

Zur Einführung

Grundsätzliches: Wir gehen aus von der „piktoralistischen These“, die besagt, dass die Vorstellung räumlicher Konfigurationen und deren Variation in Lage und Dimensionierung im „Schülerkopf“ im Allgemeinen erst aufgrund visuell wahrgenommener und beobachteter materialer oder bildhaft-anschaulicher Repräsentationen ausgebildet werden kann. Eine wesentliche Voraussetzung für die Aneignung von Raumgeometrie ist also die Bereitstellung bzw. Konstruktion adäquater figuraler Darstellungen.

Die Erfahrung lehrt uns aber, dass das Darstellen raumgeometrischer Sachverhalte auf Papier bzw. Folie, an der Wandtafel oder in Form materialer Modelle eine mühsame und eine oft wenig erfolgreiche Angelegenheit ist, selbst dann, wenn gewisse Techniken des Darstellens bzw. des Konstruierens eingeübt worden sind.

Die ebene Darstellung einer räumlichen Figur hat keine räumliche Tiefe; sie ist statisch und kaum korrekturfähig; sie kann nicht "manipuliert" werden; sie kann nur unzureichend einem Lern- und Lehrprozess oder einem Explorationsprozess angepasst werden usw. Das mag auch Ursache dafür sein, dass wegen dieser Schwächen herkömmlicher Medien das Verhältnis von Unterrichtszeit für die ebene Geometrie zur Unterrichtszeit für die Raumgeometrie zu Ungunsten der letzteren ausfällt (in den Lehrplänen finden wir eben nur das, was sich mit den traditionellen Medien im Unterricht mehr oder weniger gut realisieren lässt!).

Zu den „medienspezifischen“ Darstellungsformen figuraler Art: Papier-Bleistift- / Print-Medien-Darstellung (Zeichnung/Druck auf Papier etc.) und materiale Darstellung (Körpermodelle etc.) tritt heute – ob uns das gefällt oder nicht – die Computerdarstellung (zu der auch die entsprechenden filmischen Darstellungen gezählt werden können), die uns hoffen lässt, die Darstellungsprobleme beim Lehren und Lernen von Raumgeometrie besser zu lösen. In der computerrepräsentierten Darstellungsform steht uns das ganze Repertoire computergrafischer Konstruktions- und Visualisierungsmöglichkeiten offen. Es ist klar, dass damit die Anforderungen an die medientechnologischen Kompetenzen, über die Lehrkräfte verfügen müssen, zunehmen.

Das Diagramm 1 veranschaulicht den Zusammenhang der drei Darstellungsformen mit den entsprechenden Schnittstellen; für $i = 1, 2$ wird die Schnittstellenproblematik nachfolgend näher erläutert (Erläuterung zu Schnittstellen).

Bei der Behandlung eines raumgeometrischen Themas ist aber stets zu entscheiden, in welcher Beziehung die verschiedenen Repräsentationsformen stehen sollen und wie sie zu integrieren sind. Es ist selbstverständlich, dass im Allgemeinen den raumgeometrischen Primärerfahrungen der Schüler und Schülerinnen in der intellektuellen Entwicklungsstufe der konkreten Operationen eine größere Bedeutung beizumessen sind.

Was könnte ein Raumgeometrie-Unterricht, der computerrepräsentierte Darstellungsformen einbezieht für das Verstehen unserer Welt noch leisten?

Ein computerunterstützter Raumgeometrie-Unterricht könnte z.B. die Verbindung zu den zahlreichen 3D-Computer-Grafik-Anwendungen herstellen, die in Form von ästhetischen Animationen, 3D-Spielen, anwendungsspezifischen 3D-CAD-Werkzeugen (z.B. für die Wohnraumplanung) und Virtual-Reality-Anwendungen dem naiven User im Alltag zunehmend vertraut werden.

