

Geometrie und Raumvorstellung – Psychologische Perspektiven

Judith Glück
Hannes Kaufmann
Andreas Dünser
Karin Steinbügl

Fakultät für Psychologie der Universität Wien
Institut für Softwaretechnik und Interaktive Systeme der TU Wien

1. Einleitung

In diesem Beitrag soll zunächst ein kurzer Überblick über den psychologischen Wissensstand zum räumlichen Vorstellungsvermögen gegeben werden, wobei speziell auf die Trainierbarkeit dieser Leistungsdimension eingegangen wird, da diese Thematik in Zusammenhang mit Geometrieunterricht von besonderem Interesse ist. Anschließend wird ein laufendes Trainingsprojekt beschrieben, in dem – in interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen der Fakultät für Psychologie der Universität Wien und dem Institut für Softwaretechnik und Interaktive Systeme der TU Wien – die Auswirkungen eines Trainings mit Augmented Reality auf die Raumvorstellungsleistung untersucht werden.

2. Raumvorstellung in der psychologischen Forschung: Ansätze und empirische Ergebnisse

2.1. Zum Begriff „Raumvorstellung“ aus psychologischer Sicht

Für das Konstrukt "Raumvorstellung" gibt es aufgrund seiner Komplexität bislang keine einheitliche exakte Begriffsbestimmung sondern vielmehr zahlreiche mehr oder weniger ähnliche Definitionen. Jedoch sind sich die meisten Autoren darüber einig, dass sich Raumvorstellungsleistungen auf den Umgang mit visueller, nichtsprachliche Information beziehen, die im Gedächtnis gespeichert, meist in irgendeiner Form transformiert bzw. manipuliert und/oder wieder abgerufen werden muss. In der psychologischen Forschung lassen sich zumindest drei große Forschungstraditionen unterscheiden, die sich auf Aspekte des räumlichen Vorstellungsvermögens beziehen.

2.2. Psychometrische Tradition

Seit Anfang des vorigen Jahrhunderts wurden Raumvorstellungstests sowohl als Teil von umfassenden Intelligenztestbatterien als auch als allein stehende Leistungstests eingesetzt. Es gibt eine große Anzahl verschiedener Tests und Aufgabentypen, die durchaus unterschiedliche Aspekte des räumlichen Denkens erfassen. Eine umfassende Übersicht über psychometrische Raumvorstellungstests bieten [1]. Lange Zeit wurde versucht, aus Korrelationen zwischen den Leistungen in unterschiedlichen Raumvorstellungstests auf zugrunde liegende Faktoren des räumlichen Vorstellungsvermögens zu schließen. Diese Raumvorstellungsmodelle gehen von zwei bis drei Faktoren aus, wobei *Visualization* (Visualisierung) als zentraler Faktor der Raumvorstellung betrachtet werden kann. Er umfasst

alle komplexen räumlichen Aufgaben, die mehrere Aufgabenschritte erfordern. Schnelle mentale Rotationen einfacher Objekte werden unter dem Faktor *Spatial Relations / Speeded Mental Rotation* zusammengefasst. Aufgaben, bei denen man sich vorstellen soll, wie ein Objekt oder eine Szene aus einer anderen Perspektive aussieht, bilden entweder einen eigenen Faktor, nämlich *Spatial Orientation / Spatial Perception*, oder werden dem Faktor *Spatial Relations* zugeordnet.¹

Die Identifikation von Faktoren ist dadurch erschwert, dass je nach Strategie (siehe weiter unten) bei der Bearbeitung solcher Tests häufig unterschiedliche Fähigkeiten zum Einsatz kommen – vor allem komplexere Aufgabentypen lassen sich häufig durch logisches Denken ebenso gut lösen wie durch Vorstellung. Klar unterschieden werden vor allem einfache Aufgaben, die unter großem Zeitdruck vorgegeben werden und meistens mentale Rotation erfordern, von komplexeren Aufgaben, die mit unterschiedlichen Strategien lösbar sind. Abbildung 1 zeigt beispielhaft einige einfache Aufgaben zur Figurenrotation, wie sie Thurstone [3] entwickelt hat. Die Testperson soll jeweils alle Figuren auf der rechten Seite markieren, die mit der linken Figur in Deckung gebracht werden können. Abbildung 2 zeigt im Gegensatz dazu einen komplexeren Aufgabentyp.

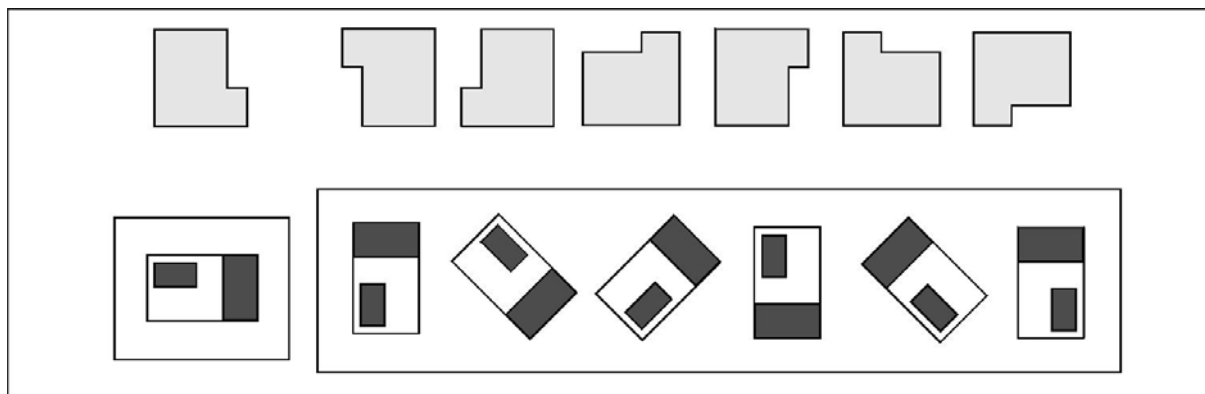


Abb. 1: Aufgaben zur Figurenrotation nach Thurstone (1937) [3].

