
Freude am Kopfrechnen vermitteln

Planung, Durchführung und Auswertung einer Unterrichtseinheit mit dem Ziel, Oberstufenschülern zum Kopfrechnen zu motivieren



Autor, Klasse:
Jérôme Landtwing, M4a

Betreuende Lehrperson:
Hans-Heinrich Huwiler

KSA Pfäffikon
Maturaarbeit Oktober 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	1
2	Vorwort	1
2.1	Danksagungen	2
3	Einleitung	2
3.1	Idee des Projekts	3
3.2	Themenwahl	4
4	Mathematische Grundlagen	5
4.1	Kommutativgesetz	5
4.2	Assoziativgesetz	5
4.3	Distributivgesetz	5
4.4	Anwendungen bei der Addition	6
4.4.1	Gruppen bilden	6
4.4.2	Von rechts nach links	7
4.4.3	Hinüberschieben	7
4.5	Anwendungen bei der Subtraktion	8
4.5.1	Ergänzen auf 1000	8
4.5.2	Der unsichtbare Helfer	8
4.5.3	Kettenrechnungen	10
4.6	Anwendungen bei der Multiplikation	10
4.6.1	Summen Bilden	10
4.6.2	Doppelte Summe	11
4.6.3	Faktoren Aufteilen	12
5	Didaktische Grundlagen	13
5.1	Arbeitsformen	14
5.1.1	Vormachen - Nachmachen - Üben	14
5.1.2	Lehrervortrag	14
5.2	Lektionsaufbau	15
5.3	Theorie erarbeiten	16
5.3.1	Gruppen Bilden	16
5.3.2	Von rechts nach links	16
5.3.3	Hinüberschieben	17
5.3.4	Ergänzen auf 1000	17
5.3.5	Der unsichtbare Helfer	17
5.3.6	Kettenrechnungen Subtraktion	18
5.3.7	Summen bilden	18
5.3.8	Doppelte Summe	18
5.3.9	Faktoren aufteilen	19
5.3.10	Die Übungsphase	19

6 Durchführung	19
6.1 Verlauf der Doppellektion	19
6.2 Verlauf der Übungsphase	21
6.3 Abschluss	21
6.4 Mein Eindruck	22
7 Auswertung des Projektes	22
7.1 Auswertung des Unterrichts	23
7.2 Auswertung der Leistungen	23
7.2.1 Streuung der Klasse	25
7.2.2 Quantiätsverlauf	26
7.2.3 Qualitätsetwicklung	29
7.3 Auswertung meiner Ziele	32
8 Diskussion der Ergebnisse	32
8.1 Quantitative Entwicklung	32
8.2 Entwicklung der Qualität	33
8.3 Zusammenfassung	33
8.4 Persönliche Bilanz	34
Literatur	34
Abbildungsverzeichnis	34
Eigenstandserklärung	36
Anhänge	36

1 Abstract

Früher, da gehörte das Kopfrechnen noch zum Schulalltag, erzählten mir meine Eltern – und heute? Heute hat das Kopfrechnen sehr an Wert verloren, da jedes Smartphone einen eingebauten Taschenrechner besitzt, praktisch jedes Matheproblem im Alltag von Computern berechnet wird. Diesem Trend, wollte ich ein Stück weit entgegenwirken, indem Oberstufenschülern zeige, dass Kopfrechnen noch lange nicht zum alten Eisen gehört. Ich wollte ihnen zeigen, dass sich mit sehr einfachen Mitteln sich grosse Vorteile herauschlagen lassen. Nur leider bleibt den meisten diese Erkenntnis verwehrt. Das wollte ich ändern, indem ich zwei Oberstufenklasse in einer von mir vorbereiteten Doppelktion einige Strategien beibrachte. Strategien, die einem helfen, Rechnungen einfach im Kopf zu lösen. Ich bereitete besagte Doppelktion vor, gefolgt von einer Übungsphase, in welcher die Schüler die Möglichkeit hatten das gelernte Anzuwenden. Die Übungsphase, welche über drei Wochen dauerte, bestand aus drei Wiederholungen pro Woche à jeweils 5 Minuten. In diesen 5 Minuten war das Ziel, so viele Aufgaben richtig zu lösen wie möglich. Die Ziele meines Projektes sind also:

- Den Schülern Techniken zu vermitteln, welche ihnen das Kopfrechnen erleichtern
- Den Schülern Freude am Kopfrechnen zu vermitteln
- Die Schüler zum Kopfrechnen zu motivieren

Dass sich die Schüler im Verlauf des Projektes verbessern würden, ist zu erwarten, da die Schüler mit jeder Übung mehr und mehr Aufgaben gelöst habe und Routine erhalten. Deshalb waren meine Ziele in erster Linie nicht darauf ausgerichtet, die Schüler zu Kopfrechenmaschinen zu trimmen, sondern hauptsächlich, dass die Schüler Freude am Kopfrechnen gewinnen und jeder Schüler seine Kopfrechenfähigkeiten verbessern kann. Rückblickend auf das Projekt kann ich sagen, dass sich die Schüler einerseits messbar verbessert haben, andererseits habe ich auch meine Ziele erreicht und die Freude am Kopfrechnen ist auf eine Mehrheit der Schüler übergesprungen.

2 Vorwort

Ich war seit Beginn meiner Schulzeit vom Fach Mathematik begeistert. Die Materie bereitete mir nie grosse Probleme und machte mir grossen Spass. Diese Freude, die mir die Mathematik bereitet, möchte ich so gerne an alle Menschen weitergeben, die nichts mit Mathematik anfangen können. Sei dies als Nachhilfelehrer für Mitschüler oder Bekannte. Für mich war von Anfang an klar, dass ich mich in meiner Maturaarbeit mit Mathematik befassen will, jedoch nicht in welchem Rahmen. Immer mehr kristallisierte

sich heraus, dass ich mich nicht mit der Mathematik selbst befassen wollte, sondern mit der Vermittlung und schliesslich war ich beim Kopfrechnen angelangt. Das Kopfrechnen eignete sich perfekt als Thema für eine Arbeit, da unabhängig von Vorkenntnissen auf jeder Stufe an der Kopfrechenfähigkeit gearbeitet werden kann. Da mir zu Beginn nicht klar war, mit welcher Stufe ich das Projekt durchführen kann, war dies ein grosser Vorteil. Weiter kann man beim Kopfrechnen mit sehr wenig Aufwand bereits extrem viel herausschöpfen. Was wiederum ein Vorteil war, da ich von Beginn weg wusste, dass Zeit ein entscheidender Faktor sein wird.

2.1 Danksagungen

Bedanken möchte ich mich an dieser Stelle bei meiner Betreuungsperson Herrn Hans-Heinrich Huwiler. Bei ihm fand ich immer ein offenes Ohr, wenn Probleme auftauchten. Für alle Unklarheiten war er stets bereit sie mit mir anzuschauen und zu besprechen. Ich bedanke mich bei ihm ganz besonders für das Vertrauen, dass er mir entgegenbrachte und mich stets Walten und Schalten liess, im Wissen – oder der Hoffnung – dass es gut kommen möge.

All diesen Personen möchte ich ein Kränzchen widmen:

Testpublikum: Sanja, Eveline, Jeannine und Céline. Erika Meyer-Riser für ein aufschliessendes Gespräch über die Thematik. Den Schülern und Schülerinnen der beiden Teilnehmenden Mathekursen und deren Lehrer Michi Jud.

Der Leitung der Selmastudie für das Bereitstellen des Onlinetools, für die Teilnahme an 4 Umfragen und für 14 Mails – danke auch dafür.

3 Einleitung

Weshalb ist die Mathe unter einigen meiner Mitschüler so unbeliebt? Weshalb fürchten sich so viele Schüler vor dem Kopfrechnen? Diese Fragen habe ich mir auch gestellt, denn für mich sind sowohl die Mathematik als auch das Rechnen im Kopf zwei Dinge, die ich mit Leidenschaft und gerne tue. Vielfach treffe ich bei meinen Mitschülern auf eine Hilflosigkeit oder anders ausgedrückt gehen sie Aufgaben, die sie im Kopf lösen sollen mit sehr brachialen Methoden an und überfordern so ihren Kopf und sich selbst damit. Genau diese Schüler sind es, die mich mit schrägen Blicken beäugen, wenn ich ihnen erzähle, dass ich mich in der Freizeit freiwillig mit Mathematik beschäftige. Jedoch befasse ich mich in der Freizeit nicht mit Schulmathematik, welche vielfach daraus besteht Zahlen aus Aufgaben herauszulesen und in Formeln, die allenfalls umgeformt werden müssen, einzusetzen. Solche Aufgaben, welche Beispielsweise von Matheolympiaden stammen, sind so aufgebaut, dass sie nicht mit Zahlen erschlagen werden können, sondern

vielmehr durch kreative Lösungsansätze und dem Aufdecken von Systemen gelöst werden können. Genau darum geht es in dieser Arbeit.

3.1 Idee des Projekts

Ich möchte einer Oberstufenklasse vermitteln, dass es in der Mathematik eben nicht nur darum geht, Zahlen aus Aufgaben herauszulesen und in Formeln einzusetzen, sondern vielmehr, dass Mathematik sehr viel mit Kreativität zu tun hat. Dies ist auch ein Thema, dass [Dambeck \(2012\)](#) beschäftigt. [Dambeck \(2012, S. 83\)](#) erzählt von einer Studie, welche dem Phänomen der Kapitänsaufgabe genauer auf den Grund gegangen ist. Die Kapitänsaufgabe gibt es in vielen verschiedenen Varianten, das in der von [Dambeck](#) erwähnten Studie verwendete Beispiel lautet wie folgt: „Ein 27 Jahre alter Hirte hat 25 Schafe und 10 Ziegen. Wie alt ist der Hirte?“ ([Dambeck, 2012, S. 82](#)) Um die Antwort zu erlangen, darf man – um Himmels Willen – nichts rechnen, sondern muss nur die Aufgabe genau lesen, um herauszufinden dass der Hirte 27 Jahre alt ist. Dennoch errechneten erstaunlich viele Kinder, die an dieser Studie teilnahmen, ein Alter für den Kapitän. Das verwunderliche dieser Studie war, desto älter die Kinder waren, desto mehr von ihnen errechneten eine Lösung für die Aufgabe. Um die Ergebnisse der Studie zusammenzufassen: „Je mehr Mathematikunterricht die Schüler erlebt haben, umso schneller rechnen sie ohne nachzudenken einfach blind drauflos.“ ([Dambeck, 2012, s. 83](#)). Die Schüler werden also laut [Dambeck](#) in der Schule darauf getrimmt, Zahlen aus der Aufgabe herauszulesen, einer Variable zuzuordnen und eine Formel einzusetzen. Das führt auch dazu, dass die Schüler aus einer Anzahl Jahren, einer Anzahl Schafen und einer Anzahl Ziegen zu einer Anzahl Jahren zusammenzählen. Zugegeben, die Aufgabe ist hinterlistig gestellt. In erster Linie werden nicht die mathematischen Fähigkeiten der Probanden getestet. Im Wesentlichen ist diese Aufgabe ein Aufmerksamkeitstest, welcher von diesen Schülern richtig gelöst wird, die fähig sind alle unnötigen Informationen auszublenden. Über Sinn oder Unsinn anhand einer solchen Testaufgabe die Funktionsweise der Schulmathematik abzulesen, lässt sich diskutieren. Dennoch finde ich diese Aufgabe ein schönes Beispiel dafür, was sich leider oftmals im Mathematikunterricht abspielt. Weiter finde ich diese Aufgabe ein schönes Beispiel um zu demonstrieren, worum es in der Mathematik wirklich geht. Die Mathematik ist die Kunst, eine möglichst einfache Lösung für ein komplexes Problem zu finden. Auf die Kapitänsaufgabe angewendet heisst dass, die eine relevante von den unwichtigen Informationen zu trennen. Um eine mathematische Aufgabe zu lösen, muss man nicht immer primär mit Zahlen jonglieren, vielfach reicht es aus, eine Lösung zu suchen, wie man ein Problem auf eine einfache Art lösen kann. Diesen Grundgedanken wollte ich einer Oberstufenklasse vermitteln.

3.2 Themenwahl

Besonders geeignet dafür erschien mir das Thema Kopfrechnen. Denn gerade beim Kopfrechnen kann man extrem viel herausholen, indem man eine geschickte Lösung sucht. Laut [Dambeck \(2012, S. 10\)](#) gewinnen die Schüler Freude an der Mathematik, wenn sie eigene Wege suchen und auch gehen können. Genau dafür eignet sich das Kopfrechnen besonders gut, da es eine Vielzahl an verschiedenen Wegen gibt, die ans Ziel führen. Ich möchte somit gleich zweierlei Dinge erreichen. Ich möchte einer Gruppe von Oberstufenschülern einige Techniken beibringen, die es ihnen erlauben Kopfrechenaufgaben auf verschiedene Weisen zu lösen und ihnen so einerseits auf der einen Seite Freude am Kopfrechnen vermitteln und andererseits auf einer Metaebene ihnen zeigen, worum es in der Mathematik wirklich geht und sie dafür begeistern. Um dies zu erreichen habe ich eine Doppellektion zu Verfügung. Bei der Planung der Lektion waren mit vielerlei Dinge sehr wichtig. Einerseits wollte ich den Schülern möglichst viele verschiedenen Werkzeuge auf den Weg geben, jedoch so, dass sie von allen Schülern verstanden werden. Am wichtigsten war mir jedoch, dass alle Schüler aus dem Projekt profitieren können.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich sogleich noch zwei wichtige Begriffe einführen, die im Verlauf der Arbeit eine wichtige Rolle spielen. Unter Kopfrechnen versteht [Krauthausen und Scherer \(2014, S. 43\)](#): „Kopfrechnen, bei dem ohne einen Notation von Zwischenschritten die Lösung einer Aufgabe im Kopf erfolgt (dies geschieht unter Ausnutzung von Strategien) [...]“ diese Definition kann ich 1:1 zustimmen und werde sie deshalb auch so übernehmen. Die Definition des halbschriftlichen Rechnens lautet wie folgt: „*Halbschriftliches (oder gestütztes Kopfrechnen)*, welches durch die Notation von Zwischenschritten oder Teilergebnissen gekennzeichnet ist.“ ([Krauthausen & Scherer, 2014, S. 43](#)) Das halbschriftliche Rechnen dient, in meinem Sinne, vor allem dazu sich Strategien für das Kopfrechnen anzulegen und so auf einem begleiteten Wege auszuprobieren und zu verinnerlichen.

In der Arbeit werde ich des Öfteren von *mathematischen Tricks* sprechen. Diese *mathematischen Tricks* sind einfache Term Umformungen, die kompliziert aussehende Rechnungen so umformen, dass sie einfacher im Kopf auszurechnen sind. Diese Tricks gründen auf den mathematischen Grundgesetzen und sind mathematisch korrekt!