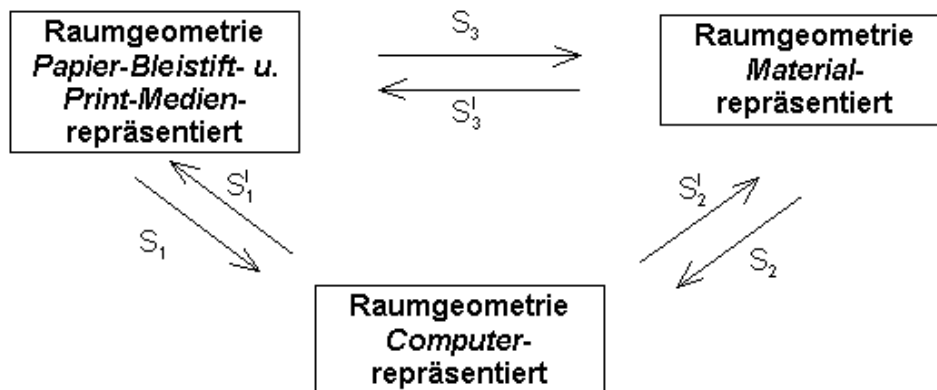


Diagramm 1

S_1/S_2 :	Falls der in einer Zeichnung dargestellte oder als materiales Modell vorgegebene Körper nicht bereits als digitales Modell im Computertoolwerkzeug verfügbar ist, wie ist er dann zu implementieren? (Dazu müssen wir i.a. die Ecken des betreffenden Körpers in einem dreidimensionalen Koordinatensystem ausdrücken und gegebenenfalls berechnen, - wenn wir z.B. eine Laserstrahlabtastung eines materialen Objektes als ein in der Schulgeometrie nicht realisierbare Digitalisierungsmethode ansehen.- Wo kommt das 3-dimensionale Koordinatensystem im Lehrplan der Sekundarstufe I vor?)
S_1' :	Raumgeometrische Bildschirm-Darstellungen lassen sich auf einfache Weise ausdrucken und so dokumentieren.
S_2' :	Wie bekommen wir von einem nur der visuellen Wahrnehmung zugänglichen räumlichen Objekt auf dem Bildschirm - hier noch nicht die Wahrnehmungsmöglichkeiten des Cyber-Space in Erwägung ziehend - ein materiales Objekt, das auch taktil erfasst werden kann. Die derzeit in der Schule praktikable Lösung besteht in der Generierung von Körpernetzen auf dem Bildschirm, die ausgedruckt und dann zu Flächenmodellen aufgefaltet werden können; diese Lösung des Schnittstellenproblems bleibt aber auf abwickelbare Körper beschränkt. Die Verfahren des Solid-Imaging bzw. File-to-Factory-Verfahren sind für die Schule noch viel zu aufwendig und zu teuer.

Erläuterung zu Schnittstellen

Unterrichtsoftware für die Raumgeometrie: Voraussetzung für einen Computereinsatz im Raumgeometrie-Unterricht ist die Verfügbarkeit von adressatengerechter Software, also Unterrichtsoftware. Da die Entwicklung solcher Software erst am Anfang steht, können die derzeitigen methodisch-didaktischen Implikationen notwendigerweise nicht endgültig sein. Wir skizzieren im folgenden einige uns wichtig erscheinende Software-Entwicklungen, die im Wesentlichen für den Raumgeometrie-

Unterricht vorgenommen worden sind: Werkzeugsoftware (Tool), tutorielle Software (Tutor), „spielerische“ Software (Toy) und Informations-, Demonstrations- und Animationssoftware sowie das Internet. Einen Ausblick auf das Raumgeometrie-Lernen im Cyberspace gibt Schumann (1995).

