

Silke LADEL, Universität des Saarlands

„Garantierter Lernerfolg“ oder „Digitale Demenz“? Zum frühen Lernen von Mathematik mit digitalen Medien

1. Zur Tradition des Kulturpessimismus

Seit es digitale Medien gibt und die Schulbuchverlage und Computer-Hersteller diese für sich entdeckt haben gibt es Erfolgs-Versprechungen. 2005 ging Günter Krauthausen bereits darauf ein. Er erwähnt eine Software aus den 90er-Jahren, die „*Versetzungsgarantie*“ verspricht, eine 2003 erschienene „*Software mit Lerngarantie*“. Und auch heute noch versprechen Online-Programme „*bessere Noten in 15 Minuten*“. Genau die gegensätzliche Position wird u.a. durch Spitzer vertreten, der auf die Gefahren digitaler Medien aufmerksam macht. Spitzer kritisiert die digitalen Medien und schreibt, „*dass das Bewusstsein, Sachverhalte jederzeit im Netz finden zu können, die Speicherung im Gehirn verhindert: Wer mit der Einstellung „Ich kann das jederzeit googeln“ ins Netz geht, der wird, [...] solches Expertenwissen in weitaus geringerem Maß erlernen als jemand, der nicht mit dieser Einstellung [...] unterwegs ist.*“ (Spitzer 2012, S. 212). Ebenso wie Spitzer heute behauptet, dass die ständige Verfügbarkeit des Internets und das Nachlesen darin die Speicherung im Gehirn verhindern würde, behauptete Platon in einem fiktiven Dialog zwischen Sokrates und dessen Schüler Phaidros, dass die ständige Verfügbarkeit von Büchern und das Nachlesen darin zu einem Verlust des Erinnerns führen würde und das Buch lediglich als externer Speicher bzw. externes Gedächtnis diene: „*Denn Vergessenheit wird dieses in den Seelen derer, die es kennenlernen, herbeiführen, durch Vernachlässigung des Erinnerns, sofern sie nun im Vertrauen auf die Schrift von außen her mittelst fremder Zeichen nicht von innen her aus sich selbst, das Erinnern schöpfen. Nicht also für das Erinnern, sondern für das Gedächtnis hast du ein Hilfsmittel erfunden.*“ (Platon ca. 370 v. Chr.). Die Kritik Platons ist insofern verständlich, dass Schrift häufig nicht reflektiert, sondern einfach nur wiedergegeben wird. Man muss sich jedoch die Frage stellen, was durch die Schrift überhaupt erst alles ermöglicht wird. Schrift ist also nicht per se ein schlechtes Medium - ebenso wenig wie auch digitale Medien per se schlecht sind. Inhaltlich sind die beiden Zitate von Spitzer und Platon vergleichbar, die Kritik an Medien ist nichts Neues. Der Kulturpessimismus hat eine gewisse Tradition.

Garantierter Lernerfolg oder digitale Demenz? Ist das die richtige Frage? Können wir das überhaupt so pauschal beantworten oder müssen wir den Einsatz digitaler Medien nicht vielmehr differenziert betrachten?

2. Artefact-Centric Activity Theory

Der Einsatz digitaler Medien im Mathematikunterricht der Grundschule ist ein sehr komplexes Thema. Eine Hilfe dabei die richtigen Fragen zu stellen bietet die Activity Theory (vgl. Leontjew 1978, Engeström 1987). Die Wurzeln der Activity Theory gehen zurück in die UdSSR der 1920er Jahre und eine Arbeitsgruppe von Psychologen um Vygotski und Leontjew. Darin sind die Subjekte - bei uns die Schüler - aktive Handlungsträger. Menschliche Tätigkeit zeichnet sich dadurch aus, dass sie bewusst durchgeführt wird, in einem bewussten Verhältnis gegenüber der Umwelt. Auslöser einer Tätigkeit ist demnach immer der bildungsbedürftige und darum selbsttätige Mensch. Die Handlungen oder Tätigkeiten finden nicht losgelöst von allem andern statt, sondern haben immer eine bestimmte Gegenständlichkeit, ein Objekt. Diese gegenständliche Tätigkeit beschreibt ein zentrales Prinzip der Activity Theory. Tätigkeiten sind objektorientiert und ergeben sich aus den Bedürfnissen der Subjekte. Diese Bedürfnisse werden von den Subjekten in Interaktion mit dem Objekt befriedigt. Die Tätigkeit ist also ein „Prozeß, in dem die wechselseitigen Übergänge zwischen den Polen „Subjekt - Objekt“ verwirklicht werden“ (Leontjew 1987, S. 83).