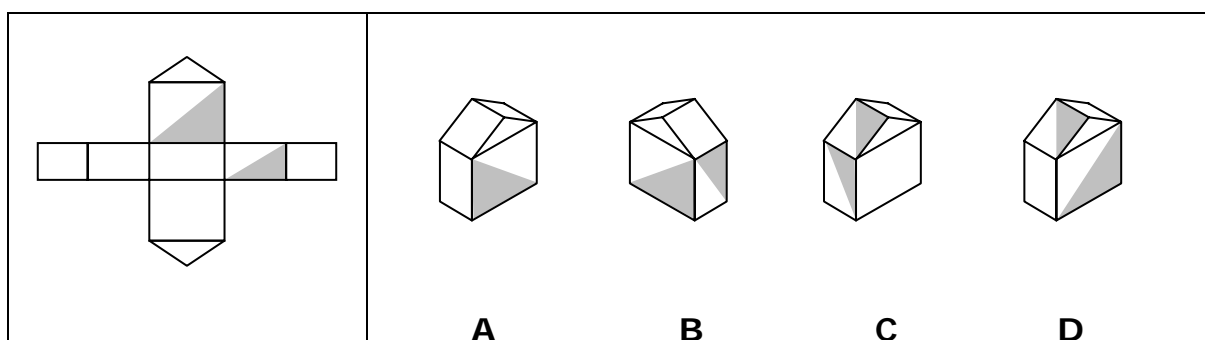


Abb. 2: Aufgabe aus DAT:SR [4]

¹ Ausführliche Diskussion zu Definition und Struktur von Raumvorstellung: s. [2] J. Glück, "Spatial strategies: Kognitive Strategien bei Raumvorstellungsleistungen [Spatial strategies -Strategy use in spatial cognition]," University of Vienna, Ph.D. Thesis 1999.

2.3. Kognitionspsychologische Tradition

In diesem Forschungsfeld wird vor allem die Geschwindigkeit untersucht, mit der wir einfache Figuren in der Vorstellung drehen können. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel: Hier geht es darum, so schnell wie möglich zu entscheiden, ob die beiden Figuren identisch oder spiegelverkehrt sind.

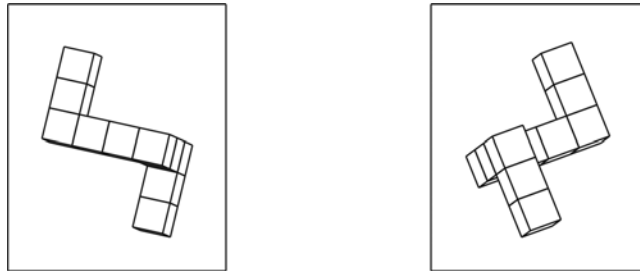


Abb. 3: „Shepard-Metzler-Figuren“ aus [5]

Misst man die Geschwindigkeit, mit der unterschiedliche Personen diese Aufgabe lösen, dann findet man typischerweise – zumindest bei Mittelung über mehrere Versuchspersonen – einen linearen Zusammenhang zwischen Drehwinkel und Bearbeitungszeit. Daraus wurde zu Beginn dieser Forschungstradition geschlossen, dass mentale Rotation sich tatsächlich „analog“ vollzieht, d.h. dass Manipulationen des Bildes vor dem „inneren Auge“ ähnlichen Gesetzmäßigkeiten gehorchen wie reale Manipulationen. Inzwischen ist diese einfache Annahme in verschiedenen Aspekten widerlegt, so gelingt mentale Rotation nur mit relativ einfachen Objekten und wird nur selten eingesetzt, wenn es um Detailvergleiche zwischen zwei Figuren geht. Sie bleibt jedoch als Grundlage verschiedener Raumvorstellungsleistungen interessant.

2.4. Orientierungsforschungs-Tradition

Hier wird untersucht, wie sich Menschen in realen (oder virtuellen) Umgebungen orientieren. Der Erwerb von Orientierungswissen über eine Umgebung kann in drei Stufen eingeteilt werden:

1. Orientierung an „Landmarken“: Das Individuum orientiert sich an einzelnen wichtigen Bezugspunkten in einer Landschaft. Dies sind meist Objekte oder Orte, die gut sichtbar und leicht zu merken sind (z. B. Hochhaus, Strommast, Tante Emma Laden, etc.).
2. Lernen von Routen (Verbindungen zwischen Landmarken): Aufbauend auf dem Landmarkenwissen erwerben Personen in einem nächsten Schritt Wissen über Routen oder Wege zwischen diesen Landmarken. Diese Routen werden als Abfolge einer Sequenz von Positionen, Richtungsänderungen und Bewegungen abgespeichert. Es wird jedoch noch kein Wissen über die relative Lage der Objekte zueinander aufgebaut.
3. Bilden von landkartenartigen Repräsentationen (Überblickswissen): In dieser Stufe werden die Objekte und Routen in Beziehung zueinander gesetzt, relative Positionen können somit bestimmt werden. Erst jetzt ist es beispielsweise möglich, gezielt zu navigieren oder Abkürzungen zu nehmen.