Werkzeug-Software: Bei der Entwicklung computergrafischer Werkzeuge zeichnen sich zwei Linien ab. Einerseits werden Werkzeuge entwickelt, die im Wesentlichen auf die Darstellung und Bearbeitung von Körpern beschränkt sind, andererseits Werkzeuge, die im Wesentlichen räumliches Konstruieren wie die Dynamischen Geometrie-Systeme in der Ebene gestatten. U.E. sind Dynamische Geometrie-systeme, die für die Konstruktion und Darstellung der „ebenen Geometrie“ geschaffen worden sind, nur bedingt für den Einsatz im Raumgeometrie-Unterricht geeignet (Rousselet 1995), da die grafischen Objekte zweidimensional bleiben, die eindeutige Wahrnehmung der gezeichneten räumlichen Objekte im Allgemeinen nicht gegeben ist und nur trickreich eine direkte Körpermanipulation z. B. eine Körperrotation implementiert werden kann usw.

Ein Prototyp für die körperorientierten Werkzeuge ist das Programm „Körpergeometrie“ (Bauer et al. 1999) mit Anpassung an den Raumgeometrie-Unterricht der Mittelstufe; „Körpergeometrie“ ist aber kein Solid Modeler. Mit dem System „Cad-3D“ (Stachel 2001), das auf den Inhalt des österreichischen Unterrichts im Geometrisch-Zeichnen zugeschnitten ist, können sogar die Booleschen Operationen ausgeführt werden. In „Raumgeometrie, Unterricht mit Computerwerkzeugen“ (Schumann 2001) werden zahlreiche Beispiele, vor allem aus dem Raumgeometrieunterricht der Sekundarstufe I, unter Benutzung mehrerer Computerwerkzeuge ausgeführt. (Rezension dieses Buches und des Werkzeugs „Körpergeometrie“ von Schupp 2001) Von der anderen Werkzeugart ist bis jetzt nur eines für Macintosh („3D-Geometer“, Klemenz 1994/99) fertiggestellt worden - mit Schwächen in der Wahrnehmbarkeit räumlicher Objekte in der Tiefe (man denke nur an die Lagebeziehung von Kugel und Gerade: alle Fälle müssen visuell wahrnehmbar sein!). Der vom „3D-Geometer“ abgeleitete plattformunabhängige „MiniGeometer“ (unter <http://geosoft.ch>), ein Java-Applet für interaktives Konstruieren im Raum ist wegen seiner komplexen Benutzeroberfläche wohl eher für die Sekundarstufe II geeignet. Eine hoffnungsvolle Entwicklung, das „Cabri-Géomètre-3D“ (Quasem u. Laborde 1996), ist noch nicht abgeschlossen.

Generell eröffnen sich durch den Einsatz adäquater Computerwerkzeuge neue Möglichkeiten des Problemlösens in der Raumgeometrie:

Raumgeometrische Probleme können wir in einer herkömmlichen Lernumgebung i.A. nur über die Lösung entsprechender Probleme der ebenen Geometrie lösen (Diagramm 2; AR steht für den geometrisierten Anschauungsraum, AE für die geometrisierte Anschauungsebene); dafür wurden die Methoden der Darstellenden Geometrie entwickelt. Mit der Computernutzung haben wir die Möglichkeit, raumgeometrische Konfigurationen auf dem Bildschirm mit virtuell räumlicher Tiefe herzustellen und darzustellen (Diagramm 3) und diese Konfigurationen (direkt) zu manipulieren, im Ganzen oder im Zugmodus. Das vereinfacht das Lösen raumgeometrischer Probleme erheblich und vermeidet den "traditionellen Umweg".