Im folgenden Kapitel geht es darum, was ich vermitteln möchte. Es werden die mathematischen Grundlagen und wie die Tricks funktionieren erklärt.

4 Mathematische Grundlagen

Unter einer Vielzahl mathematischer Rechenregeln, gibt es drei besonders grundlegende. Diese heissen: Kommutativgesetz, Assoziativgesetz und Distributivgesetz. Diese drei sind besonders fundamental, da beinahe die ganze Mathematik auf ihnen aufbaut. Diese Drei Gesetze gelten für alle Zahlen, die in der Menge der rationalen Zahlen enthalten sind.

4.1 Kommutativgesetz

$$a + b = b + a$$

$$a \cdot b = b \cdot a$$

Hier wird verdeutlicht, dass die Anordnung der einzelnen Summanden das Resultat nicht beeinflusst. Bei der Addition und der Subtraktion darf die Reihenfolge, in der man die einzelnen Summanden zusammenzählt bzw. die Faktoren multipliziert frei gewählt werden. Konkret erlaubt uns dieses Gesetz die einzelnen Summanden oder Faktoren so zu gruppieren, dass es uns leichter fällt sie zusammenzuzählen.

4.2 Assoziativgesetz

$$(a + b) + c = a + (b + c)$$

$$(a \cdot b) \cdot c = a \cdot (b \cdot c)$$

In Worten ausgedrückt heisst das, dass die Reihenfolge der Ausführung keine Rolle spielt. Es spielt also keine Rolle ob ich zuerst a und b zusammenzähle und dann c addiere oder zuerst b und c addiere und dann a dazuzähle. Das Assoziativgesetz ist gültig für die Addition und die Multiplikation, jedoch nicht für die Subtraktion und Division.

4.3 Distributivgesetz

$$a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$$

Das Distributivgesetz besagt, dass bei der Multiplikation eines Faktors mit einer Summe (oder auch einer Differenz) die Multiplikation in zwei Teilschritte aufgeteilt werden darf, indem man die beiden Summanden (in der Allgemeinen Formel b und c) einzeln mit dem Faktor a multipliziert und aus diesen zwei Teilprodukten ($a \cdot b$, $a \cdot c$) die Summe bildet.

Das Distributivgesetz, kann auch angewendet werden, wenn beide Faktoren als Summe bzw. Differenz vorliegen:

$$(a + b) \cdot (c + d) = ?$$

$$a \cdot (c + d) + b \cdot (c + d) = ac + ad + bc + bd$$

Da nun die mathematischen Grundlagen erläutert wurden, möchte ich mit deren Anwendungen weiterfahren und im kommenden Teil nacheinander drei der vier Grundrechenarten besprechen. Ich werde jeweils erklären, wie der Trick funktioniert, wenn nötig eine algebraische Begründung liefern und anschließend ein Beispiel mit gezeigter Methode lösen.

4.4 Anwendungen bei der Addition

Bei einer Addition werden zwei oder mehr Zahlen zusammengezählt. Formal wird eine Addition so dargestellt:

$$\text{Summand}_1 + \text{Summand}_2 + \text{Summand}_3 + \dots + \text{Summand}_n = \text{Summe}$$

4.4.1 Gruppen bilden

Bei Additionen und Multiplikationen darf die Reihenfolge der Summanden bzw. Faktoren frei gewählt werden. Dies ist vor allem bei Kettenrechnungen ein sehr mächtiges Werkzeug! Am besten ordnet man die einzelnen Glieder einer Kettenrechnung so an, dass man mit dem kleinstmöglichen Aufwand ans Ziel kommt. Diese Aussage geht auf das Kommutativgesetz (zu finden im Kapitel 4.1) zurück.

$$13 + 56 + 34 + 53 = ?$$

Versucht man Gruppen zu bilden, so wird vielen Leuten auffallen, dass sich die Einerstellen der Zahlen 56 und 34 zusammen auf 10 ergänzen, $56 + 34$ also eine Zehnerzahl (90) ergeben. Wendet man diesen Weg an, so kann man die Rechnung wie folgt vereinfachen:

$$(56 + 34) + 13 + 53 = 90 + 13 + 53 = 103 + 53 = 156$$

Jedoch könnte man auch sehen, dass die Einerstellen der Zahlen 13, 34, 53 sich auch auf 10 ergänzen und die Rechnung wie folgt vereinfachen:

$$(13 + 34 + 53) + 56 = 100 + 56 = 156$$

Sowohl der erste als auch der zweite Weg sind korrekt, klar könnte man auch im Kopf von links nach rechts immer eine Zahl zur nächsten addieren, jedoch entstehen dabei eine Vielzahl an Zwischenschritten und Zwischenresultaten. Jedoch wollen wir genau das beim Kopfrechnen vermeiden. Mit diesem Beispiel möchte ich zeigen, dass es viele verschiedene Wege gibt, eine Aufgabe im Kopf zu rechnen. Es gibt dabei weder richtig noch falsch, vielmehr sind es verschiedene Wege. Jeder Schüler soll also seinen eigenen Weg finden, der für ihn am logischsten erscheint.

4.4.2 Von rechts nach links

Da ich mich in meiner Arbeit mit dem Rechnen im Kopf befasse und meine Probanden die Oberstufe besuchen, setze ich die Kenntnis der schriftlichen Addition voraus und werde sie hier nicht weiter erläutern.

Eine beliebte Methode, bei der man exakt die gleichen Rechenschritte wie bei der schriftlichen Addition durchführt, jedoch ohne sich die Zahlen untereinander aufzuschreiben, nennt sich *von rechts nach links*. Man rechnet jeweils zuerst die Einer aller Summanden zusammen, beachtet die Überschläge und arbeitet sich zur Hunderterstelle vor. Dies ist jedoch eine sehr brachiale Standardmethode. Klar führt auch sie ans Ziel, doch muss man sich, und das sei der grosse Nachteil dieser Methode extrem viele Zwischenresultate merken. Ich möchte niemanden der sich diese Methode zu eigen gemacht hat davon abhalten so zu rechnen, jedoch werde ich im Folgenden einige weitere Tricks vorstellen, mit welchen man Additionen auf eine andere Weise lösen kann.

$$438 + 237 = ?$$

Unter Anwendung der Methode *von rechts nach links* zählt man die Einer, Zehner und Hunderter separat zusammen:

$$\text{Hunderter: } 4 + 2, \text{ Zehner: } 3 + 3, \text{ Einer: } 8 + 7$$

$$\text{Hunderter: } 6, \text{ Zehner: } 6, \text{ Einer: } 15 = 675$$

4.4.3 Hinüberschieben

Die Summe verändert sich nicht, wenn beim einen Summanden eine Zahl addiert wird, wenn man beim anderen Summanden dieselbe Zahl wieder subtrahiert. Diesen Trick ist sehr hilfreich um Zehnerübergänge zu vermeiden. Man vermeidet den Zehnerübergang indem man die eine Zahl zu einer Zehnerzahl ergänzt bzw. reduziert. Dadurch führt man nicht einen Zehnerschritt im eigentlichen Sinne aus, sondern macht den Schritt zum vollen Zehner. Die Korrektheit dieses Tricks lässt sich ganz einfach wie folgt verallgemeinern

$$(a + x) + (b - x) = a + b + (x - x) = a + b$$

Ein ganz banales Beispiel hierfür ist die Addition von 99. Was ergibt

$$23 + 99 = ?$$

In diesem Beispiel lohnt es sich einen Einer von 23 zu 99 hinüberzuschieben. Also die Rechnung wie folgt umzuformen, was uns schlussendlich zu einer Rechnung bringt, die einfach im Kopf zu rechnen ist.

$$23 + 99 = (23 - 1) + (99 + 1) = 22 + 100 = 122$$

4.5 Anwendungen bei der Subtraktion

Bei einer Subtraktion werden eine oder mehrere Zahlen von einer Zahl abgezogen. Der Allgemeine Fall wird so dargestellt.

$$\text{Minuend} - \text{Subtrahend}_1 - \text{Subtrahend}_2 - \dots - \text{Subtrahend}_n = \text{Differenz}$$

Wie bereits bei der Addition werde ich auch die schriftliche Subtraktion nicht weiter erläutern.

4.5.1 Ergänzen auf 1000

Der folgende Trick zeigt, wie man einfach Zahlen von 1000 subtrahieren kann. Dieser Trick kann auch auf alle anderen Zehnerpotenzen (10, 100, 1'000, 10'000, ...) angewendet werden, ich beschränke mich in diesem Teil auf die Subtraktion von 1000, da diese am häufigsten gebraucht wird im Kopfrechnen. Am Beispiel der Rechnung $1000 - 738$ möchte ich erklären, wie man die Subtraktion von 1000 und vereinfachen kann. In Abbildung 1 ist zu sehen, dass in allen Spalten ausser der Einerstelle ein Übertrag von 1 entstanden, dies ist keine Überraschung, denn zieht man von Null eine Zahl die ungleich 0 ist ab, so muss man sich einen Zehner von der nächst grösseren Stelle borgen. Dies ist bei der Subtraktion von 1000 immer der Fall! Muss man eine Zahl von einer Potenz von zehn abziehen, so kann man alle Stellen auf 9 ergänzen und die Einerstelle auf 10. Die Regel lautet wie folgt: **Subtraktion von 1000: Alle von 9 abziehen, die letzte von 10.** Mit diesem Trick können Zahlen ohne grosse Rechnerei auf den nächsten Tausender oder auch Hunderter ergänzen. Mit anderen Worten dient dieser Trick dazu, die Subtraktion zu vereinfachen, wenn der Minuend eine ganze Hunderter- oder Tausenderzahl ist.

$$1000 - 738 = ?$$

Um das Resultat zu erlangen ergänzen wir also 7 auf 9 (ergibt 2), 3 auf 9 (ergibt 6) und 8 auf 10 (ergibt 2). Zum Schluss schreiben wir die Zahlen in dieser Reihenfolge nieder:

$$1000 - 738 = 262$$

4.5.2 Der unsichtbare Helfer

Die Differenz gibt an, wie gross der Unterschied zwischen zwei Zahlen ist. Als Beispiel möchte ich zwei fiktive nebeneinanderstehende Hochhäuser ins Leben rufen, das eine ist 10 Meter höher als das andere. Meine Überlegungen zu diesem Beispiel: Niemand hat definiert, von wo aus der Höhenunterschied zwischen den beiden Häusern korrekterweise gemessen werden muss. Man

	Tausender	Hunderter	Zehner	Einer
	1	0	0	0
-		7	3	8
Überträge	1	1	1	
		2	6	2

Abbildung 1: Die Subtraktion von 738 von 1000

könnte von Dach des einen Hochhauses messen, wie auch von der Oberfläche, auf der die beiden Häuser stehen. Die Distanz bleibt die gleiche, selbst wenn aus dem Weltraum gemessen würde. Aus dieser Überlegung habe ich den folgenden Trick abgeleitet: die Differenz verändert sich nicht, wenn sowohl beim Minuenden als auch beim Subtrahenden die gleiche Zahl addiert oder subtrahiert wird. Die algebraische Begründung sieht so aus:

$$(a - x) - (b - x) = a - x - b + x = a - b - x + x = a - b$$

$$(a + x) - (b + x) = a + x - b - x = a - b + x - x = a - b$$

Weil das Minus die Vorzeichen in der Klammer wechselt, entstehen im Zusammenhang mit x zwei gegenteilige Vorzeichen, die sich gegenseitig auslöschen.

Es ist sinnvoll, entweder den Minuenden oder den Subtrahenden auf eine runde Zahl zu ergänzen, denn so lässt es sich besonders einfach weiterrechnen. Wie die Methode der unsichtbare Helfer funktioniert möchte ich am folgenden Beispiel verdeutlichen:

$$285 - 93 = ?$$

Wir ergänzen also, naheliegender Weise den Subtrahenden auf die nächste runde Zahl, in diesem Fall 100. Damit sich die Differenz nicht verändert, müssen wir jedoch auch den Minuenden auf die gleiche Weise verändern, folglich zählen wir sowohl zum Minuenden als auch zum Subtrahenden 7 dazu. Daraus entsteht die folgende Rechnung:

$$285 - 93 = (285 + 7) - (93 + 7) = 292 - 100 = 192$$

Natürlich gibt es auch hier eine zweite Möglichkeit die Rechnung zu vereinfachen indem man 285 auf eine Zahl ergänzt, mit der es sich einfach rechnen lässt (beispielsweise 300) und bei 93 gleichviel dazuzählt:

$$285 - 93 = (285 + 15) - (93 + 15) = 300 - 108 = 192$$

Jedoch bevorzuge ich den ersten Weg, da der Rechenaufwand geringer ist, einen ganzen Hunderter abzuziehen anstatt von einem ganzen Hunderter abzuziehen.

4.5.3 Kettenrechnungen

Zieht man nacheinander mehrere Zahlen von einer Zahl ab, kann die Summe aller Subtrahenden vom Minuenden abgezogen werden. Dies lässt sich ganz einfach mit dem Trick bewirken, das man alle Subtrahenden in eine Klammer setzt und ein Minus davor. Denn das Minus wechselt alle Vorzeichen in der Klammer.

$$a - b - c - d = a - (b + c + d)$$

So entstehen zwei Teilrechnungen zum einen die Addition der Summanden b, c und d zum andern die Subtraktion dieser Summe vom Minuenden a. Bei der Addition von b, c und d handelt es sich um eine Kettenrechnung, welche man mit Hilfe des Tricks *Gruppen bilden* (Kapitel 4.4.1) lösen kann. Die anschliessende Subtraktion kann mit Hilfe der zuvor erklärten Tricks für die Subtraktion im Kopf gelöst werden.

$$1000 - 232 - 137 - 288 = ?$$

Zuerst fassen wir alle Minuenden als Summe in einer Klammer zusammen und stellen die Summanden in der Klammer so um, damit sie sich einfach zusammenzählen lassen:

$$1000 - (232 + 173 + 288) = 1000 - (232 + 288 + 173) = ?$$

Anschliessend rechnen wir die Klammer aus und subtrahieren die ergebene Summe vom Minuenden:

$$1000 - (520 + 173) = 1000 - 693 = 307$$

4.6 Anwendungen bei der Multiplikation

Die Multiplikation wird allgemein wie folgt dargestellt und kann aus beliebig vielen Faktoren zusammengesetzt sein.

$$Faktor_1 \cdot Faktor_2 \cdot Faktor_3 \cdot \dots \cdot Faktor_n = Produkt$$

4.6.1 Summen Bilden

Wandelt man einen Faktor in eine Summe um, so entstehen zwei Teilrechnungen. Es macht vor allem dann Sinn, diesen Trick anzuwenden, wenn man das eine Teilresultat bereits kennt. Beispiele solcher Teilresultate können Zehnerzahlen, Quadratzahlen aber auch das kleine Einmaleins sein. Vor allem bei der Multiplikation mit Zahlen die nahe an einem Zehner liegen ist dies ein Mittel um sehr schnell an das Resultat zu gelangen. Dieser Trick ist eine Anwendung des Distributivgesetzes (siehe Kapitel 4.3). Vielfach wird das Distributivgesetz unbewusst angewandt. Rechnungen wie $15 \cdot 7$ werden vielfach intuitiv als $10 \cdot 7 + 5 \cdot 7$ gelöst, was genau der Anwendung dieses Tricks

entspricht. Jedoch möchte ich die Mächtigkeit dieses Trickes am folgenden Beispiel zeigen:

$$13 \cdot 12 = ?$$

Wir wissen, dass 12 im Quadrat 144 ergibt, deshalb können wir 13 zu $(12+1)$ umformen.

$$(12 + 1) \cdot 12 = 12^2 + 12 = 144 + 12 = 156$$

ohne grossen Rechenaufwand sind wir zum Resultat gelangt.