Nun gibt es immer zwei Facetten des Objekts. Zum einen existiert es unabhängig von anderen Dingen, sich selbst untergeordnet und spiegelt die Tätigkeit des Schülers wider. Zum andern existiert es als ein Bild des Objekts, als ein Produkt seiner Eigenschaften, das als Tätigkeit des Schülers realisiert wird und anders nicht existieren kann. So existiert beispielsweise die Addition an sich, unabhängig vom Schüler, sie ist einfach da. Die Addition existiert aber auch im Bewusstsein des Schülers, der bestimmte Vorstellungen von der Addition hat. Diese beiden Facetten des Objekts stimmen nicht immer notwendigerweise überein. Sie sind in der sich entwickelnden Subjekt-Objekt-Interaktion über die Tätigkeit miteinander verbunden. Ob ein Schüler beispielsweise ein mathematisches Problem lösen kann oder nicht, hängt zum einen von der Aufgabe und ihrem Schwierigkeitsgrad ab zum andern aber auch von den Fähigkeiten und Fertigkeiten des Schülers. Während also die Fähigkeiten und Fertigkeiten einer Person Einfluss darauf haben, wie diese Person das mathematische Problem löst, beeinflusst die Tätigkeit des Lösens mathematischer Probleme die Fähigkeiten und Fertigkeiten dieser Person. Und so ist auch die Activity Theory als ein klares Gegengewicht zur Klassifikation von Aufgaben (wie z.B. bei PISA) zu sehen, in der Schwierigkeitsgrade ohne Einbeziehung der aktuellen Schülerkompetenz angegeben werden.

Die Konzepte der Internalisierung und Externalisierung beziehen sich auf die Prozesse der gegenseitigen Transformationen zwischen internen und

externen Komponenten einer Tätigkeit. Bei diesen Tätigkeiten bedient sich das Subjekt bestimmter Werkzeuge (vgl. „*Instrumental Act*“ von Vygotsky 1930). Anstelle der direkten Interaktion des Subjekts mit dem Objekt, interagiert es nun über das Werkzeug. Die Tätigkeiten führen zu demselben Ergebnis, aber über einen anderen Weg. Der Gebrauch eines Werkzeugs bringt Veränderungen in der Interaktion mit sich. Das Werkzeug birgt neue Möglichkeiten, manche der vorherigen Prozesse werden unnötig, da sie vom Werkzeug übernommen werden. Das verändert auch den Ablauf der Tätigkeit, z.B. die Intensität oder Dauer der Prozesse. Dieser *instrumental act*, der einen einfachen Prozess durch einen komplexen, vermittelnden Prozess ersetzt ist zentrales Element der Theorien, die auf der Activity Theory basieren. Eine Tätigkeit wird also im Wesentlichen durch das Subjekt, dem Objekt und dem Werkzeug bestimmt. So kann ein Kind zu Beginn häufig seine Finger zum Rechnen benutzen. Benötigt es diese nicht mehr, so sind die Finger redundant geworden. Die externen Komponenten werden intern - das ist der Prozess der Internalisierung. An dieser Stelle sei auch auf Galperin (1992) hingewiesen, der diesen Prozess der Internalisierung praktisch-gegenständlicher Tätigkeit in geistige Tätigkeit in dem Konzept der „Etappenweisen Ausbildung geistiger Handlungen“ lern- und lehrstrategisch umsetzt. Auf der anderen Seite muss das Kind seine interne Komponente externalisieren. Dies tut es z.B. indem es seine Finger nutzt. Die Finger stellen in diesem Fall das Werkzeug dar, das als Mediator zwischen Subjekt und Objekt fungiert. Technologien wie der Computer sind dementsprechend auch nicht das Ziel, sondern lediglich das vermittelnde Artefakt! Die Schüler interagieren nicht dem Computer, sondern *über* bzw. mit Hilfe des Computers mit der Welt.

