Hierzu wurde von den Studentinnen und Studenten im Regelfall der PowerPoint oder HTML-Vortrag entsprechend erweitert, wobei die Komponente an ihrem Platz blieb. Damit entsteht langfristig um jede Komponente herum eine Sammlung von Ressourcen, die die Komponenten und ihre fachwissenschaftliche Einordnungen aus verschiedenen Perspektiven beleuchten.

5.3 Zweiter Teil: Schulversuch „Objektorientierter Modellbildung im Physikunterricht“

5.3.1 Planung des Schulversuches

5.3.1.1 Theoretische Grundlagen / Untersuchungsmodell

Ob der Prozess der Objektorientierten Modellbildung selbst ein lernhaltiger Vorgang ist, und wie sich beim Vorgang der Objektorientierten Modellbildung kognitive Strukturen bei den Durchführenden (und nicht bei den Rezipienten einer daraus entstehenden Lernsoftware) ausprägen, wurde in der wissenschaftlichen Literatur bis jetzt noch nicht als eigener Schwerpunkt empirisch untersucht. Catherine Bishop-Clark hat aber 1995 eine Meta-Erhebung über zwischen 1960 und 1995 durchgeführte Untersuchungen veröffentlicht[126], die den Zusammenhang zwischen der kognitiven Struktur eines Menschen und seinen internen Vorgängen bei der Modellbildung und Problemlösung im Zusammenhang mit Programmieraufgaben zum Thema hatten. Zahlreiche Studien nutzen die zur Untersuchung und Förderung des Problemlösungsverhaltens bei Jugendlichen von Prof. Seymour Papert entwickelte Programmiersprache LOGO, die jedoch noch nicht dem Objektparadigma entspricht. Neben den gefundenen starken Unterschieden der persönlichen Lern- und Leistungsfähigkeit bei den untersuchten Personengruppen betont Bishop-Clark eine Reihe von Unterschieden der persönlichen und kognitiven Strukturen. Typische Gegensatzpaare sind demnach:

„Analytisches Vorgehen“ gegenüber „**holistisches Vorgehen“**

Analytisch vorgehende Programmierer nutzen gerne strukturierte Vorgehensmodelle, wie das in der vorliegenden Arbeit dargestellte, um ihre Entscheidungen zu treffen und die Komplexität einer neuen Problemstellung auf eine Reihe lösbarer Teilprobleme zurückzuführen. Holistische Programmierer verlassen sich stärker auf ihre Intuition und Kreativität im Umgang mit Problemen. Vielfach finden gerade diese Personen neuartige Zugänge zu Problemlösungen. In einer Reihe von Studien[127] [128] [129] [130] wurde versucht, ein

---

[126] Bishop-Clark, C.: Cognitive Style, Personality, and Computer Programming. In: Computers in Human Behavior, Vol. 11, No. 2. USA: Elsevier Science Ltd., 1995. Seite 241ff.

[127] Bradley, C.: The relationship between student’s information processing styles and LOGO programming. In: Journal of Educational Computing Research 1, 1985. Seiten 427-433.

[128] Cheney, P.: Cognitive style und student programming ability: An investigation. In: AEDS Journal 13, 1980. Seite 285-291.

[129] Webb, N.: Microcomputer learning in small groups: Cognitive requirements and group process. In: Journal of educational Psychology 76, 1984. Seite 1076.

Zusammenhang zwischen dem kognitiven Stil und dem Grad der Problemlösungskompetenz empirisch zu ermitteln. Während die Studien von Webb keinen signifikanten Vorteil für einen der kognitiven Stile ausmachen konnte, fand Bradley ebenso deutliche Vorteile für den holistischen Stil wie Cheney für den analytischen Stil. Es kann also aus den empirischen Studien kein eindeutiges Urteil über das pro und contra der kognitiven Stile gefällt werden.

„Abhängigkeit“ gegenüber „**Unabhängigkeit“** zum betrachteten **Problemfeld**

Programmierer mit einer gewissen Unabhängigkeit zum Problemfeld tendieren eher dazu, das entweder faktisch oder in ihrer Wahrnehmung unstrukturierte Problemfeld selbst mit einer unabhängigen Struktur zu Versehen. Feld-Abhängige Programmierer dagegen lassen sich in starkem Maße vom Problemfeld beeindrucken, sie „denken sich in das Problem hinein“ und übernehmen die Struktur des Problemfeldes in ihr eigenes Problemhandeln.

Eine Reihe von Studien beobachteten, ob Schüler bei der Lösung von Problemen mit Hilfe der Programmiersprache LOGO beginnen, einen höheren Grad an Abhängigkeit zum gegebenen Problemfeld oder genereller eine stärkere Tendenz zur Unabhängigkeit von Problemfeldern entwickeln. Mehr[131] oder weniger[132] deutlich stellte sich heraus, dass Erfahrungen im Umgang mit LOGO zu einem höheren Grad an Unabhängigkeit von Problemfeldern führt.

„Impulsivität“ gegenüber „**Reflektivität“**

Bei Untersuchungen zur Ausprägung einer Persönlichkeit innerhalb dieses Gegensatzpaares wird unterschieden, wie die Personen in Situationen mit zahlreichen Handlungsalternativen vorgehen. Während impulsive Menschen dazu neigen, sich schnell für eine naheliegende Handlungsalternative zu entscheiden und die damit verbundene Handlung unverzüglich durchführen, verwenden reflektive Menschen einen erhöhten Zeitanteil damit die Konsequenzen der verschiedenen Handlungsalternativen zu durchdenken und abzuwägen. Die Fähigkeit, Konsequenzen einer antizipierten Handlung abzuschätzen und so zur Grundlage eigener Planung zu machen, ist aber eng mit der inneren Modellbildung verknüpft.

Die verschiedenen Studien[133] [134] [135] [136] zeigen sehr deutlich, dass mit der Erfahrung als Programmierer der Grad des reflektiven und abschätzenden Verhaltens zunimmt und der Grad

---

[130] Webb, N.: Cognitive Requirements of learning computer programming in group and individual settings. AEDS Journal 18 (3). Seite 183-193.

[131] Cathcart, W.: Effects of LOGO instruction on cognitive style. In: Journal of Educational Computing Research 6, 1990. Seite 242.

[132] Mohamed, M.: The effects of learning LOGO computer language upon higher cognitive processes and the analytic/global cognitive styles of elementary school students. Doktorarbeit an der Universität Pittsburgh. In: University of Ohio (Hrsg.): Dissertation Abstracts International.

[133] Alspaugh, C.: Identification of some components of computer programming aptitude. In: Journal of Research in Mathematics Education 3. Seite 89 ff.

[134] VanMerrienboer, J.: Relationship between cognitive learning style and achievement in an introductory computer programming course. In: Journal of Research on Computing in Education 29, 1988. Seite 181ff.

des impulsiven Verhaltens abnimmt. Ließe sich diese Verhaltensänderung nicht nur im engeren Kontext von Informatik und Programmierung nachweisen, sondern auf das generelle Problemlösungsverhalten z.B. im Physik- oder Technikunterricht übertragen, so wäre das nicht ohne Konsequenzen für die Fachdidaktiken technischer und naturwissenschaftlicher Fächer. Das Vermitteln von Programmierkenntnissen zur Stärkung der Modellbildungskompetenz könnte sich in einer wissenszentrierten Gesellschaft mit komplexen Strukturen sogar zu einer wichtigen Maßnahme zur Persönlichkeitsbildung, und damit zur einer zentralen Aufgabe allgemeinbildender Schulen entwickeln.

„Konvergentes“ gegenüber „**divergentes“** Denken

Konvergentes Denken folgt dem Bemühen, zu einer (und genau einer) Lösung zu kommen. Divergentes Denken wird von verschiedenen Autoren mit kreativem Denken gleichgesetzt[137]. Hierbei ist das gegebene Problem Auslöser eines Denkprozesses, der in verschiedene Richtungen geht und zu einer Reihe unterschiedlicher Lösungen führt, aus denen in einem nachfolgenden Vorgang dann realisierbare Lösungswege ausgewählt und unbrauchbare eliminiert werden können[138].

Untersuchungen fanden mehr oder weniger deutlich eine positive Korrelation zwischen dem Grad der Programmiererfahrung und dem Anteil divergenten Denkens. Die Verallgemeinerbarkeit dieser Ergebnisse wird von einigen Autoren aber als eingeschränkt angesehen[139], da die einschlägigen Studien ausschließlich mit LOGO durchgeführt wurden.

Die oben angeführten Unterschiede der kognitiven Strukturen machen es schwierig, ein einheitliches Modell für die internen Vorgänge von Jugendlichen oder Erwachsenen beim Lösen von Programmierproblemen zu finden.

---

[135] Cathcart 1990. Seite 231ff.

[136] Clements, D.; Gullo, D.: Effects of computer programming on young children’s cognition. In: Journal of Educational Psychology 76. 1051ff.

[137] Mayer, R.: Thinking, problem solving, cognition. New York: W. H. Freeman and Company, 1983.

[138] Vgl. Ausführung zum “Brainstorming“ in VDI 19226.

[139] Bishop-Clark 1995. Seite 247.

Die externen und beobachtbaren Handlungen bei Programmiertätigkeiten lassen sich dagegen in der Regel in ein Phasenschema einordnen. In der Literatur gebräuchlich[140] ist eine Aufteilung des Programmierprozesses in die Stufen:

1. Problemrepräsentation
2. Design des Softwaresystems
3. Erstellung des Quelltextes
4. Prüfung und Fehlersuche (sogenanntes „Debuggen“)

Diese Aufteilung ist offensichtlich unabhängig von den Persönlichkeitsmerkmalen des Programmierers. Eine gewisse Ähnlichkeit zur bereits beschriebenen „vollständigen Handlung“ besteht in der Antizipation der Handlung (Problemrepräsentation), der Planung und der an die Durchführung anschließenden Reflektion (Prüfung und Fehlersuche)[141]. Man könnte daher auch die Programmiertätigkeit als eine vollständige Handlung beschreiben.

5.3.1.2 Geplante Versuchsdurchführung

An die Unterrichtsreihe zur Objektorientierten Modellbildung im Physikunterricht werden folgende Ansprüche gestellt:

- Das methodische Vorgehen in der Unterrichtsreihe soll den wesentlichen Eckpunkten der objektorientierten Modellbildung folgen:
  1. Objektorientierte Analyse eines vorhandenen Systems
  2. Mediendidaktische Konzeption
  3. Medien-Produktion
  4. Einsatz und Überprüfung
- Konsequenterweise soll am Ende der Unterrichtsreihe ein **Produkt** stehen, hier in Form eines an der Realität geprüften **Software-Modells** der gleichförmigen und beschleunigten Bewegung von Gegenständen im Schwerefeld der Erde.
- Die Unterrichtsreihe soll konform zu den Richtlinien der betreffenden Schulstufe sein.

---

[140] Pennington, N.: Cognitive Components of expertise in computer programming: A review of the literature. Tech. Rep. No. 46: University of Michigan Center for Cognitive Science, Ann Arbor, MI 1982.

[141] Wobei die Fehlersuche beim Programmieren wie in keinem anderen Handwerk ein integraler Bestandteil des Produktionsprozesses ist, wie jeder, der ein wenig Programmiererfahrung hat bestätigen wird.

- Der Kenntnisstand der vermittelten physikalischen Inhalte soll bei den Schülern der Versuchsgruppen mindestens vergleichbar mit dem Kenntnisstand der Vergleichsgruppen sein.

- Der Bezug zum realen Experiment und zur gegenständlichen Bedeutung der Attribute des Software-Modells muss zu jedem Zeitpunkt erhalten bleiben. Auf keinen Fall darf ein Software-Modell von den Schülern als Träger der „absoluten Wahrheit“ interpretiert werden. Im Gegensatz sollen die Schüler dazu angehalten werden, Software-Modelle kritisch zu hinterfragen und Modellvorstellungen generell als mit Grenzen behaftet wahrzunehmen.