4.6.2 Doppelte Summe

Die Methode „doppelte Summe“ ist im Grunde genommen nichts anderes als die Weiterführung der Methode „Summen bilden“. Statt einen Faktor in eine Summe umzuwandeln, bildet man in diesem Fall aus beiden Faktoren je eine Summe bildet. Allgemein sieht eine Multiplikation zweier Summen so aus:

$$(a + b) \cdot (c + d) = ac + ad + bc + bd$$

Diese Formel mag für alle Menschen, die mit Algebra auf Kriegsfuss stehen unschön erscheinen. Keine Angst, die Formel kann und wird noch vereinfacht werden, unter Einführung einer Nebenbedingung. In beiden Summen soll der gleiche Summand vorkommen. Wir gehen davon aus, dass die Summen so gewählt wurden, dass die Variable a und c den gleichen Wert haben und deshalb beide mit der Variabel a dargestellt werden können:

$$(a + b) \cdot (a + d) = a^2 + ab + ad + bd$$

Unter Anwendung des Distributivgesetzes (kap. 4.3) kann der Term wie folgt vereinfacht werden:

$$a^2 + ab + ad + bd = a^2 + a \cdot (b + d) + bd$$

Somit wurde die Multiplikation von zwei Faktoren umgewandelt in die Addition von einer Quadratzahl und zwei Produkten. Damit diese Endformel auch wirklich für jedermann im Kopf lösbar ist, sollten die Zahlen geschickt gewählt werden. Besonders einfach wird die Rechnung, wenn die Variable a so gewählt wird, dass sie eine ganze Zehnerzahl ist. Dass man dank diesem Kniff eine schwierige Multiplikation, im Kopf lösen kann, möchte ich mit folgendem Beispiel untermauern.

$$23 \cdot 16 = ?$$

Als erstes wandeln wir beide Faktoren in eine Summe um und achten darauf, dass in beiden Summen der gleiche Summand vorkommt. Hat man zwei Zahlen in der Nähe des gleichen Zehners, in unserem Beispiel 20, so macht es Sinn die Summen mit diesem Zehner zu bilden. Streng genommen ist die

Umwandlung von 16 zu $(20 - 4)$ keine Addition sondern eine Subtraktion, auch das ist erlaubt.

$$(20 + 3) \cdot (20 - 4) = ?$$

$$(20 + 3) \cdot (20 - 4) = 20^2 + (3 - 4) \cdot 20 - 3 \cdot 4 = ?$$

Aus vier Zwischenresultaten wurden drei und von diesen dreien ist eines (a^2) eine Quadratzahl, sollte also den Schülern bekannt sein. Also bleiben noch zwei Rechenschritte übrig: $a \cdot (b + d)$ Hier ist es wichtig, dass zuerst die Klammer ausgerechnet und erst anschliessend die Multiplikation durchgeführt wird, damit wird der Aufwand möglichst gering gehalten. Zum Schluss muss einzig noch die Rechnung $b \cdot d$ wirklich ausgerechnet werden. Im normalen Fall sollte dies jedoch mit dem kleinen Einmaleins möglich sein. Also haben wir zum Schluss die folgende Rechnung:

$$23 \cdot 16 = 400 - 20 - 12 = 400 - 32 = 368$$

Ein Spezialfall

Die dritte binomische Formel sieht wie folgt aus:

$$(a + b) \cdot (a - b) = a^2 - b^2$$

Liegen die Zahlen günstig, so kann man die dritte binomische Formel anwenden. Die dritte binomische Formel kann dann angewendet werden wenn zwei unterschiedliche Zahlen den gleichen Abstand zu einer dritten Zahl haben. Einige Beispiele um diesen Spezialfall zu verdeutlichen:

$$22 \cdot 18 = (20 + 2) \cdot (20 - 2) = 20^2 - 2^2 = 400 - 4 = 396$$

$$14 \cdot 16 = (15 - 1) \cdot (15 + 1) = 15^2 - 1^2 = 225 - 1 = 224$$

4.6.3 Faktoren Aufteilen

Eine Multiplikation in mehrere Schritte aufgeteilt werden. Beispielsweise darf eine Multiplikation mit 4 als eine Multiplikation mit 2 und nochmals mit 2 angesehen werden. Oder eine Multiplikation mit 5 darf als eine Multiplikation mit 10 und eine anschliessende Division mit 2 (äquivalent zu der Multiplikation mit $\frac{10}{2}$) Grund dafür ist das Assoziativgesetz (Kapitel 4.2). Nähere Erläuterungen möchte ich am folgenden Beispiel durchführen.

$$4 \cdot 27$$

Betrachtet man die formale Schreibweise des multiplikativen Assoziativgesetzes (Formel 4.2 auf Seite 5) so kann man die Rechnung auf die folgenden Arten anschauen: Man interpretiert die Rechnung so, dass der Faktor 4 als $(a \cdot b)$ angesehen wird, also sähe die Rechnung so aus:

$$(4) \cdot 27 = ?$$

Wie das Assoziativgesetz besagt, können in der Klammer mehrere Faktoren stehen. Damit sich das Ergebnis der Rechnung nicht verändert muss jedoch das Produkt in der Klammer 4 ergeben. Es bieten sich die folgenden Rechnungen an: $1 \cdot 4$ oder $2 \cdot 2$ (natürlich gäbe es noch viel mehr Multiplikationen mit dem Ergebnis 4. Diese Rechnungen würden jedoch negative Zahlen und oder Brüche beinhalten und sowohl negative Zahlen als auch Brüche sind schwieriger zu handhaben als positive, ganze Zahlen.) Weil mit der Umformung $1 \cdot 4$ keine wirkliche Veränderung stattfindet, fahren wir mit der zweiten Möglichkeit ($4 = 2 \cdot 2$) fort. Also schreiben wir die Rechnung so:

$$(2 \cdot 2) \cdot 27 = ?$$

Da die Multiplikation auch kommutativ ist, dürfen die Faktoren in eine beliebige Reihenfolge gebracht werden. Da die Multiplikation mit 2 einfacher ist als die Multiplikation mit 27 nehmen wir die 27 an den Anfang und multiplizieren diese zweimal mit der Zwei.

$$(27 \cdot 2) \cdot 2 = (54) \cdot 2 = 108$$

Es ist jedoch auch erlaubt, die 27 in Faktoren zu zerlegen. Hier gibt es wiederum zwei Möglichkeiten: $1 \cdot 27$ und $3 \cdot 9$. Wie im vorherigen Beispiel wird mit der Umformung von 27 zu $27 \cdot 1$ keine Vereinfachung herbeigeführt. Deshalb fahren wir weiter mit der Umformung von 27 zu $3 \cdot 9$ fort und erhalten die folgende Rechnung:

$$4 \cdot (27) = 4 \cdot (3 \cdot 9) = 4 \cdot 3 \cdot 9 = 12 \cdot 9 = 108$$

So wurde aus der Rechnung $4 \cdot 27$ eine völlig andere Rechnung $9 \cdot 12$. Die letzte Teilrechnung ($9 \cdot 12$), lässt sich beispielsweise mit dem Trick *summen bilden* einfach lösen.

5 Didaktische Grundlagen

Mir war von Anfang an bewusst, dass ich eine grosse Fülle von Stoff in einer Doppellektion vermitteln wollte. Das zuvor erarbeitete Repertoire an Tricks ist bereits eine gekürzte Fassung einer Auswahl von Tricks. Ich war mir bewusst, dass es zeitlich sehr knapp werden könnte. Dennoch trennte ich mich von keinem weiteren Trick. Mein Ziel war, die Schüler nicht zu nötigen nach einem vorgegebenen Schema zu rechnen, sondern dass sie selbst einen Weg suchen können und das ist nur möglich, wenn sie ein breites Arsenal an zu Verfügung stehenden Möglichkeiten haben. Ich möchte den Schülern verschiedene Werkzeuge beibringen. Je nach Situation ist ein schweizer Taschenmesser ein sehr wertvolles Utensil, man kann damit notfalls auch einen Baum fällen. Ein Baum lässt sich jedoch viel leichter mit einer Säge fällen. Mein Ziel war den Schülern einige besonders grundlegende Werkzeuge für die

drei wichtigsten Grundrechenarten mitzugeben. Also ihren Werkzeugkasten mit Hammer, Schraubenzieher, Säge und einigen Zangen auszurüsten, damit sie alle im Alltag auftretenden Probleme lösen können.

In diesem Kapitel möchte ich nun genau beschreiben, wie ich die Lektion aufgebaut habe.

5.1 Arbeitsformen

Damit die Schüler kreativ werden können, brauchen sie eine Fülle an Tricks. Deshalb legte ich den Fokus nicht auf das gemeinsame Erarbeiten des Inhalts, dafür fehlte schlicht und einfach die Zeit. Ich rückte das Verstehen und die Fähigkeit, die erlangten die Tricks anzuwenden und bestenfalls weiter zu entwickeln in den Mittelpunkt.

5.1.1 Vormachen - Nachmachen - Üben

Das Prinzip *Vormachen - Nachmachen - Üben* wurde von Landwehr (1997, s. 151f) vorgestellt. Diese Technik dient der Vermittlung von Fertigkeiten und Handlungstechniken. Der Name ist Programm, das System baut, wie es der Name sagt darauf auf, dass die Lehrperson eine Technik vorzeigt, die Schüler diese imitieren und sie anschliessend selbst anwenden indem sie Übungen mit gezeigter Methode lösen. Bemängelt werden, die fehlende Erkenntnisgewinnung und der mangelnde Platz für eigene Lösungsvorschläge. Diesen Kritikpunkten kann ich insofern widersprechen, als dass die Technik lediglich der Vermittlung von Lösungsstrategien dient und diese Lösungsstrategien dazu da sind, damit die Schüler später, beim Lösen der Aufgaben, eigene Lösungsvorschläge kreieren können. Die Technik *Vormachen - Nachmachen - Üben* ist also lediglich Mittel zum Zweck, um den Schülern die notwendigen Werkzeuge mitzugeben, damit sie einen eigenen Lösungsweg für die verschiedenen Rechnungen entwickeln können. Ich entschied mich für diese Technik, weil die gemeinsame Erarbeitung der einzelnen Strategien, nicht das übergeordnete Ziel ist und die Zeit dafür schlicht zu knapp war.

5.1.2 Lehrervortrag

Ich habe mich für den Lehrervortrag entschieden, da ich den Schülern, viele Inputs in kurzer Zeit mitgeben wollte. Deshalb hatte ich die Zeit nicht, die Schüler verschiedenste Techniken selbständig erarbeiten zu lassen. Natürlich achtete ich im Vortrag darauf, dass ich immer wieder Schülerinputs einbrachte indem ich sie beispielsweise fragte, wie sie solche Rechnungen lösen würden.

5.2 Lektionsaufbau

Ein von Meyer (2015) vorgestelltes Modell für den Unterrichtsaufbau nennt sich *AITUS* und gliedert sich in 5 Phasen: Anfangen, Interesse wecken, Theorie erarbeiten, Umsetzen, Schluss. Diesen Aufbau erachtete ich als geeignet und kompatibel mit dem zuvor vorgestellten Prinzip *Vormachen - Nachmachen - Üben*. Ich wollte die Doppelstunde so aufbauen, dass ich für jeden Trick einzeln die Schritte Theorie erarbeiten und Umsetzen durchführen wollte. Somit ergaben sich 9 kleine Theorieblöcke mit anschließender Übungsphase. Durch das Aufteilen in kleine Portionen wollte ich verhindern, dass die Schüler zu lange passiv zuhören müssen. Dadurch sollte sich ein guter Mix aus abwechselnd kleinen Theoriehäppchen, gefolgt von einer kurzen Übungsphase ergeben.

Unter den von Meyer (2015) vorgestellte Punkt Anfangen gehört das gegenseitige Kennenlernen. Dies setzte ich um, indem ich zu Beginn eine Vorstellungsrunde machte. Ich wollte jedoch über das simple nennen des Vornamens hinausgehen, da ich auch etwas mehr über die Schüler erfahren wollte. Aus diesem Grund sollten sich jeder kurz vorstellen, indem er neben seinem Namen auch noch erwähnt, was ihn mit der Mathematik verbindet und wo ihm Mathematik im Alltag begegnet ist. Diese zwei Zusatzbedingungen hatten den positiven Nebeneffekt, dass die Schüler bereits ein erstes Mal damit befassten, inwiefern Mathematik und Kopfrechnen im Alltag präsent ist. Da es für die Schüler eine spezielle Situation war und ich als Schüler in solchen Situationen meist sehr schüchtern war, machte ich den Anfang. Zusätzlich erklärte ich den Schülern, dass sie mich nicht zu siezen brauchen, sondern mich beim Vornamen nennen dürfen. Dadurch wollte ich auch noch eine gewisse Nähe schaffen beziehungsweise die Distanz, die das Siezen schafft aus dem Weg räumen.

Nach (Meyer, 2015) sollte man weiterfahren, indem man das Interesse weckt, indem man beispielsweise das Vorwissen aktiviert und Lust auf den Stoff zu versprühen. Dem wollte ich gerecht werden, indem ich ihnen erklärte, worum es in meinem Projekt geht und ihnen die Ziele bekanntgab. Um sie dort abzuholen wo sie standen, machte ich zu Beginn eine Repetition der Grundgesetze und gab bereits einige Inputs, die auf das Bevorstehende abzielten. Um die nächsten zwei Aspekte: *Theorie erarbeiten und Umsetzen* in die Praxis zu übertragen, bereitete ich die kurzen Theorieblöcke und dazu passende Aufgaben vor. Die Aufgaben waren jeweils so gestaltet, dass sie sich gut mit der soeben vorgestellten Technik lösen liessen. Auf dem Aufgabenblatt waren jeweils 6 Aufgaben darauf, der Schwierigkeitslevel steigerte sich von Aufgabe zu Aufgabe.

Zum Schluss der Lektion, auch wenn es nicht explizit von Meyer empfoh-

len wurde, machte ich einen Ausblick und erzählte den Schülern, wie das Projekt nun weiterläuft.