In den 1980er Jahren hat der finnische Bildungswissenschaftler Engeström eine Activity Theory vorgeschlagen, die auf Leontievs Gerüst aufbaute, und welche die Basis der Artefact-Centric Activity Theory (vgl. Ladel & Kortenkamp 2011, 2013) darstellt. Darin ist das vermittelnde Artefakt ins Zentrum gerückt (s. Abb. 1).

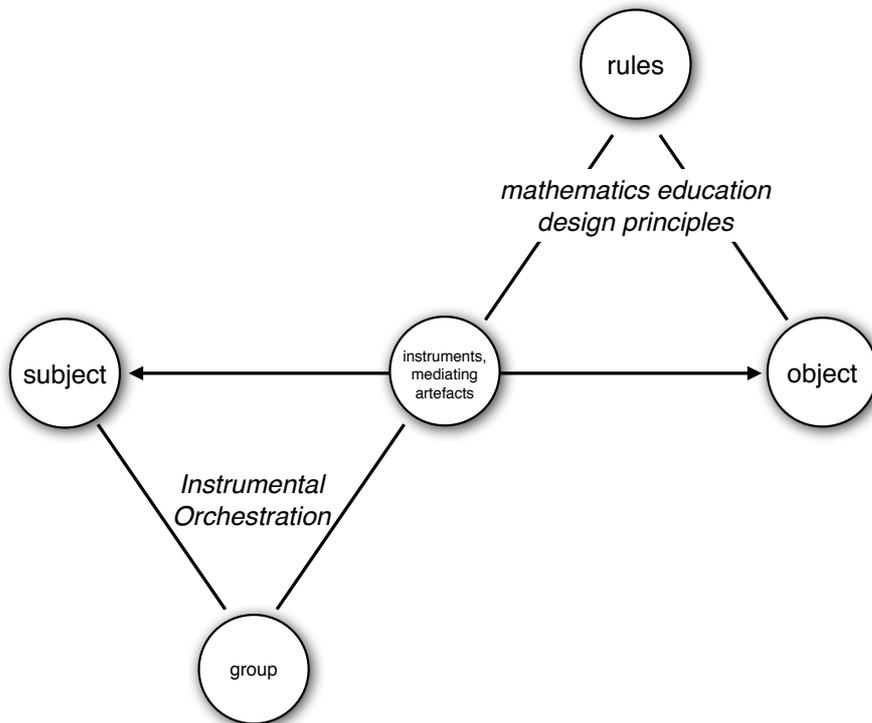


Abbildung 1: Artefact-Centric Activity Theory (ACAT)

Das vorherige Dreieck Subjekt - Objekt - Artefakt bildet die Hauptachse in ACAT. Das Subjekt interagiert über das Artefakt mit dem Objekt. Auf der rechten Seite liegt schwerpunktmäßig die Gestaltung des Artefakts. Die Gestaltung der Bildschirmoberfläche und die Handhabung ist für ein effektives Lehren und Lernen von entscheidender Bedeutung. Dabei sind bestimmte Regeln zu beachten, die sich u.a. aus dem Objekt, der Mathematik, an sich ergeben, aber auch aus unserem Wissen über mathematische Lehr- und Lernprozesse oder beispielsweise aus Gestaltungsprinzipien des multimedialen Lernens. Wenn wir also virtuelle Arbeitsmittel gestalten, sollten diese z.B. aufgrund unseres dezimalen Stellenwertsystems so gestaltet sein, dass die 10er-Bündelung hervorgehoben wird. Das ist ein Aspekt, der sich eher vom Objekt her ergibt. Unser Wissen über simultane und quasi-simultane Zahlerfassung kommt eher von Seiten des Subjekts und besagt uns außerdem die „Kraft der Fünf“ (vgl. Flexer 1986, Krauthausen 1995) zu beachten. So müssen wir das Wissen aus ganz vielen unterschiedlichen Bezugsdisziplinen bei der Gestaltung des digitalen Artefakte heranziehen. Die linke Seite von ACAT geht auf den Einsatz in der Schule ein. Der Einfluss der Gruppe, welche sich hier auf die jeweilige Klasse bezieht, muss beachtet werden. Dazu zählt auch die Lehrperson, die das Artefakt im Sinne der „Instrumental Orchestration“ (Drijvers et al. 2009) organisiert und in ihrem Unterricht einsetzt. Aktuell finden speziell im Bereich des Collaborative Learning verstärkt Forschungsarbeiten mit digitalen Medien statt, die

untersuchen, welchen Einfluss diese Artefakte auf Gruppenprozesse haben. Auch die „*Zone of proximal development*“ (Vygotsky 1934) ist diesem linken unteren Dreieck zuzuordnen.

