalisieren, z. B. ein sich näherndes Raubtier.

⁶ Hier ist mit Leseraum kein Lesesaal gemeint, sondern als Kontrast zu gängigen Lese- bzw. Schreibflächen aufzufassen, die 2-dimensional sind. Im virtuellen Leseraum sind die Zeichen an Orten platziert, die 3 Dimensionen besitzen: Vertikale, Horizontale und Tiefe (die 3 Dimensionen des gewöhnlichen geometrischen Raums).

⁷ F.: Ist es wirklich „versteckt“? Kann man den kleinen Text nicht auch einfach lesen, indem man ein Auge schließt? A.: Ja, das kann man. Das Schließen eines Auges entspricht also

dann ebenfalls einem „Nachschlagen“ eines Wortes. Der Mensch ist ein Optimierer: er geht normalerweise den Weg des geringsten Widerstands. Ob er zum „Nachschlagen“ das Schließen eines Auges, oder das beidäugige Konvergieren auf den „hinteren“ kleinen Text wählt, ist unklar, hängt aber sicher auch vom Abstand der beiden virtuellen Schreibebenen Haupttext – Erklärungstext ab. Der springende Punkt ist jedoch, dass er – beidäugiges Lesen vorausgesetzt – aktiv etwas tun muss, um die Erklärung zu erhalten.

⁸ F.: Warum „wollen“ Menschen Computerspiele? Was bieten Computerspiele, was die Realität nicht bieten kann? A.: Autorennen, Boxkämpfen, Pingpong und schnellen Computerspielen ist gemeinsam, dass es auf die schnelle Erfassung und Vorhersage von Objekt-, Körper- und Eigenbewegungen ankommt, und dass ebenso schnell und adäquat reagiert werden muss, um im „Spiel“ zu bleiben; damit verbunden sind kognitive Zustände bzw. Erfahrungen, die der Urmensch im Überlebenskampf täglich erlebte, der heutige Mensch aber kaum. Ein Vermächtnis dieser Urfahrungen könnte ein „Bedürfnis“ nach diesen kognitiven Zuständen sein; dadurch ließe sich die Attraktivität erstgenannter Spiele bzw. Kämpfe teilweise erklären.

⁹ Dieses System mit vier Freiheitsgraden, wobei einer unbenutzt bleiben muss, in anderen Worten, zu „null“ gesteuert werden muss, hat eine interessante Parallele in der Robotik: Ein mobiler Roboter, ausgestattet mit vier Mecanum-Rädern (omnidirektionale Räder, d. h. in alle Richtungen rollbare Räder), hat ebenfalls vier Freiheitsgrade des Antriebssystems (jedes Rad besitzt einen unabhängig steuerbaren Motor), allerdings gibt es nur 3 Freiheitsgrade in der Ebene, realisierbar durch ähnliche Bewegungskombinationen wie in Tab. 1. Auch hier muss der 4. Freiheitsgrad (eine dieser Bewegungskombinationen) ausgeschlossen, bzw. zu „null“ gesteuert werden.

¹⁰ In dieses Gefühl gehen ein: Die Weichheit des Papiers und der Schreibunterlage, die Widerstandskräfte der über das Papier gleitenden Stiftspitze, usw.

¹¹ F.: Warum wurde hier i. Ggs. z. Abb. 3 Schreibschrift verwendet? A.: Schreibschrift ergibt eine zusammenhängende virtuelle Linie in 3D und erzeugt wohl einen konsistenteren flächenhaften Eindruck. Bei Druckschrift kann durch das Neuansetzen der Stifte bei jedem Buchstaben leicht Disparation entstehen, d. h. Tiefensprünge zwischen den virtuellen Buchstaben im Schreibraum. Prinzipiell ist Stereoschreiben auch in Druckschrift möglich.

¹² Der Kreis ist eine andere Basisform. Chinesische Künstler einer Schule, die Scherenschnitte produzieren, schneiden zu Beginn ihrer Ausbildung mehrere Monate lang nur Kreisscheiben und Quadrate aus (so die Erläuterung in dieser Schule während einer Chinareise).