5.3 Theorie erarbeiten

Mir war es sehr wichtig, dass die Schüler auch wirklich verstanden, was ich ihnen vermittle. Um dies zu erreichen wollte ich den Unterricht weg von der einen Dimension Wandtafel lösen und in die Dimension *selbst Hand anlegen und erfahren, was man tut* übertragen. Dies will ich erreichen indem ich mir selbst die Aufgabe stellte die Mathematik, die nur im Imaginären stattfindet so in Modelle zu übersetzen, dass die Schüler sie selbst erfahren können in einer Weise, in der sie diese auch verstehen. Ein weiteres Problem meiner Arbeit ist, dass wenn die Schüler alles im Kopf rechnen, ich ihren Lösungsweg nicht nachvollziehen kann. Da jedoch genau das einer der zentralen Punkte für die Auswertung ist, musste ich eine Lösung finden. Hier kommt das halbschriftliche Rechnen (definiert auf Seite 4) zum Zuge. Einerseits bietet das halbschriftliche Rechnen den Schülern die Möglichkeit sich langsam an das Kopfrechnen heranzutasten, andererseits wird dadurch ihr Lösungsweg für mich nachvollziehbar. Dass die Schüler zu Beginn halbschriftlich rechneten, erachtete ich auch als einen Vorteil für sie. Dadurch konnten sie sich anfangs nur auf den Rechenweg selbst konzentrieren, ohne sich die Zwischenresultate merken zu müssen. Die Benützung des halbschriftlichen Rechnens ist also eine Win-win-Situation. Im Folgenden werde ich nun erklären, wie ich die einzelnen Tricks vermitteln will:

5.3.1 Gruppen Bilden

Ich schrieb die Zahlen 13, 56, 34, 53 auf Papier und heftete sie mit Magneten an die Wandtafel und schrieb jeweils ein Additionszeichen dazwischen. Dann liess ich den Schülern kurz Zeit, sich zu überlegen, wie sie das Resultat ausrechnen würden. Danach erwähnte ich nochmals kurz, was genau das Kommutativgesetz besagt und zeigte ihnen, dass man bei der Addition die Summanden vertauschen darf. Im Optimalfall so, dass einem die Rechnung leichter fällt. Um das **ganze** zu Verbildlichen, verschob ich die Zahlen an der Wandtafel und vertauschte so deren Reihenfolge, bis die Rechnung einfach zu lösen war. (Wie man diese Aufgabe genau lösen kann, steht im Kapitel 4.4.1 auf Seite 6)

5.3.2 Von rechts nach links

Um das zu erklären, bedarf es keiner weiteren Hilfsmittel. Ich löste ihnen die Aufgabe $438 + 237 = ?$ schriftlich vor und sagte, dass sie diese Schritte (zuerst Einer zusammenzählen, dann Zehner, dann Hunderter, ...) auch auf die gleiche Weise im Kopf durchführen können (Wie das funktioniert steht auf Seite 7). Man könnte auch hier die Streichhölzer einbinden indem die

Schüler die zu addierenden Zahlen mit Streichhölzern darstellen und danach ein Wirbelsturm über den Tisch fegt und alles durcheinanderbringt. Die Summe der beiden Zahlen kann auch jetzt noch bestimmt werden - jedoch nicht die einzelnen Summanden - indem man zählt wie viele Einer, Zehner und Hunderter im Durcheinander liegen. Diesen Schritt können wir auch ohne die Streichhölzer und den Wirbelsturm durchführen indem wir direkt Einer, Zehner und Hunderter der Zahlen im Kopf zusammenzählen.

5.3.3 Hinüberschieben

Wie dieser Trick funktioniert, wurde bereits im Kapitel 4.4.3 erklärt, wie ich ihn vermitteln will, folgt hier. Ich bereitete für jeden Schüler eine Streichholzschachtel vor die je 20 schwarze, weisse und rote Streichhölzer enthielt. Die verschiedenfarbigen Streichhölzer stehen jeweils für Hunderter, Zehner und Einer. Damit konnten die Schüler die Zahlen auf ihren Schreibtischen auslegen. Dies hatte den Sinn, dass sie visuell und motorisch erfahren konnten, dass sie von der einen Zahl etwas wegnehmen und bei der anderen Zahl hinzufügen. Nach zwei Beispielen nur mit den Streichhölzern legten wir die Streichhölzer beiseite und schrieben nieder. Da das Vorgehen bei diesem Trick sehr ähnlich ist wie das des Trickes *der unsichtbare Helfer* habe ich für die Schüler die folgende Eselsbrücke vorbereitet:

Das Pluszeichen (+) besteht aus zwei Strichen, folglich müssen wir zwei verschiedene Operationen (Addition **und** Subtraktion) verwenden

5.3.4 Ergänzen auf 1000

Da dieser Trick so simpel wie genial ist, wollte ich hier nicht zu viel Schnickschnack rundherum aufbauen. Ich rechnete ihnen schriftlich vor und zeigte ihnen, dass bei allen Stellen ausser der Einerstelle das Resultat und der Subtrahenden zusammen 9 ergeben, bei der Einerstelle 10. Ich erklärte ihnen weshalb dass immer so ist wenn man von 1'000 subtrahiert. Um diesen Trick weiterzuführen, erklärte ich den Schülern, dass man nach selbem Prinzip auch Zahlen auf den nächsten Hunderter ergänzen kann.

5.3.5 Der unsichtbare Helfer

Ich erzählte den Schülern vom selben Experiment, welches auch schon zuvor im Theorieteil (4.5.2) beschrieben wurde und unterlegte dies mit einer Abbildung. Das Resultat blieb das selbe, egal von wo aus gemessen wurde. Also dürfen wir selbst bestimmen von wo aus wir die Differenz bestimmen wollen. Dies können wir bewerkstelligen indem wir einen Betrag zum Minuenden und zum Subtrahenden hinzuzählen oder vom Minuenden und Subtrahenden abziehen. Wie bereits erwähnt ist dieser Trick leicht verwechselbar mit

dem Trick *Hinüberschieben* deshalb habe ich auch hier eine Eselsbrücke vorbereitet.

Das Subtraktionszeichen $(-)$ besteht aus einem Strich, deshalb müssen wir **nur eine Operation** anwenden. Entweder zählen wir bei beiden Zahlen den gleichen Betrag hinzu oder ziehen bei beiden Operatoren den gleichen Betrag ab.

5.3.6 Kettenrechnungen Subtraktion

Wie schon bei der Kettenrechnung der Addition, heftete ich auch um die Subtraktion mit mehreren Subtrahenden zu Verbildlichen, Zahlen auf Papier an die Wandtafel (dieselben Zahlen, wie im Beispiel im Kapitel 4.5.3), diesmal schrieb ich jedoch Subtraktionszeichen $(-)$ dazwischen. Nun öffnete ich nach dem Minuenden eine Klammer und schloss sie nach dem letzten Subtrahenden wieder und fragte, was ich tun muss, damit sich das Resultat nicht verändert – alle Subtraktionszeichen in der Klammer müssen zu Additionszeichen abgeändert werden. Die neu entstandene Aufgabe stellte sich aus einer Kettenrechnung der Addition und einer Subtraktion zusammen, für beide dieser Teilrechnungen hatten die Schüler zuvor Tricks kennengelernt und konnten diese bereits ein erstes Mal anwenden und verknüpfen.

5.3.7 Summen bilden

Um diesen Trick den Schüler näherzubringen, rief ich nochmals das Distributivgesetz in Erinnerung und zeigte an einem praktischen Beispiel (ein geeignetes Beispiel findet sich im Kapitel 4.6.1) vor, wie man sich das zunutze machen kann.

5.3.8 Doppelte Summe

Hier wollte ich einsteigen, indem ich den Schülern den Trick algebraisch vorstellte. Damit keine zu grossen Verwirrungen entstanden, führte ich die Bedingung, dass derselbe Summand in beiden Klammern vorkommen soll, zuerst ein und liess sie die Formel danach algebraisch ausrechnen. Ich stellte ihnen also die Aufgabe:

$$(a + b)(a + d) = ?$$

$$(a + b)(a + d) = a^2 + a \cdot (b + d) + bd$$

Was uns zur gleichen Endformel führt, wie sie im Kapitel 4.6.2 vorgestellt wurde. Danach zeigte ich ihnen an dieser Formel, dass schwierig aussehende Rechnungen einfach lösbar werden, weil man grosse Teile des Resultats bereits kennt und der Rest meist einfach auszurechnen ist.

5.3.9 Faktoren aufteilen

Hier rief ich das Assoziativgesetz in Erinnerung und erklärte ihnen die Bedeutung dessen. Dadurch dass man die Faktoren aufteilen und so zusammensetzen kann, wie man gerne möchte, ergeben sich viele neue Konstellationen die ursprüngliche Rechnung zu vereinfachen.

5.3.10 Die Übungsphase

Nach dieser Doppelstunde Theorie folgte eine Übungsphase. Die Übungsphase zieht sich über eine Periode von drei Wochen. Aufbauen wollte ich die Übungsphase wie folgt:

- Übungsblätter 1 - 4: halbschriftlich, mit Theorieblatt
- Übungsblätter 5 - 6: halbschriftlich, ohne Theorieblatt
- Übungsblatt 7 - 8: Kopfrechnen, ohne Theorieblatt

Durch diesen Aufbau wollte ich den Schülern genügend Zeit geben. Die ersten vier Übungsblätter, um sich an das Thema und zu gewöhnen und verschiedene Techniken ausprobieren. Die Übungsblätter fünf und sechs sollten dazu dienen, die eigenen Techniken zu verinnerlichen und sich vom Theorieblatt abgelöst zu rechnen. Die Übungen sieben und acht als Abschluss und auch Höhepunkt, die Schülern sollten hier dazu fähig sein, die Aufgaben im Kopf zu lösen.

6 Durchführung

Ich durfte die Doppelлекtion am 15.6.2016 gleich zweimal, mit zwei verschiedenen Klassen durchführen. Es handelte sich um zwei Mathematikurse des Niveaus A, der zweiten Sek in Einsiedeln. In den nächsten Kapiteln findet sich ein mit meinen Erfahrungen angereichertes Protokoll. Ich werde hier jedoch beide Doppelstunden gemeinsam protokollieren und auch nur von einer Doppelлекtion sprechen, da sie praktisch identisch verlaufen sind. Zum Ende der zweiten Doppelstunde, musste der Klassenlehrer die Klasse vorzeitig verlassen und ich durfte die Stunde alleine zu Ende führen und die Schüler verabschieden.

6.1 Verlauf der Doppelлекtion

Folgendes Equipment stand mir zu Verfügung: Eine herkömmliche Wandtafel, wobei eine Seite als Beamer agierte. Ebenfalls vorhanden war ein Presenter, die überholte Version des Hellraumprojektors, der es mir ermöglichte ein Blatt direkt auf den Beamer zu projizieren und gemeinsam es mit den Schülern auszufüllen.

Zu Beginn der Doppelstunde begrüßte der Klassenlehrer die Klasse und erklärte ihnen, dass ich die heutige Doppelstunde übernehmen würde. Danach übergab er mir das Wort und mit dem Wort auch die Zügel für die Klasse. Ich stieg ein, indem ich die Eröffnungsrunde einleitete, ich stellte mich kurz vor und übergab das Wort danach den Schülern. Die Vorstellungsrunde stockte etwas, da viele Schüler nicht wussten, was sie sagen sollten. Nach 10 Minuten leitete ich über und erzählte den Schülern von meiner Maturaarbeit und deklarierte die gemeinsamen Ziele und wie wir diese erreichen. Das Ganze wurde gestützt durch eine an die Wandtafel gebeamte Präsentation. Danach hielt ich mein kurzes Referat, welches die Schüler mit meiner Ansicht von Mathematik und dem Kopfrechnen vertraut machte und mit einer Repetition der Grundgesetze abgerundet wurde. Anschliessend teilte ich ihnen ein Theoriedossier und ein Aufgabendossier für die Doppelstunde aus. Bis hierhin waren etwa 20 Minuten vergangen.

Anschliessend startete der Teil, in welchem die Schüler gefordert wurden. Ich stieg ein mit dem Trick *Gruppen bilden*, verbildlichte ihnen den Ablauf dieser Methode an der Wandtafel. Ich zeigte ihnen, wie man Kettenrechnungen möglichst einfach lösen kann. Danach teilte ich ihnen das Theorie- und das Aufgabendossier aus und füllte ersteres mit ihnen aus. Anschliessend lösten die Schüler einige Aufgaben mit dieser Technik. Danach korrigierten wir gemeinsam die Aufgaben. Dieser Teil dauerte etwas länger als geplant etwa 15 Minuten.

Der nächste Trick *von links nach rechts* war ein Selbstläufer, alle Schüler wussten sofort, worum es geht und wie man diese Technik anwenden soll. Nach dem gemeinsamen Ausfüllen des Theorieblattes lösten die Schüler einige Aufgaben zu dieser Technik, wiederum mit gemeinsamer Korrektur. Dieser Block dauerte rund 10 Minuten.

Der Trick *hinüberschieben* erklärte ich den Schülern mit Hilfe der Streichhölzer, dafür teilte ich jedem Schüler eine Streichholzschachtel mit Streichhölzern aus. Die Streichhölzer waren in drei verschiedenen Farben eingefärbt (symbolisch für Einer, Zehner und Hunderter). Wir lösten zwei Beispiele mit den Streichhölzern, füllten das Theorieblatt aus und die Schüler lösten wiederum die Aufgaben auf dem Aufgabenblatt. Wir besprachen gemeinsam die Lösungswege und korrigierten die Resultate. Nun war insgesamt eine Stunde vergangen. Während der ganzen Zeit tauchten keine Fragen auf.

Wir legten eine zweiminütige Pause ein und wechselten danach zur Subtraktion. Ich erklärte ihnen am Presenter, wie man Zahlen von 1000 subtrahiert und die Schüler lösten Aufgaben dazu, danach gab ich die Kurzlösungen bekannt. Für diesen Block brauchten wir rund 5 Minuten.

In den nächsten 5 Minuten erklärte ich den Schülern wie der Trick *der unsichtbare Helfer* anhand einer auf dem Beamer projizierte Skizze. Danach füllten wir das Theorieblatt aus und lösten Aufgaben dazu und ich gab die Kurzlösungen bekannt. Um die Subtraktion abzuschliessen erklärte ich den Schülern, wie man Subtraktionskettenrechnungen umstellen kann. Für Erklärung, Ausfüllen des Theorieblattes und für das Lösen und Kontrollieren zweier Beispiele brauchten wir knapp 5 Minuten.

Und um die Lektion abzurunden widmeten wir uns zum Schluss noch der Multiplikation. Am Beamer rief ich nochmals das Distributivgesetz in Erinnerung und leitete über zum Trick *Summen bilden*. Ich füllte gemeinsam mit ihnen das Theorieblatt dazu aus, sie lösten Aufgaben mit dieser Technik und ich gab die Kurzlösungen bekannt.

