Computerwerkzeuge und Prüfungen – Probleme, Lösungsansätze und Chancen

Jürgen Roth, Würzburg

Bei Computerwerkzeugen (CW) handelt es sich um Software, die flexibel für unterschiedliche Zwecke eingesetzt werden kann. So gesehen sind CW also computergestützte Universalwerkzeuge, bei denen der Anwender jeweils entscheidet, welche der vielen Funktionen er wozu einsetzt. Die im Mathematikunterricht (MU) eingesetzten CW sind im Wesentlichen Tabellenkalkulationsprogramme (TKP), dynamische Geometriesysteme (DGS) und Computeralgebrasysteme (CAS).

Veröffentlichungen zum Einsatz von Computerwerkzeugen im MU beschränken sich bisher in der Regel darauf, die sich eröffnenden Möglichkeiten und Grenzen zu reflektieren, sie blenden aber die Verwendung von CW in Prüfungen weitgehend aus. Gerade der Einsatz in Prüfungen wirft aber eine ganze Reihe von Problemen auf. Diese sind zum einen organisatorischer Art (Anzahl der Rechner, Unterschleif, Einsammeln und Korrektur der Bearbeitungen, …), zum anderen und vor allem beziehen sie aber die Frage mit ein, wie Prüfungsaufgaben bei der Zulassung von CW zu konzipieren und Prüfungen zu organisieren sind. Der Artikel geht auf Problembereiche und Lösungsansätze ein und reflektiert die Chancen, die ein zielgerichteter Einsatz von CW in Prüfungen eröffnet.

1 Status quo

Prüfungen sind Bestandteil jeglichen schulischen Lernens. Die Art und Weise wie Prüfungen gestaltet sind hat direkte Auswirkungen auf Unterrichtsinhalte und –methoden und beeinflusst das Lern- und Arbeitsverhalten von Schülerinnen und Schülern. Wer also der Überzeugung ist, dass der Einsatz von Computerwerkzeugen im Mathematikunterricht sinnvoll ist, der muss sich mit der Frage auseinandersetzen, wie Computerwerkzeuge auch in Prüfungen eingesetzt werden können. Diese scheinbar naheliegende Aussage widerspricht leider diametral der aktuellen Praxis. Während Computerwerkzeuge immer stärker Eingang in den Mathematikunterricht der Sekundarstufen finden, lassen die Kultusministerien der Länder nach wie vor ihren Einsatz in Prüfungen häufig nicht oder nur eingeschränkt zu. Dies gilt im besonderen Maße für PC- bzw. Laptop-gestützte Computerwerkzeuge (CW). Das Problem des Verbots von CW in Prüfungen zeigt sich immer wieder bei Studien zum Unterrichtseinsatz dieser Werkzeuge. So berichten etwa Macintyre & Forbes (2002) aus einer schottischen Studie zu den Auswirkungen des Einsatzes von CAS-fähigen Taschenrechnern auf die algebraischen Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler:

> Indeed, given appropriate conditions and encouragement, the use of the calculator as an investigative tool is something that was well received by the schools involved in the study. The full potential of such technology however, will not be made apparent until schools are encouraged to utilise the resource through a change in policy on assessment. Regardless of personal visions and expertise in harnessing the power of the technology, staff are going to be discouraged and students themselves will be reluctant to make use of CAS calculators whilst they remain 'banned' in assessments. (Macintyre & Forbes, 2002, S. 51)

Die Problematik liegt aber noch tiefer. In der Mathematikdidaktik gibt es zahlreiche Veröffentlichungen, die sich mit Chancen und Grenzen der Nutzung von Computerwerkzeugen für den Mathematikunterricht befassen. Es gibt aber fast gar keine Auseinandersetzung mit der Frage, wie solche Werkzeuge in Prüfungen eingesetzt werden können. Prototypisch hierfür scheinen mir die „Standardwerke" zum Einsatz von Computerwerkzeugen im Mathematikunterricht zu sein. Weder in Hole (1998), noch in Hischer (2002) oder Weigand & Weth (2002) und auch nicht in Barzel et al. (2005) wird das Thema Prüfungen im Zusammenhang mit Computerwerkzeugen auch nur erwähnt.

2 Thesen zum Einsatz von Computerwerkzeugen im Mathematikunterricht

Für eine Auseinandersetzung mit Computerwerkzeugen (CW) in Prüfungen muss zunächst festgehalten werden, was unter dem Begriff Computerwerkzeug verstanden und warum es überhaupt als sinnvoll erachtet wird, CW im Mathematikunterricht einzusetzen.

> *Bei Computerwerkzeugen handelt es sich um Software, die flexibel für unterschiedliche Zwecke eingesetzt werden kann. Damit sind CW computergestützte Universalwerkzeuge, bei denen der Anwender jeweils entscheidet, welche der vielen Funktionen er wozu nutzt.*

Die im Mathematikunterricht (MU) eingesetzten Computerwerkzeuge sind im Wesentlichen Tabellenkalkulationsprogramme (TKP), dynamische Geometriesysteme (DGS), Computeralgebrasysteme (CAS) und dynamische Mathematiksoftware (DMS). DMS lässt sich grob als Versuch darstellen, TKP, DGS und CAS in einer Software zu integrieren. Auch graphikfähige Taschenrechner (GTR) und Taschencomputer (TC) lassen sich zusammen mit der zugehörigen Software als Computerwerkzeuge für den Mathematikunterricht auffassen.[1] Hier soll das Augenmerk aber hauptsächlich auf dem Einsatz von PC- bzw. Laptop-gestützten Computerwerkzeugen liegen.

Um die Frage nach dem Sinn eines Einsatzes von Computerwerkzeugen in Prüfungen reflektieren zu können, werden im Folgenden schlaglichtartig bekannte Thesen zum Einsatz von Computerwerkzeugen im Mathematikunterricht zusammengestellt:

Experimentierumgebung

Computerwerkzeuge eignen sich als Experimentierumgebungen zur Erkenntnisgewinnung, weil mit ihrer Hilfe Vermutungen sofort überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden können. Darüber hinaus werden in Konfigurationen enthaltene funktionale Zusammenhänge direkt erfahrbar, wenn mit einem Computerwerkzeug einzelne Variable einer Konfiguration (etwa mit Hilfe von Schiebereglern) gezielt und stetig bzw. „quasistetig“[2] verändert werden.

Heuristisches Hilfsmittel („Denkzeug“)

Der Computer ist ein Werkzeug, das das Denken unterstützt, in Anlehnung an Dörfler (1991) also ein „Denkzeug“, weil er bei komplexen Problemstellungen, die nicht mehr im Kopf erfassbar sind, dazu dient, die Komplexität in den Griff zu bekommen. Dies geschieht dadurch, dass das Gedächtnis entlastet wird und einzelne Fähigkeitsaspekte des Denkens an den Rechner delegiert werden. Folgende Aspekte sind hier zu nennen:

- Systematisches Probieren, das Untersuchen von Grenzfällen und ein Überblick über evtl. notwendige Fallunterscheidungen beanspruchen den mit Computerwerkzeugen arbeitenden Menschen nicht mehr im gleichen Umfang wie jene ohne Werkzeug. Die Variationen müssen zwar noch geplant, aber nicht mehr mental realisiert werden.
- Das Gedächtnis wird nicht mehr so stark belastet, da die Gesamtkonfiguration ständig zur Verfügung steht und nötige Fokussierungen auf jeweils relevante Details nur noch antizipiert werden müssen. Geeignete Hilfsmittel, die das Computerwerkzeug bietet, können zur Konzentration der Aufmerksamkeit auf diesen Aspekt genutzt werden.
- Parametervariation durch den Nutzer und die daraus resultierende (Bildschirm-) Ausgabe des Computerwerkzeugs kann zu einer Interaktion zwischen Computerwerkzeug und Nutzer und damit zum „verteilten Denken“ führen. Dies ist dann der Fall, wenn aufgrund der beobachteten Computerausgabe die nächste Aktion bzw. Veränderung geplant wird. Die Betonung liegt hier also auf der *Planung* der nächsten Eingabe.

Die Entlastung in den genannten kognitiven Bereichen erlaubt beim Problemlösen die Konzentration auf Aspekte der Planung, Interpretation, Analyse und Argumentation. Voraussetzung dazu ist allerdings die Fähigkeit, mit dem jeweiligen Computerwerkzeug umgehen, seinen zielgerichteten Einsatz planen und im Laufe des verteilten Denkprozesses ggf. auch reorganisieren zu können.