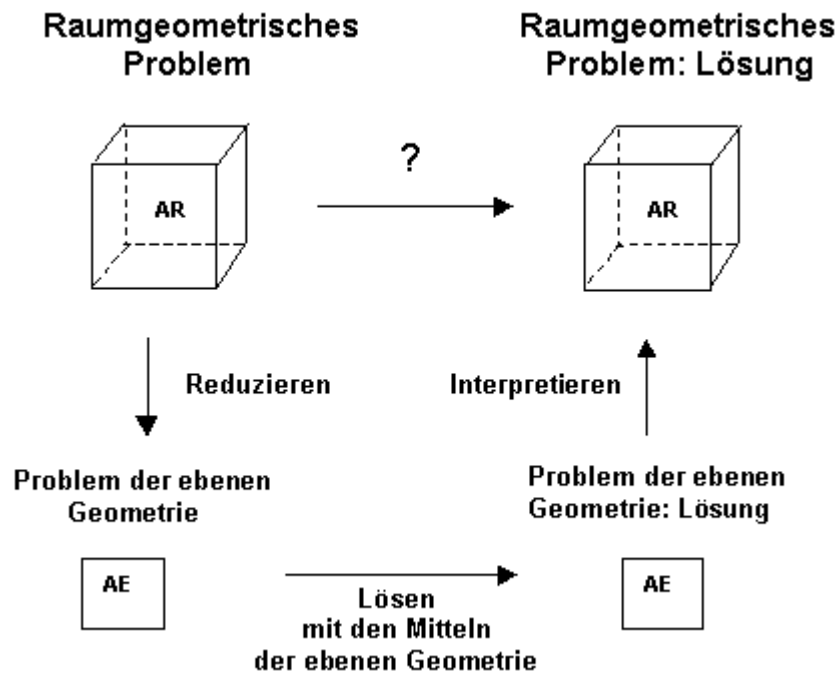
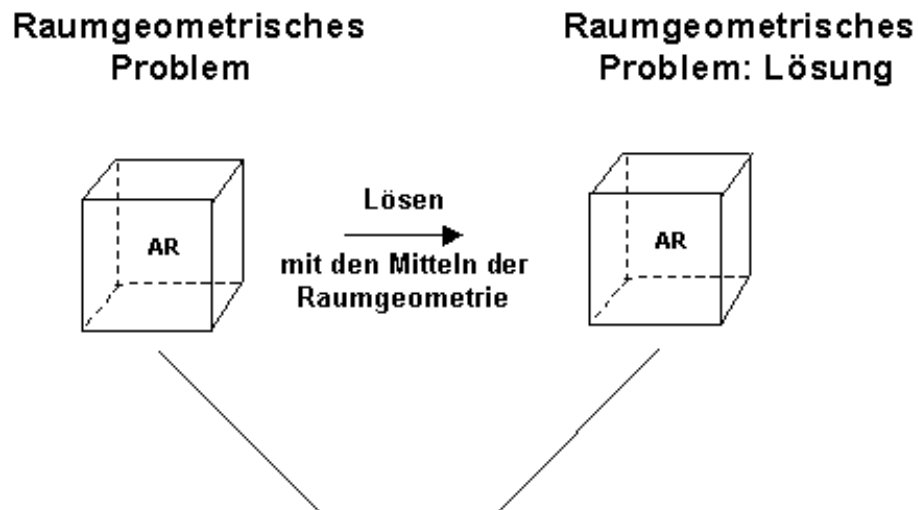
"Raumgeometrie - konservativ"

Diagramm 2

"Raumgeometrie - progressiv"

Anschauungsraum als Bildschirmraum mit 'räumlicher Tiefe'
 (mit eindeutig wahrnehmbaren und referenzierbaren räumlichen Objekten
 und mit direkter Manipulation räumlicher Objekte)

Diagramm 3

Tutorielle Software: Von einer die traditionellen Themen abdeckenden Entwicklung aufgabenstellender und -kontrollierender Raumgeometrie-Software ist man noch weit entfernt. Das wesentliche Problem dürfte in der Kontrolle der Bearbeitung der Variations- und Konstruktionsaufgaben liegen, die von den Lernenden direkt manipulativ gelöst werden sollen. Wir erwähnen hier nur einige prototypische Entwicklungen.