Die Zeit war schon fast um, deshalb schnitt ich in der verbleibenden Zeit noch kurz den Trick *doppelte Summe* an, erklärte den Schülern, wie sie ihn anwenden können und verewigten ihn auf dem Theorieblatt. Da die Zeit zu knapp war noch Aufgaben mit diesem Trick zu bearbeiten, brach ich an dieser Stelle ab und schob bevor es läutete und ich die Schüler verabschiedete noch einen Ausblick, wie das Projekt weiterläuft ein.

6.2 Verlauf der Übungsphase

Danach erhielten die Schüler zu Beginn jeder Mathestunde 5 Minuten Zeit, auf einem von mir erstellten Aufgabenblatt, so viele Aufgaben wie möglich zu lösen. Dies geschah also 3 Mal wöchentlich. Bis zum Stichtag wären insgesamt acht Übungsserien geplant gewesen. Aus diversen Gründen fand an einigen Tagen kein regulärer Matheunterricht statt, weshalb die beiden Klassen nur fünf respektive sechs Übungsserien gelöst haben. Die Übungsserien korrigierte ich zu Hause und wertete sie aus. Damit die Schüler wussten wo sie stehen, schrieb ich nach vier Übungsblättern jedem Schüler eine persönliche Rückmeldung. Die Rückmeldung verschaffte den Schülern einen Überblick, wo sie stehen, was sie gut machen, wo sie sich noch verbessern können und worauf sie besonders genau achten müssen.

6.3 Abschluss

Am 6.7.2016 besuchte ich die Klassen ein zweites Mal, um ihnen mitzuteilen, wie das Projekt verlaufen ist und gleiches mit ihnen auszuwerten. Zuerst liess ich die Schüler ein Rückmeldebogen ausfüllen, damit ich ein Feedback von ihrer Seite hatte und wusste wie sich das Projekt für sie angefühlt hat. Danach erzählte ich den Schülern, wie das Projekt verlaufen ist und dass ich mit dem Verlauf sehr zufrieden war.

6.4 Mein Eindruck

Zu Beginn der Doppellektion war ich extrem angespannt, diese Anspannung legte sich nur zum Teil nieder. Während den Lektionen habe ich die Zeit völlig vergessen und deshalb zu Beginn eher ein zu langsames Tempo angeschlagen, was dazu führte, dass ich nicht so weit kam, wie ich es mir gewünscht hätte. Die Schüler waren während der ganzen Zeit aufmerksam dabei und verstanden, meinem Gefühl nach, was ich ihnen vermitteln wollte. Der Kurzvortrag kam soweit gut an bei den Schülern, alle Schüler hörten aktiv zu und niemand schweifte merklich ab oder machte etwas Anderes nebenbei. Meiner Meinung nach sehr gut angekommen ist der Einstieg mit dem Trick *Summen bilden*, da dieser für praktisch alle Schüler ein Aha-Erlebnis beinhaltete und ihnen ein erstes Mal zeigte, dass Mathematik auch einfach geht. Dadurch waren sie gespannt auf das weitere, dass sie lernen können.

Ich hatte das Arbeitstempo der Schüler etwas unterschätzt, sie brauchten länger als von mir geplant, um die Aufgaben zu bearbeiten. Auf der anderen Seite gab es einige sehr schnelle Schüler, die nach kurzer Zeit fertig waren und keine weiteren Aufgaben mehr hatten.

Mit dem Verlauf der Übungsserien, war ich sehr zufrieden. Bei der Auswertung der Übungsserien, stand ich vor dem Problem, dass ich keinen direkten Kontakt zu den Schülern hatte. Deshalb schrieb ich für jeden Schüler eine Rückmeldung, damit er erfuhr, wo er steht und worauf er besonders achten sollte. Während der Übungsphase hatte ich das Gefühl, dass die Schüler grundsätzlich verstanden haben, um was es geht.

7 Auswertung des Projektes

Im folgenden Kapitel geht es darum, eine Bilanz zu ziehen. Diese Bilanz habe ich erstellt mit Hilfe der Schülerfragebogen, eines Gesprächs mit dem Klassenlehrer und aufgrund der Leistungen, welche die Schüler während der Übungsphase geleistet haben. Die Auswertung gliedert sich in drei Teile. Im ersten Teil werde ich den Unterricht auswerten, was gut war und was ich ein nächstes Mal anders machen würde. Im nächsten Unterkapitel geht es um die Messbaren Werte, haben die Schüler ihre Kopfrechenfähigkeit verbessert? Zum Schluss werde ich auswerten, ob ich meine Ziele erreicht habe: haben die Schüler mehr Freude am Kopfrechnen gewonnen? Ist der mathematische Grundgedanke bei ihnen angekommen? Diese Auswertung ist statistisch nicht aussagekräftig, weil einerseits zu wenige Schüler am Projekt teilgenommen haben und andererseits waren es Schüler, welche gut in Mathematik sind und den Mathekurs des höchsten Niveaus besuchen.

7.1 Auswertung des Unterrichts

Beim zweiten Besuch in der Klasse, fühlte ich den Schülern auf den Zahn und wollte von ihnen wissen, was ihnen gefallen hat, was nicht und wie es ihnen ergangen ist. In diesem Gespräch kam heraus, dass auch den Schülern aufgefallen ist, dass ich (zu) viel Stoff in diese Doppelktion hineinpressen wollte. Viele Schüler wünschten sich ein etwas langsames Tempo und etwas mehr Zeit zwischen den einzelnen Inputs. Auch erwähnt wurde, dass die Stoffdichte sehr hoch war und sie sehr stark forderte. Die weiteren Rückmeldungen waren positiv, alle Schüler stimmten zu, dass die Rückmeldung, die sie erhalten haben, sie sehr stark motivierte. So wussten sie, einerseits auf welchem Weg sie sich befanden (alle befanden sich auf sehr gutem Weg) andererseits motivierte sie die positive Rückmeldung und spornte sie an. Viel Schüler gaben auch an, dass es ihnen wirklich etwas gebracht hat und sie etwas gelernt haben. Dinge die sie gelernt haben variierten vom: Erlernen des Minusrechnens im Kopf bis zum Erlernen neuer Wege beziehungsweise neuer Strategien. Eine Mehrheit der Schüler empfand die Einschübe zu Beginn jeder Lektion als eine willkommene Abwechslung zum Hauptthema, einige wenige Schüler jedoch empfanden diese Abwechslung als störend.

Aus dem Feedback des Klassenlehrers kam folgendes heraus: Die Lektion war seiner Meinung nach sehr gut und ausführlich vorbereitet. Der Stoff war gut auf ihr Können abgestimmt und die Lektion war didaktisch gut aufgebaut. Folgende Punkte sind verbesserungswürdig: Mein Auftreten war, vor allem zu Beginn, sehr angespannt und nervös. Ich packte zu viel Stoff in diese eine Doppelktion. Ich habe sehr stark doziert und somit die Schüler wenig eingebunden, ein nächstes Mal sollte ich die Schüler mehr einbinden. Wenn ich eine Frage an die Klasse stelle, wartete ich meist nicht bis sich jemand zu Wort meldete, sondern erlöste ich die Schüler, nach kurzer Zeit peinlichen Schweigens und teilte ihnen jeweils die Lösung mit. Die Rückmeldung an die Schüler war notwendig, ich hätte viel lieber noch mehr Kontakt gehabt und viel unmittelbarer eingreifen können.

7.2 Auswertung der Leistungen

Ich werde mich im folgenden Teil den folgenden Mittel und Begriffe bedienen: Boxplotdiagramme, Median, Quartil und Streuung. Damit keine Verwirrungen entstehen, wird hier kurz das wichtigste, dass es über die Begriffe zu wissen gibt erklärt:

Median: Der Median ist der Mittelwert einer Probe, vergleichbar mit dem Durchschnitt. Um den Median zu berechnen werden alle Werte der Größe nach geordnet, wobei der Median dem Element in der Mitte entspricht (beziehungsweise dem Durchschnitt der zwei mittleren Elementen bei einer geraden Anzahl Elementen). Ich verwende den Median anstelle des Durchschnittes, weil der Median weniger beeinflusst wird durch Ausreisser und

somit für meine Auswertungen aussagekräftiger ist. (Kalisch, Bühlmann & Künsch, 2016, S. 45)

Quantil: Als α -Quantil wird der Schwellenwert bezeichnet, bei welchem genau $\alpha\%$ der Werte unterhalb und $(100 - \alpha)\%$ oberhalb dieser Grenze liegen. Verschiedene Quantile geben Auskunft über die Verteilung der Proben. Ein 25% Quantil bezeichnet die Stelle, an welcher genau 25% kleiner sind als dieser Schwellenwert. Der Median ist eigentlich ein Spezialfall eines Quantils ist der Median, welcher eigentlich ein 50% Quantil ist. (Kalisch et al., 2016, S. 45)

Boxplot: Der Boxplot teilt sich auf in die rechteckige Box und die Antennen, auch Whisker genannt. Innerhalb der Box befindet sich eine Linie, welche den Median bezeichnet, folglich befinden sich 50% der Werte oberhalb und 50% der Werte unterhalb dieser Linie. Die Box wird nach oben und unten durch das 75% respektive 25% Quartil begrenzt. Was bedeutet, dass genau die Hälfte aller Werte innerhalb der Box liegen. Der restliche Teil des Boxplottes besteht aus dem Whisker, welcher den kleinsten erreichten *normalen* Wert mit der Box verbindet. Als normale Werte werden Werte bezeichnet, welche weniger als das 1.5-fache der Quartilsdifferenz (die Länge der Box) von der Box entfernt sind. Werte, welche weiter als die eineinhalbfache Quartilsdifferenz von der Box entfernt sind, werden als Ausreißer bezeichnet und durch Punkte dargestellt. Werde ich im folgenden Teil von der Streuung sprechen, so beziehe ich mich dabei auf die Quartilsdifferenz. Ein Boxplot gibt also Auskunft über die Lage und Verteilung der Werte. (Kalisch et al., 2016)

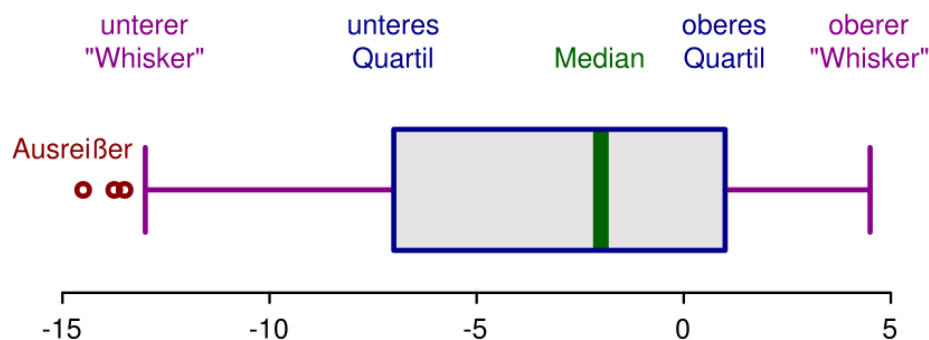


Abbildung 2: Beispiel eines Boxplotdiagrammes

Bildquelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elements_of_a_boxplot-en.svg

Wichtig für die Interpretation der Diagramme ist, dass die Aufgaben tendenziell immer schwieriger wurden. Während die Aufgaben der Übungsserie

1, bewusst trivial gewählt wurden, wurden mit der Zeit immer schwierigere Aufgaben, bei welchen eine einfache Lösung nicht auf den ersten Blick erkennbar war eingestreut. **Innerquartilsabstand:** Unter dem Interquartilsabstandes (oder auch Quartilsdifferenz) wird die Differenz zwischen dem 75% und dem 25% Quartil verstanden. Im Boxplot entspricht diese Grösse der Länge der Box. Dies ist ein alternatives Mass zur Standardabweichung, welches Auskunft über die Streuung gibt.

7.2.1 Streuung der Klasse

In Abbildung 3 ist abgebildet wie viele Aufgaben jeder Schüler nach fünf Arbeitsblättern richtig gelöst hat. Bei dieser Darstellung wurden nur die ersten fünf Arbeitsblätter gewertet, da nur Klasse 1 sechs Arbeitsblätter gelöst hat.

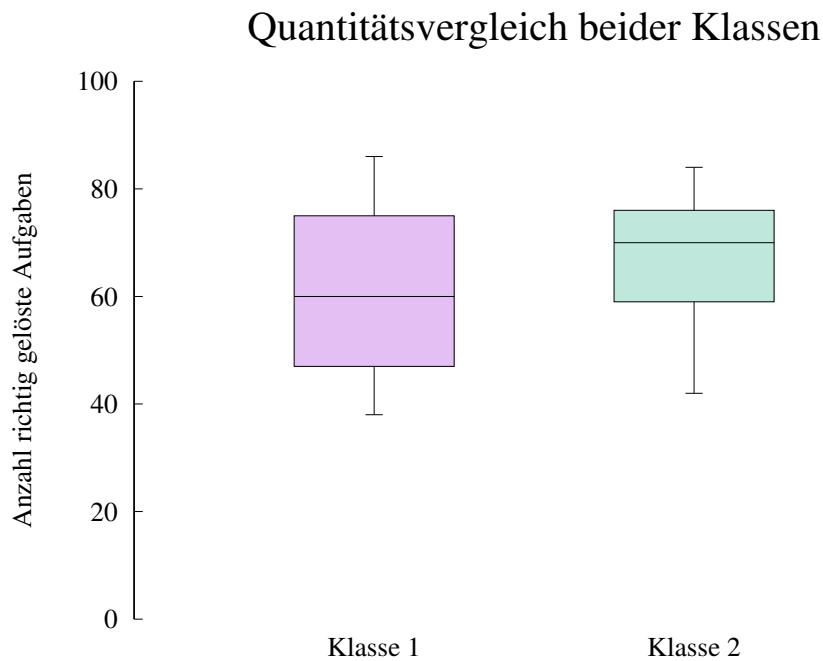


Abbildung 3: Gesamthaft richtig gelöste Aufgaben pro Schüler nach 5 Übungsserien

7.2.2 Quantiätsverlauf

In Abbildung 4 ist die Verteilung der quantitativen Leistungen der Klasse 1 abgebildet. Selbes Diagramm für Klasse 2 findet sich in Abbildung 6.

Wie sich jeder Schüler der Klasse 1 individuell quantitativ entwickelt hat, ist in Abbildung 5 visuell dargestellt. Die selbige Abbildung für Klasse 2 ist in Abbildung 7 visualisiert.