Modellierungswerkzeug

Bei mathematischen Modellierungen kann das Computerwerkzeug als „Kreativitäts- und Interpretationskrücke“ verwendet werden. Einerseits wird damit die Manipulation komplexer Modelle und die Verarbeitung realistischer Daten auch für Schülerinnen und

[1] Ich davon überzeugt, dass auch bei solchen Geräten die integrierte Software das Computerwerkzeug ausmacht. Sehr deutlich wird das bei TI-*n*spire CAS. Hier wird die Software sowohl auf dem Taschencomputer als auch auf dem PC eingesetzt.

[2] Gemeint ist ein diskretes, aber gleichmäßiges Variieren, also eine Veränderung, die in „äquidistanten Schritten“ erfolgt.

Schüler überhaupt erst möglich. Andererseits sind wesentliche Aspekte der Modellbildung, etwa das Erproben und Optimieren bzw. Verwerfen verschiedener Modellansätze, noch in realistischer Weise für eine Behandlung im Mathematikunterricht zugänglich.

Kommunikationsmittel

Mit Computerwerkzeugen können Sachverhalte optimal dargestellt und visualisiert werden. Dabei spielen die Möglichkeiten des dynamischen „Vorführens“ von Veränderungen und der Nutzung von Fokussierungshilfen (Roth, 2006b) zur Aufmerksamkeitsfokussierung auf wesentliche Aspekte eine wichtige Rolle. Dies erleichtert den Einblick in die und das Verständnis der Sachverhalte.

Alle genannten Aspekte sprechen dafür, dass die Lehrkraft Computerwerkzeuge im Mathematikunterricht einsetzt. Noch wichtiger ist aber die Nutzung von Computerwerkzeugen durch die Schülerinnen und Schüler selbst. Dadurch besteht, wie oben dargestellt die Chance, dass sie ihre Fähigkeiten im Experimentieren, Problemlösen, Modellieren und Kommunizieren mathematischer Sachverhalte im Mathematikunterricht weiterentwickeln und vorhandene Begrenzungen überwinden.

Prinzipiell besteht aufgrund des oben umrissenen Potentials von Computerwerkzeugen die Möglichkeit, die Schülerinnen und Schüler durch ihren Einsatz von Kalkülen zu entlasten. Dadurch kann

- der Unterrichtsschwerpunkt in Richtung von Planung, Analyse, Argumentation sowie kreativem und produktivem Arbeiten verschoben werden,
- ein selbsttätiges und entdeckendes Arbeiten der Schülerinnen und Schüler unterstützt werden,
- sich im Hinblick auf Modellierungen die Möglichkeit eröffnen, realistischere Probleme anzugehen.

Grundsätzlich bleibt aber festzuhalten: Es handelt sich hier nur um prinzipielle Chancen aber nicht um zwangsläufige Folgen eines Einsatzes von Computerwerkzeugen! Die Art und Weise der Nutzung eines Computerwerkzeugs und damit auch der Erfolg eines entsprechenden Unterrichts hängt in erheblichem Maße von einer ganzen Reihe von Faktoren ab. Dazu gehören insbesondere

- die zugrundeliegenden Unterrichtskonzepte,
- die Werkzeug- und Prozesskompetenzen aller am Unterricht Beteiligten sowie deren Einstellung zu Computern und Computerwerkzeugen.

Also: Das Potential ist vorhanden – es kommt allerdings darauf an, was wir daraus machen!

3 Prüfungen

> In Prüfungen muss qualitativ und quantitativ das abgefragt werden, was auch den Unterricht qualitativ und quantitativ prägt.

Dieses Zitat von Henning Körner aus seinem Vortrag auf dieser Tagung bringt auf den Punkt, worauf es bei Prüfungen ankommt. Insbesondere darf es nicht zu einer antididaktischen Umkehrung dieses Prinzips kommen, wie sie leider immer wieder im Zusammenhang mit zentral gestellten Tests und Zentralprüfungen zu beobachten ist.

> Das worauf es [im Mathematikunterricht] ankommt, lässt sich weder eindeutig ansteuern noch eindeutig testen, aber es lässt sich durch testorientiertes Unterrichten eindeutig behindern. (Meyer, 2005, S. 69)

Dies lässt sich vermeiden, wenn man bei der Konzeption von Prüfungen folgende Aspekte beachtet:

Aufgaben in Mathematikprüfungen sollten

- auf das notwendige Wissen und Können von Schülerinnen und Schülern und die Ziele des Lehrplans abgestimmt sein,
- die Lehr- und Lernpraktiken des Unterrichts berücksichtigen,
- den Schülerinnen und Schülern Gelegenheit geben ihr mathematisches Wissen zu zeigen, ihre mathematischen Ideen zu vermitteln und ihre Überlegungen darzustellen.

Nur unter Berücksichtigung der genannten Aspekte besteht die Chance, folgendem Anspruch gerecht zu werden:

> Assessment should not merely be done *to* students; rather, it should also be done *for* students, to guide and enhance their learning. (NCTM, 2000, S. 22)

Daneben haben Prüfungen (leider?) normierende Wirkung, denn sie vermitteln den Schülerinnen und Schülern (zentrale Prüfungen und Tests auch den Lehrerinnen und Lehrern) implizit, welches mathematische

Wissen und welche Fähigkeiten honoriert werden und wie dieses Wissen dargestellt werden soll. Dabei spielen die Art der Aufgaben, die abgeprüften Fähigkeiten, die Anzahl der auf die einzelnen Aufgaben vergebenen Bewertungseinheiten und die erlaubten technischen Hilfsmittel eine wichtige Rolle. Dieser Aspekt muss bei der Erstellung von zentralen Tests und Prüfungen immer bedacht und entsprechend berücksichtigt werden.

4 Einsatz von Computerwerkzeugen in Prüfungen

4.1 Wozu sollten CW in Prüfungen erlaubt werden?

Betrachtet man das oben skizzierte Potential von Computerwerkzeugen für den Mathematikunterricht, so wird sehr schnell deutlich, wie die in der Überschrift gestellte Frage zu beantworten ist. Bei Aufgaben, die Aspekte beinhalten, in deren Rahmen Computerwerkzeuge ihr Potential entfalten und die kognitiven Möglichkeiten der Schülerinnen und Schüler erweitern, sollten sie, wenn sie im Unterricht verwendet werden, auch in Prüfungen erlaubt sein. Dazu zählen insbesondere

- das Problemlösen,
- das Modellieren,
- das Visualisieren und
- das Analysieren.

Diese Auflistung provoziert die berechtigte Frage, inwieweit derartige Aspekte in herkömmlichen und u. a. deutlich zeitbegrenzten Klassenarbeiten wirklich abgeprüft werden können. Eine mögliche Antwort darauf kann folgende These sein, auf die weiter unten noch einmal eingegangen wird:

> *Computerwerkzeuge können ein Katalysator dafür sein, bestehende Prüfungsformen durch weitere, eher prozessorientierte zu ergänzen.*

Geht es in Prüfungsaufgaben allerdings um die Reproduktion von Wissen oder um den Nachweis von Basisfähigkeiten, dann kann es sinnvoll sein, den Einsatz von Computerwerkzeugen nicht zuzulassen. Herget et al. (2001, S. 459) teilen Prüfungsaufgaben diesbezüglich in drei „Töpfe“ ein, nämlich in

- Aufgaben, die in einer Prüfung ohne Computerwerkzeuge gestellt werden könnten bzw. sollten,
- Aufgaben, die in einer Prüfung ohne Computerwerkzeuge nicht gestellt werden sollten
- und schließlich Aufgaben, bei denen die Zuordnung zu einem der beiden anderen „Töpfe“ umstritten oder praktisch nicht möglich ist.