Das Werkzeug „Cinderella“ (Richter-Gebert u. Kortenkamp 1999) gestattet die Gestaltung plattformunabhängiger Lernumgebungen für das Lösen von Konstruktionsaufgaben der Kugelgeometrie, d.h. der auf der Kugeloberfläche modellierten elliptischen Geometrie. Das Werkzeug „BAUWAS“ (Meschenmoser et al. 1996), mit dem Figuren aus Einheitswürfel gebaut und visualisiert werden können, besitzt eine reichhaltige Übungskomponente für das Training der Raumvorstellung. „BAUWAS“ eignet sich für die Gestaltung einer Übungsumgebung, in der die drei medien-spezifischen Darstellungsformen integriert werden können. Computerisierte Papier- und Bleistifttests für die Erhebung von Raumvorstellungsleistungen können auch dem Training der Raumvorstellung dienen, wenn sie um entsprechende computergrafische Möglichkeiten, z.B. die der manipulativen Rotation geometrischer Objekte, erweitert werden. Ein Beispiel dafür ist der „Bausteine-Test“ (Birkel et al. 2001) und dessen computerisierte Fassung (Schumann u. Alavidze 2002). Im Rahmen einer „Lernsoftware Analysis“ (Fraunholz et al. 1998) werden Volumenformel-Herleitungen mit Grenzwertprozessen tutoriell behandelt. Ein erstes gut strukturiertes raumgeometrisches Tutorial, das computergrafische Visualisierungsmöglichkeiten konsequent nutzt, ist das Programm „Stereometry“ (Soboleva et al. 1997-2000; mit deutscher Oberfläche: „WinLernen Geometrie II“). Es passt inhaltlich eher zum russischen Raumgeometrie-Curriculum der Klasse 11, denn es ist von einem russischen Autorenteam verfasst worden. Damit stellt sich generell die Frage nach der Kompatibilität und Portabilität der in einem bestimmten kulturellen Kontext entwickelten tutoriellen Software.

Spielerische Software: Diese Softwaretypus verbindet mehr oder weniger problematisch Unterhaltung/Spiel und Lernen. Das bekannte raumgeometrische Lernspiel „Blockout“ bzw. „3D Tetris“ bzw. „3-D Pitfall“ (Shramko 1994), das es in verschiedenen Ausführungen gibt (z.B.), dient dem spielerischen Training der Raumvorstellung. Das Programm „Building Perspective“ (Bretl et al.), dessen Inhalt im Kontext US-amerikanischer Großstädte steht (skyscrapers square!), dient ebenfalls diesem Zweck.

Das Werkzeugspiel „Shape up!“ (Muller et al. 1998) gestattet in seinen raumgeometrischen Komponenten „Plato’s World“ und „3D World“ im Wesentlichen nur die Visualisierung geometrischer Objekte in farbenfroher Darstellung.

Systeme für Information, Animation, Demonstration: Das kontextsensitive Informationssystem „Mediothek Geometrie 1“ (Böttner et al. 1998) enthält u.a. Informationen über Körperdarstellungen und -berechnungen (leider ist ein direktes Manipulieren von Körpern nicht implementiert). Das Programm „Cavalieri“ (Andraschko et al. 1997) dient, wie der Name sagt, der Demonstration und Information über die Anwendung des Cavalierischen Prinzips

Raumgeometrische Animationen lassen sich herstellen z.B. durch Hintereinanderschaltung von Einzelbildern mit „Mathematica“ (u.a. Schumann 1993) oder mit sogenannten 3D-Engines (u.a. Ludwig 2001), mit denen auch eine Vergegenständlichung der Körpererscheinung erzielt werden kann. U.E. ist es durchaus fragwürdig, ob das Rendering und Ray Tracing von Körpern geometrisch-didaktische

Bedeutung hat, denn die herkömmliche Körperdarstellung zeichnet sich ja gerade durch eine gewisse Abstraktion gegenüber den zu geometrisierenden Gegenständen aus.