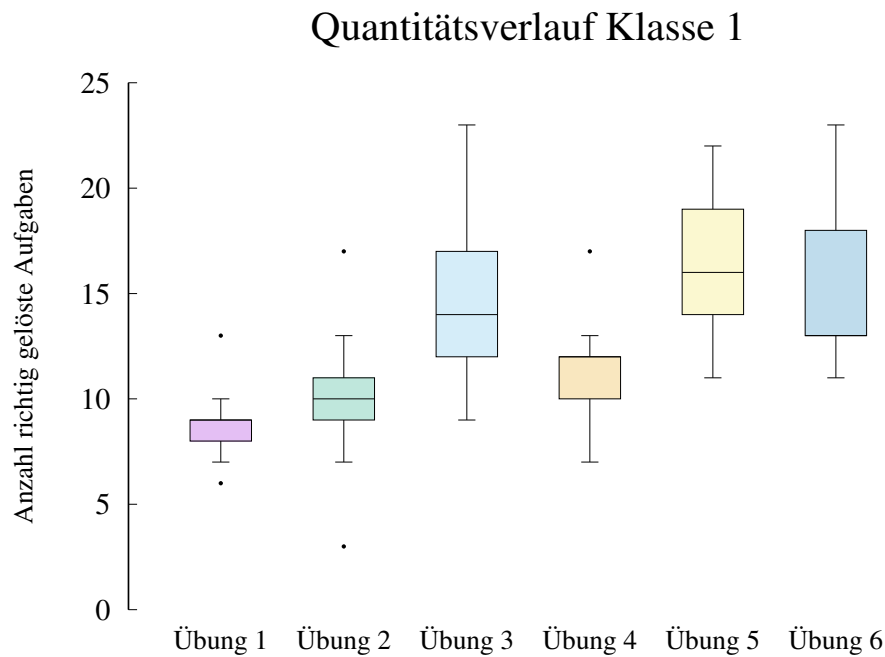


Abbildung 4: Quantitätsentwicklung der Klasse 1 dargestellt als Boxplot. Der Median ist bei Übung 1 und Übung 4 mit dem oberen, bei Übung 6 mit dem unteren Ende der Box zusammengefallen

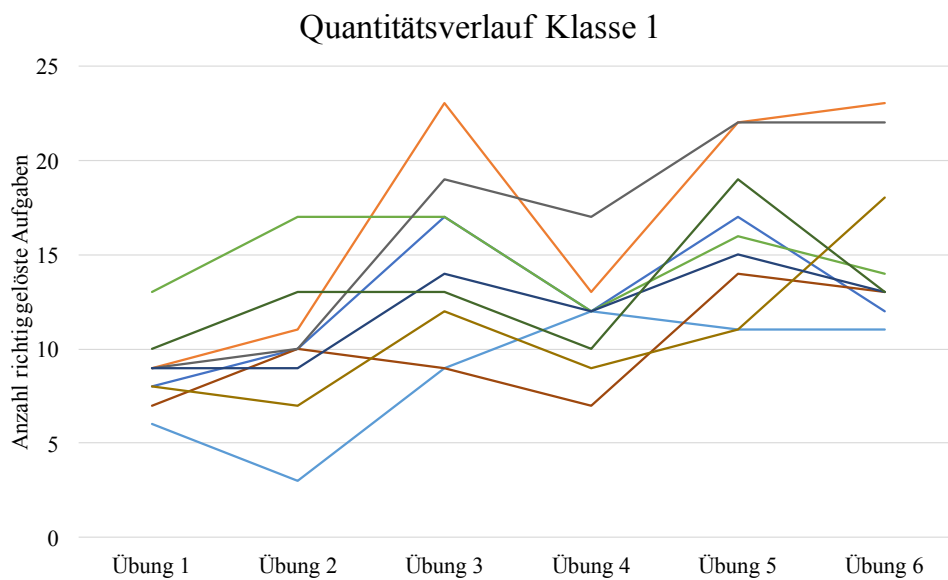


Abbildung 5: Quantitätsentwicklung der Klasse 1 dargestellt als Liniendiagramm

Quantitätsverlauf Klasse 2

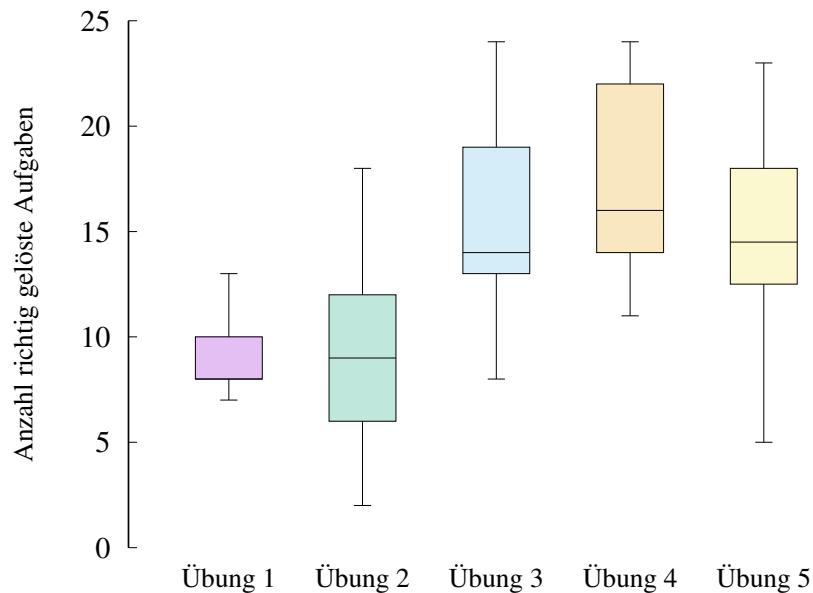


Abbildung 6: Quantitätsentwicklung der Klasse 2, dargestellt als Boxplot. Bei Übung 1 bestand die Testgruppe aus 14 Personen, bei Übung 6 aus 13 Personen. Die restlichen Übungen wurden von allen 15 Schülern der Klasse 2 gelöst. Der Median ist bei Übung 1 mit dem unteren Ende der Box zusammengefallen

Quantitätsverlauf Klasse 2

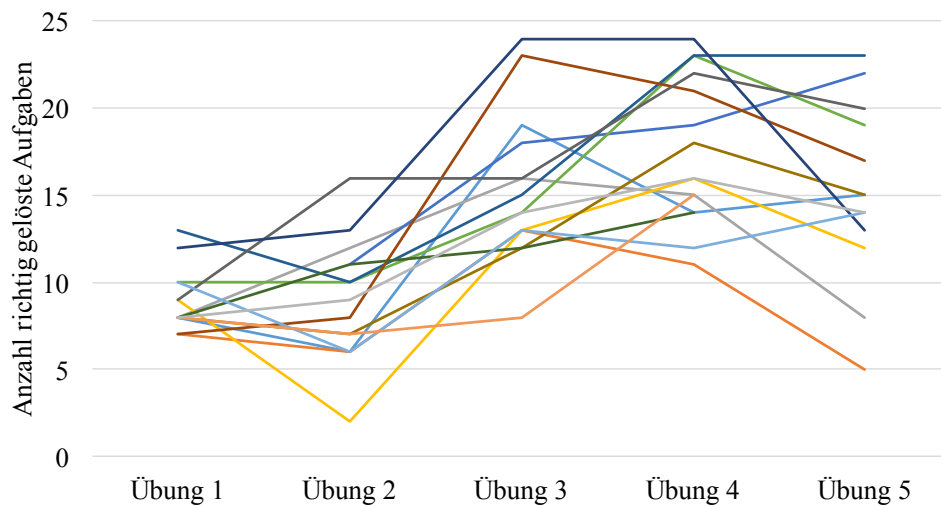


Abbildung 7: Quantitätsentwicklung der Klasse 2, dargestellt als Liniendiagramm. Bei Übung 1 war eine Person abwesend, bei Übung 6 fehlten zwei Personen.

7.2.3 Qualitätsetwicklung

Dieser Teil der Auswertung betrachtet den Quotienten zwischen der Anzahl richtig gelösten Aufgaben im Verhältnis zu den falsch gelösten Aufgaben. Der prozentuale Anteil richtig gelöster Aufgaben lässt sich wie folgt errechnen:

$$\frac{\text{Anzahl richtig gelöste Aufgaben}}{\text{Anzahl total gelöste Aufgaben}} \cdot 100$$

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen den Qualitätsverlauf der Klasse 1 respektive Klasse 2.

Der Verlauf der medialen Fehlerquote ist in Abbildung 10 dargestellt. Hier wurde die Anstelle der prozentual richtig gelösten Aufgaben die prozentual falsch gelösten Aufgaben verwendet. Dieser Wert lässt sich auf die folgenden zwei Arten berechnen:

$$\text{Fehlerquote} = 100\% - \text{Prozentsatz richtig gelöste Aufgaben}$$

oder

$$\text{Fehlerquote} = \frac{\text{Anzahl falsch gelöste Aufgaben}}{\text{Anzahl gelöste Aufgaben total}}$$

Abbildung 11 zeigt den Quantitätsverlauf beider Klassen im Vergleich, gemessen am Median, also *dem* mittleren Schüler

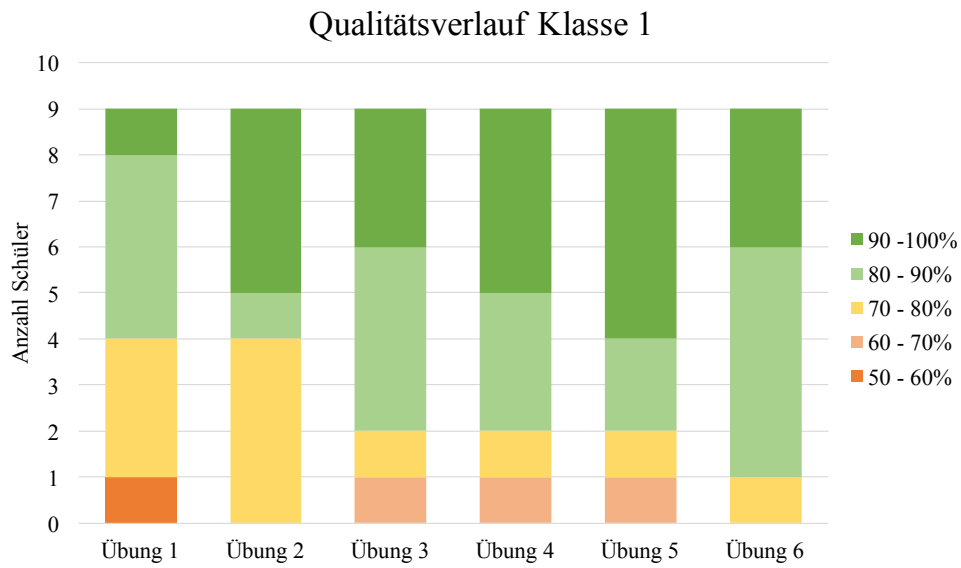


Abbildung 8: Visualisierung der Qualitätsentwicklung der Schüler der Klasse 1

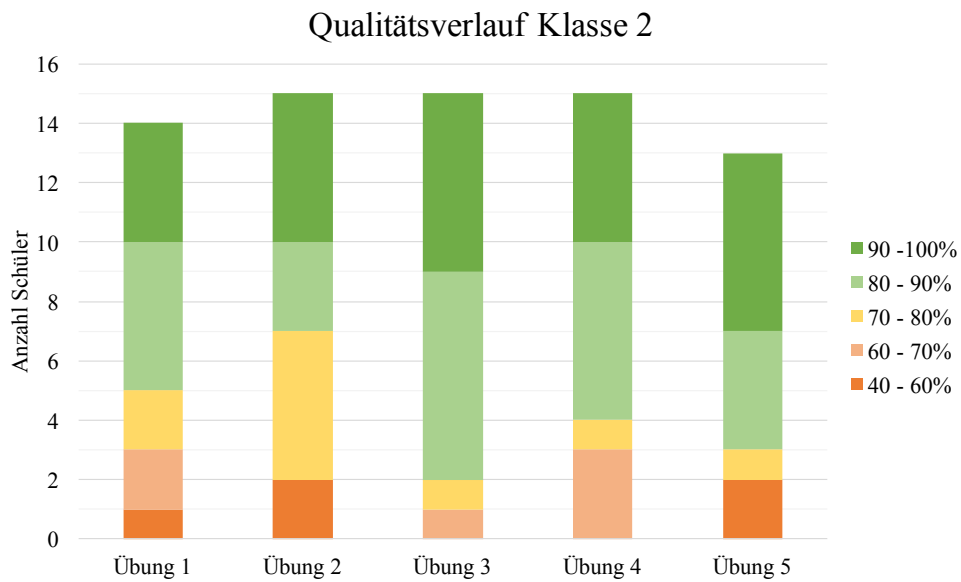


Abbildung 9: Qualitätsentwicklung der Schüler der Klasse 2

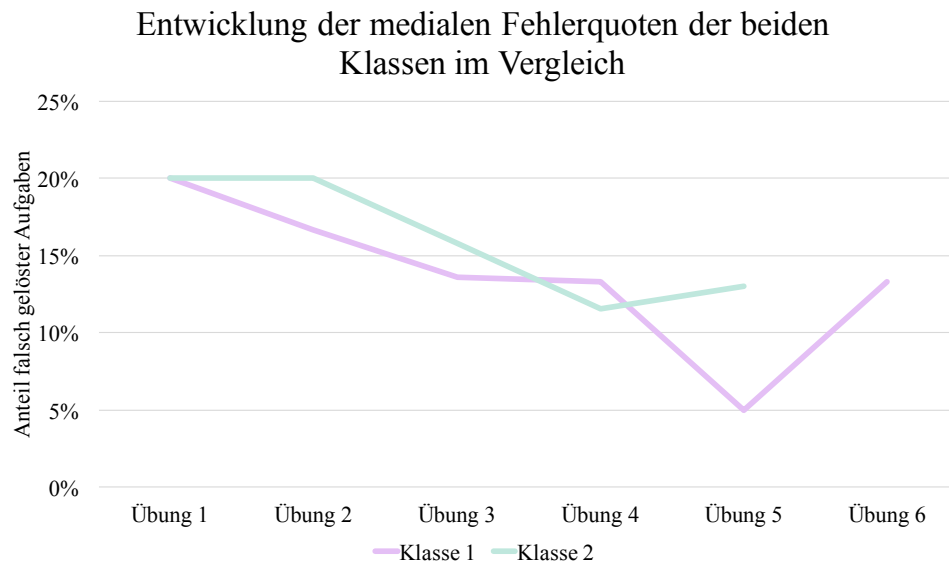


Abbildung 10: Verlauf der Fehlerquote des *mittleren Schülers* beider Klassen im Vergleich