Insbesondere der dritte Topf von Herget et al (2001, S. 259) macht deutlich, dass die Grenze zwischen Aufgaben fließend ist, die in Prüfungen ohne Computerwerkzeuge sinnvollerweise gestellt werden können und solchen, für die das nicht gilt. Vielleicht ist das auch ein Grund für folgendes Phänomen, das Weigand (2006, S. 102) aus einem einjährigen Schulversuch mit Taschencomputern (TC) berichtet:

> Eine Analyse der Klassenarbeiten zeigt, dass die überwiegende Mehrzahl der Aufgaben in gleicher Weise auch dann gestellt werden könnten,[3] wenn in den Prüfungen kein TC erlaubt gewesen wäre. (Weigand, 2006, S. 102)

4.2 Technische Probleme und Lösungsansätze dazu

Lässt man die Verwendung von PC-gestützten Computerwerkzeugen in Prüfungen zu, so ergibt sich eine ganze Reihe von technischen Fragen, die hier zunächst ohne Anspruch auf Vollständigkeit zusammengestellt werden sollen:[4]

- Wie werden die jeweils evtl. elektronisch in Dateien vorliegenden Aufgaben ausgeteilt bzw. die Bearbeitungen eingesammelt?
- Wie schafft man einheitliche Voraussetzungen auf allen Schülerrechnern?
- Wie lässt sich (elektronischer) Unterschleif unterbinden?
- Wie soll die Korrektur von evtl. elektronisch in Dateien vorliegenden Schülerbearbeitungen erfolgen?
- Wie kann man Klassenarbeiten in Klassen mit ca. 30 Schülern durchführen, wenn die Computerräume in Schulen in der Regel nur mit 16 Rechnern ausgestattet sind?

[3] Einige der Aufgaben wurden von den Lehrern auch bereits in früheren Jahren in Klassenarbeiten gestellt.

[4] So berichtet etwa Hagan (2005, S. 222f) von einzelnen weiteren Aspekten.

Für die ersten drei der genannten Probleme gibt es diverse technische Lösungen. Eine besonders gelungene scheint mir die in Baden-Württemberg entwickelte *Musterlösung* (Baden-Württemberg, 2005) für pädagogische Schulnetze zu sein. Damit ist es u. a. möglich, das Austeilen von Aufgaben und das Einsammeln der Schülerbearbeitungen auf Knopfdruck durchzuführen. Es sind selbstheilende Arbeitsstationen realisiert, die garantieren, dass beim Neustart der Rechner auf jedem PC die identische Ausgangskonfiguration vorliegt. Eine Prüfung am PC kann also einfach mit dem Hochfahren der Rechner beginnen. Bei Bedarf kann mit sicheren Klassenarbeitsumgebungen gearbeitet werden, deren spezielle Benutzerprofile ein Ablegen von Dateien in den Schülerverzeichnissen vor der Prüfung unmöglich macht bzw. allen Schülerinnen und Schülern dieselben Dateien zur Verfügung stellt. Daneben ist es auch sehr einfach möglich bei Bedarf den Zugang zu Internet, E-Mail und Tauschverzeichnissen zu sperren. Das Aufsetzen und die Wartung entsprechend geeigneter pädagogischer Schulnetze bleibt aber eine anspruchsvolle Aufgabe für schulische Systembetreuer und Softwareentwickler.

Mit der Frage wie Schülerbearbeitungen korrigiert werden können, die zumindest teilweise mit Hilfe von Computerwerkzeugen erstellt wurden, rückt der Aspekt der Dokumentation von Lösungswegen in den Mittelpunkt der Überlegungen. Um eine Korrektur zu ermöglichen, die die Gedankengänge berücksichtigt, die hinter möglichen richtigen und fehlerhaften Lösungen stecken, ist in der jeweiligen Klasse eine Vereinbarung über die Art der Dokumentation der durchgeführten Arbeitsschritte erforderlich. Diese sollte u. a. folgende Aspekte umfassen:

- Erfolgt die schriftliche Dokumentation auf Papier oder direkt innerhalb der mit dem Computerwerkzeug erzeugten Datei?
- Soll die Dokumentation nur in Papierform, nur in Form von Dateien oder mit Dateien *und* auf Papier erfolgen?
- Welche Überlegungen sollen protokolliert und worauf kann verzichtet werden?
- Wie kleinschrittig muss die Protokollierung erfolgen?
- Welche Ausgaben des Computerwerkzeugs sollen in welcher Form in das Protokoll übernommen werden?
- Wie soll mit Hilfsobjekten in den Dateien umgegangen werden?[5]

Die Tatsache, dass zu diesen und evtl. auch weiteren Fragen Vereinbarungen getroffen und ggf. auch eingeübt werden müssen, wird auch durch folgende Ergebnisse einer australischen Vergleichsstudie zum Einsatz von CAS bei Prüfungen gestützt:

> […] assessors […] need to be prepared for shorter written solutions and it is likely that in these written solutions students may have replaced pen-and-paper techniques by descriptions of processes used to solve problems. These written solutions may appear to be overall plans for solving problems with answers stated, rather than contain the extent of algebraic manipulation that might be expected in a purely pen-and-paper solution. (Ball, 2003, S. 192)

Auch das Problem der begrenzten Anzahl der in einem Computerraum zur Verfügung stehenden Rechner ist nicht ganz einfach zu lösen. Mögliche Lösungsansätze bestehen in der geeigneten Gestaltung von Prüfungsaufgaben und grundsätzlich in der Frage in welcher Form Prüfungen abgehalten werden. Auf beide Aspekte wird in den nächsten Abschnitten eingegangen.

4.3 Prüfungsaufgaben beim Einsatz von CW

Werden Computerwerkzeuge im Mathematikunterricht eingesetzt, so gibt es grundsätzlich die Möglichkeit, sie auch in Prüfungen zuzulassen oder ihren Einsatz in Prüfungen nicht zu erlauben. Die zweite Möglichkeit ist überall dort zwingend erforderlich, wo (wie etwa zurzeit noch in Bayern[6]) Computerwerkzeuge in Klassenarbeiten und zentralen Prüfungen *nicht* zugelassen sind. Darüber hinaus kann es aber auch dann, wenn Computerwerkzeuge in Prüfungen erlaubt sind, sinnvoll sein, für bestimmte Aufgaben den Einsatz von Computerwerkzeugen in einer

5 Bei Konstruktionen mit einem DGS kann etwa festlegen werden, Hilfslinien grundsätzlich gestrichelt darzustellen.

6 Gegenwärtig dürfen in Bayern Computerwerkzeuge in Prüfungen nur in einzelnen Klassen im Rahmen von Unterrichtsversuchen verwendet werden, grundsätzlich sind sie für Prüfungen aber *nicht* zugelassen.

Klassenarbeit nicht zuzulassen.[7] In jedem Fall sind aber grundsätzliche Aufgabentypen im Hinblick auf die Nutzung von Computerwerkzeugen mit zu bedenken. Allerdings gibt es durchaus verschiedene Ansätze für eine Klassifizierung. Heugl, Himmelbauer, Klinger & Wegscheider (2005, S. 6) geben z. B. folgende Aspekte an:

- Das Computerwerkzeug stellt keine wesentliche Hilfe bei der Lösung der Aufgabe dar.
- Unter Verwendung eines Computerwerkzeugs ist die Aufgabe wesentlich schneller lösbar oder sogar trivial.
- Die Aufgabe testet die Werkzeugkompetenz der Schülerinnen und Schüler.
- Es handelt sich um eine herkömmliche Aufgabe, die aber durch die Nutzung eines Computerwerkzeugs ausgeweitet wurde bzw. ausgeweitet werden kann.[8]
- Die Aufgabe ist (für Schülerinnen und Schüler) nur mit Hilfe von Computerwerkzeugen überhaupt lösbar.

Eine etwas andere Klassifizierung der möglichen Rollen, die ein Computerwerkzeug bei der Lösung einer (Prüfungs-)Aufgabe spielen kann, stammt von Brown (2003, S. 156):

- **Notwendig**
  Die Aufgabe kann ohne Verwendung eines Computerwerkzeugs nicht sinnvoll gelöst werden.
- **Optional**
  Ein Computerwerkzeug kann zur Lösung der Aufgabe beitragen, aber die Verwendung ist nicht notwendig.
- **Neutral**
  Ein Computerwerkzeug kann nichts Wesentliches zur Lösung der Aufgabe beitragen.
- **Ausgeschlossen**
  Die Aufgabe wurde absichtlich so strukturiert oder formuliert, dass ein Computerwerkzeug nicht (direkt) zur Lösung verwendet werden kann.

7 Dies kann z. B. bei Aufgaben zum Grundwissen oder allgemein zu Fähigkeiten sinnvoll sein, die auch ohne Computerwerkzeuge verfügbar sein sollen. Ein Beispiel für den letztgenannten Aspekt ist etwa die Fähigkeit zur Interpretation von Funktionsgraphen. Vgl. hierzu auch (Weigand, 2006, S. 102).