Das Programm „Poly“ (Tupper 1999) enthält eine umfassende Sammlung konvexer Körper, vor allem solcher aus regelmäßigen Polygonen. Eine physischen Sammlung aus all diesen Vielflächnern ließe sich nur schwerlich herstellen und verwalten. Die Polyeder, deren Netze ausgedruckt werden können, sind auf vielfältige Weise visualisierbar; außerdem lassen sie sich mittels Schiebertechnik simulativ auf- und abfalten. Mit einem solchen System wird der ästhetische Reichtum der Polyederwelt phänomenologisch in einer Art und Weise repräsentiert, die sicherlich die Popularisierung der Raumgeometrie fördert. Kontrastiert wird die einfache Strukturiertheit von Polyedern durch die 3D-Fraktale, die mit entsprechenden Programmierwerkzeugen erstellt werden und die mit herkömmlichen Medien überhaupt nicht zu generieren wären; unter den Sammlungen schöner Beispiele von 3D-Fraktalen wählen wir aus: www.fractal.dom.

Internet: Die Internet-Repräsentanz von Raumgeometrie ist vom inhaltlichen und software-ergonomischen Standpunkt aus betrachtet noch sehr schwach entwickelt. Die meisten Internet-Seiten beinhalten bloße Information über raumgeometrische Sachverhalte und ihre Visualisierung. Das Informationsangebot ist lückenhaft; die Aufbereitung von Informationen ist noch weit entfernt von einer Systematisierung. Entsprechende Tools und Tutoriale befinden sich erst am Anfang ihrer Entwicklung. Trotz des inhomogenen und un stetigen Wachstums stehen heute für das Lehren und Lernen online bzw. offline interessante Angeboten über Raumgeometrie zur Verfügung. So werden von der Suchmaschine „Fireball“ mit der Suchwortkombination: „(Raumgeometrie OR Stereometrie) AND (Bildung OR Schule)“ 216 Fundstellen angezeigt (Stand Juli 2001). Die am häufigsten angezeigten Seiten als die „wichtigsten“ zu bezeichnen ist natürlich mehr als fragwürdig. Es stellt sich die sehr zeit- und arbeitsaufwendige Aufgabe, eine – wegen der dynamischen Entwicklung des Internet – permanent zu aktualisierende und zu kommentierende Auswahl von Links über Raumgeometrie im nationalen curricularen Kontext zu treffen, um die Lehrer bei ihrer schulischen Arbeit zu unterstützen und fortzubilden. (Es könnte sich durch ein globalisiertes Angebot so etwas wie ein internationales Kern Curriculum über Raumgeometrie herauskristallisieren, das helfen kann traditionelle inhaltliche und medien-technologische Defizite nationaler Curricula zu erkennen und zu überwinden.) Die Thematisierung der Rolle des Internet beim Geometrie-Lernen könnte Gegenstand eines entsprechenden MU-Heftes sein.

Zu den einzelnen Beiträgen: Der Inhalt dieses Heftes kann nicht thematische Vollständigkeit beanspruchen. Allenfalls liefern seine Beiträge Material für eine noch zu entwickelnde, aber vom jeweiligen Software-Entwicklungsstand abhängige Methodik und Didaktik des computerunterstützten Raumgeometrie-Unterrichts. Insofern können wir auf die Frage: Wie muss sich unter dem Einfluß von Raumgeometrie-Software der heutige Unterricht in Raumgeometrie hinsichtlich seiner Zielsetzung, seiner Inhalte und Methoden ändern? hier nur sporadisch eine Antwort geben.

In den folgenden Beiträgen, die sich gemäß der Software-Entwicklung schwerpunktmäßig mit Computerwerkzeugen und ihrem Einsatz befassen, kommt es uns darauf an, einerseits Inhalte des heute üblichen Raumgeometrie-Unterrichts zugänglicher zu machen, andererseits aber auch „neue“ Inhalte durch Computernutzung zu erschließen.