Die Orientierungsleistung in realen Umgebungen ist mit verschiedensten Methoden erforscht worden. Bei Zeigeaufgaben beispielsweise wird die Versuchsperson (Vp) durch ein Labyrinth oder ein verwinkeltes Gebäude geführt und soll dann den Weg zum Startpunkt oder zu

bestimmten Landmarken zeigen. Bei Landkartenaufgaben soll die Vp anhand einer (vorhandenen oder vorher gelernten) Landkarte einen Weg beschreiben und bei Perspektivenaufgaben soll die Vp bestimmen, wie eine Konfiguration aus einer anderen Perspektive aussieht. Für solche Studien werden heute häufig auch Virtual-Reality-Simulationen eingesetzt (siehe z.B. Abbildung 4). Obwohl sich die Navigation in virtuellen Umgebungen von der in realen Umgebungen unterscheidet, weisen Studien darauf hin, dass auch in realitätsnahen virtuellen Umgebungen Überblickswissen aufgebaut wird.



Abb. 4: Ein Stadtteil von Berlin als virtuelle Umgebung [6]

2.5. Geschlechtsunterschiede im Raumvorstellungsvermögen

Zahlreiche psychologische Studien belegen, dass Männer bessere Leistungen erbringen als Frauen [7, 8]. Umfangreiche Metaanalysen neueren Datums zeigen jedoch, dass sich in den meisten Bereichen des räumlichen Vorstellungsvermögens die Geschlechtsunterschiede in den letzten 20 bis 30 Jahren beträchtlich reduziert haben und teilweise gar nicht mehr gefunden werden [7]. Eine Ausnahme bilden Aufgaben des Mentalen-Rotations-Typs, etwa im Mental Rotations Test (MRT) [5].

Diese Reduktion der Geschlechtsunterschiede in den meisten Bereichen des räumlichen Denkens illustriert das Ausmaß der gesellschaftlichen Bedingtheit derartiger Phänomene (z. B. fortschreitende Angleichung der Erziehung von Mädchen und Jungen). Interessanterweise zeigen sich jedoch nach wie vor immer wieder Unterschiede in der Art und Weise, wie Männer und Frauen mit räumlicher Information umgehen (vgl. [2, 6]). Derartige Strategieunterschiede und auch Unterschiede in raumbezogenen Interessen und Aktivitätspräferenzen deuten darauf hin, dass trotz der starken Annäherung der Leistungen bestimmte Unterschiede – seien sie sozialisations- oder biologisch (hormonell, genetisch, Gehirnlateralisation) bedingt – nach wie vor bestehen. Ein wichtiger, eher soziokulturell bedingter Grund für die auftretenden Geschlechtsunterschiede lässt sich im Selbstkonzept finden. Frauen oder Mädchen trauen sich selbst bei Aufgaben mit räumlichem Inhalt oft weniger zu, was zu schlechteren Leistungen führen kann.

2.6. Strategien beim Bearbeiten von Raumvorstellungsaufgaben

Eine geradezu klassische psychologische Erkenntnis zum räumlichen Denken ist, dass räumliche Aufgaben auf verschiedene Art gelöst werden können. Grundsätzlich werden *holistische* (Manipulieren räumlicher Objekte in der Vorstellung) und *analytische* (Konzentrieren auf Einzelteile und verbalisierbare Relationen) *Bearbeitungsstrategien* unterschieden [6]. Vor allem bei der Orientierung in realen oder virtuellen Umgebungen, aber auch bei Tests des räumlichen Vorstellungsvermögens unterscheiden sich Frauen und Männer statistisch in ihren bevorzugten Strategien. Frauen gehen häufiger als Männer analytisch vor, Männer wenden häufiger holistische Strategien an. Holistische Strategien erfordern einen höheren kognitiven Aufwand, führen aber im Allgemeinen wesentlich schneller zum Ziel, was den Leistungsvorsprung von Männern in der mentalen Rotation erklären könnte. In realen oder virtuellen Umgebungen orientieren sich Frauen eher an Landmarken, Männer eher an Himmelsrichtungen oder mentalen Landkarten, wobei sich die Orientierungsleistungen beider Geschlechter meist nicht deutlich unterscheiden.

Der flexible Einsatz von Strategien, bzw. der Einsatz einer adäquaten Strategie je nach Aufgabenstellung, ist ein wichtiger Faktor bei der Erzielung optimaler Leistungen bei räumlichen Aufgaben. Das Training holistischer bzw. visualisierender Strategien durch Visualisierungsinstrumente wie Augmented Reality hat somit ein hohes Potential, Personen dabei zu unterstützen, ihr Strategierepertoire zu erweitern und zu festigen.

3. Training der Raumvorstellungsfähigkeit

3.1. Allgemeine Erkenntnisse

Im Verlauf der letzten zehn bis fünfzehn Jahre wurden zahlreiche Untersuchungen zur Trainierbarkeit von Raumvorstellung durchgeführt. Die Trainingsmaßnahmen reichen von Üben mit Raumvorstellungs-Testaufgaben über Computerspiele, Simulationen und Virtual Reality Anwendungen bis hin zu Unterricht in Geometrie bzw. technischem Zeichnen. Idealerweise wird die Wirksamkeit dieser Maßnahmen in einem Pre-Post-Test-Design evaluiert, das heißt, vor und nach dem Training wird die Raumvorstellungsfähigkeit mittels standardisierter Raumvorstellungstests gemessen. Um die tatsächlichen Trainingseffekte von den aus der Testwiederholung resultierenden Übungseffekten zu unterscheiden, wird i.A. eine untrainierte Kontrollgruppe eingesetzt, welche nur an den beiden Raumvorstellungstestungen teilnimmt. In einigen Untersuchungen werden auch verschiedene Trainings miteinander verglichen.