8 Man denke etwa an Verallgemeinerungen, die Betrachtung des Einflusses von Parametern und ähnliches.

4.3.1 Unterricht mit, Prüfung ohne CW

Es kann verschiedene Gründe dafür geben, dass Computerwerkzeuge zwar im Unterricht, aber nicht in Prüfungen eingesetzt werden. Sie reichen von rechtlichen[9] über organisatorische[10] bis hin zu inhaltlichen[11] Aspekten.

Werden bei einem Unterricht, der Computerwerkzeuge integriert, die Prüfungen ohne Computerwerkzeuge geschrieben, so gibt es u. a. folgende Möglichkeiten für Aufgabenformate in Klassenarbeiten:

Standardaufgaben

Es werden Aufgaben gestellt, die in gleicher Weise auch ohne Computer gestellt werden könnten.[11]

Hier wird die Tatsache, dass Computerwerkzeuge im Unterricht eingesetzt werden, in der Prüfung nicht berücksichtigt. Soll dies doch der Fall sein, so bieten sich u. a. folgende Aufgabentypen für Klassenarbeiten an:

Nutzung von Erkenntnissen, die mit Computerwerkzeugen gewonnenen

Zur Lösung der Aufgabe müssen die Schülerinnen und Schüler Erkenntnisse nutzen, die sie mit Hilfe von Computerwerkzeugen gewonnen haben. Dieser Aspekt soll mit folgender Klassenarbeitsaufgabe illustriert werden:

> Der Eckpunkt V des Dreiecks UVW wandert entlang der in der Abbildung eingezeichneten Kurve. Die eingezeichnete Lage von V ist der Startpunkt. Von hier aus wandert V entlang der Kurve nach links.
>
> Welche Dreiecksgrundformen[12] durchläuft das Dreieck UVW dabei der Reihe nach? (Roth, 2006a, S. 25)

9 Das zuständige Kultusministerium erlaubt evtl. den Einsatz von Computerwerkzeugen in Prüfungen nicht.

10 Im Computerraum hat evtl. nicht jeder Schüler einen eigenen Arbeitsplatz für die Prüfung zur Verfügung, weil es nicht genügend Rechner gibt.

11 In Prüfungen sollen evtl. mathematische Grundfähigkeiten gezeigt werden, die (hoffentlich) unabhängig von der Verfügbarkeit von Computerwerkzeugen vorhanden sind.

12 Mit dem Oberbegriff „Dreiecksgrundformen“ werden die grundlegenden Begriffen „gleichschenkliges“, „gleichseitiges“, „rechtwinkliges“, „spitzwinkliges“ und „stumpfwinkliges Dreieck“ zusammengefasst.

In: Kortenkamp, Ulrich; Weigand, Hans-Georg; Weth, Thomas (Hrsg.): Computerwerkzeuge und Prüfungen. Bericht über die 24. Arbeitstagung des Arbeitskreises "Mathematikunterricht und Informatik" in der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik e. V. vom 22. bis 24. September 2006 in Soest, Verlag Franzbecker, Hildesheim, 2010, S. 79-93

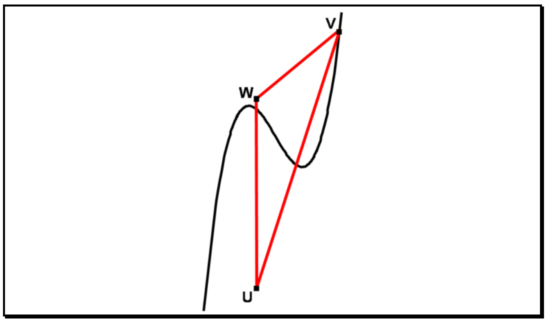

Abb. 1: Abbildung zur Beispielaufgabe „Nutzung von mit Computerwerkzeugen gewonnenen Erkenntnissen“

Im Vorfeld haben die Schülerinnen und Schüler in einer Unterrichtssequenz in Partnerarbeit selbstständig an dynamischen Arbeitsblättern gearbeitet, die auf DynaGeoX-Applets basieren (vgl. Abb. 2 und Abb. 3).[13] In den ersten Arbeitsblättern ist jeweils ein Dreieck ΔABC mit fester Seite [AB] vorgegeben und der Eckpunkt C kann frei in der Zeichenebene bewegt werden. Variiert man die Lage von C, dann verändert sich die Form des Dreiecks ΔABC. Im ersten dynamischen Arbeitsblatt (vgl. Abb. 2) soll der Punkt C z. B. so bewegt werden, dass das Dreieck ΔABC immer gleichschenklig bleibt. Ziel ist es letztlich, Ortslinien für die möglichen Lagen von C zu erarbeiten. Analog wird für weitere Dreiecksgrundformen vorgegangen. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Erarbeitung kann der Abb. 3 entnommen werden.

Erkenntnisse aus dieser Unterrichtssequenz, bei deren Erarbeitung die dynamischen Möglichkeiten des Computerwerkzeugs (hier ein DGS) eine zentrale Rolle gespielt haben, sind zur Bearbeitung der Prüfungsaufgabe zwingend erforderlich.

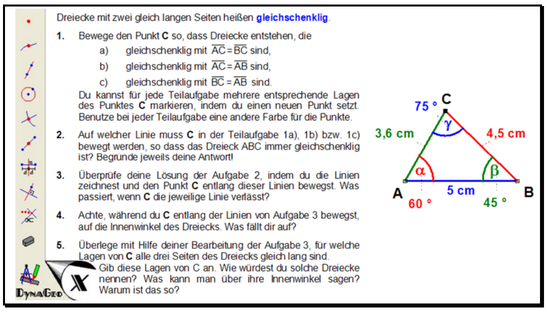

Abb. 2: Dyn. Arbeitsblatt zur Unterrichtssequenz: Entdeckende Übung zu gleichschenkligen Dreiecken bei einer festgehaltenen Dreiecksseite (hier [AB])

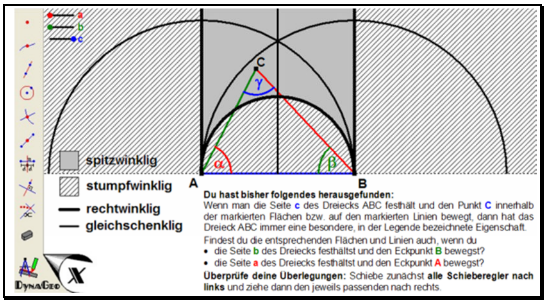

Abb. 3: Dyn. Arbeitsblatt zur Unterrichtssequenz: Überblick über die Dreiecksgrundformen bei einer festgehaltenen Dreiecksseite

Bildschirmausgaben von Computerwerkzeugen interpretieren

Um mit einem Computerwerkzeug sinnvoll arbeiten und mathematische Problemstellungen bewältigen zu können ist es unabdingbar, Bildschirmausgaben des Werkzeugs geeignet interpretieren zu können. Dazu sind u. a. mathematische Grundfähigkeiten wie etwa das Erkennen von Termstrukturen oder die Fähigkeit zur Analyse einer geometrischen Konfiguration notwendig. Folgende Beispiele sollen diesen Aufgabentyp illustrieren.

> Erkläre den Bildschirmausdruck [in Abb. 4]. Es ist günstig, eine Zeile nach der anderen genau zu erklären.
> (Dreeßen-Meyer & Reiß, 2006, S. 51)

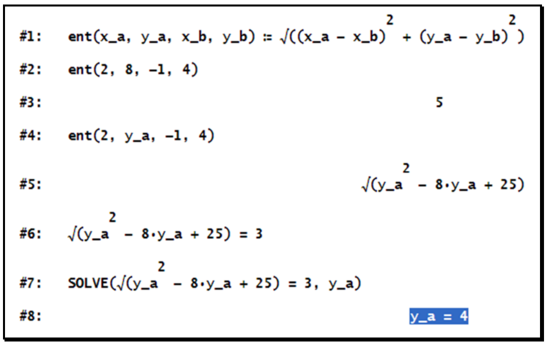

Abb. 4: Interpretieren der Bildschirmausgabe (1)

> Peter hat den Term
> $$\frac{\left(\frac{3a^{-2}b^{4}}{4ab^{-2}}\right)^{2p}}{\left(\frac{2b^{-4}}{3a^{-2}}\right)^{-3p}}$$
> zu $\left(\frac{1}{6}\right)^{p}$ vereinfacht. Mit Derive überprüft er sein Ergebnis und erhält die in Abb. 5 dargestellte Bildschirmausgabe. Erläutere, wie Peter damit umgehen sollte.[14]

[13] Die dynamische Arbeitsblätter können unter der Adresse http://www.juergen-roth.de/dynageo/dreiecksgrundformen/ online bearbeitet und heruntergeladen werden. Eine ausführliche Darstellung der Konzeption der zugehörigen Unterrichtssequenz findet man in (Roth, 2006a).