In *Förderung der Raumanschauung im Geometrieunterricht der Orientierungsstufe. – Ist der Computer ein willkommenes Werkzeug?* gehen Nicole Bendel und Günter Schmidt von der allgemein anerkannten Legitimation der Behandlung von Raumgeometrie in der Schule aus und analysieren raumgeometrische Ziele, Stoffe und Methoden der Orientierungsstufe, die vor allem der Entwicklung und Förderung der Raumvorstellung dienen sollen, im Hinblick auf ein Anforderungsprofil von Software, die in einem entsprechend konzipierten Raumgeometrie-Kurs eingesetzt werden kann. Bei ihrer Analyse berücksichtigen sie auch Lernvoraussetzungen für den Computereinsatz in der Raumgeometrie und die Integration der verschiedenen medienspezifischen Darstellungsformen.

In Heinz Schumanns *Eine computergrafische Behandlung geometrischer Körper* wird exemplarisch gezeigt, wie mit dem computergrafischen Werkzeug KÖRPERGEOMETRIE, das bereits wesentliche Forderungen gemäß der vorstehend genannten Analyse erfüllt, auf vielfältige Weise konvexe Polyeder als Träger raumgeometrischer Informationen behandelt werden können.

Das Volumen-Schätzen ist ein im Raumgeometrie-Unterricht vernachlässigtes Thema, weil sich schwerlich eine entsprechende herkömmliche Lernumgebung mit angemessenen Kontroll- und Feedbackfunktionen gestalten lässt. In *Computertrainiertes Volumen-Schätzen* beschreibt Heinz Schumann ein adäquates Trainingsprogramm und berichtet über seine Evaluation u. a. hinsichtlich der Verbesserung des Volumen-Schätzens bei materialen bzw. physischen Körpermodellen, –denn es ist nachzuweisen, dass das in einer „virtuellen Welt“ stattfindende Training einer kognitiven Qualifikation auch in der „realen Welt“ wirksam ist.

Dem „Verräumlichen“ und „Verebnen“ von Figuren kommt eine wichtige Brückenfunktion zwischen ebener und räumlicher Geometrie zu. Heinz Schumann wendet diverse Computerwerkzeuge an, um in *Computerunterstütztes Verräumlichen ebener Figuren* die Erweiterung und Bereicherung traditioneller händischer Verfahren des Verräumlichens zu verdeutlichen.

Die Kugelgeometrie gehörte zum traditionellen Stoffkanon des Gymnasiums aus dem sie trotz ihrer Anwendungsträchtigkeit, Raumvorstellungsrelevanz und heuristischen Potenz im Zuge der verhängnisvollen Orientierung von Lehrplänen an mathematischen Strukturen herausgefallen ist. Dieser Verlust ist sicherlich von vielen Lehrkräften gern verschmerzt worden, vor allem wegen der bekannten Visualisierungsprobleme die der Unterricht in Kugelgeometrie mit sich bringt. In *Kugelgeometrie mit dem Computer* stellt Monika Christl einen entsprechenden Kugelgeometrie-Kurs für Klasse 11 mit Integration themenspezifischer dynamischer Werkzeugsoftware vor und berichtet über die Ergebnisse einer unterrichtspraktischen Evaluation im Rahmen einer Methodenvergleichsuntersuchung.

Erfahrungsgemäß haben viele Schüler und Schülerinnen der Sekundarstufe II Schwierigkeiten, sich die Aufgabenstellung, den Lösungsweg und die Lösung einer analytisch-geometrischen Aufgabe im IE^3 räumlich vorzustellen. Das menügesteuerte 3-D-Grafiksystem DreiDGeo ist besonders geeignet, solche Aufgabenstellungen zu visualisieren und ihre Lösung konstruktiv zu entwickeln, um damit die numerische oder algebraische Lösung vorzubereiten bzw. zu kontrollieren. Hans Andraschko führt in seinem Beitrag *DreiDGeo – ein Computerwerkzeug für die analytische Geometrie im IE^3* in die Benutzung und Anwendung dieses Werkzeugs ein.