Zeitliche Planung des Unterrichtsversuches:

Herbst 2000:
- Pilot-Unterrichtsreihe in der Laborgruppe
- Regelunterricht in den Vergleichsgruppen
- explorative vergleichende Untersuchung

Winter 2001:
- Auswertung der vergleichenden Untersuchung
- Identifikation typischer Merkmale des Unterrichtes mit Objektorientierter
- Modellbildung
- Versuch der Deutung mit Hilfe von Interviews in der Laborgruppe

Frühjahr 2001:
- Planung des Feldversuches auf der Grundlage der gefundenen Ergebnisse

Beginn der Sommerferien:
- Kick-off-Meeting mit den am Feldversuch teilnehmenden Lehrern
- Austeilen der Versuchsunterlagen und der Lehrermedien

Herbst/Winter 2001:
- Feldversuch mit Hospitationen durch Versuchsbetreuer

Frühjahr 2002:
- Auswertung des Feldversuches

Sommer 2002:
- Projektabschlussmeeting mit den beteiligten Lehrern, Präsentation der Ergebnisse

5.3.1.3 Bedingungsanalyse: Labor-Lerngruppe

Bei der im Pilot-Projekt Lerngruppe handelt es sich um 24 Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 10. Sie bilden zusammen einen Erweiterungskurs Physik; das heißt, die Schüler haben sich in der Jahrgangsstufe 8 durch mindestens befriedigende Leistungen in

Physik für die Teilnahme an diesem Kurs qualifiziert, und den Kurs dazu als ihren Erweiterungskurs (im Gegensatz zum Grundkurs) gewählt. [142]

Zusammen mit ihren Kursleistungen in den nicht-naturwissenschaftlichen Fachgebieten gibt die Teilnahme am Physik E-Kurs den Schülern die Möglichkeit, sich für den Zugang zur gymnasialen Oberstufe zu qualifizieren, d.h. den Abschluss FOR(Q), FachOberschulReife (Qualifiziert), zu erhalten.

Es ist daher mit einer Lernmotivation zu rechnen, die über der des normalen Pflichtkurses (G-Kurs) Physik in der gleichen Jahrgangsstufe liegt. Gleichzeitig kann man aufgrund der Lernvorgeschichte der Schüler, die schließlich zur Qualifikation für den E-Kurs geführt hat, mit etwas besser ausgeprägtem mathematischen Verständnis und besser verankertem physikalischen Vorwissen aus der Jahrgangsstufe 8 rechnen.

Diese Unterschiede sind aber gradueller Art; im übrigen muss man mit der für Gesamtschulen typischen hohen Heterogenität der Lerngruppe rechnen. Dies macht eine anspruchsvolle Binnendifferenzierung notwendig.

5.3.1.4 Bedingungsanalyse: Vergleichsgruppe

Bei der Vergleichsgruppe handelt es sich ebenfalls um zwei E-Kurse der gleichen Gesamtschule mit insgesamt 28 Schülern. Die beiden Kurslehrer führen ihren Unterricht parallel zum Unterricht der Labor-Lerngruppe durch. Sie richten sich dabei weitgehend nach dem Lehrbuch (Cornelsen CVK Physik für die Jahrgangsstufe 9/10). Der Unterricht der beiden Lehrer ist reich an physikalischen Experimenten.

Für die Lerngruppe der beiden E-Kurse gilt im übrigen das für die Labor-Lerngruppe bereits gesagte.

5.3.1.5 Bedingungsanalyse: Feldversuchsgruppen

Im Feldversuch sollten die bei der Laboruntersuchung gewonnenen Erkenntnisse mit einer größeren Stichprobe von Schülern und einer Bandbreite von Schulformen und Jahrgangsstufen überprüft und untermauert werden. In einem derart breit angelegten Feldversuch lassen sich naturgemäß, im Vergleich zu den Labor- und Vergleichsgruppen, wesentlich weniger Einflussfaktoren kontrollieren. Daher sollen im folgenden lediglich die grundlegenden Sozialdaten dargestellt werden.

---

[142] Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Bereinigte Amtliche Sammlung der Schulvorschriften des Landes Nordrhein-Westfalen, Ausgabe 2001/02, Frechen: Verlagsgesellschaft Ritterbach, 2001. Teil III: Rechtsverordnungen/Erlasse: Kapitel 13: Ordnung der Ausbildungsgänge in der Sekundarstufe I, 6. Abschnitt: Besondere Bestimmungen für die Gesamtschule, § 19 Unterrichtsorganisation, Wahlpflichtunterricht, Fachleistungsdifferenzierung; VV zu § 19: 19.2.1.

Es handelt sich um insgesamt 149 Schülerinnen und Schüler aus den **Schulformen**

- Realschule (19)
- Gesamtschule (69)
- und Gymnasium (71).

Dabei waren

- 43 Schüler aus der **Jahrgangsstufe 11** (23 Gesamtschule, 20 Gymnasium)
- und die übrigen 106 aus der **Jahrgangsstufe 10** (19 Realschule, 46 Gesamtschule, 51 Gymnasium).

Das Durchschnittsalter betrug 16,02 Jahre (-1/+2) bei einer Standardabweichung von 0,83 Jahren.

Geschlechterverteilung: in den Lerngruppen des Feldversuches befanden sich 70 Mädchen und 79 Jungen. Die Geschlechterverteilung ist damit erfreulich ausgeglichen; dies ist vor allem ein Verdienst der gewählten Jahrgangsstufen. Unter den 6 verschiedenen Lehrkräften im Feldversuch waren 2 Frauen.

Mathematische Leistungen: von den 149 Schülerinnen und Schülern haben 101 entweder an einem Mathematik-Erweiterungskurs einer Gesamtschule oder am Mathematikunterricht in der Mittelstufe eines Gymnasium teilgenommen. 48 Teilnehmer haben an einem Mathematik-Grundkurs der Gesamtschule oder einem Mathematikkurs der Realschule teilgenommen. Die behandelten Inhalte in den verschiedenen Schulstufen sind unterschiedlich, so dass der Kenntnisstand der Schüler nicht direkt vergleichbar ist. Jedoch lässt sich mit dieser Klassierung eine grobe Gruppierung der Schüler in 2 mathematische Leistungsniveaus vornehmen, von denen das obere Leistungsniveau mit 101 Schülern deutlich stärker besetzt ist.

5.3.1.6 Einordnung in den Rahmenlehrplan der Laborversuchsschule

Für die E- und G-Kurse Physik hat die Fachkonferenz Physik Kurssequenzen vorgeschlagen, die eine gute Koordination unter den die Kurse unterrichtenden Fachlehrern gewährleisten sollen.

Die Kurssequenzen sind inhaltliche Ausfüllungen der für die Jahrgangsstufe gegebenen Richtlinien des Lernbereichs Naturwissenschaften.

Inhalte der Jahrgangsstufen (sog. Abteilung) 5/6 sind demnach:

- Temperatur und Wärme
- Der elektrische Strom und seine Wirkung
- Einführung in den Kraft- und Arbeitsbegriff

Inhalte der Abteilung 7/8 sind:

- Licht und Schatten
- Reflexion und Brechung des Lichtes
- Größen und Gesetze des elektrischen Stromkreises

Inhalte der Abteilung 9/10 sind:

- Kraft, Arbeit, Energie, Leistung
- Strom, Magnetfeld, Bewegung

Die Inhalte, die im Rahmen des Modellversuches vermittelt werden, lassen sich an der Gesamtschule im Inhaltsbereich „Kraft, Arbeit, Energie, Leistung“ verorten.

5.3.1.7 Sachanalyse

Bei der Behandlung des Gegenstandes „Bewegung von Körpern“ wurden nach Abstimmung mit den Richtlinien und dem schulinternen Curriculum, unter Betrachtung der Lerngruppe, und mit Blick auf die Weiterentwicklung der E-Kurs-Teilnehmer mit Blickrichtung auf die gymnasiale Oberstufe folgende Ziele formuliert:

Eigenschaften Ort und Zeit

- Die Gruppe soll die Bewegung eines Körpers als eine von der Zeit abhängige Veränderung des Ortes x(t) verstehen. Als ausreichendes Kennzeichen für ein Verständnis gilt, wenn die Teilnehmer selbstständig die geradlinig gleichförmige Bewegung eines Objektes auf dem Bildschirm programmieren können, dazu das Signal eines Zeittaktgenerators nutzen können, und den Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Abstand der Δt der Taktschritte, der Distanz Δs der Wegschritte und der Geschwindigkeit v erklären können.

- Die Gruppe soll verstehen, dass sich eine beliebige Bewegung in 2 Dimensionen durch eine Überlagerung der Bewegung entlang der 2 die Ebene aufspannenden Einheitsvektoren beschreiben lässt. Als ausreichendes Kennzeichen für ein Verständnis gilt, wenn die Teilnehmer selbstständig nicht-triviale Bewegungen eines Objektes in 2 Dimensionen programmieren können, und dazu die Eigenschaften „x-Position“ und „y-Position“ des Objektes geeignet beeinflussen.

Um den Bezug zur Physik des realen Geschehens herstellen und absichern zu können, sollen die Schüler auf der Grundlage der mit dem Simulationsmodell gewonnenen Erkenntnisse einen Versuch zur Messung der Geschwindigkeit realer Objekte selbstständig **planen**, **durchführen**, **auswerten** und **interpretieren**.

Eigenschaften Geschwindigkeit und Beschleunigung

- Die Gruppe soll die Geschwindigkeit als eine Eigenschaft des Objektes verstehen, die den Ort des Objektes in x- und y-Richtung beeinflusst. Sie soll damit auch verstehen, dass sich bei einem realen physikalischen Objekt der Ort des Objektes nicht beliebig, im Sinne eines Sprungs, verändern lässt, sondern dass dies eines Translationsprozesses bedarf.

- Die Gruppe soll verstehen, dass auch die Geschwindigkeit eines Objektes sich nicht sprunghaft und beliebig ändern lässt, sondern dass die Geschwindigkeit eine Eigenschaft des Objektes ist, die durch die Beschleunigung des Objektes variiert wird. Als ausreichendes Kennzeichen für ein Verständnis gilt, wenn die Teilnehmer die Objektattribute Beschleunigung und Geschwindigkeit in geeigneter Weise miteinander verknüpfen, indem sie das Signal eines Zeittakt-Generators nutzen und den Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Abstand der Δt der Taktschritte, der Änderung Δv der Geschwindigkeit, und der Beschleunigung a korrekt anwenden und erklären können.

Um den Bezug zur Physik des realen Geschehens herstellen und absichern zu können, sollen die Schüler auf der Grundlage der mit dem Simulationsmodell gewonnenen Erkenntnisse einen Versuch zur Messung der Bewegung realer Objekte selbstständig **planen**, **durchführen**, **auswerten** und **interpretieren**. Sie sollen die gewonnenen Erkenntnisse in den Bezug zur Software-Simulation stellen und die in der Realität gewonnenen Messwerte zur Verbesserung des Software-Modells, d.h. zur weiteren Annäherung des Modells an die Realität, nutzen.

5.3.2 Durchführung der Pilot-Unterrichtsreihe in der Laborgruppe

5.3.2.1 Analyse eines existierenden Modells

Nach einer Bestimmung des Begriffes „Dynamik“ als einen Teilgebiet der Physik, das die Lehre von der Bewegung von Objekten unter dem Einfluss von Kräften darstellt, wurde der Gruppe die Aufgabe gegeben, das Bewegungsprofil besonderer Software-Objekte zu erfassen. Es handelte sich hierbei um die computergrafische Darstellung von „Moorhühnern“ als Bestandteil eines zu diesem Zeitpunkt äußerst populären, zu Werbezwecken frei verteilten Computerspiels. Die Moorhühner steigen hierbei regellos vom Boden auf und fliegen entlang typischer Bahnen, bis sie entweder von sich aus im Gelände niedergehen, oder vom Spieler mit einem Flintenschuss getroffen werden.

Die Schüler analysierten in Kleingruppen zu 3 Personen das typische Bewegungsprofil. Im Anschluss wurde im Plenum an der Tafel eine konsensuelle Darstellung erarbeitet und schriftlich fixiert.

Die Schüler entnahmen aus der Analyse folgende Zustände des Flugprofils:

1) **Das Huhn gewinnt mühsam an Höhe.**
   Hier wurde in der Diskussion vom Lehrer die Vorstellung der „Mühsamkeit“ provoziert. Eine weitere Erkundung kann untersuchen, weshalb der Aufstieg „mühsam“ wirkt, und so die Begriffe Arbeit, Energie, Leistung, Gewicht zur Diskussion bringen.

2) **In einer Übergangsphase beschleunigt das Huhn, um geradeaus zu fliegen.**
   Den Schülern ist ein bogenförmiger Übergang von schräg dargestellten Steigflug in den mit höherer Vorwärtsgeschwindigkeit erfolgenden Geradeausflug aufgefallen; dies haben sie auch übereinstimmend skizziert. Eine weitere Erkundung kann die genaue Form des Übergangs bestimmen; plausibel ist eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung, die dem mit konstanter Steiggeschwindigkeit erfolgendem Steigflug überlagert ist. Dies würde in

der räumlichen 2D-Darstellung eine liegende Parabel ergeben, was sich sehr gut mit der Skizze der Schüler deckt.