[14] Es handelt sich um die Modifizierung einer Idee aus (Weigand, 2006, S. 104f).

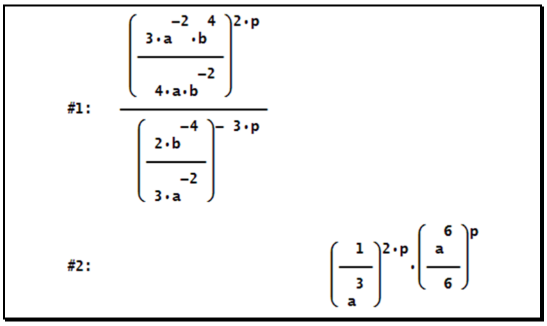

Abb. 5: Interpretieren der Bildschirmausgabe (2)

Beschreiben von (mehreren) Lösungsstrategien zu einem konkreten Problem mit einem Computerwerkzeug

Ein Vorteil der Nutzung von Computerwerkzeugen kann die Vielfalt der Lösungswege sein, die mit ihrer Hilfe ermöglicht werden. Die Schülerinnen und Schüler können sich selbst für einen Lösungsweg entscheiden, andererseits ist nicht immer jeder mögliche Lösungsweg gleich gut geeignet. Es sollten also verschieden Lösungsmöglichkeiten bekannt sein. Ein sehr einfaches Beispiel[15] soll dieses Aufgabenformat illustrieren:

> Beschreibe drei Möglichkeiten wie du mit Computerwerkzeugen die Schnittstellen des Graphen der Funktion
>
> $$f\colon x \mapsto \frac{1}{2}\cdot(x-12)^4-5$$
>
> mit den Koordinatenachsen bestimmen kannst.

4.3.2 Unterricht und Prüfung mit CW

Auch dann, wenn Computerwerkzeuge in Prüfungen zugelassen sind, gibt es eine große Bandbreite an Möglichkeiten, diese Tatsache in der Art der Aufgabenstellung zu berücksichtigen. Bei der folgenden exemplarischen Auflistung von Möglichkeiten ist zu beachten, dass die einzelnen „Aufgabentypen“ nicht scharf voneinander abgrenzbar sind.

Könnten auch ohne CW gestellt werden

Die Aufgaben unterscheiden sich nicht von solchen in Prüfungen ohne Computerwerkzeuge. Manchmal besteht ein Unterschied darin, dass die Aufgaben mit CW etwas komplexer sind oder explizit die Nutzung des Computerwerkzeugs als Kontrollinstanz fordern.[16] Diese Aufgaben scheinen zurzeit bei herkömmlichen Klassenarbeiten mit CW eher die Regel zu sein.[17]

Aufgaben mit Schwerpunkt auf dem Analysieren und Argumentieren

Computerwerkzeuge eröffnen u. a. die Möglichkeit Konfigurationen dynamisch zu variieren. Dies kann einerseits als heuristisches Hilfsmittel beim Problemlösen eingesetzt werden und entlastet andererseits von kalkülbasiertem Arbeiten. Auf diese Weise wird es (auch für Prüfungen) einfacher möglich, den Schwerpunkt von Aufgaben hin zum Analysieren und Argumentieren zu verschieben. Folgendes Beispiel soll dieses Aufgabenformat illustrieren:

> Finde mit Hilfe der DGS-Datei (vgl. Abb. 6) heraus, wo der Umkreismittelpunkt bei spitzwinkligen, stumpfwinkligen und rechtwinkligen Dreiecken liegt und begründe dies jeweils.[18]

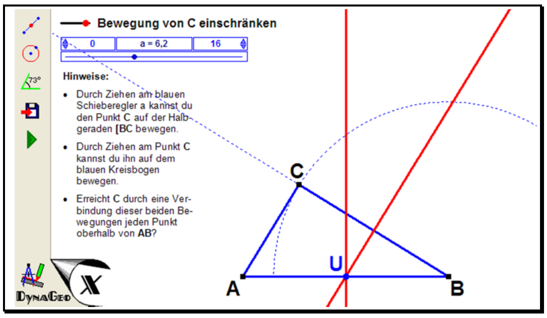

Abb. 6: Lage des Umkreismittelpunkts – Aufgabe mit Schwerpunkt auf dem Analysieren und Argumentieren

In einer DGS-Datei ist die Bewegungsmöglichkeit des Punktes C auf zwei Teilbewegungen eingeschränkt.[19] Der Punkt C kann auf

- der Halbgeraden [BC (Änderung der Länge von [BC]) und

---

15 Variation einer Aufgabe aus Weigand (2006, S. 103)

16 Um ein Computerwerkzeug als Kontrollinstanz verwenden zu können, muss man über Werkzeugkompetenz aber auch mathematische Grundfähigkeiten wie das Erkennen von Termstrukturen oder die Fähigkeit zur Analyse einer geometrischen Konfiguration verfügen.

17 Vgl. Weigand (2006, S. 102)

18 Die zugehörige DGS-Datei und Lösungshinweise zur Aufgabe findet man im Internet unter folgender Adresse: http://juergen-roth.de/dynageo/dreieck/umkreismittelpunkt.html

19 Büchter & Leuders (2005) unterscheiden zwischen „Aufgaben zum Lernen“ und „Aufgaben zum Leisten“. Wäre diese Aufgabe in einem Lernkontext gestellt worden, so wäre der Punkt C (zunächst) völlig frei beweglich gewesen. Im Kontext einer Klassenarbeit ist es aber erforderlich, die Offenheit ein Stück weit einzuschränken und den Schülerinnen und Schülern so einen Einstieg in die Analyse der Situation zu ermöglichen.

In: Kortenkamp, Ulrich; Weigand, Hans-Georg; Weth, Thomas (Hrsg.): Computerwerkzeuge und Prüfungen. Bericht über die 24. Arbeitstagung des Arbeitskreises "Mathematikunterricht und Informatik" in der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik e. V. vom 22. bis 24. September 2006 in Soest, Verlag Franzbecker, Hildesheim, 2010, S. 79-93

- dem Kreis $k(B;\overline{BC})$ (Änderung der Richtung der Halbgeraden [BC)

bewegt werden. Diese Bewegungen lassen sich durchführen und in ihren Auswirkungen auf die Lagen der Mittelsenkrechten der Dreiecksseiten und die Dreiecksform analysieren. Auf dieser Grundlage kann argumentiert werden, wo der Umkreismittelpunkt jeweils liegen muss.[20]

Problemlöseaufgaben

Was ist mit „Problemlöseaufgaben“ gemeint? Es handelt sich um Aufgaben, bei denen kein Lösungsverfahren zur Verfügung steht bzw. offensichtlich ist und die offen sind für verschiedene Herangehensweisen und Lösungswege. Der Einsatz von Computerwerkzeugen ermöglicht es, solche Aufgaben auch in Prüfungssituationen zu stellen, weil evtl. erforderliche Rechnungen bzw. Kalkülabarbeitungen an das Werkzeug delegiert werden können. Als Beispiel kann folgende Aufgabe dienen:[21]

> Suche nach Aussagen, aus denen du folgern kannst, dass die Funktion
>
> $$f\colon x \mapsto \frac{6}{5}(x-1)\cdot\cos(x)-\frac{6}{5}\sin(x)+\frac{1}{3}x^3-\frac{1}{2}x^2$$
>
> genau vier Extremstellen besitzt.

Ohne Computerwerkzeug kann es leicht passieren, dass eine derartige Aufgabe in einer „Kalkülschlacht“ endet, ohne dass wirklich heuristische Strategien angewendet werden oder die Aufgabe inhaltlich reflektiert wird.