Zusammenfassend zeigen die Untersuchungen zur Trainierbarkeit von Raumvorstellung, dass durch gezielte Förderung deutliche *Steigerungen der Leistung in Raumvorstellungstests* erzielt werden. Besonders große Effekte erzielen Trainings i.A. bei Personen mit relativ niedrigem *Ausgangsniveau*. Obwohl dies wohl zum Teil darauf zurückgeführt werden kann, dass Personen mit hohen Anfangsleistungen keine große Verbesserungen mehr erzielen können (Deckeneffekt), lassen diese Ergebnisse doch vermuten, dass Raumvorstellungstrainings vor allem für Personen mit schwachen Anfangsleistungen zielführend sind. Untersuchungen zu *Geschlechtsunterschieden* hinsichtlich des *Leistungszuwachses* durch Raumvorstellungstraining liefern widersprüchliche Ergebnisse. In einer älteren Meta-Analyse aus dem Jahr 1989 [9] konnten zwar etwas, aber keineswegs signifikant höhere Leistungszuwächse bei weiblichen Untersuchungsteilnehmern und keine Hinweise auf Deckeneffekte bei männlichen Untersuchungsteilnehmern gefunden werden. Dagegen zeigt sich in neueren Studien, z.B. [10], dass im Pre-Test bestehende

Geschlechtsunterschiede zugunsten männlicher Untersuchungsteilnehmer durch Training erheblich reduziert werden können, d.h. dass Mädchen bzw. Frauen größere Leistungszuwächse erzielen können als Burschen bzw. Männer. Letztlich ist die Frage, ob Personen mit schwächeren Ausgangsleistungen mehr von Raumvorstellungstrainings profitieren als Personen mit höherem Ausgangsniveau noch nicht eindeutig geklärt, in entsprechenden künftigen Analysen müssen Einflussfaktoren – insbesondere Art der Stichprobe, des Trainings und der Aufgaben – identifiziert und berücksichtigt werden.

Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass jene Trainingsmaßnahmen die stärksten Effekte haben, die sich auf eine spezifische Aufgabenstellung konzentrieren, während Trainingsmaßnahmen, die auf eine Verbesserung einer größeren Spannbreite von Raumvorstellungsleistungen abzielen, kleinere Effekte produzieren (*power-generalizy-tradeoff*) [11]. Demnach sollten Maßnahmen darauf ausgerichtet sein, grundlegende, zentrale Raumvorstellungsprozesse zu trainieren um einen möglichst breiten Transfer des Gelernten auf verschiedene und auch neuartige Probleme zu ermöglichen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt sind die sog. *Aptitude-Treatment-Interaktionen*, d.h. Wechselwirkungen zwischen individuellen Lernvoraussetzungen und Art des eingesetzten Trainings. Prinzipiell sollte ein Raumvorstellungstraining sich darauf konzentrieren, das Strategienrepertoire um holistische, im engeren Sinn "räumliche" Strategien zu erweitern, um eine effizientere, schnellere und weniger fehleranfällige Bearbeitung räumlicher Problemstellungen und möglichst breite Transfereffekte zu ermöglichen. Allerdings zeigte sich in einigen Untersuchungen, dass ein gewisses Maß an Raumvorstellung nötig ist, um von räumlich-holistischen, vorstellungsorientierten Trainingsmaßnahmen profitieren zu können. Ist dieses Ausgangsniveau nicht vorhanden, können holistische Instruktionen auch zu Überforderung führen. Insgesamt deuten die bisher vorliegenden Ergebnisse darauf hin, dass Personen, die bereits über ein bestimmtes Ausgangsniveau an Raumvorstellung (gemessen an den Pre-Test-Ergebnissen) verfügen, eher von holistischen, anschauungsorientierten Maßnahmen (z. B. im Geometrieunterricht) profitieren, Personen mit anfänglich niedrigerem Raumvorstellungsvermögen dagegen eher von "traditionellen" Maßnahmen [12, 13].

3.2. Arten des Raumvorstellungstrainings

Üben mit Testaufgaben führt regelmäßig zu Verbesserung in der Testleistung, v.a. infolge einer Verkürzung der Antwortzeiten. Allerdings ist es unwahrscheinlich, dass durch dieses sehr spezifische Training zentrale räumliche Fähigkeiten wie Visualisierung verbessert und damit Transfereffekte erzielt werden können.

Eine Übersicht über Studien zur Förderung von Raumvorstellung durch *Computerspiele*, die aktive Auseinandersetzung mit visuell-räumlichen Gegebenheiten erfordern (z.B. Tetris oder Block-Out), gibt Souvignier [14]. In einem Großteil dieser Untersuchungen konnten signifikante Verbesserungen gefunden werden, allerdings nicht in allen; zudem liegen z. T. methodische Mängel (z.B. keine Kontrollgruppe, Ähnlichkeit von Trainings- und Testmaterial) vor. Aufgrund der derzeitigen Befundlage kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Beschäftigung mit Computerspielen, die die Verarbeitung räumlicher Informationen erfordern, *grundsätzlich* zu einer Verbesserung der Raumvorstellung im Sinne von Transfereffekten auf verschiedene Raumvorstellungsaspekte führt. Da relativ wenige Studien hierzu vorliegen, in denen zudem verschiedenste Spiele und Raumvorstellungskriterien zum Einsatz kamen, fällt eine zusammenfassende Bewertung schwer.

Nur wenige Studien setzten bislang *Computersimulationen* oder *Virtual-Reality*-Anwendungen als Mittel zur Förderung der Raumvorstellung ein. Virtual Reality stellt Erfolg versprechende Möglichkeiten zur Verfügung, sowohl Orientierungs- als auch Visualisierungsfähigkeiten effektiv zu verbessern. Schwerpunkte der derzeit vorliegenden Arbeiten sind einerseits die Förderung von Raumorientierung und andererseits die Verbesserung der mentalen Rotationsfähigkeit. Die Ergebnisse weisen auf die Wirksamkeit des Trainings in virtuellen Umgebungen hin, sowie auf einen Transfer der trainierten Fähigkeiten auf reale Gegebenheiten.