3) Das Huhn bewegt sich geradlinig und gleichförmig.

Dieser Abschnitt des Fluges ist besonders einfach und wird sicherlich als erstes programmiertechnisch realisiert sein. Hier lassen sich einfache Weg-Zeit-Gesetze unter Einsatz des Timer-Controls schnell modellieren; von dieser Bewegung ausgehend kann die Bewegung der Software-Objekte schnell auf 2 Raumachsen erweitert werden.

4) Bei einem Abschuss fällt das Huhn sofort senkrecht nach unten.

Eine den Regeln der Physik völlig wiedersprechende Darstellung: obwohl das Huhn in der Darstellung von der Seite getroffen wird, so dass durch die Waffenwirkung kein Impuls entgegengesetzt zur Flugrichtung zu erwarten ist, stellt das Huhn in der Darstellung durch die Spielesoftware sofort die Vorwärtsbewegung ein und fällt, sich rückwärts überschlagend, senkrecht herunter. Dieser Punkt ist diskutiert worden und wurde von den Schülern kontrovers betrachtet; einige Schüler wollten die Darstellung mit der verwandten Darstellung von Comicfiguren legitimieren, die in Trickfilmen auch häufiger über den Abgrund hinwegrennen, dann erst nach einer Weile den Abgrund unter ihren Füssen bemerken und dann senkrecht herunterfallen.

Im weiteren Verlauf der Unterrichtsreihe bietet es sich an, dieses Phänomen mit realen Objekten aus der Physiksammlung, z.B. der Maschine für den schrägen Wurf, präzise zu untersuchen. Dies sollte zu einer Kritik der durch den Programmierer von „Moorhuhn“ gewählten Darstellung führen, die in einer alternativen, näher an die physikalische Realität angepassten Darstellung mündet.

5) Bei der normalen Landung gleitet es auf einer Schräge nach unten.

Wird das Moorhuhn im Flug nicht beschossen, so steigt es nach einer zufallsbestimmten Flugzeit annähernd im 45° Winkel zu Erde ab. Dabei ändert es die Vorwärtsgeschwindigkeit nicht, es wird lediglich eine konstante Abwärtskomponente überlagert. Hier ist eventuell ein Vergleich mit dem Geschwindigkeitsverlauf auf der schiefen Ebene von Interesse.

6) Manchmal wird die Vorwärtsbewegung des Huhns von einer Rotationsbewegung überlagert.

Beispiele: Abschuss, Windmühle

Einige Schüler wollten beobachtet haben, dass das Huhn nach einem Treffer erst steigt, und dann fällt. Eine genauere Beobachtung durch die Gesamtgruppe mit dem Videoprojektor während einer Spielrunde ergab, dass das Huhn sich durch den Treffer nach hinten überschlägt, wobei der Kopf kurzzeitig über die Flugbahn aufsteigt. Die Schüler beobachteten weiterhin, dass der „Bauch“ (näherungsweise der Schwerpunkt) des Huhns dabei seine Höhe nicht ändert.

Es ergibt sich daraus an dieser Stelle die Möglichkeit, die Überlagerung translatorischer und rotatorischer Bewegungen zu diskutieren und darzustellen.

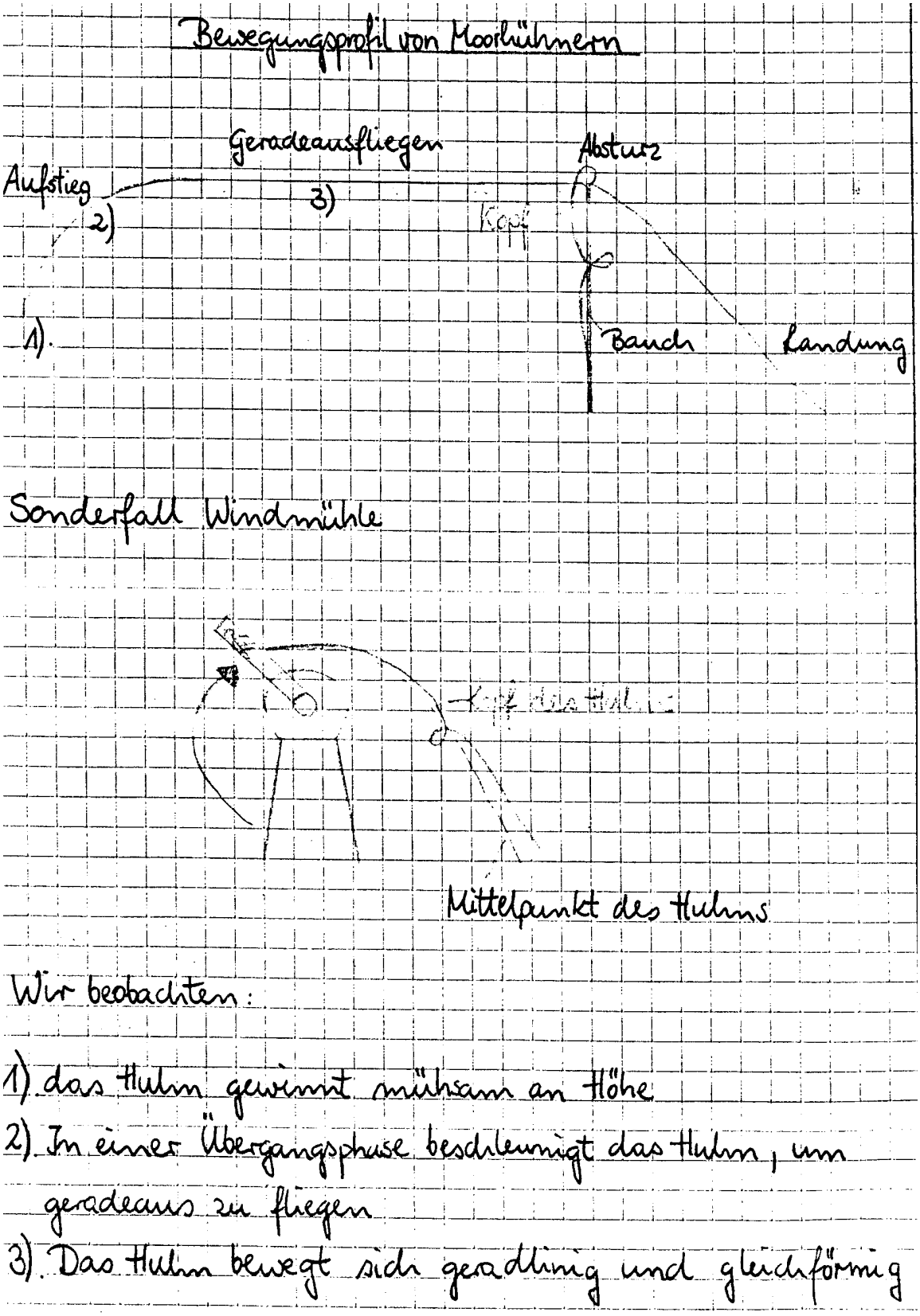


Abbildung 60: Analyse eines existierenden Software-Modells (Auszug aus einem Schülerheft)

5.3.2.2 Einführung in die Objektorientierte Programmierung

Die Schüler erhalten nun eine Einführung in die Objekt-Orientierte Programmierung OOP. Hierbei wurde den Schülern kurz die Leistungsfähigkeit der Programmiersprache Visual Basic demonstriert. Zwei Schüler, die aus dem Wahlpflichtkurs „Informationsumsetzende Maschinen“ bereits mit Visual Basic vertraut sind, programmierten in etwa 3 Minuten ohne Vorbereitung ein Moorhuhn, das bei Druck auf eine Schaltfläche sprunghafte Bewegungen über den Bildschirm ausführt. Die anderen Schüler konnten das Vorgehen über einen Video-Projektor verfolgen.

Im Anschluss wurde die Bedeutung der Begriffe „Objekt“, „Eigenschaft“, „Methode“, „Ereignis“ im Unterrichtsgespräch an lebensweltlichen Beispielen erarbeitet:

- **Objekte** können Gegenstände oder Personen sein

- Diese Objekte haben bestimmte **Eigenschaften**: Personen haben z.B. unterschiedliche Haarfarben. Manche Eigenschaften können von außen geändert werden (einen Stuhl kann man anders anstreichen), manche Eigenschaften kann das Objekt nur selbst ändern (eine Person kann in einer hohen oder tiefen Stimmlage sprechen), manche Eigenschaften (Rasse, Geschlecht) lassen sich in der Regel gar nicht ändern.

- Objekte können bestimmte Tätigkeiten ausführen oder Aufgaben erfüllen - wie Menschen. Nach welcher **Methode** sie diese Tätigkeit ausfüllen, muss ihnen aber erst noch beigebracht werden.

- **Ereignisse** treten plötzlich ein, aber man ist meistens darauf vorbereitet. Wenn z.B. das Telefon schellt, dann kennt man meistens eine Methode, das Gespräch auch entgegen zu nehmen.

Nun wurde versucht, die definierten Begriffe auf die Verhältnisse auf dem Bildschirm zu übertragen. Hierbei beteiligten sich glücklicherweise nicht nur die erfahrenen Schüler, auch den Novizen gelang der Umgang mit den Analogien.

- Frage: Welche Objekte sind hier von Bedeutung? Antwort: Command-Buttons, ein grafisches Element (Kreis) auf dem Bildschirm

- F: Welche Eigenschaften des Objektes sind im Eigenschaftsfenster sichtbar? A: Z. B. den Radius, die Farbe, den Abstand des Kreises von der oberen und der linken Ecke des Fensters.

- F: Wie kann man sie beeinflussen? A: Zur Entwurfszeit direkt im Eigenschaftsfenster, zur Laufzeit, indem man die „dot notation“ (Objektname.Eigenschaft = neuer Wert) benutzt.

- F: Was ist das Ereignis? A: Der Mausklick des Benutzers auf einen der Command-Buttons.

- F: Welche Methode soll daraufhin ausgeführt werden? A: In den Event-Handler des Command-Buttons wird eine Anweisung in „dot notation“ eingetragen, die Top- und Left-Eigenschaften des Kreises geeignet zu verändern.

Die Erkenntnisse über das Prinzip der Objektorientierten Programmierungen wurden im Tafelbild festgehalten.