Die Activity Theory ist ein methodologisches Werkzeug zum besseren Verständnis des Bewusstseins und der menschlichen Psyche, welches die theoretische Lücke füllt, die bei der rein testbasierten Analyse auftritt. Sie hilft dabei, besser zu verstehen, wie Schüler mit interaktiven Technologien umgehen. Insofern stellt sie keine „Theorie“ im traditionellen Sinn dar, sondern sie hilft Wissenschaftlern und Praktikern sich in komplexen Situationen zurecht zu finden, Schlüsselpunkte zu identifizieren und die Suche nach relevanten Beweisen und passenden Lösungen in die richtige Richtung zu lenken.

3. Virtuelle Arbeitsmittel

3.1 Zur Konstruktion mathematischen Wissens

Bei der Klärung des Begriffs virtuelle Arbeitsmittel stößt man schnell auf den Begriff der virtual manipulatives, der von Moyer et al. definiert wurde als „... *an interactive, Web-based visual representation of dynamic object that presents opportunities for constructing mathematical knowledge*“ (Moyer, Bolyard, & Spikell 2002, S. 373). Die Autoren unterscheiden zwei Arten von virtual manipulatives: statische visuelle Repräsentationen und dynamische. Moyer et al. bezeichnen diese dynamischen virtuellen Materialien als „*truly a virtual manipulative*“ (ebd., S. 184) und fordern, dass die Bezeichnung auf die Art von Materialien beschränkt sein sollte, die Interaktivität ermöglichen. Als weitere Punkte der Definition sei hervorgehoben, dass virtual manipulatives visuelle Darstellungen sind und, dass sie Gelegenheiten bieten mathematisches Wissen zu konstruieren. Es ist demnach von entscheidender Bedeutung, wie die virtuellen Materialien eingesetzt werden. Nämlich so, dass sie den Schülern Gelegenheiten bieten mathematisches Wissen zu konstruieren.

Laut Aebli (1983) konstruiert der Schüler mathematisches Wissen in mehreren Schritten über die Verinnerlichung von Handlungen. Eine mathematische Operation ist als abstraktes Handeln zu verstehen, das seinen Ursprung in konkreten Handlungen hat. Diese definiert Aebli als „*zielgerichtete, in ihrem inneren Aufbau verstandene Vollzüge*“ (1983, S. 182). Es geht wie in der Activity Theory um eine zielgerichtete Tätigkeit. Wichtig dabei ist, dass die Schüler den inneren Aufbau der Vollzüge verstehen. „*Wenn eine Handlung effektiv ausgeführt wird, so hat der Handelnde die gegebenen Objekte sichtbar vor sich. Er kann sie sehen, eventuell hören, vielleicht tasten*“ (ebd., S. 217). An dieser Stelle geht Aebli explizit auf die

Art der Repräsentation der Handlungsobjekte ein und stellt fest, dass tasten nicht zwingend notwendig ist. Aber der Schüler muss die Handlungsobjekte sichtbar vor sich haben. Wobei „*Entscheidend ist nicht die Art der Vergegenwärtigung der Gegebenheiten, entscheidend ist das Bewußtsein der Beziehungen, die durch die Operation erzeugt oder verändert werden.*“ (ebd., S. 220).

Handlungen sind wesentlich mehr als reine Fertigkeiten: Es ist nicht entscheidend, ob die Handlungsobjekte realer oder virtueller Natur sind. Es kommt vielmehr auf das Bewusstsein der Beziehungen an, das über die Tätigkeit hergestellt wird. Diese Tätigkeit, die in der Subjekt-Objekt-Interaktivität besteht, schafft eine Bewusstseinsänderung.