Da die Verbesserung der Raumvorstellung eines der Hauptziele des *Geometrieunterrichts* darstellt, befassen sich zahlreiche Studien mit den Effekten von Unterricht in Geometrie (bzw. technischem Zeichnen) auf die Raumvorstellungsleistung [12, 14-21]. Die Untersuchungspopulationen derartiger Untersuchungen sind i. A. Studenten und (seltener) Schüler. Die Ergebnisse sowie weiterführende Fragestellungen zum Thema Raumvorstellung und Geometrieunterricht werden im nächsten Abschnitt diskutiert.

3.3. Training der Raumvorstellung durch Geometrieunterricht

Die Ergebnisse der o.a. Studien belegen fast ausnahmslos, dass Unterricht in Geometrie oder technischem Zeichnen zu *signifikanten Steigerungen der Raumvorstellungsleistungen* – gemessen an diversen standardisierten Raumvorstellungstests - führt. Nur eine einzige publizierte Studie konnte keinen positiven Effekt von Geometrieunterricht auf Raumvorstellung finden [12]. Nicht geklärt ist allerdings die Frage, welche spezifischen Fähigkeiten durch den Geometrieunterricht gefördert werden.

Da in den verschiedensten Tests, die unterschiedliche Raumvorstellungsaspekte erfassen, Leistungssteigerungen nachgewiesen wurden, ist anzunehmen, dass der Geometrieunterricht *zentrale räumliche Fähigkeiten* - insbesondere die *Visualisierungsfähigkeit* - verbessert und so eine entsprechend breite Transferwirkung auf verschiedenste räumliche Leistungen hat.

Einen interessanten Erklärungsansatz, warum Geometrieunterricht zu einer Steigerung der Leistungen in psychometrischen Raumvorstellungstests führt, bietet Roorda [22]: Das Hauptproblem von technischem Zeichnen besteht darin, ein dreidimensionales Objekt auf einem zweidimensionalen Papier oder Display darzustellen. Selbiges kann auch für den Geometrieunterricht geltend gemacht werden. Umgekehrt sind fast alle Tests, die dreidimensionale Raumvorstellung erfassen, zweidimensional vorgegeben. D.h., beide Aufgabenarten (Geometrieaufgaben und Raumvorstellungsaufgaben) erfordern es, von 2D auf 3D umzudenken und umgekehrt. Dies weist darauf hin, dass Geometrieunterricht auch die Fähigkeit fördern könnte, *mentale Transformationen von dreidimensionalen Objekten zu zweidimensionalen Bildern* durchzuführen und vice versa. Olkun [23] erweitert diese Argumentationslinie um den Aspekt des Anwendens bestimmter *Regeln* und Konventionen. Demzufolge werden im Unterricht in Geometrie (oder technischem Zeichnen) bestimmte Regeln und "Techniken" erlernt und trainiert, die das Erkennen, Interpretieren und Manipulieren der Objekte bei Raumvorstellungsaufgaben ebenfalls erleichtern. Das heißt, dass auch das Kennen derartiger Regeln eine nicht unwichtige Rolle bei der Bearbeitung von bestimmten Raumvorstellungstests spielen könnte.

Vergleiche zwischen verschiedenen Geometrie- bzw. Graphikkursen zeigen, dass v.a. Trainings, die händisches Zeichnen oder Skizzieren – im Gegensatz zu Kursen, in denen Konstruktionssoftware wie CAD-Pakete verwendet wurden - einen besonders positiven Effekt auf die Ergebnisse bei Raumvorstellungstests haben [21, 24]. Roorda [22] wertet dies – in

aller Vorsicht – als Indiz für die Richtigkeit der o.a. Hypothese, da händisches Zeichnen und Skizzieren vermutlich mehr aktives mentales 2D-3D-Transformieren erfordert als dies bei der Verwendung von Konstruktionssoftware wie CAD-Paketen der Fall ist. Andererseits konnten auch durch Trainings, die physisches Modellieren in den Vordergrund stellten, sehr gute Ergebnisse erzielt werden [18], ein Ergebnis, das durch diese Hypothese nicht erklärt werden kann. In jedem Fall scheint aktive und praktische Auseinandersetzung mit räumlichen Materialien und Problemstellungen ("*hands-on-practice*") einen Anteil zur nachgewiesenen Leistungssteigerung in Raumvorstellungstests beizutragen.

Die hier vorgestellten Ansätze lassen vermuten, dass Geometrieunterricht – in Abhängigkeit von Inhalt und Methode – verschiedene Fähigkeiten (wie Visualisierung, regelgeleitetes Vorgehen, mentale 2D-3D-Transformationen) trainiert, die zu einer Verbesserung der Raumvorstellungsleistung führen. Da bislang nicht differenziert untersucht wurde, welche Art des Geometrieunterrichts zu Leistungssteigerungen in welchen Raumvorstellungstests führt, ist die Frage, was genau Unterricht in diesem Zusammenhang fördert, noch nicht klar zu beantworten.

Die empirischen Hinweise darauf, dass einerseits klassische Konstruktionssoftware wie CAD die Verbesserung der Raumvorstellung weniger unterstützt als Zeichnen und Skizzieren, und andererseits aktives, praktisches Arbeiten eine sehr effiziente Trainingsmethode darstellt, spricht für stark den Einsatz von Virtual Reality Techniken im Geometrieunterricht, der neue Möglichkeiten der Bearbeitung 3dimensionaler Objekte und geometrischer Probleme eröffnet, die weit über jene hinausgehen, die physische Modelle bzw. zweidimensionale Darstellungsmedien bieten.

Da bei der Geometrielernsoftware Construct3D nicht das Ziel im Vordergrund steht, mit komplexen Gestaltungsmitteln ein möglichst professionelles Ergebnis zu erzielen, sondern vielmehr der Prozeß des Konstruierens an sich, nehmen wir an, dass dies vor allem die Fähigkeit zur Visualisierung dreidimensionaler Objekte sowie deren mentaler Manipulation, d.h. also sehr zentrale, allgemeine Raumvorstellungsaspekte fördert und somit sehr weitreichende und breite Transfereffekte auf verschiedenste Raumvorstellungsaufgaben hat. Dies soll in der im nächsten Abschnitt vorgestellten Studie untersucht werden.