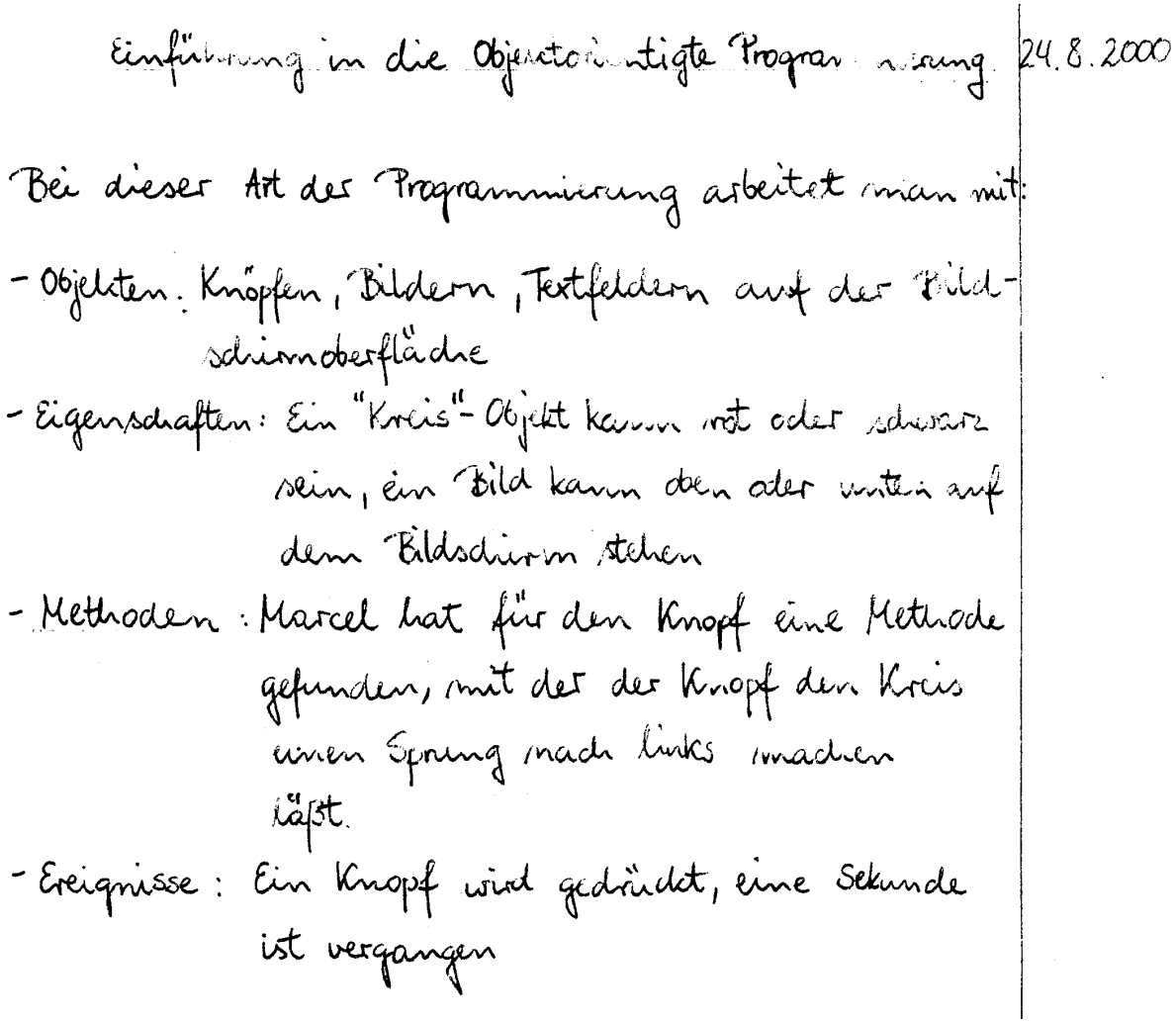


Abbildung 61: Einführung in die objektorientierte Programmierung (Auszug aus einem Schülerheft)

5.3.2.3 Geradlinig gleichförmige Bewegung: Parametervariation mit dem Software-Modell

Für die Einführung in die Objektorientierte Programmierung hatte eine Gruppe von Schülern, die hierzu Vorkenntnisse aus dem Wahlpflicht-Kurs „Informationsumsetzende Maschinen“ einsetzen konnten, die Erstellung eines Programms zur geradlinig gleichförmigen Bewegung des Moorhuhns über den Bildschirm demonstriert.

Die Funktionsweise des Programms wurde an der Tafel mit dem Satz beschrieben:

„Der Timer-Baustein von Visual Basic versetzt in zeitlichen Intervall-Abständen t das Moorhuhn immer um eine bestimmte Strecke S“

Darauf aufbauend wurden folgende Fragen formuliert:

1) Was passiert wenn man die Intervall-Abstände verkürzt?

2) Was passiert wenn man die Strecke S vergrößert?

Die Schüler erhielten nun die Aufgabe, in Kleingruppen von 3-4 Personen

- das Programm der WP-Schüler nachzuprogrammieren - hierbei wurden sie von diesen Schülern unterstützt, die jeweils als Tutoren den Kleingruppen zugeordnet waren,
- durch Variation der Parameter t und S ihres Programms Antworten auf die oben beschriebenen Fragen zu erhalten.

Aus den von den Kleingruppen gelieferten und im Plenum diskutierten Antworten ergab sich folgendes, an der Tafel fixierte Ergebnis:

Zu 1) Wenn das zeitliche Intervall t **verkürzt** wird, bewegt sich das Moorhuhn schneller.
Denn: Das Moorhuhn braucht **weniger** Zeit t, um die gleiche Strecke S zurück zu legen.

Wenn das zeitliche Intervall t **verlängert** wird, bewegt sich das Moorhuhn langsamer, da das Moorhuhn **mehr** Zeit t braucht, um die gleiche Strecke S zurückzulegen.

Zu 2) Wenn die Strecke S **vergrößert** wird, bewegt sich das Moorhuhn in der gleichen Zeit t um eine größere Strecke S und wird dadurch **schneller**.

Wird die Strecke S **verkürzt**, und das Intervall t bleibt gleich, wird das Moorhuhn **langsamer.**

5.3.2.4 Abgleich des Software-Modells zur gleichförmig geradlinigen Bewegung mit der Realität durch physikalische Experimente

Durch die Auseinandersetzung mit dem Software-Objekt „Moorhuhn“ sind folgende Begriffe bei der Lerngruppe eingeführt worden:

1) „Zurückgelegte Strecke“ *s*

2) „Verstrichene Zeit“ *t*

3) „Geschwindigkeit“ *v*

Es soll nun überprüft werden, inwieweit die in der Modellwelt der Software-Simulation gefundenen einfachen Zusammenhänge der Realität entsprechen, und wie dieses Verhalten realer Objekte sich durch die Messmethoden der Physik überprüfen und quantifizieren lässt. Die Versuche sollten durch die Mitglieder der Lerngruppe **geplant**, **konzipiert** und **durchgeführt** werden. Die Ergebnisse sollen von ihnen **ausgewertet** und mit den in der Modellwelt der Software gefundenen Ergebnissen **verglichen** werden.

Bei der Planung der Experimente sollten die Schüler existierende Fachliteratur zur Grundlage nehmen. Eine Betrachtung der Aussagen des Schulbuches[143] führte darauf, dass der in der Modellwelt gefundene Sachverhalt sich in der Fachliteratur wiederfindet, und mit folgenden Aussagen quantitativ beschrieben werden kann:

$$\text{Geschwindigkeit} = v = \frac{S}{t}$$

Nun sollten Experimentiermöglichkeiten mit Realobjekten gefunden werden, die diese quantitative Aussage bestätigen können. Einige Hinweise über etablierte Messverfahren lieferten wiederum die Physikbücher; ein gemeinsamer Rundgang durch die Physiksammlung ergab weitere Ideen.

Nach Sichtung der zur Verfügung stehenden Möglichkeiten (siehe Abbildung) wählten die Schüler zwei Experimente aus:

1) Reibungsarmer Rollenwagen; Stoppuhrmessung

Hauptbestandteil des Versuches ist ein kleiner Wagen in massiver Bauweise, der auf 3 Metallscheiben mit 13 cm Durchmesser und 2 mm Dicke rollt. Die Räder sind mit Kugellagern ABEC 5 ausgestattet. Auf glatten Untergrund können Reibungsverluste dadurch sehr gering gehalten werden.

Die Schüler schlugen vor, mit einem Maßband eine längere Strecke *S* abzumessen und mit einer Stoppuhr die Zeit zum Durchfahren der Strecke zu messen.

Die Idee wurde durch den Lehrer dazu ergänzt, dass die Schüler sich in mehreren gleichen Abständen - gewählt wurden 2 m - aufstellen. Es wurde jeweils mit den in den Armbanduhren der Schüler integrierten Stoppuhren die Zeit vom Start des Wagens (durch den in der Abbildung knienden Schüler) bis zur Vorbeifahrt an der ausgestreckten Fußspitze gemessen. Das von der Lerngruppe erstellte Konzept sieht vor, die Zeitabschnitte t_n für das Durchfahren der Abschnitte von jeweils 2 m dann jeweils durch Differenzbildung zu ermitteln.

[143] Dorn, F.: Physik. Hannover: Schroedel, 1983.

Abbildung 62: Stoppuhrmessung. Man beachte die Aufstellung der Schüler (links) an Messpunkten in Abständen von 2 m. Hiermit wird bewußt eine Analogie zur der diskreten Verschiebung des Objektes auf dem Bildschirm hergestellt.

2) Schienengebundener Wagen mit elektrisch zeitgetakteter Messvorrichtung

Auf einer Metallschiene gleitet reibungsarm ein Metallwagen - im Bild rot zu sehen - auf Rollenlagern. Während der Bewegung - im Bild von links nach rechts - zieht er einen Streifen Cadmiumpapier durch eine zeitgetaktete Messvorrichtung. Die Zeit-Weg-Registrierung funktioniert dergestalt, dass in einem einstellbaren Zeitintervall von $t = 100$ ms oder $t = 20$ ms durch einen Induktionsstoß kurzzeitig eine elektrische Spannung zwischen zwei Kontakten angelegt wird. Das Cadmiumpapier gleitet während der Messfahrt zwischen den beiden Kontakten und verfärbt sich durch den Spannungsstoß punktuell schwarz. So erhält man eine Reihe regelmäßiger Markierungen auf dem Cadmiumpapier. Die Abstände zwischen den Markierungen stellen den Weg dar, den der Wagen in dem Zeitintervall zwischen den beiden Spannungsstößen zurückgelegt hat.

Abbildung 63: Messung am schienengebunden Wagen mit elektrisch zeitgetakteter Messvorrichtung

Die beiden Experimente unterscheiden sich qualitativ:

Zu 1): das Experiment mit dem Rollwagen und der Stoppuhrmessung, das von der Schülergruppe auf dem Gang vor dem Unterrichtsraum durchgeführt wird, ist gekennzeichnet durch:

- eine feste Strecke $S = 2$ m zwischen den Messpunkten als unabhängige Variable,
- das zeitliche Intervall t für die Zeit, die der Wagen zum Zurücklegen der Strecke S braucht, als Messgröße.

Zu 2): das Experiment mit dem schienengebundenen Wagen mit elektrisch zeitgetakteter Messvorrichtung ist gekennzeichnet durch:

- eine festes zeitliches Intervall $t = 100$ ms zwischen den Messpunkten als unabhängige Variable
- die Strecke S, die der Wagen innerhalb des zeitlichen Intervalls t zurücklegt, als Messgröße.

Dies ist von besonderer Bedeutung für das Übertragen der Modellattribute in die Simulationswelt. Die bisher den Schülern bekannten Programmversion ist gekennzeichnet durch:

- Ein fest vorzugebenes zeitliches Intervall t zwischen den Aktivitäten des Timer-Objektes als unabhängige Variable;

- Ein fest vorzugebende Strecke S, die das Objekt zwischen zwei Aktivitäten des Timer-Objektes zurücklegt, als weitere unabhängige Variable;

- Der resultierende Geschwindigkeit *v* als abhängige Variable.

Die quantitative Auswertung der zwei Messreihen führte zu nachvollziehbaren Ergebnissen.

Interpretation der Ergebnisse durch die Schüler:

Den Schülern fiel auf, das die Zeiten, die beim Zurücklegen der gleichmäßigen 2 m-Abstände durch den Rollenwagen verstrichen, nicht konstant blieben. Im Gegensatz zu der Bewegung des Objektes auf dem Bildschirm, so folgerten Sie, bleibt hier die Geschwindigkeit *v* offenbar nicht konstant.

Ebenso fielen den Schülern beim schienengebundenen Wagen Veränderungen der Abstände zwischen jeweils zwei Messpunkten auf, obwohl die zeitlichen Intervalle *t* zwischen dem Setzen zweier Messpunkte konstant bleiben. Dies konnten die Schüler unter Einsatz der Geschwindigkeitsgleichung mit einer Änderung der Geschwindigkeit v während des Abrollens erklären - natürlich vor allem hervorgerufen durch die nicht eliminierte Neigung der Schiene. Auch hier wurde der Gegensatz zur Simulation auf dem Bildschirm deutlich.

Nach der quantitativen Auswertung der Experimente waren die qualitativen Unterschiede der zwei Experimente und der Modellwelt zueinander wesentlicher Gegenstand der Diskussion mit der Lerngruppe. Der Weg zur mathematischen Beschreibung der drei unterschiedlichen Situationen führte schließlich über das Umstellen der Geschwindigkeitsgleichung.

Die Gleichung in der Form

$$v = \frac{s}{t}$$

beschreibt die Verhältnisse in der simulierten Modellwelt mit zwei unabhängigen Variablen *s, t* und der sich daraus ergebenden Geschwindigkeit *v* auf dem Bildschirm.

Die Gleichung in der Form

$$t = \frac{s}{v}$$

beschreibt die Verhältnisse bei der Messung des Rollenwagens mit einfachen Stoppuhren.

Dabei entspricht die Strecke s zwischen jeweils zwei Punkten der Messtrecke, die sich aus der Aufstellung der Schüler ergibt, der Strecke s, die das Objekt regelmäßig in der simulierten Modellwelt zurücklegt. Aus diesem Grund wurde die Aufstellung der Schüler auch - zunächst ohne weitere Erläuterung - den Schülern so vorgeschlagen. Nach der Diskussion konnten die Schüler erklären, dass die punktuelle **Messung** der Bewegung des Wagens an diskreten Orten, wie sie durch die Schüler erfolgte, vergleichbar ist mit der punktuellen **Darstellung** der Bewegung des Objektes zu diskreten Orten, wie es auf dem Bildschirm durch das Simulationsprogramm geschieht.