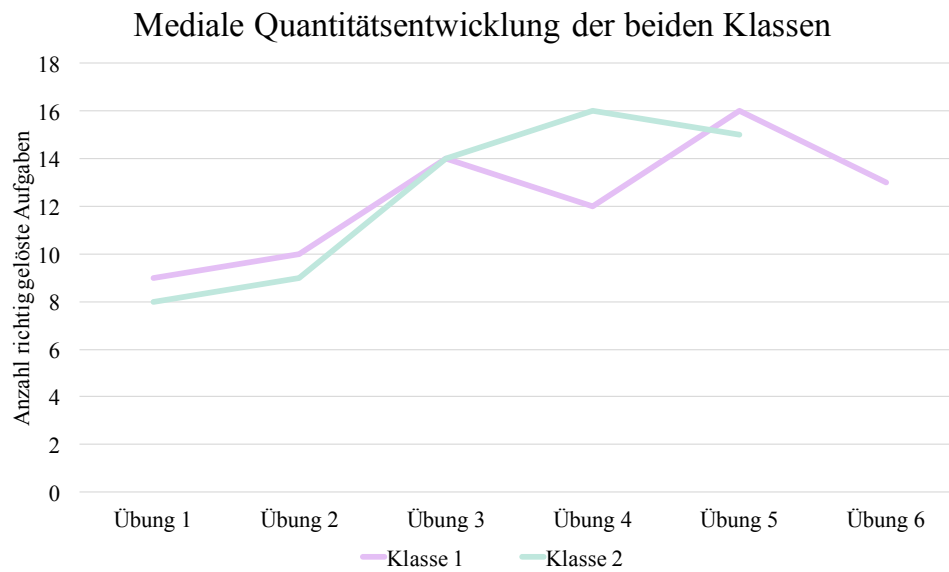


Abbildung 11: Mengenmäßige Entwicklung des *mittleren Schülers* beider Klassen

7.3 Auswertung meiner Ziele

Zum Schluss der Auswertung geht es darum, ob ich meine Ziele erreicht habe oder nicht. Da Werte wie Freude oder Motivation von Person zu Person unterschiedlich aufgefasst werden, ist es beinahe unmöglich solche Werte zuverlässig mit Zahlen zu erfassen und auszudrücken. Deshalb habe ich diese Auswertung aufgrund eines Kreisgespräches erstellt. Rund $\frac{2}{3}$ der Schüler gaben an, dass sie nach dem Projekt motivierter als vorhin an Kopfrechnungsaufgaben herangingen. $\frac{4}{5}$ der Schüler gaben an, neue Techniken erlernt zu haben, der Rest rechnete weiterhin mit bereits zuvor selbst erlernten Methoden. Jeder dritte Schüler stimmte zu, dass er Freude am Kopfrechnen gewonnen hatte. Schlussendlich, und das sei das wichtigste, gaben alle Schüler an, dass sie sich besser zu helfen wussten als zu vor. Mit einigem nachhaken stimmten alle Schüler zu, dass die mathematischen Gesetze nicht nur da sind um Schüler zu plagen, sondern auch nützlich sein können und ausgenutzt werden dürfen. Dass es in der Mathematik darum geht, sich eine möglichst einfache Lösung für ein vorhandenes Problem zu suchen, dem stimmten auch alle Schüler zu. Ich habe meine Ziele also erreicht.

8 Diskussion der Ergebnisse

Hier möchte ich abermals anmerken, dass es nicht darum geht, eine statistisch aussagekräftige Analyse meines Projektes durchzuführen. Vielmehr geht es darum auszuwerten ob das Projekt, so wie es durchgeführt wurde, erfolgreich war oder nicht.

8.1 Quantitative Entwicklung

Einerseits lässt sich bei Betrachtung der Abbildungen 4, 5, 6 und 7 relativ schnell erkennen, dass die Schüler im Verlauf des Projektes fähig waren mehr Aufgaben in der gleichen Zeit zu lösen. Dies ist einerseits nicht verwunderlich, da sie mit der Zeit den Ablauf kannten und auch die Methoden verinnerlicht haben. Unter Einbezug des Indizes, dass die Aufgaben mit der Zeit schwieriger wurden, lässt sich dennoch auf eine Verbesserung schliessen. Untersucht man in Abbildung 4 genauer, so erkennt man, dass sich in der Klasse 1 sowohl die Anfangs schlechten Schüler, als auch die Anfangs besseren Schüler verbessert haben. Der gleiche Trend ist für Klasse 2 in Abbildung 6 erkennbar. Auffallend ist, dass bei beiden Klassen Übung 5 schlechter ausgefallen ist, als Übung 4. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass sie bis und mit Übung 4 das Theorieblatt zu Hilfe nehmen durften und in Übung 5 das erste Mal auf sich alleine gestellt waren. Klasse 1 hatte bei Übung 4 einen Abschiefer, was vermutlich auf einen schlechten Tag hinweist, denn Klasse 2 hatte unter den gleichen Bedingungen ihr Spitzenresultat abgeliefert.

In den Abbildungen 5 und 7 lässt sich der individuelle Verlauf der einzelnen Testpersonen nachvollziehen. Gut Erkennbar ist, dass die tiefsten Werte immer von unterschiedlichen Schülern erreicht wurden. In Klasse 2 zeigt sich eine Ausnahme wobei eine Testperson etwas zum Schluss unten wegfällt. Diese Testperson hat einen Trick falsch verstanden und folglich auch falsch angewandt. Dies führte dazu, dass sie alle Aufgaben des gleichen Typs falsch löste, ebenfalls diese Testperson realisierte in Abbildung 9 jeweils einen der tiefsten Werte. Vergleicht man die Verteilung der Werte, also die Streuung der Leistungen, so zeigt sich in beiden Klassen zunächst eine sehr kleine Streuung, welche jedoch im Verlauf des Projektes stark zunimmt. Die Streuung wird in den Boxplots dargestellt durch die Länge der Box, beziehungsweise in den Liniendiagrammen durch die Dichte der Linien. Diese grösser werdende Streuung weist darauf hin, dass die Schüler sehr unterschiedliche Entwicklungsgeschwindigkeiten aufweisen. Aber nichts desto trotz, ist bei allen Schülern eine Verbesserung erkennbar.

8.2 Entwicklung der Qualität

Um die qualitative Entwicklung zu verfolgen, dienen die Abbildungen 8 und 9. Eine sehr starke Entwicklung legte die Klasse 1 an den Tag. Sehr schön ist der Trend erkennbar, dass der grüne Anteil der Säulen immer grösser wird. Setzt man die Abbildung 8 in Korrelation mit Abbildung 4 so fällt auf, dass die Schüler nicht nur fähig waren mehr Aufgaben zu lösen, sondern von diesen Aufgaben auch einen grösseren Anteil korrekt lösten. Setzt man diese zwei Erkenntnisse in Verbindung mit dem Fakt, dass die Aufgaben stetig schwieriger wurden, so erkennt man: Klasse 1 hat eine grosse Entwicklung hingelegt. Sie haben immer mehr immer schwierigere Aufgaben korrekt gelöst.

Die qualitative der Klasse 2 bewegt sich in einem ähnlichen Bereich wie derjenige der Klasse 1. Aus Abbildung 9 lässt sich ablesen, dass auch die Testpersonen der Klasse 2 den Anteil richtig gelöster Aufgaben verbessern konnten. Anzumerken ist, dass die zwei Personen, welche bei Übung 5 abwesend waren, bei Übung 4 einen Korrektheitsgrad zwischen (80% und 90% bzw. 90% - 100%) erreichten. Auffallend ist, dass sich hartnäckig eine oder zwei Testpersonen im dunkelorange Bereich befanden, dies ist nicht weiter beunruhigend, da sich diese Werte auf verschiedene Testpersonen verteilen, welche vermutlich an diesem Tag einen schlechten Tag einzogen. Erstaunlich ist, dass diese Testperson, welche einen Trick falsch anwendete dennoch gute Werte erreichte und nur zweimal in den dunkelorange Bereich abtauchte.

8.3 Zusammenfassung

Um die Ergebnisse nochmals kurz zusammenfassen, dienen die Abbildungen 10 und 11. Sie visualisieren sowohl die Quantitäts- als auch die Qua-

litätsentwicklung des Medians. Der Median steht für *den mittleren Schüler*, die Diagramme zeigen also die Entwicklung des mittleren Schülers, stellvertretend für die ganze Klasse. In Abbildung 10 zeigt sich, dass in beiden Klassen die Fehlerquote reduziert wurde. Dass die Kurve der Klasse 1 zum Schluss wieder nach oben bewegt, deutet auf eine kollektiv ausserordentliche Leistung in der fünften Übungsserie hin. Die quantitative Entwicklung des mittleren Schülers, oder eben der Klassen, ist in Abbildung 11 dargestellt. Wiederum ist eine konstante Entwicklung erkennbar, auch hier Schön erkennbar, dass die Klasse 1 in der vierten Übungsserie einen schlechten, Klasse 2 einen sehr guten Tag eingezogen haben. Zusammenfassend kann man sagen, dass sich beide Klassen qualitativ und quantitativ verbessert haben. Die Zahlen sprechen für sich, die Schüler waren am Ende des Projektes fähig, Kopfrechenaufgaben schneller und mit weniger Fehlern zu lösen als zu Beginn des Projektes. Somit war das Projekt, mit diesen Schülern durchgeführt, definitiv ein Erfolg.

8.4 Persönliche Bilanz

Das Unterrichten der Schüler und das Auswerten ihrer Arbeiten hat mir sehr grossen Spass bereitet. Umso schöner ist es, zu sehen, dass die Ernte Früchte trägt. Für mich persönlich ist das Projekt ein grosser Erfolg, der Ausdruck in den Gesichtern, als die Schüler erkannt haben, dass es Kopfrechnen auch in einfach gibt – unbezahlbar.

Literatur

- Dambeck, H. (2012). *Je mehr löcher, desto weniger käse - mathematik verblüffend einfach* (5. Aufl.). Köln: Kiepenheuer & Witsch.
- Kalisch, M., Bühlmann, P. & Künsch, H. (2016, Februar). *Statistik 1 für biologie, gesundheitswissenschaften und pharmazeutische wissenschaften*. (Nicht offiziell veröffentlicht)
- Krauthausen, G. & Scherer, P. (2014). *Einführung in die mathematikdidaktik* (3. Aufl.). Springer Spektrum.
- Landwehr, N. (1997). *Neue wege der wissensvermittlung: ein praxisorientiertes handbuch für lehrpersonen im bereich der sekundarstufen i und ii (berufsschulen, gymnasien) sowie in der lehrer- und erwachsenenbildung* (3. Aufl.). Verlag für Berufsbildung, Sauerländer.
- Meyer, R. (2015). *Aitus: Die fünf phasen im überblick*. Airbowis. Zugriff am 4.8.2016 auf <http://arbowis.ch/index.php/67-2014/erwachsenenbildung/unterrichtsplanung/phasenmodelle/42-aitus-5-phasen-unterrichtsaufbau>

Abbildungsverzeichnis

	Titelblatt: eigene Darstellung	1
Abbildung 1	Eigene Darstellung	9
Abbildung 2	Bildquelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elements_of_a_boxplot_en.svg . . .	24
Abbildung 3	Eigene Darstellung	26
Abbildung 4	Eigene Darstellung	27
Abbildung 5	Eigene Darstellung	27
Abbildung 6	Eigene Darstellung	28
Abbildung 7	Eigene Darstellung	28
Abbildung 8	Eigene Darstellung	30
Abbildung 9	Eigene Darstellung	30
Abbildung 10	Eigene Darstellung	31
Abbildung 11	Eigene Darstellung	31

Eigenstandserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen verfasst habe und ich auf eine eventuelle Mithilfe Dritter in der Arbeit ausdrücklich hinweise.

Datum und Unterschrift

Anhänge

Arbeitsblatt 1:

- Schreibe das Blatt mit deinem Namen an.
- Du darfst die Theorieblätter benutzen.
- Du darfst den Rechenweg und Zwischenresultate aufschreiben, jedoch keine Rechnungen schriftlich lösen.
- Löse in 5 Minuten so viele Aufgaben wie möglich.

$$317 + 250 =$$

$$251 + 339 =$$

$$134 + 214 =$$

$$61 + 21 + 22 + 15 =$$

$$25 + 53 + 46 + 6 =$$

$$89 + 22 + 39 + 47 + 31 =$$

$$1000 - 405 =$$

$$1000 - 706 =$$

$$1000 - 572 =$$

$$888 - 122 =$$

$$855 - 208 =$$

$$905 - 672 =$$

$$19 * 17 =$$

$$31 * 20 =$$

$$167 + 294 =$$

$$285 + 298 =$$

$$370 + 158 =$$

$$95 + 15 + 51 + 30 + 57 =$$

$$22 + 34 + 42 + 30 + 36 =$$

$$98 + 51 + 8 + 32 =$$

$$1000 - 906 =$$

$$1000 - 342 =$$

$$1000 - 769 =$$

$$890 - 587 =$$

$$806 - 546 =$$

$$203 - 120 =$$

$$17 * 33 =$$

$$16 * 25 =$$

$$19 * 49 =$$

$$454 + 394 =$$

$$288 + 388 =$$

$$276 + 123 =$$

$$69 + 15 + 33 + 16 =$$

$$87 + 16 + 39 + 25 =$$

$$33 + 23 + 29 + 19 =$$

$$3 + 95 + 33 + 14 =$$

$$14 * 29 =$$

$$18 * 24 =$$

Arbeitsblatt 2:

- Schreibe das Blatt mit deinem Namen an.
- Du darfst die Theorieblätter benutzen.
- Schreibe den Rechenweg bzw. die Zwischenresultate so auf, dass dein Rechenweg nachvollziehbar ist.
- Löse in 5 Minuten so viele Aufgaben wie möglich.

$$7 * 14 =$$

$$11 * 30 =$$

$$591 - 269 =$$

$$267 - 107 =$$

$$409 - 73 - 21 - 36 - 31 - 48 =$$

$$1000 - 863 =$$

$$1000 - 189 =$$

$$286 + 391 =$$

$$400 + 195 =$$

$$291 + 132 =$$

$$89 + 18 + 78 + 10 + 72 =$$

$$47 + 12 + 9 + 31 =$$

$$11 * 25 =$$

$$34 + 91 + 21 + 41 =$$

$$272 + 287 =$$

$$339 + 227 =$$

$$305 - 16 - 27 - 71 - 24 - 89 =$$

$$1000 - 753 =$$

$$1000 - 475 =$$

$$680 - 524 =$$

$$925 - 143 =$$

$$461 - 184 =$$

$$932 - 829 =$$

$$18 * 23 =$$

$$27 * 33 =$$

$$14 * 21 =$$

Arbeitsblatt 3:

- Schreibe das Blatt mit deinem Namen an.
- Du darfst die Theorieblätter benutzen.
- Schreibe den Rechenweg bzw. die Zwischenresultate so auf, dass dein Rechenweg nachvollziehbar ist.
- Löse in 5 Minuten so viele Aufgaben wie möglich.