4. Studie: Förderung der Raumvorstellung mit Augmented Reality

4.1. Untersuchungsziele und Forschungsfragen

Ziel der Studie ist die Untersuchung der Auswirkungen eines Trainings mit Construct3D [25] auf verschiedene Komponenten der Raumvorstellung und diversen weiteren Aspekten.

Construct3D ist eine Augmented Reality Anwendung zur Konstruktion dreidimensionaler Geometrie, die dynamisches und gemeinschaftliches Arbeiten mit virtuellen Objekten im dreidimensionalen Raum ermöglicht (s. Abbildungen 5 und 6). Mit Construct3D, das speziell für den Geometrieunterricht entwickelt wurde, können geometrische Körper entworfen und verschiedene Konstruktionen (z.B. Lage- und Massaufgaben), Boole'sche Operationen und Schnittaufgaben durchgeführt werden. Neben der Datenbrille (Head Mounted Display, HMD) benötigt der Nutzer zum Arbeiten mit Construct3D einen ein sog. Personal-Interaction-Panel (PIP), bestehend aus einem Stift und einem Menü zur Befehlseingabe. Die optische Positionsbestimmung erfolgt über vier Infrarotkameras und Reflektoren an Datenbrille, Stift und Menü.

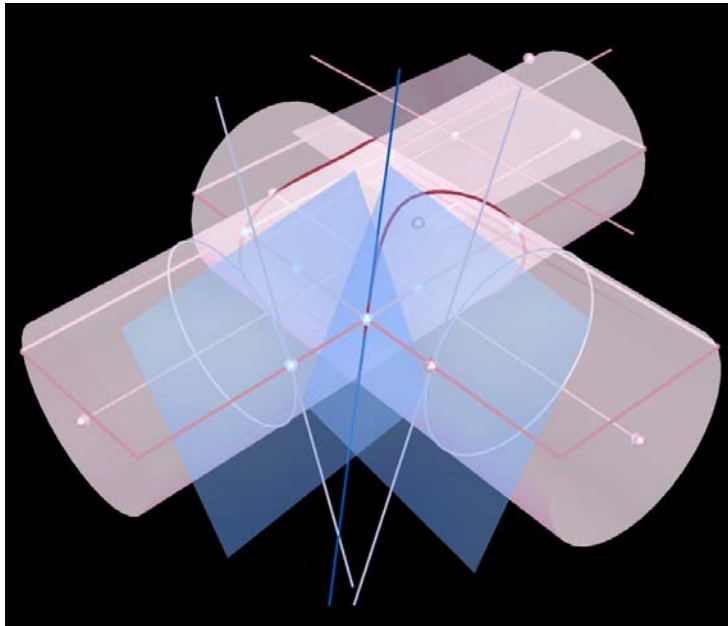


Abb. 5: Schnitt zweier Zylinder mit der Hilfsebenenmethode - punkt- und tangenweise - in Construct3D

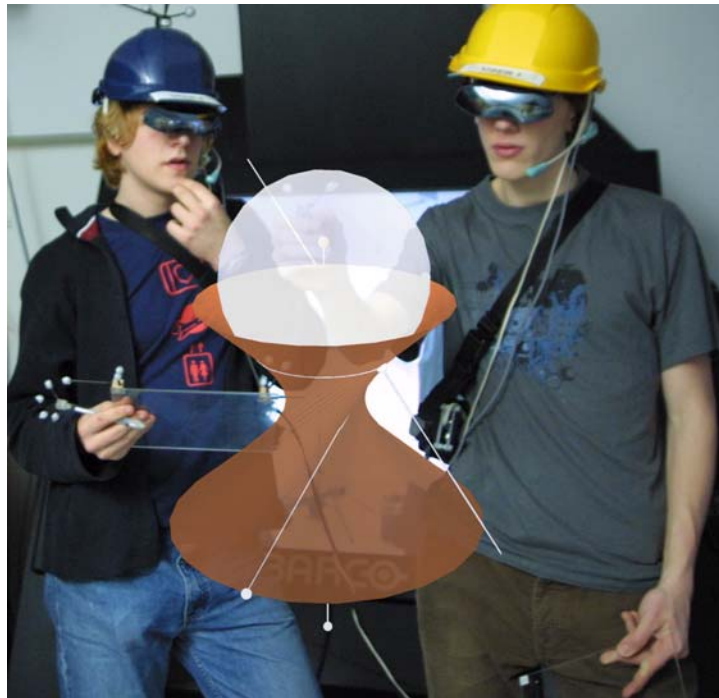


Abb. 6: Zwei Schueler konstruieren gemeinsam ein Drehhyperboloid

Im Rahmen der Studie wollen wir verschiedene Fragen beantworten. Dazu zählen vor allem:

- Wird die Raumvorstellung durch das Training mit Construct3D gefördert und welche Aspekte der Raumvorstellung werden dabei besonders trainiert? Ein Training mit Construct 3D sollte relativ breite, allgemeine Fördereffekte auf die Fähigkeit haben, sich räumliche Informationen vorzustellen und diese mental zu manipulieren und transformieren. Wir erwarten daher Verbesserungen bei Raumvorstellungstests, die die Bereiche Visualisierung (und dreidimensionale Rotation) betreffen. Dass das Training basale Fähigkeiten wie das schnelle Rotieren zweidimensionaler einfacher Stimuli verbessert, ist eher unwahrscheinlich.
- Darüber hinaus ist anzunehmen, dass die Verwendung von Construct3D sich auf die Strategien auswirken sollte, die bei Raumvorstellungsaufgaben eingesetzt werden. Wir gehen davon aus, dass das Training die SchülerInnen dabei unterstützen kann, ihr Strategierepertoire erweitern. Vor allem der Einsatz visualisierender / holistischer Strategien sollte mit Construct3D trainiert werden.
- Ein weiterer Untersuchungsschwerpunkt bezieht sich auf die Frage, ob sich das Training auf Personen mit höherem und niedrigerem Ausgangsniveau in der Raumvorstellung unterschiedlich auswirkt.
- Aufgrund der Geschlechtsunterschiede, die in den angewandten Strategien und in manchen Raumvorstellungstests auftreten, sind natürlich auch geschlechtsspezifische Trainingseffekte von Interesse. Kommt es beispielsweise gerade bei Frauen durch das Training mit Construct3D zum verstärkten Einsatz holistischer Strategien?
- Wie kann ein solches Training zur Genderfairness im Geometrieunterricht beitragen? Wie können dadurch v. a. auch Mädchen motiviert werden?
- Zusammenhänge zwischen Räumlicher Vorerfahrung, Selbstkonzeptvariablen, Motivation, Interesse und der Raumvorstellungsleistung bzw. dem Augmented-Reality-Training. Führt das Training mit Construct3D beispielsweise zu höherer Motivation für den Umgang mit räumlichen- bzw. Geometrieinhalten? Profitieren vielleicht gerade die anfangs Unsicheren und wenig Motivierten davon?
- Weiterentwicklung von Construct3D in Hinblick auf die Benutzungs-Freundlichkeit und Interaktion mit dem Interface (Usability), sowie bezüglich inhaltlicher Komponenten.
- Wie kann ein solches System zukünftig im den Ausbildungsbereich genutzt und eingesetzt werden? Welche Vorteile bringt Construct3D für den Geometrieunterricht?

4.2. Stichprobe, Studiendesign und Erhebungsinstrumente

An der Studie werden Schülerinnen und Schülern der 11. Schulstufe (AHS und BHS) teilnehmen, wobei auf ein ausgewogenes Verhältnis an männlichen und weiblichen TeilnehmerInnen geachtet werden soll. Wichtig ist, dass alle, bis auf die Kontrollgruppe 4 (siehe unten), Unterricht in Darstellender Geometrie haben, da die Trainings Geometrieaufgaben beinhalten. Die SchülerInnen werden in fünf Gruppen aufgeteilt, und werden in einem Vor- und einem Nachtest eine „Batterie“ unterschiedlicher Raumvorstellungstests sowie weitere Fragebogen bearbeiten. Zwischen den beiden Testungen werden die Gruppen an unterschiedlichen Maßnahmen teilnehmen, wobei jede Gruppe aus jeweils ca. 50 SchülerInnen besteht (s. Tabelle 1).

Versuchsgruppe:	Training (Bearbeiten geometrischer Aufgaben) mit Construct3D im Virtual Reality Labor des Instituts für Softwaretechnik und Interaktive Systeme (n=50). Jeweils 2 Schüler und 1 Lehrer, jede dieser Kleingruppen hat 6 halbstündige Einheiten innerhalb von ca. 8 Wochen.
Kontrollgruppe 1:	Geometrieunterricht mit Nachhilfelehrer (n=50), wie in der Versuchsgruppe 2 Schüler und 1 Lehrer, jeweils 6 halbstündige Einheiten über ca. 8 Wochen. ²
Kontrollgruppe 2:	Geometrieunterricht in der Schule, ohne Computer (n=50)
Kontrollgruppe 3:	Geometrieunterricht in der Schule, mit Computer (n=50)
Kontrollgruppe 4:	Schüler ohne Geometrieunterricht

Tab. 1: Versuchs- und Kontrollgruppen

Dieses Studiendesign und der Vergleich der Versuchs- und Kontrollgruppen ermöglicht die getrennte Analyse der jeweiligen Effekte. Es kann somit untersucht werden, wie sich diese Gruppen zueinander zwischen der Vor- und der Nachtestung verändert haben.

Um ein möglichst großes Spektrum an unterschiedlichen Komponenten der Raumvorstellungsfähigkeit abzudecken, werden sechs verschiedene Tests vorgegeben, wobei bei einigen Kurzversionen zum Einsatz kommen. Der *Purdue Spatial Visualizations Test: Rotations* (PSVT:R) [26] misst die Fähigkeit, mentale Manipulationen bzw. Rotation in der Vorstellung durchzuführen. Der *Mental Cutting Test* (MCT) [27] misst v. a. die Fähigkeit zur Visualisierung bzw. sich Schnitte durch Objekte vorzustellen zu können. Der *Mental Rotations Test* (MRT) [5]), misst die Fähigkeit zur mentalen Rotation einfacher Stimuli unter Zeitdruck. Mit dem *Differential Aptitude Tests: Spatial Relations* (DAT:SR) [4] soll die Visualisierungsfähigkeit gemessen werden, wobei hier auch andere Faktoren bzw. Strategien wie Merkmalsvergleich zum Tragen kommen. Der *Spatial Orientation Test* (SOT) [28] misst im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Tests nicht die Fähigkeit, sich Manipulationen von Objekten mental vorstellen zu können, sondern die Fähigkeit, die eigene Perspektive in der Vorstellung zu ändern. Als letztes wird auch der *Judgement of Line Orientation* (JLO) [29] Test vorgegeben, der das schnelle Erfassen von einfachen visuell- räumlichen Informationen misst.

Ein wichtiger Aspekt sind die von den Schülern zur Lösung der Aufgaben eingesetzten Strategien. Dazu wird nach den Tests jeweils noch eine Aufgabe vorgegeben, bei deren Lösung sich die Probanden genau selbst beobachten sollten. Im Anschluss werden sie gebeten Fragen zu den angewendeten Strategien zu beantworten.