Die Gleichung in der Form

$s = v \cdot t$

beschreibt die Verhältnisse bei der Messung am schienengebundenen Wagen mit elektrisch zeitgetakteter Messvorrichtung.

Dabei entspricht das zeitliche Intervall *t* jeweils dem Intervall zwischen zwei Aktivitäten des Timer-Objektes, das für die Bewegung des Objektes auf dem Bildschirm um jeweils die Strecke s sorgt. Nach der Diskussion konnten die Schüler erklären, dass die punktuelle **Messung** der Bewegung des Wagens zu diskreten Zeiten, wie sie durch die elektrisch zeitgetaktete Messvorrichtung erfolgt, vergleichbar ist mit der punktuellen **Darstellung** der Bewegung des Objektes zu diskreten Zeiten, wie es auf dem Bildschirm durch das Simulationsprogramm geschieht.

5.3.2.5 Formulierung der Klassendiagramme

Nachdem durch die Herbstferien und die Projektwoche der Schule nahezu 4 Wochen verstrichen waren, waren die Erinnerungen der Schüler an den Aufbau und die Funktionsweise des Simulationsprogramms nur noch verschwommen. Aufbau und Funktion mussten sollten also im Plenum noch einmal diskutiert werden, um wieder allgemein Klarheit zu schaffen. Hierzu bietet sich der Einsatz eines dUML-Diagramms an.

Die Erstellung des UML-Klassendiagramms geschah unter der umgangssprachlich formulierten Fragestellung:

- Welche **Objekte** spielen in der Software eine wesentliche Rolle?
- Welche **Eigenschaften** sind wichtig, um diese Objekte zu beschreiben**?**
- Was muss das Programm **machen**? (=> Methoden)
- Welche **Ereignisse** können passieren?

Das erstellte dUML-Klassendiagramm hatte die folgende Form. Hier können die Schüler eindeutig und übersichtlich ablesen:

welche Methoden in einem Modell **qualitativ** enthalten sein muss, das die Bewegung eines Moorhuhns – also allgemein eines Körpers im Schwerefeld der Erde – darstellen soll.

welche Variablen (x(t), v(t), a(t) **quantitativ** zu bestimmen sind, um die Bewegungen des Körpers der beobachteten Realität anzupassen.

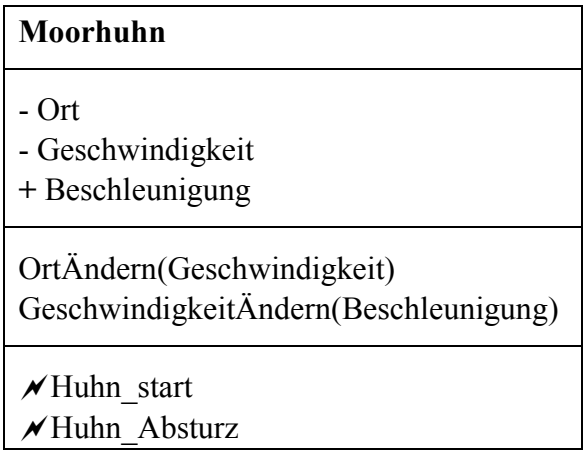


Abbildung 64: dUML-Klassendiagramm für „Moorhuhn"-Objekte

Daneben zeigt das dUML noch die Ereignisse „Start" und „Absturz", die verschiedene Phasen der Bewegung des Körpers markieren. In den markierten Phasen liegen auch unterschiedliche Bewegungszustände vor - eine gleichförmig geradlinige in der Phase nach dem Start, und eine beschleunigte Bewegung im Schwerefeld der Erde nach dem Absturz. Dies muss durch unterschiedliche Zustände des Modells dargestellt werden. Es ergibt sich folgender Zustandsgraph:

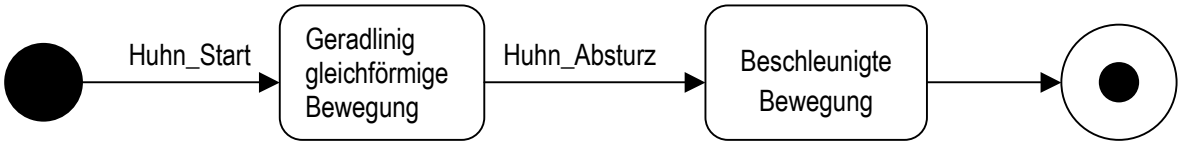


Abbildung 65: dUML-Zustandsgraph

5.3.2.6 Die beschleunigte Bewegung / der waagerechte Wurf

Aufbauend auf dem in der Unterrichtssequenz „Die gleichförmig geradlinige Bewegung" erarbeiteten Erkenntnissen und dem dort erstellten Software-Modell, in dem diese Erkenntnisse Entsprechung finden, sollte nun ein mit der Realität abgeglichenes Modell des waagerechten Wurfs erstellt werden.

Für die Schüler geht es dabei um die Darstellung der „Abschuss"-Sequenz, die im Vorfeld bei dem kommerziellen Computerspiel „Moorhuhn" analysiert und als unreal erkannt worden ist.

Mit dieser Unterrichtssequenz sind folgende Lernziele verbunden:

- Die Schüler sollen die allgemeine Bewegung auf dem Bildschirm als Überlagerung einer Bewegung in den x- und den y-Achsen des Bildschirmes verstehen.
- Die Schüler sollen die Analogie bilden können, dass sich auch reale Bewegungen in der Ebene als Überlagerung von Bewegungen entlang zweier Koordinaten darstellen lassen.
- Die Schüler sollen die Beschleunigung als eine zeitabhängige Änderung der Geschwindigkeit verstehen

5.3.2.7 Parametervariation mit dem Software-Modell

Das von den Schülern dargestellte Software-Modell hatte zuletzt die Form:

Quellcode 1

```
Private sub Uhr_Timer()
Moorhuhn.left = Moorhuhn.left + 300
Moorhuhn.top = Moorhuhn.top -500
End sub
```

Die Schüler bekamen die Aufgabe, durch Variation des Parameters y folgende Fragen zu beantworten:

- Wie fliegt das Huhn wenn der Parameter 0 ist?
- Wie fliegt das Huhn wenn der Parameter 5 ist?
- Wie fliegt das Huhn wenn der Parameter größer ist?
- Wie fliegt das Huhn wenn der Parameter kleiner ist?
- Welche Flugbahn entspricht am ehesten der Realität?

Die Schüler bekamen im Anschluss die folgenden beiden Beispielprogramme zur Verfügung gestellt:

Quellcode 2. Eine Fallbewegung mit einer Geschwindigkeit in y -Richtung von (y=10Einheiten/Takt=const):

```
Dim y As Integer

Private Sub Form_Load()
y = 10
End Sub


Private Sub Timer1_Timer()
y = y + 0
Moorhuhn.Top = Moorhuhn.Top + y

If Moorhuhn.Top > 8400 Then
   y = 0
    Moorhuhn.Height = 100
    Timer1.Enabled = False
End If

End Sub
```

Quellcode 3. Eine Fallbewegung mit einer Geschwindigkeit in y –Richtung, die zunächst y=0 Einheiten/Takt beträgt, und dann pro Takt um 9 Einheiten erhöht wird:

```
Dim y As Integer

Private Sub Form_Load()
y = 0
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
y = y + 9
Moorhuhn.Top = Moorhuhn.Top + y

If Moorhuhn.Top > 8400 Then
    y = 0
    Moorhuhn.Height = 100
    Timer1.Enabled = False
End If

End Sub
```

Die grafische Darstellung des fallenden Körpers hatte in beiden Fällen die gleiche Form:

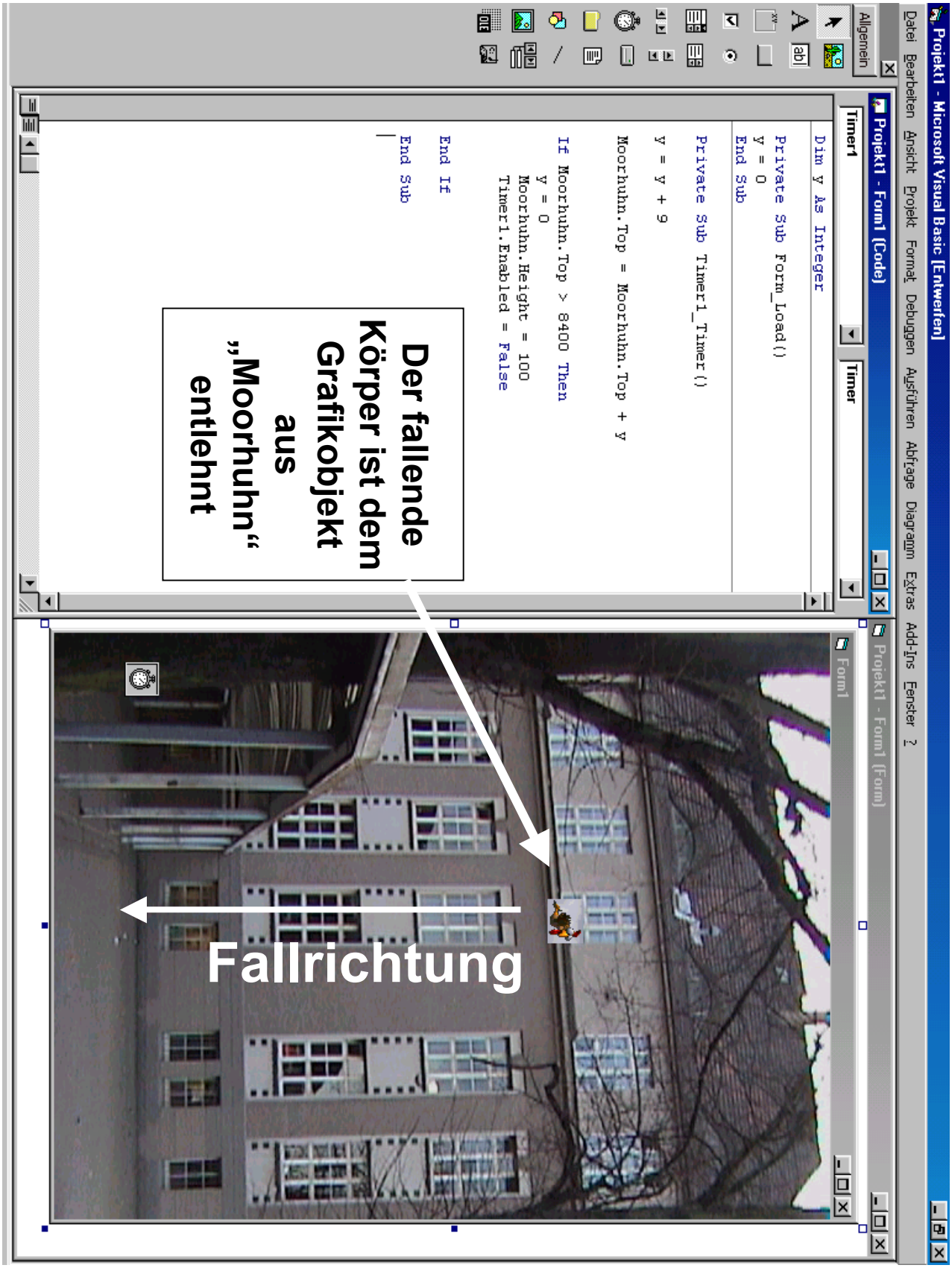


Abbildung 66: grafische Oberfläche der Software-Simulation

Das zu beobachtende Grafik-Objekt, das den fallenden Körper darstellen sollte, war aus Konsistenzgründen wiederum das Symbol eines Moorhuhns. Schließlich dient die gesamte Unterrichtsreihe ja dem Projektziel, eine Moorhuhn-Software mit möglichst realitätsgetreuer Darstellung der Flug- und Fallbewegungen zu erstellen, und die Realitätstreue durch möglichst gut mit der Simulation vergleichbare Experimente zu gewährleisten.

Die beiden Programme, ihr Quellcode und ihr grafischer Ablauf wurde den Schülern mit Hilfe eines Videoprojektors demonstriert.

Abbildung 67: Suche nach der Struktur und den Unterschieden der beiden Beispielprogramme.