Im abschließenden Beitrag *Ein plattformunabhängiges Computerwerkzeug für die*

dynamischen Raumgeometrie erläutert Heinz Klemenz sein Projekt der Entwicklung eines die synthetische und analytische Raumgeometrie verbindenden dynamischen Computerwerkzeugs als Java-Applikation, das unter jedem Browser läuft.

Literatur

- Andraschko, H. u. Rechenberger, K. (1997): Cavalieri (Software). Augsburg: Zentralstelle für Computer im Unterricht
- Birkel, P., Schein, S. A., Schumann, H. (2001): Bausteine-Test. Göttingen: Hogrefe
- Bauer, H.: Freiburger, U.; Kühlewind, G.; Schumann, H.: KÖRPERGEOMETRIE (Software mit Manual). Berlin: Cornelsen, 1999.
- Böttner, J. et al. (1999): Mediothek Geometrie 1. Stuttgart: Klett
- Bretl, Th. C. (o. Angabe): Building Perspective (Software). Pleasantville, NY: Sunburst
- Chen, M. et al. (1988): A Study in Interactive 3-D Rotation Using 2-D Control Devices. In: Computer Graphics, v. 22, no. 4, p.121-129
- Dörfler, W. (1990): Der Computer als kognitives Werkzeug und kognitives Medium. In: Dörfler, W. et al. (Hrsg.): Computer – Mensch – Mathematik, Teubner:Stuttgart, S.51-75
- Klemenz, H. (1994-1999): 3D - Geometer (Software mit Manual für Macintosh). Kantonsschule Wetzikon
- Ludwig, M. (2001): Raumgeometrie mit Kopf, Herz, Hand und Maus. In: Kaiser, G. (Hg.) (2001): Beiträge zum Mathematikunterricht 2001. Hildesheim: Franzbecker, S. 408-411
- Meschenmoser, H. et al. (1997): BAUWAS (Software). Berlin: Mach Mit e.V.
- Muller, E. et al. (1998): Shape up! (Software mit Manual). Pleasantville, NY: Sunburst
- Quasem, S.; Laborde, J.-M. (1996): La représentation dans un micromonde de la géométrie dans l'espace: Le cas de Cabri-3D (Arbeitspapier des Laboratoire Leibniz, Université Joseph Fourier; Grenoble)
- Richter-Gebert, J. u. Kortenkamp, U. (1999): Cinderella. Die Interaktive Geometriesoftware (Software mit Manual). Stuttgart: Klett
- Rousselet, M. (1995). Dessiner l'espace ou Comment employer Cabri-géomètre en géométrie dans l'espace. Argenteuil: Archimède
- Schumann, H. (1993): Computerunterstütztes Stumpfen und Sternen von Polyedern. Herrn Prof. Dr.Heinz Kunle zum 65. Geburtstag. – ZDM. Zentralblatt fuer Didaktik der Mathematik. v. 25(6) S.191-195
- Schumann, H. (1995): Körperschnitte - Raumgeometrie interaktiv mit dem Computer. Dümmlers: Bonn
- Schumann, H. (2001): Raumgeometrie, Unterricht mit Computerwerkzeugen. Berlin: Cornelsen
- Schumann, H. u. Alavidze, T. (2001): Bausteine-Test (Software). Göttingen: Hogrefe
- Schupp, H. (2001): Rezension von Körpergeometrie. Erscheint in: ZDM. Zentralblatt für Mathematikdidaktik. v. 33(5).
- Shramko, J. (1994): 3-D Pitfall (3D Tetris) (Software)
- Soboleva, N. N. et al. (1997-2000): Stereometry (WinLernen Geometrie II) (Software). Moskau: Physicon (Kaarst: bhv)
- Stachel, H. (2001): Cad-3D für Windows (Software). Wien: TU Wien
- Tupper, J. (1999): Poly (Software). Terrace BC: Pedagogy Software