² Die SchülerInnen der Versuchsgruppe und der Kontrollgruppe 1 erhalten für den zeitlichen Aufwand, der durch die Teilnahme entsteht, eine kleine finanzielle Entschädigung.

5. Bibliographie

- [1] J. Eliot, "The Classification of Spatial Tests," in *An International Directory of Spatial Tests*, J. E. I. M. Smith, Ed. Windsor: NFER-Nelson, 1983, pp. 11-15.
- [2] J. Glück, "Spatial strategies: Kognitive Strategien bei Raumvorstellungsleistungen [Spatial strategies -Strategy use in spatial cognition]," University of Vienna, Ph.D. Thesis 1999.
- [3] L. L. Thurstone, *Primary mental abilities*. Chicago: University of Chicago Press, 1938.
- [4] G. K. Benett, H. G. Seashore, and A. G. Wesman, "Differential Aptitude Tests, Forms S and T." New York: The Psychological Corporation, 1973.
- [5] M. Peters, B. Laeng, K. Latham, M. Jackson, R. Zaiyouna, and C. Richardson, "A redrawn Vandenberg and Kuse mental rotations test: Different versions and factors that affect performance," *Brain and Cognition*, vol. 28, pp. 39-58, 1995.
- [6] J. Glück and S. Fitting, "Spatial strategy selection: Interesting incremental information," *International Journal of Testing*, vol. in press, 2003.
- [7] D. Voyer, S. Voyer, and M. P. Bryden, "Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables," *Psychological Bulletin*, vol. 117, pp. 250-270, 1995.
- [8] M. C. Linn and A. C. Petersen, "Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis," *Child Development*, vol. 56, pp. 1479-1498, 1985.
- [9] M. Baenninger and N. Newcombe, "The role of experience in spatial test performance," *Sex Roles*, vol. 20, pp. 327-344, 1989.
- [10] R. Gorska, C. Leopold, S. Sorby, and K. Shiina, "International comparisons of gender differences in spatial visualization and the effect of graphics instruction on the development of these skills," in *Proceedings of the 8th International Conference on Engineering Computer Graphics and Descriptive Geometry (ISGG)*. Austin, Texas, USA, 1998.
- [11] K. J. Klauer, *Handbuch Kognitives Training*. Göttingen: Hogrefe, 2001.
- [12] J. R. Kirby and D. R. Boulter, "Training räumlicher Fähigkeiten durch abbildende Geometrie (Training of spatial abilities through transformational geometry)," *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, vol. 2, pp. 146-155, 1998.
- [13] D. Leutner and R. Kretzschmar, "Veranschaulichung und Aktivierung: Überraschende Effekte zweier didaktischer Prinzipien," *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, vol. 20, pp. 263-276, 1988.
- [14] E. Souvignier, *Die Förderung räumlicher Fähigkeiten*. Münster: Waxmann, 2000.
- [15] R. Devon, R. Engel, R. J. Foster, D. Sathianathan, and G. F. W. Turner, "The effect of solid modeling software on 3-D visualization Skills," *Engineering Design Graphics Journal*, vol. 58, pp. 4-11, 1994.
- [16] G. Gittler and J. Glück, "Differential Transfer of Learning: Effects of Instruction in Descriptive Geometry on Spatial Test Performance," *Journal of Geometry and Graphics*, vol. 2, pp. 71-84, 1998.
- [17] R. Gorska, S. A. Sorby, and C. Leopold, "Gender Differences in Visualization Skills - an international Perspective," *The Engineering Design Graphics Journal*, vol. 62, 1998.
- [18] B. W. Field, "A course in spatial visualisation," *Journal for Geometry and Graphics*, vol. 3, pp. 201-209, 1999.
- [19] C. Leopold, R. A. Gorska, and S. A. Sorby, "International Experiences in Developing the Spatial Visualization Abilities of Engineering Students," *Journal for Geometry and Graphics*, vol. 5, pp. 81-91, 2001.

- [20] S. A. Sorby and B. J. Baartmans, "A longitudinal study of a pre-graphics course designed to improve the 3-D spatial skills of low visualizers," in *Proceedings of the 8th International Conference on Engineering Computer Graphics and Descriptive Geometry (ISGG)*. Austin, Texas, USA, 1998.
- [21] S. A. Sorby and R. A. Gorska, "The effect of various courses and teaching methods on the improvement of spatial ability," in *Proceedings of the 8th International Conference on Engineering Computer Graphics and Descriptive Geometry (ISGG)*. Austin, Texas, USA, 1998.
- [22] J. Roorda, "Visual Perception, Spatial Visualisation and Engineering Drawing," *Engineering Design Graphics Journal*, vol. 58, pp. 12-21, 1994.
- [23] S. Olkun, "Making connections: improving spatial abilities with engineering drawing activities," *International Journal of Mathematics Teaching and Learning*, 2003.
- [24] S. Sorby, "Developing 3-D spatial visualization skills," *Engineering Design Graphics Journal*, vol. 63, pp. 21-31, 1999.
- [25] H. Kaufmann, D. Schmalstieg, and M. Wagner, "Construct3D: a virtual reality application for mathematics and geometry education," *Education and Information Technologies*, vol. 5, pp. 263-276, 2000.
- [26] R. B. Guay, "Purdue Spatial Visualization Test: Rotations," Purdue Research Foundation, West Lafayette, IN 1977.
- [27] "CEEB Special Aptitude Test in Spatial Relations (MCT)," College Entrance Examination Board, USA 1939.
- [28] M. Kozhevnikov and M. Hegarty, "A dissociation between object manipulation, spatial ability and spatial orientation ability," *Memory & Cognition*, vol. 29, pp. 745-756, 2001.
- [29] A. L. Benton, K. Hamsher, N. R. Varney, and O. Spreen, *Contributions to neurological assesment: A clinical manual*. New York: Oxford, 1983.