Die Struktur des Programms konnte von den Schülerinnen und Schülern sofort erkannt und erklärt werden, da bei der Erstellung der kurzen Prozedur darauf geachtet wurde, die Ähnlichkeit mit der Vorgängerversion so groß wie möglich zu halten. Hinzu kommt, dass durch die Beschränkung der Bewegung auf eine Dimension (y-Richtung) die Komplexität der Software nochmals reduziert wurde. Die Schüler erkannten schnell, dass die zuerst kaum wahrnehmbare und dann immer schneller werdende Fallbewegung mit der Iteration der Variable y um jeweils den konstanten Wert 9 zusammenhängt, und dass diese Iteration der grundlegende Unterschied zwischen Quellcode 2 und 3 ist.

Weiterhin wurde die Bewegung des Grafik-Objektes, wie sie durch Quellcode 2 bewirkt wird, von einem großen Teil der Schüler als eine unnatürlich wirkende Bewegung bezeichnet. Allerdings war sich nicht jeder Schüler sicher, insbesondere nicht, ob die von Quellcode 3 bewirkte Bewegung wesentlich natürlicher ist.

Selbst unter der Annahme, Quellcode 3 enthielte die korrekte Methode zur Darstellung der natürlichen Bewegung, muss der Wert noch bestimmt werden, um den sich die Geschwindigkeit des in der y-Richtung des Bildschirm bewegenden Bildes pro Zeittakt erhöht werden soll.

5.3.2.8 Abgleich des Software-Modells mit der Realität durch physikalische Experimente

Der Wert 9, um den im Beispiel iteriert wird, wurde den Schülern gegenüber neutral als „der Parameter“ bezeichnet. Tatsächlich verbirgt sich dahinter eine Beschleunigung der Bewegung des Gegenstandes über den Bildschirm. Im Falle einer in y-Richtung des Bildschirmes wirkenden Bewegung kann man davon sprechen, das der Parameter die Fallbeschleunigung des Software-Objektes im virtuellen Raum der Software-Simulation darstellt.

In einem Unterrichtsgespräch mit den Schülern war schnell allgemeiner Konsens, dass die Bestimmung des Parameters in Form einer „Frage an die Natur“ geschehen soll. Die Antwort auf diese Frage wurde als notwendig verstanden, um eine möglichst gute Abbildung der Realität im Software-Modell zu erreichen. Die Bestimmung des Parameters wurde nun der Schülergruppe zur Aufgabe gemacht.

Um alle Schüler zu beteiligen und für die Untersuchung möglichst genau die in der Gruppe vorhandenen Problemlösungsstrategien erfassen zu können, wurde ein Arbeitsblatt erstellt, das von jedem Schüler zu bearbeiten und unter seinem eigenem Namen abzugeben ist.

Auf dem Arbeitsblatt ist im rechten Bereich eine Abbildung der Schule, die mit einer Digitalkamera aus einer gut geeigneten Beobachtungsposition auf dem Schulhof geschossen wurde. Markante Elemente der Fassade, wie die zur Wegbestimmung hilfreichen Fensterbänke, sind auf der Abbildung gut zu erkennen.

Die Schüler wurden auf dem Arbeitsblatt schriftlich aufgefordert einen Versuch zu entwerfen, mit dem die Eigenschaften des bereits erstellte Software-Objektes an der realen Bewegung eines frei fallenden Objektes überprüft werden können. Diese allgemeine Zielsetzung wurde durch eine differenzierte Fragestellung ergänzt:

a) entsprechen die Bewegungen des Software-Objektes (=„Moorhuhn“) überhaupt der Bewegung eines fallenden Gegenstandes?

b) wie muss man die Parameter des Programms anpassen, damit das Software-Objekt auf dem Bildschirm möglichst gleich schnell wie der Gegenstand fällt?

In dem Fragenteil b) war wiederum eine Referenz auf den Parameter enthalten, den die Schüler als elementaren Programmbestandteil der Simulation kannten, und mit deren Bedeutung sie gut vertraut waren. Einige Testfragen im Vorbereitungsgepräch mit den Schülern stellten sicher, dass den Schülern die Identität des auf dem Blatt referenzierten Parameters mit dem Software-Bestandteil klar war.

Es wurde weiterhin auf dem Blatt vermerkt, dass auf eine Reihe von Materialien zurückgegriffen werden konnte. Im Einzelnen waren dies:

- verschiedene Wurfkörper – Tennisbälle und Ballons, die mit Wasser gefüllt werden können,
- eine 25 m lange, schwere Fallschnur,
- ein Zollstock,
- Stoppuhren,
- eine digitale Videokamera.

Der Umgang mit der digitalen Videokamera wurde den Schülern in einer kurzen Präsentation demonstriert. Wichtige Details der Videokamera sind die Möglichkeit zum bildgenauen Vorlauf, Einzelbildschaltung, und ein in die digitalen Videodaten eingeprägter SMPTE-Zeitcode. Der SMPTE-Zeitcode ist in der Videoproduktion sehr geläufig und hat das Format „Minute:Sekunde:Einzelbild“. Da die Kamera 25 Einzelbilder pro Sekunde aufnimmt, erhält man eine zeitliche Auflösung von 1/25 Sekunde, also von 40ms. Beispielsweise bedeutet „1:20:16“, dass das entsprechende Bild 1 Minute, 20 Sekunden und 16 Einzelbilder nach dem Start der Aufnahme erfasst wurde, also nach 80,64 Sekunden. Der SMPTE-Zeitcode wird auf Wunsch im Display der Kamera deutlich angezeigt und bleibt auch bei der digitalen Bildverarbeitung im Rechner erhalten.

Die Auswahl der Materialien und die Aufnahme der Schule legte den Schülern einen Fallversuch aus dem Fenster der Schule sehr nah. Nicht vorher geklärt wurde jedoch, wie ein solcher Versuch ablaufen könnte.

Die Schüler bekamen nun 45 Minuten Zeit, um den Ablauf des Versuches zu beschreiben. Der Aufbau des Arbeitsblattes schrieb vor, die Ablaufbeschreibung in die Phasen

- Versuchsvorbereitung,
- Versuchsdurchführung und
- Versuchsauswertung

zu trennen und die in jedem Abschnitt notwendigen Aktivitäten getrennt zu beschreiben. Weiterhin wurde gefordert, dass eine Skizze der Vorgehensweise erstellt wird.

Daniel Panzer

Aufgabe

Bitte entwerft einen Versuch, mit dem wir unser Software-Modell des fallenden Huhns an dem freien Fall eines realen Objektes überprüfen können. Am Pult liegen einige Materialien dafür zur Verfügung.

Wir wollen wissen:

a) entsprechen die Bewegungen des Moorhuhns überhaupt der Bewegung eines fallenden Gegenstandes?

b) Wie muss man die Parameter des Programmes anpassen, damit das Moorhuhn **möglichst gleich schnell** wie der Gegenstand fällt?

Beschreibt und skizziert - auch gerne auf einem Extrablatt - wie Ihr vorgehen wollt!

Versuchsvorbereitung: Benötigt: Tennisball, Stoppuhr, Videokamera 2 Personen, Höhe des Gebäudes herausfinden

Versuchsdurchführung: Die erste Person steht oben am Fenster und wirft den Ball auf Kommando der zweiten Person nach unten. Die zweite Person steht mit Kamera und Stoppuhr auf dem Hof passt auf, dass niemand durchs Feld läuft. Danach gibt er/sie das Kommando zum Wurf. Er/sie stopt die Fallzeit und zeichnet sie per Kamera auf.

Versuchsauswertung:

Anhand der Aufzeichnung und der Zeit kann man durch Einzelbilder mehrere Zwischenzeiten bestimmen und hinterher die Durchschnittsgeschwindigkeit errechnen. So lässt sich feststellen, wie der Parameter eingestellt sein muss.

Abbildung 68: Planung des Realexperimentes zum Abgleich des Modells als Schüleraufgabe.

Die Schüler wurden über die von ihnen präferierte Sozialform (Einzelarbeit, Partnerarbeit, Gruppenarbeit) befragt. Ihr Wunsch, den gesamten Vorgang im Unterrichtsgespräch zu bearbeiten, wurde abgelehnt: Dadurch würden sich die Leistungen der einzelnen Schüler nicht ausreichend differenziert betrachten lassen. Diese Diskussion schloss mit dem Kompromiss, das jeweils zwei Schüler in Partnerarbeit zusammen arbeiten sollten, aber jeweils ein eigenes mit dem Schülernamen versehenes Arbeitsblatt abgegeben werden muss. Die Zuordnung der Partnergruppen für die anschließende Auswertung kann zuverlässig aus dem Sitzplan entnommen werden.

Auswertung der Schülerarbeit

Beschriebenes Vorgehen zur Vermessung des freien Falls	**Anzahl der Nennungen**	**Mittlere Punktzahl des Testergebnisses**	**Mittlere Zeugnisnote der Schüler dieser Gruppe über 2 Halbjahre** **(in Klammern: äquivalente Punkte der gymnasialen Oberstufe)**	**Mittlere mündliche Note der Schüler dieser Gruppe im Versuchsquartal** **(in Klammern: äquivalente Punkte der gymnasialen Oberstufe)**
Aufzeichnung auf Video und Vermessung der Einzelbilder	**8** 5 w 3 m	11	gut (11,19)	gut (11,13)
Messung mit Stoppuhren und Messposten	**6** 4 w 2 m	12,5	gut (10,71)	gut (10,6)
Beides	**2** 1 w 1 m	13	sehr gut (13)	sehr gut (13)

Die von den Schülern skizzierten Vorschläge zur Vermessung des Freifall-Versuches wurden zur Auswertung in sinnvolle Gruppen klassiert. Dabei wurde deutlich, dass sich alle Vorschläge eindeutig in zwei Gruppen einordnen lassen.

Bei den Vorschlägen zur Messung mit Stoppuhren und Messposten handelt es sich um sehr gut bis ausreichend ausgeführte Transferleistungen aus den Schülerversuchen zur Messung der geradlinig gleichförmigen Bewegung, die mit der gleichen Methode durchgeführt wurden. (Rollwagen im Flur, Messposten). Bei den Vorschlägen zur Aufzeichnung auf Video handelt es sich um eine Bandbreite von kreativen Ideen, die die demonstrierten Fähigkeiten der Kamera ausnutzen und zur messtechnischen Erfassung der Fallbewegung umsetzen. Wie man sieht, hat die Demonstration der Möglichkeiten der Videokamera einen Grossteil der Schüler dazu inspiriert, auf dieser Grundlage ein eigenständiges Messverfahren zu entwickeln. Immerhin zwei Schüler schilderten beide Wege: zusätzlich zur Videoaufzeichnung sollten sich noch

Messposten an den Fenstern befinden, die mit ihren Stoppuhren unabhängig von der Videoaufzeichnung Daten erfassen. Im diese beiden Schüler gehören zu den Leistungsträgern des Kurses. Sie machten im Gespräch ihre Auffassung deutlich, dass die bei den Versuchen zur gleichförmig geradlinigen Bewegung mit der Stoppuhr-Methode auf eine einsichtige Art und Weise brauchbare Daten gewonnen wurden. Sie sahen daher keinen Grund, auf dieses in ihrer Sicht „bewährte“ Messverfahren zu verzichten. Auf der anderen Seite versprachen sie sich von dem Einsatz der Videokamera auch Vorteile insbesondere der erhöhten Genauigkeit, denn so genau wie die Kamera „könnte ja kein Mensch auf die Stoppuhr drücken“.

Die Verteilung auf die Vorschlagsgruppen lässt keine geschlechtsspezifische Verteilung erkennen. Tendenziell gehören die Schüler, die einen Versuchsgang mit Einsatz der Videokamera geplant haben, eher zu den kreativen Schülern mit hoher mündlicher Beteiligung. Dies wird an der etwas höheren Durchschnittsnote in dieser Gruppe für die mündlichen Leistungen in diesem Quartal deutlich. Die Gruppe, die etwas konservativ das bei der Messung der gleichförmig gradlinigen Bewegung angewandten Verfahrens mit Stoppuhren und Messposten auf den Versuch zum freien Fall übertragen hat, besteht eher aus Mitgliedern, die sich auch sonst im Unterrichtsgeschehen vorsichtig zurückhalten. Dafür sind ihre Beschreibungen sorgfältig ausgearbeitet und sehr umfassend, was sich in den sehr guten Ergebnissen der schriftlichen Übung auch wiederfindet. Bemerkenswert ist, dass diese Gruppe innerhalb des Messprozesses eine reichhaltige Anzahl an Variationen beschreibt. Mal soll der freie Fall im Treppenhaus der Schule mit Messposten auf den Treppenabsätzen durchgeführt werden, mal aus den Außenfenstern heraus mit Messposten in den einzelnen Etagen. Verschiedene Verfahren wurden zur Bestimmung der Fallhöhe genannt: Metermaß, Wollfaden, oder eine Einsichtnahme in den Gebäudeplan. An mehren Stellen wurde der Vorschlag geäußert, Fallproben mit unterschiedlichen Gewichten zu wählen und diese Gewichte ebenfalls zu bestimmen und zu protokollieren. 5 Schüler machten sich Gedanken über das sicherheitsgerechte Vorgehen und planten ein, dass der Aufschlagbereich der Fallprobe durch einige Schüler weiträumig abgesichert werden sollte, damit keine Gefährdung Dritter eintreten kann.