$$1000 - 693 =$$

$$1000 - 105 =$$

$$32 * 12 =$$

$$14 * 15 =$$

$$130 + 495 =$$

$$133 + 258 =$$

$$18 + 33 + 90 + 15 + 52 =$$

$$68 + 25 + 6 + 42 + 33 =$$

$$76 + 81 + 27 + 19 =$$

$$572 - 506 =$$

$$970 - 654 =$$

$$1000 - 758 =$$

$$1000 - 96 =$$

$$500 - 238 =$$

$$13 * 31 =$$

$$15 * 19 =$$

$$82 + 76 + 14 + 17 =$$

$$90 + 34 + 33 + 41 + 25 =$$

$$268 + 241 =$$

$$331 + 124 =$$

$$248 + 466 =$$

$$155 + 258 =$$

$$12 \cdot 20 =$$

$$35 \cdot 18 =$$

$$607 - 511 =$$

$$819 - 503 =$$

Arbeitsblatt 4:

- Schreibe das Blatt mit deinem Namen an.
- Du darfst die Theorieblätter benutzen.
- Schreibe den Rechenweg bzw. die Zwischenresultate so auf, dass dein Rechenweg nachvollziehbar ist.
- Löse in 5 Minuten so viele Aufgaben wie möglich.

$$1000 - 41 =$$

$$1000 - 748 =$$

$$17 * 12 =$$

$$18 * 27 =$$

$$650 - 248 =$$

$$748 - 674 =$$

$$107 + 153 =$$

$$316 + 137 =$$

$$383 + 197 =$$

$$62 + 36 + 51 + 13 + 51 =$$

$$22 + 10 + 97 + 44 + 46 =$$

$$512 - 162 =$$

$$1000 - 975 =$$

$$1000 - 692 =$$

$$1000 - 349 =$$

$$14 * 41 =$$

$$11 * 31 =$$

$$863 - 72 =$$

$$615 - 509 =$$

$$808 - 219 =$$

$$7 * 13 =$$

$$340 + 485 =$$

$$290 + 125 =$$

$$72 + 42 + 24 + 18 =$$

$$12 * 29 =$$

$$48 * 43 =$$

$$935 - 189 =$$

Arbeitsblatt 5:

- Schreibe das Blatt mit deinem Namen an.
- Schreibe so wenig Zwischenschritte wie möglich auf und löse so viel wie möglich im Kopf.
- Löse in 5 Minuten so viele Aufgaben wie möglich.

$$1000 - 585 =$$

$$1000 - 169 =$$

$$1000 - 773 =$$

$$1000 - 76 =$$

$$13 * 24 =$$

$$15 * 26 =$$

$$174 + 463 =$$

$$167 + 306 =$$

$$862 - 134 =$$

$$533 - 369 =$$

$$17 * 25 =$$

$$12 * 25 =$$

$$66 + 43 + 49 + 48 =$$

$$592 - 12 - 61 - 29 - 19 =$$

$$11 * 47 =$$

$$32 * 13 =$$

$$158 + 294 =$$

$$383 + 478 =$$

$$368 - 178 =$$

$$912 - 628 =$$

$$450 + 355 =$$

$$937 - 31 - 31 - 18 - 13 =$$

$$267 + 464 =$$

$$441 + 575 =$$

$$14 * 26 =$$

$$28 * 31 =$$

$$76 + 12 + 25 + 13 =$$

$$762 - 94 - 67 - 32 - 7 =$$

$$153 + 415 =$$

$$172 + 294 =$$

$$828 - 235 =$$

$$261 + 347 =$$

$$480 - 353 =$$

$$698 - 362 =$$

$$774 - 406 =$$

$$389 + 416 =$$

$$228 + 375 =$$

$$18 * 23 =$$

$$15 * 27 =$$

$$22 * 25 =$$

$$28 * 36 =$$

$$27 * 33 =$$

Arbeitsblatt 6:

- Schreibe das Blatt mit deinem Namen an.
- Schreibe so wenig Zwischenschritte wie möglich auf und löse so viel wie möglich im Kopf.
- Löse in 5 Minuten so viele Aufgaben wie möglich.

$$1000 - 571 =$$

$$1000 - 858 =$$

$$1000 - 704 =$$

$$1000 - 393 =$$

$$25 * 11 =$$

$$20 * 22 =$$

$$12 * 23 =$$

$$68 + 53 + 44 + 8 =$$

$$409 + 199 =$$

$$397 + 328 =$$

$$443 + 282 =$$

$$750 - 568 =$$

$$933 - 411 =$$

$$26 + 43 + 46 + 35 =$$

$$23 * 19 =$$

$$23 * 28 =$$

$$562 - 476 =$$

$$499 - 331 =$$

$$375 - 282 =$$

$$853 - 638 =$$

$$11 \cdot 22 =$$

$$13 \cdot 22 =$$

$$285 - 3 - 71 - 29 - 25 =$$

$$8 + 42 + 14 + 7 =$$

$$1000 - 159 =$$

$$1000 - 487 =$$

$$415 + 226 =$$

$$491 + 260 =$$

$$236 + 270 =$$

$$152 + 295 =$$

$$735 - 382 =$$

$$886 - 161 =$$

$$282 + 415 =$$

$$237 + 383 =$$

$$115 + 326 =$$

$$286 + 258 =$$

$$344 + 467 =$$

$$13 \cdot 25 =$$

$$13 \cdot 28 =$$

$$94 + 33 + 6 + 48 =$$

$$652 - 192 - 28 - 44 - 107 =$$

$$295 - 68 + 70 - 23 - 45 =$$

$$38 \cdot 42 =$$

Arbeitsblatt 7:

- Schreibe das Blatt mit deinem Namen an.
- Schreibe so wenig Zwischenschritte wie möglich auf und löse so viel wie möglich im Kopf.
- Löse in 5 Minuten so viele Aufgaben wie möglich.

$$1000 - 722 =$$

$$1000 - 542 =$$

$$1000 - 771 =$$

$$49 + 414 =$$

$$162 + 206 =$$

$$473 + 454 =$$

$$420 + 481 =$$

$$11 * 13 =$$

$$12 * 41 =$$

$$15 * 26 =$$

$$327 - 217 =$$

$$286 - 50 =$$

$$902 - 468 =$$

$$527 - 475 =$$

$$94 + 96 + 45 + 63 =$$

$$14 + 20 + 97 + 75 =$$

$$1000 - 602 =$$

$$1000 - 205 =$$

$$253 + 262 =$$

$$178 + 464 =$$

$$163 + 255 =$$

$$730 - 198 =$$

$$836 - 83 =$$

$$10 + 22 + 34 + 86 =$$

$$95 + 37 + 53 + 9 =$$

$$24 * 15 =$$

$$11 * 28 =$$

$$17 * 23 =$$

$$18 * 18 =$$

$$411 + 156 =$$

$$396 + 146 =$$

$$300 + 302 =$$

$$296 + 224 =$$

$$549 - 480 =$$

$$493 - 17 =$$

$$914 - 775 =$$

$$16 * 27 =$$

$$13 * 36 =$$

$$239 + 325 =$$

$$736 - 49 - 10 - 68 - 82 =$$

$$236 + 66 - 29 - 54 - 52 =$$

$$298 + 391 + 251 =$$

$$892 - 756 =$$

$$332 + 356 =$$

Arbeitsblatt 8 (LEHRER):

- Schreibe das Blatt mit deinem Namen an.
- Die Aufgaben werden dir vorgelesen, schreibe nur das Resultat auf das Blatt.

$$1000 - 181 = 819$$

$$1000 - 662 = 338$$

$$279 + 181 = 460$$

$$128 + 247 = 375$$

$$5 + 77 + 30 + 63 = 175$$

$$219 - 24 = 195$$

$$695 - 316 = 379$$

$$10 * 15 = 150$$

$$21 * 18 = 378$$

$$23 * 13 = 299$$

$$368 + 266 = 634$$

$$172 + 160 = 332$$

$$267 + 357 = 624$$

$$1000 - 311 = 689$$

$$1000 - 497 = 503$$

$$1000 - 65 = 935$$

$$129 - 4 = 125$$

$$649 - 230 = 419$$

$$15 * 28 = 420$$

$$106 + 496 = 602$$

$$132 + 403 = 535$$

$$453 + 338 = 791$$

$$418 - 204 = 214$$

$$404 - 108 = 296$$

$$12 \cdot 8 = 96$$

$$7 \cdot 13 = 91$$

$$63 + 8 + 56 + 24 = 151$$

$$66 + 48 + 68 + 87 = 269$$

Klasse 1 Anzahl richtig gelöste Aufgaben

	Übung 1	Übung 2	Übung 3	Übung 4	Übung 5	Übung 6
Schüler 1	6	3	9	12	11	11
Schüler 2	9	11	23	13	22	23
Schüler 3	8	10	17	12	17	12
Schüler 4	13	17	17	12	16	14
Schüler 5	7	10	9	7	14	13
Schüler 6	9	10	19	17	22	22
Schüler 7	8	7	12	9	11	18
Schüler 8	9	9	14	12	15	13
Schüler 9	10	13	13	10	19	13
Median	9	10	14	12	16	13

Klasse 1 Anzahl falsch gelöste Aufgaben

	Übung 1	Übung 2	Übung 3	Übung 4	Übung 5	Übung 6
Schüler 1	2	1	1	0	3	1
Schüler 2	2	1	0	2	0	0
Schüler 3	2	1	1	1	2	3
Schüler 4	1	0	3	1	0	0
Schüler 5	5	2	5	2	2	2
Schüler 6	3	3	3	0	1	5
Schüler 7	3	2	5	4	6	4
Schüler 8	2	3	3	3	0	4
Schüler 9	2	1	2	2	1	2

Klasse 1 Anzahl gesamthaft gelöste Aufgaben

	Übung 1	Übung 2	Übung 3	Übung 4	Übung 5	Übung 6
Schüler 1	8	4	10	12	14	12
Schüler 2	11	12	23	15	22	23
Schüler 3	10	11	18	13	19	15
Schüler 4	14	17	20	13	16	14
Schüler 5	12	12	14	9	16	15
Schüler 6	12	13	22	17	23	27
Schüler 7	11	9	17	13	17	22
Schüler 8	11	12	17	15	15	17
Schüler 9	12	14	15	12	20	15

Klasse 1 Fehlerquote

	Übung 1	Übung 2	Übung 3	Übung 4	Übung 5	Übung 6
Schüler 1	0.25	0.25	0.1	0	0.21428571	0.08333333
Schüler 2	0.18181818	0.08333333	0	0.13333333	0	0
Schüler 3	0.2	0.09090909	0.05555556	0.07692308	0.10526316	0.2
Schüler 4	0.07142857	0	0.15	0.07692308	0	0
Schüler 5	0.41666667	0.16666667	0.35714286	0.22222222	0.125	0.13333333
Schüler 6	0.25	0.23076923	0.13636364	0	0.04347826	0.18518519

Schüler 7	0.27272727	0.22222222	0.29411765	0.30769231	0.35294118	0.18181818
Schüler 8	0.18181818	0.25	0.17647059	0.2	0	0.23529412
Schüler 9	0.16666667	0.07142857	0.13333333	0.16666667	0.05	0.13333333
Median	0.2	0.16666667	0.13636364	0.13333333	0.05	0.13333333

Klasse 2 Anzahl richtig gelöste Aufgaben

	Übung 1	Übung 2	Übung 3	Übung 4	Übung 5
Schüler 10	8	6	19	14	15
Schüler 11	7	6	13	11	5
Schüler 12	8	12	16	15	8
Schüler 13	9	2	13	16	12
Schüler 14	abwesend	11	18	19	22
Schüler 15	10	10	14	23	19
Schüler 16	13	10	15	23	23
Schüler 17	7	8	23	21	17
Schüler 18	9	16	16	22	20
Schüler 19	8	7	12	18	15
Schüler 20	12	13	24	24	13
Schüler 21	8	11	12	14	abwesend
Schüler 22	10	6	13	12	14
Schüler 23	8	7	8	15	abwesend
Schüler 24	8	9	14	16	14
Median	8	9	14	16	15

Klasse 2 Anzahl falsch gelöste Aufgaben

	Übung 1	Übung 2	Übung 3	Übung 4	Übung 5
Schüler 10	4	7	4	7	4
Schüler 11	5	2	3	6	4
Schüler 12	1	3	1	7	6
Schüler 13	3	2	0	2	0
Schüler 14	0	2	5	2	2
Schüler 15	1	0	3	3	1
Schüler 16	0	0	1	2	1
Schüler 17	4	3	2	5	4
Schüler 18	1	0	3	2	3
Schüler 19	1	3	2	3	1
Schüler 20	0	3	1	2	1
Schüler 21	2	0	3	1	0
Schüler 22	3	2	1	4	3
Schüler 23	2	2	4	2	0
Schüler 24	2	0	3	2	3

Klasse 2 Anzahl gesamthaft gelöste Aufgaben

	Übung 1	Übung 2	Übung 3	Übung 4	Übung 5
Schüler 10	12	13	23	21	19
Schüler 11	12	8	16	17	9
Schüler 12	9	15	17	22	14
Schüler 13	12	4	13	18	12
Schüler 14	abwesend	13	23	21	24
Schüler 15	11	10	17	26	20

Schüler 16	13	10	16	25	24
Schüler 17	11	11	25	26	21
Schüler 18	10	16	19	24	23
Schüler 19	9	10	14	21	16
Schüler 20	12	16	25	26	14
Schüler 21	10	11	15	15	abwesend
Schüler 22	13	8	14	16	17
Schüler 23	10	9	12	17	abwesend
Schüler 24	10	9	17	18	17

Fehlerquote

	Übung 1	Übung 2	Übung 3	Übung 4	Übung 5
Schüler 10	0.33333333	0.53846154	0.17391304	0.33333333	0.21052632
Schüler 11	0.41666667	0.25	0.1875	0.35294118	0.44444444
Schüler 12	0.11111111	0.2	0.05882353	0.31818182	0.42857143
Schüler 13	0.25	0.5	0	0.11111111	0
Schüler 14	abwesend	0.15384615	0.2173913	0.0952381	0.08333333
Schüler 15	0.09090909	0	0.17647059	0.11538462	0.05
Schüler 16	0	0	0.0625	0.08	0.04166667
Schüler 17	0.36363636	0.27272727	0.08	0.19230769	0.19047619
Schüler 18	0.1	0	0.15789474	0.08333333	0.13043478
Schüler 19	0.11111111	0.3	0.14285714	0.14285714	0.0625
Schüler 20	0	0.1875	0.04	0.07692308	0.07142857
Schüler 21	0.2	0	0.2	0.06666667	abwesend
Schüler 22	0.23076923	0.25	0.07142857	0.25	0.17647059
Schüler 23	0.2	0.22222222	0.33333333	0.11764706	abwesend
Schüler 24	0.2	0	0.17647059	0.11111111	0.17647059
Median	0.2	0.2	0.15789474	0.11538462	0.13043478