Beispiel virtuelle Stellenwerttafel:

Gerster und Walter (1973, S. 24f.) unterscheiden beim Übergang zur Stellenwertnotierung elf Abstraktionsstufen. Die ersten sechs Stufen beziehen sich auf Prozesse des Bündelns, Stufe 7 bis 11 auf den Übergang zur Stellenwertnotierung. Auf diese wird im Folgenden näher eingegangen. Auf Stufe 7 sortieren die Kinder Bündelungsmaterial in eine Stellenwerttafel ein. Das Volumen des Materials bleibt beim Bündeln also zunächst erhalten. Das Kind zählt keine einzelnen Würfel, sondern Würfel, Stangen und Platten. Deshalb ist es auch noch völlig gleichgültig, wo man die einzelnen Bündel hinlegt. Es wird noch keine Stellenwertnotierung verwendet. Dies gilt auch noch dann, wenn auf Stufe 8 beim Materialtausch in Bündel nächsthöherer Ordnung unterschiedliche Farben verwendet werden. Auch dann wird noch keine Stellenwertnotierung verwendet, da die Zählmarken je nach Wert eine unterschiedliche Farbe haben. Die Lage der farbigen Plättchen ist völlig gleichgültig. Entscheidend ist der Übergang zu Stufe 9. Hier werden die Anzahlen der Bündel verschiedener Ordnung mit Hilfe lauter gleichartiger Zählmarken dargestellt. Erst dadurch erhält eine einzelne Marke, je nach seiner Stellung auf der Stellenwerttafel einen anderen Wert. Auf Stufe 10 werden die Anzahlen der Bündel einer bestimmten Sorte durch Ziffern notiert, die in der Stellenwerttafel eingetragen werden, auf Stufe 11 erfolgt die Notation schließlich mit Hilfe einer Ziffernfolge ohne Stellenwerttafel.

Ziel der virtuellen Stellenwerttafel ist das Nachvollziehen dessen, dass z.B. eine Zählmarke in der Zehnerspalte, den Wert von zehn Zählmarken in der Einerspalte besitzt. Das Kind kann hier die Bündelung mit gleichartigen Zählmarken virtuell-handelnd vollziehen. Der Wert der Zahl bleibt dabei erhalten, lediglich die Darstellung ändert sich. Das ist bei Handlungen mit realem Material anders. Hier ändert sich der Wert der Zahl beim Verschieben eines Plättchens. Das Verschieben eines Plättchens ist eine einzelne

Tätigkeit, bei der man darauf achten muss, was diese Tätigkeit genau bedeutet.

3.2 Zur Passung der kognitiven und mathematischen Strukturen mit dem Artefakt

Beim Herstellen von Zusammenhängen ist es wichtig, dass die Arbeitsmittel passend zu den kognitiven und mathematischen Strukturen sind (vgl. Clements 1999). Die kognitiven Strukturen finden wir in der Hauptachse von ACAT beim Subjekt wieder. Die mathematischen Strukturen auf der Seite des Objekts. Das digitale Medium vermittelt am besten, wenn es zu diesen Strukturen passt. Diesbezüglich hat Segal den Begriff des „*Gestural Conceptual Mappings*“ definiert als „*mapping of gestures (actions) to mental operations and representations with the learned concept*“ (Segal 2011, S. 21). Dabei sollte jedoch beachtet werden, dass die Interaktion zwischen Subjekt und Objekt sich ständig entwickelt und die Entwicklung mathematischen Wissens etwas Prozesshaftes ist. Die kognitiven und mathematischen Strukturen sollten deshalb nicht nur zu bereits gelernten Konzepten der Mathematik passen, sondern auch beim Lernen selbst passend sein.