5.3.2.9 Durchführung des Versuches

Entsprechend den schriftlich ausgearbeiteten Vorschlägen der Schüler wurde zunächst die Höhe der 3. Etage des Gebäudes über dem Schulhof durch Lotung ermittelt. Die Lotung geschah mit einem hinreichend schweren Kabel, das keine Schlaufenbildung aufwies. Auf dem Schulhof wurde die Lotung durch einige Schüler überwacht. Erreichte das frei hängende Kabel-Ende die Höhe einer Fensterbank, wurde dies durch Zuruf bekannt gemacht; die Schüler am Fenster der 3. Etage machten dann eine entsprechende Markierung auf dem Kabel. So konnte nicht nur die gesamte Fallstrecke vermessen werden, sondern es konnten auch die Längen der durch die Fensterbänke markierten Streckenabschnitte einzeln bestimmt werden. Die schwarzen Fensterbänke heben sich im Video deutlich von den hellen Fassadenelementen ab und sind daher sehr gut als Referenzpunkte geeignet.

Beim eigentlichen Fallversuch wurden 3 Tennisbälle aus dem Fenster des 3. Stockes geworfen; die Würfe wurden aus verschiedenen Perspektiven gefilmt. Die signalgelben Tennisbälle waren bei jeder Perspektive gut sichtbar; bei den ersten Aufnahmen konnte der filmende Schüler jedoch den Impuls nicht unterdrücken, die Kamera dem bewegten Objekt nachzuführen, was die Aufnahmen ungeeignet machte.

Die anderen Schüler versuchten vom Schulhof aus, mit verschiedenen Stoppuhren die Zwischenzeiten beim Vorbeiflug an den Fensterbänken zu stoppen. Die Schüler äußerten jedoch von sich aus den Vorschlag, diese Werte wegen offensichtlicher Ungenauigkeit der Messung zu verwerfen.

5.3.2.10 Auswertung des Versuches

Die von der Kamera digital erfassten Videodaten wurden über den IEEE1394 Ausgang der Kamera („Firewire“ oder, Sony-Produktbezeichnung, „i.Link“), digital in einen Videoschnittrechner übertragen, wo sie mit der Software „Adobe Premiere“ betrachtet und digital weiterverarbeitet werden können. Durch kontinuierliche digitale Bearbeitung bleibt der eingeprägte SMPTE-Zeitcode der Aufnahme erhalten, so dass auch nach mehrfacher Übertragung und Wechsel des Trägermediums keine Verzerrungen des zeitlichen Ablaufes eintreten können.

Die Erfassung und Übertragung auf PC dient in diesem Projekt nur der besseren Archivierung und der besseren Präsentation; die verwendete Kamera konnte nach der Aufnahme wieder anders genutzt werden. In der Software „Adobe Premiere“ wird der SMPTE-Zeitcode unterhalb des Monitorfensters eingeblendet (in der Abbildung mit einem Pfeil markiert). Mit Hilfe einer Videoprojektion durch einen Datenprojektor wurde diese Funktion zur Auswertung des Experimentes mit den Schülern genutzt.

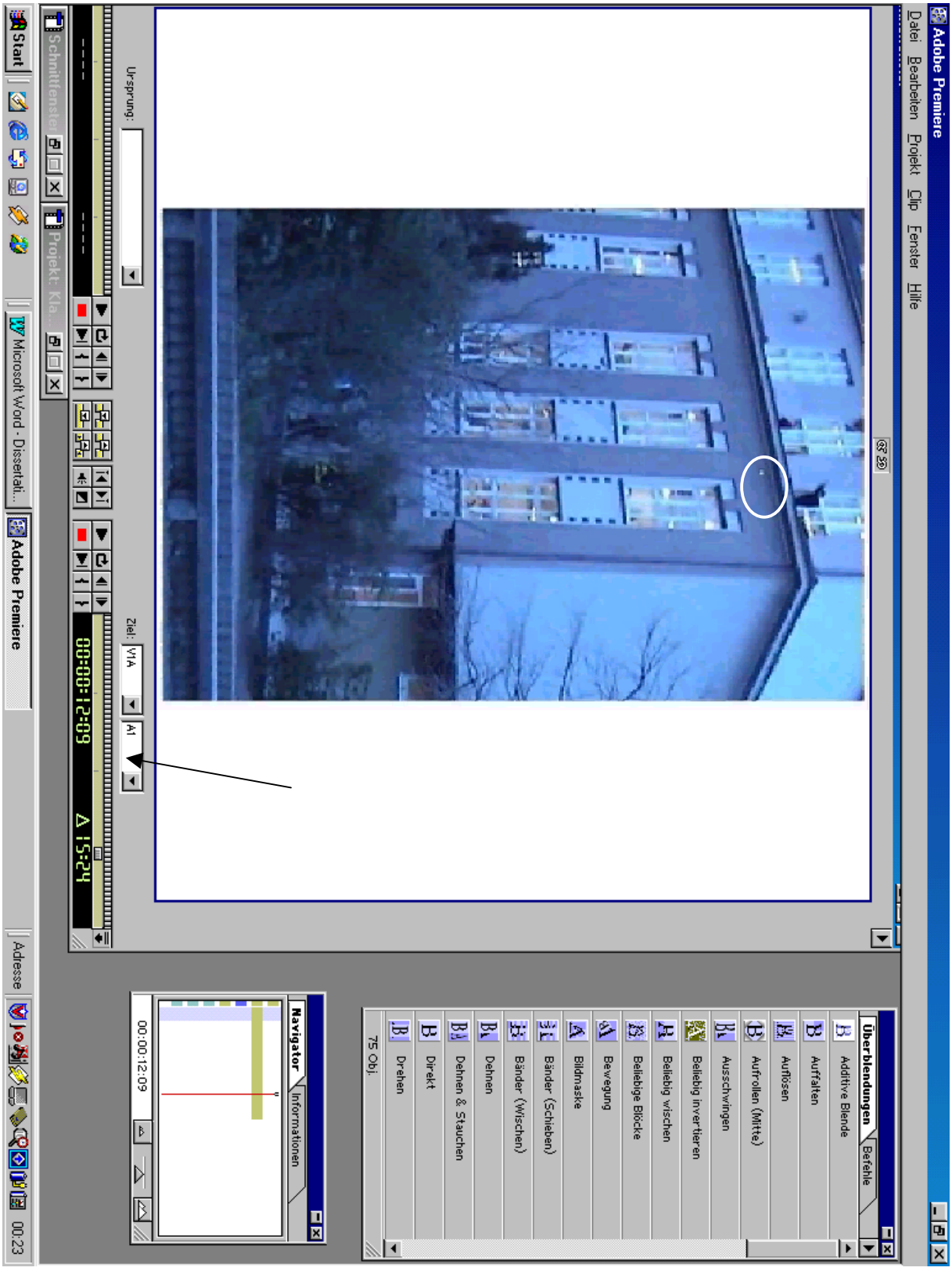


Abbildung 69: Die Aufzeichnung des fallenden Balles (Kreis) in der Videoschnitt-Software. Pfeil: der SMPTE-Zeitcode des Einzelbildes.

Zur quantitativen Auswertung des aufgezeichneten Versuches wurde die grafische Oberfläche des Softwaremodells vom Lehrer modifiziert.

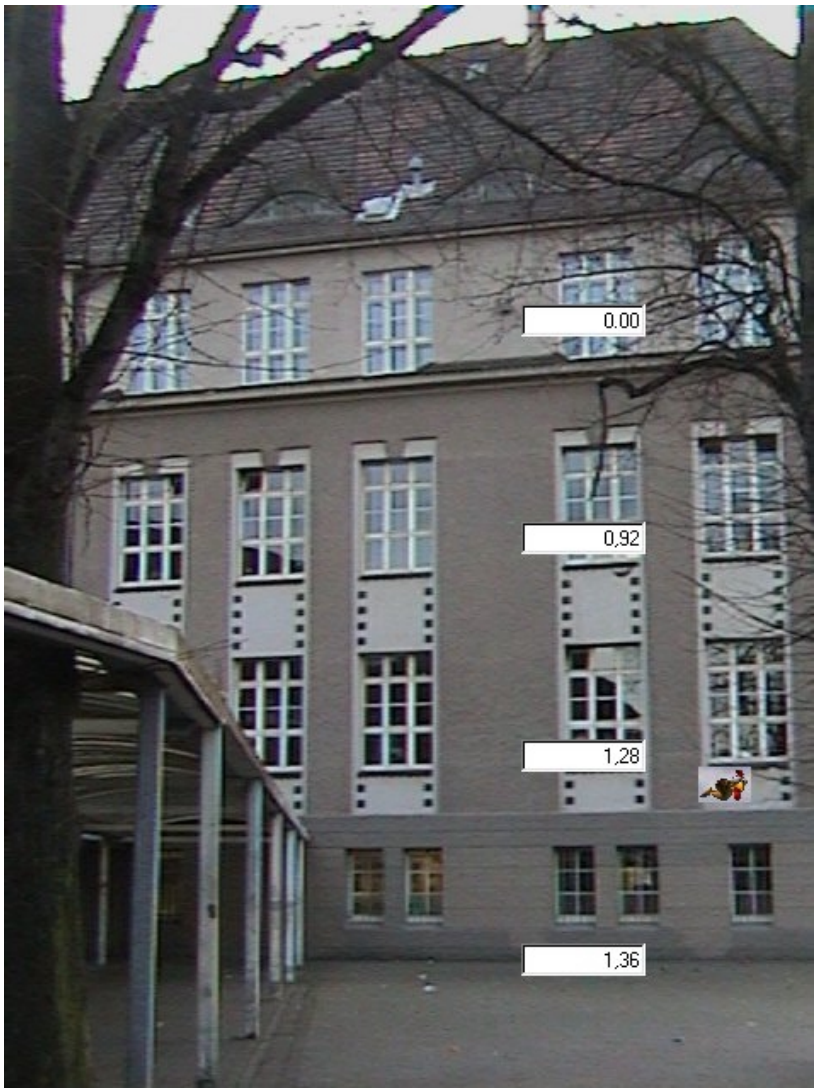


Abbildung 70: Vom Lehrer modifizierte Oberfläche mit „Stoppuhr“ in der Höhe jedes Fensterbrettes.

Hinzugefügt wurden 4 einzeln angesteuerte Text-Boxen, die sich jeweils auf der Höhe der Fensterbretter befinden, die als Referenzmarken genau vermessen sind. Eine entsprechende Veränderung des Programmcodes bewirkt:

- Dass in dem Moment, wo der freie Fall des Moorhuhns gestartet wird, Sekundenzähler in allen Textboxen zu zählen beginnen;

- Dass in dem Moment, wenn das Moorhuhn ein Fensterbrett auf gleicher Höhe passiert, der Zähler in der entsprechenden Textbox anhält und die in diesem Moment aktuelle Zeit bis anzeigt, bis der Programmlauf beendet wird.

In der oben abgebildeten Kopie des Bildschirminhaltes zeigt eine entsprechende Momentaufnahme. Zu diesem Zeitpunkt sind die oberen drei der vier Zähler bereits angehalten worden; die Textboxen zeigen die entsprechenden Zwischenzeiten. Die oberste Textbox ist dem obersten Fensterbrett zugeordnet; sie zeigt korrekt den Wert 0.00 s, denn das oberste Fensterbrett ist der Startpunkt. Die Zuordnung eines eigenen Zählers zu diesem Fensterbrett erfolgte aus mediendidaktischen Überlegungen, um diesem Element der Abbildung für alle

Betrachter sichtbar und eindeutig sowohl den zeitlichen als auch den räumlichen Nullpunkt des Fallversuches zuzuordnen.