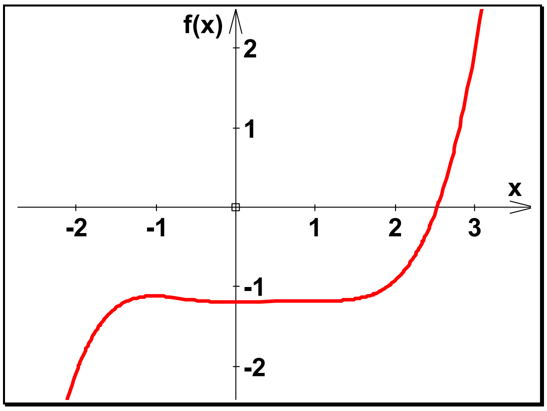

Abb. 7: Problemlöseaufgabe: Funktionsgraph

Mit einem Computerwerkzeug (hier etwa einem CAS wie Derive) lässt sich die Problemstellung ausloten, indem z. B. der Graph der Funktion ausgegeben wird (vgl. Abb. 7) und die Ableitung sowie deren Nullstellen bestimmt werden (vgl. Abb. 8).

#1: $f(x) :\!= \frac{6}{5}\cdot(x-1)\cdot\mathrm{COS}(x) - \frac{6}{5}\cdot\mathrm{SIN}(x) + \frac{1}{3}\cdot x^3 - \frac{1}{2}\cdot x^2$

#2: $\frac{d}{dx}\, f(x)$

#3: $\frac{6\cdot(1-x)\cdot\mathrm{SIN}(x)}{5} + x^2 - x$

#4: $\frac{(1-x)\cdot(6\cdot\mathrm{SIN}(x) - 5\cdot x)}{5}$

#5: $\frac{(1-x)\cdot(6\cdot\mathrm{SIN}(x) - 5\cdot x)}{5} = 0$

#6: $\mathrm{SOLVE}\left(\frac{(1-x)\cdot(6\cdot\mathrm{SIN}(x) - 5\cdot x)}{5} = 0,\ x\right)$

#7: $6\cdot\mathrm{SIN}(x) - 5\cdot x = 0 \vee x = 1$

Abb. 8: Problemlöseaufgabe: Problemstellung ausloten

Mit diesen Ausgaben des Computerwerkzeugs konfrontiert beginnt nun das eigentliche Problemlösen …

Es lassen sich prinzipiell auch Umweltbezüge in Problemlöseaufgaben in Prüfungen integrieren, was zu Modellierungen führen würde. Allerdings ist es nicht ganz leicht derartige Aufgaben so zu stellen, dass sie noch innerhalb einer Klassenarbeit vollständig bearbeitet werden können.

4.4 Prüfungsformen beim Einsatz von CW

Prüfungen ausschließlich mit „Papier und Bleistift“ durchführen zu lassen ist beim Einsatz von Computerwerkzeugen im Unterricht zumindest unbefriedigend. Ridgway, McCusker & Pead (2004) geben hierzu folgendes zu bedenken:

> A complete reliance on paper-based assessment has a number of drawbacks; first is that such assessments are increasingly ‘inauthentic’ as classroom and professional practices embrace ICT. Second is that such assessments constrain progress, and have a negative effect on students who have to learn (just for the exam) how to do things on paper that are done far more effectively with ICT. A third major constraint is that current innovative suggestions for curriculum reform, which rely on student portfolios for their implementation, will be impossible to manage on a large scale without extensive use of ICT. (Ridgway, McCusker, & Pead, 2004, S. 28)

Sollen Computerwerkzeuge aber in Prüfungen eingesetzt werden, so muss man sich

---

[20] Hinweise zu einer möglichen argumentativen Lösung des Problems findet man unter folgender Internetadresse: http://juergen-roth.de/dynageo/dreieck/umkreismittelpunkt.html

[21] Es handelt sich um eine leichte Variation einer Aufgabe aus (Büchter & Leuders, 2005, S. 38-40).

neben der Art der Aufgabenstellung auch Gedanken über die Prüfungsformen machen. Einerseits besteht die Möglichkeit, wie bisher Klassenarbeiten zu schreiben und diese den veränderten Gegebenheiten anzupassen. Dies ist nahe am Gewohnten und damit relativ leicht umsetzbar, hat allerdings den großen Nachteil der deutlichen zeitlichen Begrenzung. Gerade Aufgabenstellungen, zu deren Lösung Computerwerkzeuge ihr volles Potential ausspielen können, lassen sich aber nicht in wenigen Minuten vollständig bearbeiten. Es geht hier um echte mathematische Betätigung, die auch unabhängig vom Einsatz von Computerwerkzeugen insbesondere der Muße bedarf. Folglich wird es notwendig auch über (zusätzliche) alternative Prüfungsformen nachzudenken, bei denen diese zeitliche Begrenzung nicht im gleichen Ausmaß gegeben ist.

4.4.1 Klassenarbeiten

Mögliche Organisationsformen von Klassenarbeiten im Zusammenhang mit der Zulassung von Computerwerkzeugen werden z. B. in (Reimer, 1999), (Heugl, 2000), (Herget, Heugl, Kutzler, & Lehmann, 2001), (Brown, 2003), (Wurnig, 2001) und (Wurnig, 2004) angesprochen bzw. beschrieben.[22] Im Folgenden sollen einige der dort genannten Aspekte zusammengestellt werden:

Kurze Tests

Hier werden Grundwissen sowie grundlegende Fähigkeiten und Fertigkeiten geprüft. Dabei wird die Nutzung von Computerwerkzeugen in der Regel nicht zugelassen, da diese Aspekte auch ohne Computerwerkzeuge verfügbar sein sollten.[23] Entsprechend erfolgt die Dokumentation auch mit „Papier und Bleistift“. Der zeitliche Umfang dieser Tests beträgt etwa 15 bis 30 Minuten.

Zweigeteilte Prüfungen

Hier wird die Hälfte[24] der Prüfung mit und die andere Hälfte der Prüfung ohne Computerwerkzeug geschrieben. Ein Hauptgrund für diese Art der Prüfung ist, dass sehr viele Computerräume immer noch nur über ca. 16 PC-Arbeitsplätze verfügen, die Klassengrößen sich aber in der Regel bei ca. 30 Schülerinnen und Schülern bewegen.[25] Bei dieser Prüfungsform hat jeweils eine Hälfte der Klasse einen PC für sich alleine zur Verfügung, während die andere Hälfte den „Papier und Bleistift“-Teil der Prüfung bearbeitet. Nach der Hälfte der Arbeitszeit geben beide Teilgruppen ihre bis dahin erstellten Bearbeitungen ab und bearbeiten anschließend den jeweils anderen Teil der Aufgaben. Bei der Dokumentation des Prüfungsteils mit Computerwerkzeug bestehen alle Möglichkeiten der Dokumentation der Lösungen. Sie kann nur auf Papier, auf Papier und in einer CW-Datei oder nur in Form einer (bzw. mehrerer) CW-Datei erfolgen. Der zeitliche Umfang entspricht hier dem von herkömmlichen Klassenarbeiten.

Problemlöseprüfungen

In dieser Prüfungsform werden Fähigkeiten aus den Bereichen Problemlösen, Argumentieren, Interpretieren und Verbindungen mehrerer Grundfähigkeiten verlangt. Es geht dabei um das Anwenden von mathematischen Kenntnissen und Fähigkeiten auf neue bisher nicht geübte Problemstellungen. Häufig wird bei dieser Art der Prüfung nicht nur die Nutzung des (der) eingeführten Computerwerkzeugs(e) grundsätzlich freigestellt, sondern auch der Zugriff auf bisher erstellte CW-Dateien und sonstige Unterlagen erlaubt. Auch hier muss wieder die Frage der Dokumentation der Ergebnisse vorab geklärt werden. Der zeitliche Umfang dieser Tests beträgt etwa 100 bis 240 Minuten.[26]

4.4.2 Alternative Prüfungsformen

Zur Frage, warum man im Zusammenhang mit dem Einsatz von Computerwerkzeugen auch über andere Prüfungsformen als die üb-

22 Die zitieren Aufsätze beziehen sich alle auf den Einsatz von Computeralgebrasystemen in Prüfungen der Sekundarstufe II bzw. ihrer Entsprechung im jeweiligen Bildungssystem. Obwohl viele Ergebnisse und Vorschläge problemlos auch auf die Sekundarstufe I und andere Computerwerkzeuge übertragbar sind wird dabei trotzdem deutlich, dass diesbezügliche Unterrichtsversuche und Forschungsansätze die Sekundarstufe I und andere Computerwerkzeuge außer CAS sträflich vernachlässigen. Auch die Mehrheit der Vorträge dieser Tagung bestätigt diese Einschätzung.