4. Multi-touch Technologie

Seit einigen Jahren hält die multi-touch Technologie Einzug in immer mehr Geräte. Die Möglichkeit, mehrere Finger auf einmal auf den Bildschirm zu legen oder einzeln hintereinander kann im Sinne eines Gestural Conceptual Mappings mit verschiedenen Zahlaspekten in Verbindung gebracht werden. Nimmt das Kind eine 1-zu-1-Zuordnung zwischen jedem einzelnen Objekt, hier Finger, und dem Zahlwort vor, so würde das einem single-touch entsprechen. Beim multi-touch hingegen können die Kinder mit mehreren Fingern auf einmal eine Anzahl an Objekten herstellen, was strukturell mit dem kardinalen Zahlaspekt oder Teil-Ganze-Aspekt übereinstimmt (vgl. Ladel 2011, 2012). Dabei stellen zunächst die Finger das Artefakt dar, welches das Kind zur Externalisierung seiner mentalen Zahlkonzepte nutzt. Diese strukturelle Verbindung verschiedener Zahlaspekte mit den Fingern wurde im Projekt Multiplex-R versucht in die Gestaltung der Bildschirmoberfläche eines multi-touch Tisches zu übertragen. Dabei stellte sich heraus, dass zunächst noch einiges an Grundlagenforschung nötig ist, bevor man eine einsatzbereite Lernumgebung zur Verfügung stellen kann. Die Komplexität der Gestaltung ist gut am Beispiel Schieben oder Ziehen zu sehen. Die Bildschirmoberfläche war zunächst derart gestaltet, dass virtuelle Objekte erzeugt werden, wenn man mit den Fingern den Rand berührt. Möchte man, dass die Objekte liegen bleiben, so müssen diese vom Rand aus in die Mitte geschoben werden. Im Videobeispiel zeigte Anna zu Be-

ginn sechs Finger auf einmal, entschied sich dann aber dafür, die Finger einzeln hintereinander zu legen mit den Worten „der erste, der zweite“. Als Anna den für sie „falschen“ Finger nimmt will sie den Fehler korrigieren, aber der multi-touch Tisch reagiert nicht. Daraufhin passt sie ihr Zahlkonzept an. Anna weiß oder hat die Erfahrung gemacht, dass es nicht von Bedeutung ist, mit welchem Finger sie die Objekte legt. Sie kann hier also bereits abstrahieren. Dann wechselt sie zurück zum ordinalen Zahlkonzept. Da der multi-touch Tisch nicht korrekt reagiert nimmt Anna nun immer ihren Zeigefinger, um die Objekte zu legen, vermutlich weil der multi-touch Tisch mit diesem am besten reagiert und die Feinmotorik leichter ist. Dieses Beispiel zeigt, wie die Tätigkeit der Kinder durch die Auswahl, Gestaltung und Funktionalität des Artefakts beeinflusst wird und je nach dem verschiedene Zahlaspekte zum Einsatz kommen. Das Design wurde daraufhin vom Schieben zum Ziehen gewechselt. Die Objekte werden nun also in der Mitte des Tisches erzeugt und müssen nach außen gezogen werden, um dauerhaft liegen zu bleiben. Im Beispiel war die Aufgabe an zwei Kinder zusammen eine bestimmte Anzahlen an Objekten zu legen. Dabei konnte man verschiedene Arten der Zerlegung beobachten. Die zwei Kinder im Beispiel haben bei geraden Anzahlen halbiert, bei ungeraden Anzahlen fast-halbiert - und das Ganze ohne ein Wort miteinander zu wechseln. Bei kleineren Anzahlen legten beide Jungs die Objekte immer mit mehreren Fingern auf einmal und der linke Junge begann zu legen. Bei der acht wechselt das. Jetzt fing der rechte Junge an und er produzierte die Objekte nicht mehr wie zuvor auf einmal, sondern hintereinander. Es kann also von der Größe der Zahl abhängen, welchen Zahlaspekt ein Kind nutzt und ist abhängig von der jeweiligen Situation.

4. Schlussbemerkung

Der Mathematikunterricht in der Grundschule war und ist sehr medienreich. Die digitalen Medien treten keinesfalls in eine medienarme Landschaft. Es gibt eine Vielzahl von Werkzeugen, die zur Unterstützung mathematischer Lehr- und Lernprozesse genutzt werden. Die Artefact-centric Activity Theory ergab sich speziell aus den Bedürfnissen der Komplexität beim Einsatz digitaler Medien im Mathematikunterricht gerecht zu werden. Dabei gilt das hier Dargelegte nicht nur für den Einsatz digitaler Medien sondern allgemein. Wichtig ist, dass wir die Technik nicht aus dem Blick verlieren und sie in unserer Arbeit erforschen und sinnvoll einsetzen. Um dabei nicht zu sehr auf die Technik fixiert zu sein und das Ganze nicht aus dem Blick zu verlieren, bietet uns ACAT eine gute Hilfe.

Literatur

Die Literaturliste kann bei der Autorin angefragt werden.