23 Es wird aber auch berichtet, dass Computerwerkzeuge dann in kurzen Tests zugelassen werden, wenn es darum geht Fähigkeiten und Fertigkeiten im Umgang mit dem Computerwerkzeug abzuprüfen.

24 Die Hälfte bezieht sich hier auf die zur Verfügung stehende Arbeitszeit.

25 Vgl. hierzu Abschnitt 4.2.

26 Falls diese lange Prüfungszeit für den realen Schulalltag unrealistisch und nicht durchführbar erscheint, sei darauf verwiesen, dass etwa im Fach Deutsch dieser Zeitrahmen für Klassenarbeiten seit vielen Jahren durchaus üblich ist.

In: Kortenkamp, Ulrich; Weigand, Hans-Georg; Weth, Thomas (Hrsg.): Computerwerkzeuge und Prüfungen. Bericht über die 24. Arbeitstagung des Arbeitskreises "Mathematikunterricht und Informatik" in der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik e. V. vom 22. bis 24. September 2006 in Soest, Verlag Franzbecker, Hildesheim, 2010, S. 79-93

lichen Klassenarbeiten nachdenken sollte, schreibt Koller mit Blick auf das in Baden-Württemberg durchgeführte Notebook-Projekt PIMOKL:

> Besonderer Aufmerksamkeit bedürfen die Ergebnissicherung und die Leistungsmessung. (…) Bei Leistungstests mit dem Rechner (…) verlagert sich der Schwerpunkt hin zu problemorientierten Aufgaben. Kreativität und experimentelles Herantasten an Lösungswege lassen sich jedoch nur schwer in ein vorgegebenes Zeitraster zwängen. Deshalb werden auch neue Formen der Leistungsmessung wie Wochenarbeit, Schülerreferat oder Kolloquium erprobt. (Koller, 1998, S. 11)

Der letzte Satz des Zitats von Koller und auch eine ganze Reihe von weiteren Veröffentlichungen die das Thema „Alternative Prüfungsformen“ ansprechen, verdeutlichen, dass zwar der Bedarf an neuen Konzepten gesehen wird, es aber noch keine ausgereiften Vorschläge zu diesem Thema gibt. Hier eröffnet sich ein weites Feld für mathematikdidaktische Entwicklungs- und empirische Forschungsarbeit. Einige exemplarische Denkanstöße für entsprechende Entwicklungen werden im Folgenden kurz zusammengestellt:

Forschungshefte

Die Frage, wie eine Prozessevaluation von Lern- und Arbeitswegen zu der bisher hauptsächlich durchgeführten Evaluation und Benotung von Schülerprodukten treten kann, ist auch und vielleicht gerade im Zusammenhang mit dem Einsatz von Computerwerkzeugen zu beantworten.
Hußmann (2003, S. 39ff) schlägt vor, die Schülerinnen und Schüler Forschungshefte führen zu lassen. Hier werden jeweils individuell die Fragestellung bzw. das Problem, erste Überlegungen, das tatsächliche Vorgehen, Verallgemeinerungen, Anmerkungen u. ä. notiert. Zwar können und sollen diese Forschungshefte natürlich auch zur Bewertung herangezogen werden, hier ist aber, wie Hußmann betont, ein behutsames Vorgehen notwendig, da Forschungshefte sehr persönliche Dokumente sind.

Schriftliche Gruppentests

Werden Computerwerkzeuge im Mathematikunterricht eingesetzt, so vergrößert sich durch die Nutzung des neuen Experten „Computerwerkzeug“ der Anteil an kooperativen Lern- und Arbeitsphasen.

> Using the new expert […] students more often are working in pairs or groups often sharing their tasks, discussing mathematical problems, exploring mathematical themes together. This cooperative way of learning needs a suitable method of measuring students’ abilities and competence. (Heugl, 2000, S. 22)

Um diesen Aspekts des Unterrichts auch in Prüfungen widerzuspiegeln wurden im österreichischen „CA Projekt III“ schriftliche Gruppentests erprobt. Dabei wurden Prüfungsaufgaben in Gruppen schriftlich bearbeitet.

> Entscheidend für die Validität dieser Leistungsmessung ist, ob es gelingt, nicht nur die Gruppenkompetenz, sondern auch die Einzelkompetenzen zu messen. Als Regel gilt, dass für eine positive Note weder die Einzel- noch die Gruppenkompetenz negativ beurteilt sein darf. (Wurnig, 2004, S. 618)

Diese Prüfungsform wurde von Schülerinnen und Schülern mehrheitlich befürwortet, während die beteiligten Lehrkräfte sie durchweg ablehnten. Letzteres lässt sich wahrscheinlich auf die Problematik der individuellen Leistungsbeurteilung im Zusammenhang mit diesen Tests zurückführen, für die offensichtlich noch keine praktikable Lösung gefunden wurde.

Projektarbeit[27]

Ein weiterer Ansatz, um insbesondere problemlösendes Arbeiten in Prüfungen aufnehmen zu können und den Schülerinnen und Schülern dabei die hierzu nötige Muße zu ermöglichen, ist die benotete Projektarbeit. Zu einem mathematischen Thema wird in Einzel- oder Gruppenarbeit im Unterricht und zum größten Teil zuhause eine Ausarbeitung in der Art einer Fach- oder Seminararbeit („term paper“) erstellt. Gruppenarbeit wird besonders in großen Klassen wegen der zeitaufwändigen aber unabdingbaren Präsentation der Ergebnisse vorgeschlagen.

Schülerinnen und Schüler müssen während der Projektarbeit einerseits bereits gelernte Inhalte anwenden, sich andererseits aber auch mit neuen Problemen und Inhalten auseinandersetzen. In die Bewertung gehen dabei folgende Aspekte ein:

> Observation of the learning process: The independent activity, the ideas of the Student, the necessary inputs of the teacher.
>
> Assessment of the results: The quality of the term papers, the quality of the presentation, the competence during the discussion about the results. (Heugl, 2000, S. 21)

27 Vgl. (Heugl, 2000) und (Wurnig, 2004)

Vorteile dieses Prüfungsmodells sieht Heugl u. a. darin, dass

- die Prüfungssituation kein singulärer, oft mit erheblichem Stress für die Schülerinnen und Schüler verbundener Akt mehr ist,
- eine innere Differenzierung möglich ist und
- neben mathematischen auch soziale und methodische Schlüsselqualifikationen in die Bewertung eingehen.

In der Arbeitsgruppe „Alternative Prüfungsformen“[28] wurde ergänzend dazu diskutiert „Gruppenaufgaben“ von kleineren Gruppen mehrere Stunden lang bearbeiten zu lassen. Dabei wird der gesamte Bearbeitungsprozess von zwei Lehrkräften unabhängig von einander anhand eines vorher aufgestellten Bewertungsrasters *prozessbegleitend* beurteilt. Am Ende soll sowohl eine Präsentation der Ergebnisse als auch ein „Arbeitsbericht“ stehen, die beide in die Bewertung mit eingehen.

Die hier aufgeführten Beispiele für alternative Prüfungsformen sollen nur exemplarische Denkanstöße geben. Über konkrete Ausgestaltungen und weitere kreative Ansätze muss sicher noch intensiv diskutiert werden. Unabhängig von der konkreten Prüfungsform sind allerdings einige Punkte grundsätzlich zu beachten:

- Wenn alternative Prüfungsformen von allen Beteiligten ernst genommen werden sollen, dann muss die Gewichtung der dabei erzielten Noten denen von Klassenarbeiten entsprechen.
- Die Schülerinnen und Schüler müssen langsam an die neuen Prüfungsformen herangeführt werden. Derartige Aspekte müssen auch ohne Prüfungssituation im Unterricht vorkommen.
- Bewertungskriterien müssen vorab bekannt, mit den Schülerinnen und Schülern besprochen und transparent sein.

4.5 Zusammenstellung von Chancen die der Einsatz von CW in Prüfungen eröffnet

In Abwandlung eines Diskussionsbeitrags von Schupp[29] lässt sich folgendes konstatieren:

> *Der Einsatz von Computerwerkzeugen in Prüfungen zwingt uns zum Nachdenken über Aspekte von Prüfungen, über die wir auch ohne Computerwerkzeuge längst hätten nachdenken sollen.*

Dazu gehört die Frage, welche Prüfungsformen und welche Aufgabentypen den aktuellen Unterrichtsschwerpunkten und -zielen des Mathematikunterrichts angemessen sind. Damit können Computerwerkzeuge ein Katalysator dafür sein, bestehende Prüfungsformen durch weitere, eher prozessorientierte und mehr Muße für echtes mathematisches Arbeiten ermöglichende zu ergänzen bzw. deren Entwicklung und Konzeption anzustoßen.

Prüfungen haben normierende Wirkung, denn sie vermitteln den Schülerinnen und Schülern (zentrale Prüfungen und Tests auch den Lehrerinnen und Lehrern) implizit, welches mathematische Wissen und welche Fähigkeiten honoriert werden und wie dieses Wissen dargestellt werden soll. Werden geeignete Aufgaben gestellt, so kann der Einsatz von CW in Prüfungen die Wertschätzung von kreativem, produktivem und entdeckendem Arbeiten und eine Verschiebung der Unterrichtsschwerpunkte weg von einer Kalkülorientierung hin zu mehr Analysen, Argumentationen und Problemlösungen initiieren. Das sollte dann auch zu einer reichhaltigeren Unterrichtskultur führen.

All das gilt allerdings nur dann, wenn wir uns wirklich auf den Weg machen und die Weiterentwicklung von Prüfungskonzepten in Angriff nehmen.

Literaturverzeichnis

Baden-Württemberg, L. (2005). *Musterlösung für pädagogische schulische Netzwerke.* Stuttgart, Karlsruhe: Landesmedienzentrum Baden-Württemberg.

Ball, L. (2003). Communication of Mathematical Thinking in Examinations: Features of CAS and Non-CAS Student Written Records for a Common Year 12 Examination. *The International Journal of Computer Algebra in Mathematics Education , 10*, S. 183-194.

Barzel, B., Hußmann, S., & Leuders, T. (2005). *Computer, Internet & Co. im Mathematikunterricht.* Berlin: Cornelsen Scriptor.

Brown, R. (2003). Computer Algebra Systems and Mathematics Examinations: a comparative

[28] Vgl. den Bericht von Christine Bescherer in diesem Tagungsband.

[29] Vgl. (Hischer, 2002, S. 186)

study. *The International Journal of Computer Algebra in Mathematics Education , 10*, S. 155-182.

Büchter, A., & Leuders, T. (2005). *Mathematikaufgaben selbst entwickeln - Lernen fördern – Leistung überprüfen.* Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor.

Dörfler, W. (1991). Der Computer als kognitives Werkzeug und kognitives Medium. In W. Dörfler (Hrsg.), *Computer – Mensch – Mathematik: Beiträge zum 6. Internationalen Symposium zur Didaktik der Mathematik, Universität Klagenfurt, 23.-27.09.1990,* (S. 51-75). Wien: Hölder-Pichler-Tempsky.

Dreeßen-Meyer, G., & Reiß, A. (2006). Mit Bausteinen spielen - Termeigenschaften mit dem Rechner entdecken. *Mathematik lehren* (136), S. 50-51.

Flinn, P. (2003). Adapting “Problems to Prove” for CAS-Permitted Examinations. *The International Journal of Computer Algebra in Mathematics Education* (10), S. 103-121.

Flinn, P. (2003). Using Assessment Principles to Evaluate CAS-Permitted Examinations. *The International Journal of Computer Algebra in Mathematics Education* (10), S. 104-121.

Hagan, C. (2005). Mathematik in Notebook-Klassen der 7. und 8. Jahrgangsstufe. In P. Bender, Herget, Willfried, H.-G. Weigand, & T. Weth (Hrsg.), *WWW und Mathematik - Lehren und Lernen im Internet. Bericht über die 21. Arbeitstagung des Arbeitskreises "Mathematikunterricht und Informatik" in der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik e. V. vom 26. bis 28. September 2003 in Dillingen* (S. 218-224). Hildesheim: Franzbecker.

Herget, W., Heugl, H., Kutzler, B., & Lehmann, E. (2001). Welche handwerklichen Rechenkompetenzen sind im CAS-Zeitalter unverzichtbar? *Der Mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht , 8* (54), S. 458-464.

Heugl, H. (2000). *New emphasis of fundametal algebraic competence and its influence in exam situation.* Abgerufen am 26. Februar 2007 von ACDCA: http://www.acdca.ac.at/kongress/portoroz/p_heugl.htm

Heugl, H., Himmelbauer, T., Klinger, W., & Wegscheider, W. (2005). *Elektronische Lernmedien im Mathematikunterricht (Projekt CA V) - Teil 8 Summary.* Abgerufen am 26. Februar 2007 von ACDCA: http://www.acdca.ac.at/projekt5/08summary.pdf

Hischer, H. (2002). *Mathematikunterricht und Neue Medien – Hintergründe und Begründungen in Fachdidaktischer und fachübergreifender Sicht.* Hildesheim, Berlin: Franzbecker.

Hole, V. (1998). *Erfolgreicher Mathematikunterricht mit dem Computer – Methodische und didaktische Grundfragen in der Sekundarstufe I.* Donauwörth: Auer.

Hußmann, S. (2003). *Mathematik entdecken und erforschen.* Berlin: Cornelsen Verlag.

Koller, D. (1998). *Neue Wege in der Mathematikdidaktik - das mobile Klassenzimmer.* Abgerufen am 26. Februar 2007 von Pilotprojekt Mobiles Klassenzimmer: http://www.lehrer.uni-karlsruhe.de/~za122/mathe/mathepim3.html

Macintyre, T., & Forbes, I. (2002). Algebraic Skills and CAS – Could Assessment Sabotage the Potential? *The International Journal of Computer Algebra in Mathematics Education* (Vol 9), S. 29-56.

Meyer, J. (2005). Zu den Zielen des Mathematikunterrichts. *Der Mathematikunterricht , 2-3* (51), S. 58-69.

NCTM. (2000). *Principles and Standards for School Mathematics.* Reston: National Council of Teachers of Mathematics.

Reimer, R. (1999). *PIMOKL/CASIMU: Abschlussbericht über den Projektunterricht in der Sekundarstufe II in den Schuljahren 1996/97, 1997/98 und 1998/99.* Abgerufen am 26. Februar 2007 von Pilotprojekt Mobiles Klassenzimmer: http://www.lehrer.uni-karlsruhe.de/~za242/casimu/Bericht99/Abschluss-Bericht99.html

Ridgway, J., McCusker, S., & Pead, D. (2004). *Literature Review of E-assessment.* Bristol: Futurelab.

Roth, J. (2006a). Dreiecksgrundformen – Horizonterweiterung durch operatives, entdeckendes und produktives Üben. *Praxis der Mathematik in der Schule , 12* (48. Jg.), S. 21-25.

Roth, J. (2006b). Dynamik von DGS - Wozu und wie sollte man sie nutzen? In U. Kortenkamp, H.-G. Weigand, & T. Weth (Hrsg.), *Informatische Ideen im Mathematikunterricht. Bericht über die 23. Arbeitstagung des Arbeitskreises "Mathematikunterricht und Informatik" in der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik e. V. vom 23. bis 25. September 2005 in Dillingen an der Donau.* Hildesheim: Verlag Franzbecker.

Weigand, H.-G. (2006). Der Einsatz eines Taschencomputers in der 10. Jahrgangsstufe – Evaluation eines einjährigen Schulversuchs. *Journal für Mathematik-Didaktik , 2* (27), S. 89-112.

Weigand, H.-G., & Weth, T. (2002). *Computer im Mathematikunterricht – Neue Wege zu alten Zielen.* Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.

Wurnig, O. (2001). *A summary about the experiences how to integrate personal computers and hand computers (TI-89/92) in Mathematical Education in Austria.* Abgerufen am 1. März 2007 von ACDCA: http://www.acdca.ac.at/material/vortrag/sci2001.htm

Wurnig, O. (2004). Neue Modelle zur Leistungsbeurteilung im CAS-integrierten Mathematikunterricht - Erfahrungen aus den CA-Projekten. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2004* (S. 617-620). Hildesheim: Franzbecker.