Der Zähler in der untersten Textbox zählt in diesem Moment noch; er stoppt in dem Moment, in dem das Moorhuhn in der Höhe der Textbox auf dem Schulhof aufschlagen wird. (Bei der dargestellten Simulation nach 1.60s).

Die dazu vom Lehrer in Abwesenheit der Schüler durchgeführten Änderungen der Software-Simulation sind moderat und wurden in der entsprechenden Unterrichtsstunde zunächst präsentiert und diskutiert, bis von einem gesicherten Verständnis bei den Schülern ausgegangen werden konnte:

In das Unterprogramm „Schritt“, das von einem Timer-Baustein mit internem Zeittakt alle 40 ms aufgerufen wird und für die Verschiebung des Moorhuhns auf dem Bildschirm sorgt, ist ein zusätzlicher Aufruf „Messposten“ eingefügt worden.

```
Private Sub Schritt()
    y = y + 6.85
    T = T + Timer1.Interval

    Moorhuhn.Top = Moorhuhn.Top + y

    Messposten

End Sub
```

Das Unterprogramm „Messposten” prüft bei Aufruf die momentane Position der Oberkante des Moorhuhn-Objektes und setzt mit Hilfe einer Case-Anweisung die Variable n entsprechend des Ausgangs der Prüfung auf einen Wert zwischen 0 und 4. Anschliessend sorgt eine For-Next-Anweisung für eine Aktualisierung der 4 Zähler mit der aktuellen Systemzeit seit dem Start der Simulation; von der Aktualisierung werden jedoch, bedingt durch die spezielle Struktur der For-Next-Anweisung, diejenigen Textboxen ausgeschlossen, deren Index kleiner als der aktuelle Wert der Variablen n ist – d. h., die vom Moorhuhn bereits passiert worden sind.

```
Private Sub Messposten()
Select Case Int(Moorhuhn.Top)
    Case 0 To 4559
        n = 1
    Case 4560 To 6479
        n = 2
    Case 6480 To 8279
        n = 3
    Case 8280 To 10000
        n = 4
        y = 0
        Timer1.Enabled = False
End Select

For i = n To 3
    Text1(i).Text = T / 1000
Next i
End Sub
```

Damit soll so gut wie möglich die Funktion einer gedachten Objektklasse „Messposten“ bei diesem Versuch modelliert werden. Die Objekte dieser Klasse haben als Attribute eine laufende Stoppuhr, verfolgen die Position des Zielobjektes und vergleichen diese mit ihrer eigenen Position. Ist das Zielobjekt auf der gleichen Höhe, hält jedes Objekt die eigene Stoppuhr an.

Mit dieser Konstruktion wurde die Arbeitsweise, die schon bei der Messung der gleichförmig geradlinigen Bewegung angewandt worden ist, auf eine für die Schüler einsichtige Weise modelliert und in das Software-Modell des Fallversuches integriert.

Die Schüler konnten nun in dem weiter oben abgebildeten Premiere (Videoschnitt) Arbeitsplätzen aus dem SMPTE-Zeitcode die Zeiten entnehmen, an denen die realen Tennisbälle die Fensterbretter des Schulgebäudes passierten. Anschließend, oder parallel dazu, konnten die Schüler in dem in der folgenden Abbildung gezeigten Visual Basic Arbeitsplatz den Parameter im Unterprogramm „Schritt“ variieren, bis die Zähler in der Softwaresimulation sich optimal an die Zeiten aus dem SMPTE-Zeitcode annähern[144].

[144] Solche Maßnahmen mit dem Ziel, die Bewegung eines realen Objektes zu erfassen, um die Bewegung eines computergenerierten Objektes daran anzunähern, werden in der Medienproduktion als “Motion Capturing” bezeichnet und sind mittlerweile weitgehend automatisiert. Beispielsweise können mit Motion Capturing die Bewegungen realer Schauspieler aufgezeichnet werden, indem eine spezielle Software die Bewegungen von Messpunkten an den Gelenken aus mehreren Kameraperspektiven erfasst und automatisch die Trajektorien ermittelt. Diese werden vielfach im Format MIDI gespeichert - das gleiche Format dient auch der datenreduzierten Speicherung von Musikstücken und der Steuerung von Synthesizern durch Computer. Anschließend können die Daten auf beliebige virtuelle Objekte, z.B. computergenerierte Monster oder Kampfroboter, oder gar auf die Modelle längst verstorbener Schauspieler übertragen werden.

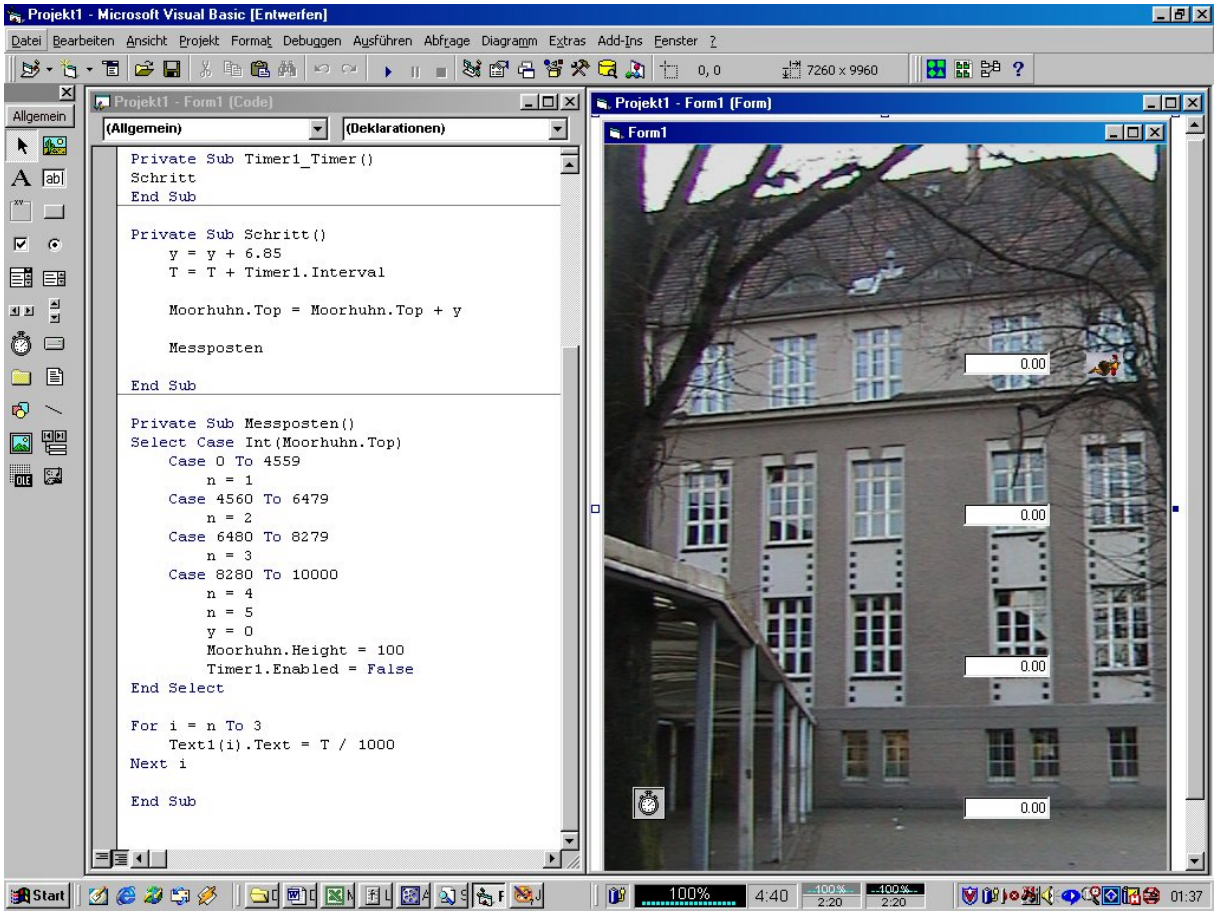


Abbildung 71: Die Arbeitsumgebung der Schüler bei der Anpassung der Simulation an die real gemessenen Werte.

Etage	Strecke	**Realfilm**	Parameter = 6,0	Parameter = 6,5	**Parameter = 6,85**	Parameter = 7,0
2.	5,28 m	**0,92 s**	0,96	0,92	**0,92**	0,88
1.	9,22 m	**1,28 s**	1,4	1,32	**1,28**	1,28
Hof	12,46 m	**1,64 s**	1,68	1,64	**1,6**	1,56

Tabelle 1: Quantitative Auswertung: Vergleich zwischen den Zeiten für Realfilm und Softwaremodell

Eine Einstellung des Parameters auf den Wert 6,85 liefert eine gute Annäherung an die Realität. Auch bei optimaler Anpassung aller Zwischenzeiten liegt der letzte Wert in der Simulation (1,60s) noch etwas niedriger als in der Realität (1,64s). Dies kann mit dem Einsetzen des Luftwiderstandes erklärt werden, der im letzten Abschnitt des Falles natürlich stärker wirkt als vorher, und in der Simulation nicht enthalten ist. Dieser Umstand wurde in der Gruppe diskutiert und führte zu der Entscheidung, die Simulation mit dem Parameter 6,85 als die

Simulation mit der größten Realitätsnähe zu betrachten, da sie über den größeren Teil des Prozesses die realitätsnahesten Werte ergibt. Dies ist gleichbedeutend mit der Entscheidung, den Einfluss des Luftwiderstandes so weit wie möglich vernachlässigen zu wollen.

Bei der Auswertung musste nun lediglich die Einheit des Parameters in das Maßsystem überführt werden, das in der Realität Verwendung findet. Die Programmierumgebung von Visual Basic arbeitet mit einer abstrakten Maßeinheit, die auf den sichtbaren Bildschirmbereich bezogen ist, aber von der gewählten Bildschirmauflösung unabhängig ist. Den Schülern gegenüber wurde die eingängige Bezeichnung „Pixel“ für diese Maßeinheit gewählt, obwohl Pixel sich eigentlich auf die physikalische Auflösung des Bildschirms/der Grafikkarte beziehen. Bei den Realaufnahmen wurden die Fensterbretter als Referenzpunkte gewählt; der Abstand der Referenzpunkte zum Boden ist in der Einheit „Meter“ vermessen worden. Bei der in die Softwaresimulation eingearbeiteten Digitalaufnahme des Gebäudes konnte der Abstand der Referenzpunkte vom Boden durch einfaches Verschieben eines beliebigen Grafik-Objektes in der Maßeinheit der Programmierumgebung ermittelt werden. Es ergab sich ein Umrechnungsfaktor von 453 „Pixeln“ auf dem Bildschirm pro tatsächlich zurückgelegten Meter im realen Experiment, oder umgekehrt entsprechen 2,2 mm in der Realität 1 „Pixel“ auf dem Bildschirm. Die gesamte Fallstrecke umfasste 12,46 m oder 5640 „Pixel“.

Für die Umrechnung des Zeitmassstabes musste lediglich berücksichtigt werden, dass die Kamera im SMPTE-System mit 25 Einzelbildern pro Sekunde arbeitet. Die Softwaresimulation verschiebt das Grafik-Objekt auf dem Bildschirm um den Faktor y bei jedem Aufruf des Unterprogramms „Schritt“, wobei der Wert für y bei jedem Aufruf um den zu wählenden Parameter, letztlich also um den Wert 6,85 Pixel/Aufruf, erhöht wird. Das Unterprogramm wird durch den Timer alle 40 ms aufgerufen, also ebenfalls 25 mal pro Sekunde[145]. Mit dem Umrechnungsfaktor 1 Pixel = 2,2 mm ergibt sich für die gemessene Beschleunigung:

$$g = \frac{6{,}85 Pixel \cdot 2{,}2 \frac{mm}{Pixel}}{(40ms)^2} = 9418{,}75 \frac{mm}{s^2} = 9{,}42 \frac{m}{s^2}$$

Das ist eine mit lediglich 4 % zufriedenstellend geringe Abweichung vom Literaturwert für $g=9{,}81 m/s^2$. Das Verfahren erfüllt also auch die an einen Unterrichtsversuch im Physikunterricht zu stellenden Ansprüche an die Messgenauigkeit. Eine Fehlerdiskussion wurde mit den Schülern durchgeführt; die Schüler nannten als mögliche Fehlerquellen Messungenauigkeit und systematische Fehler wie die Luftreibung, hielten aber auch einen ortsbedingten Fehler für möglich: einige Schüler hatten aus dem Physikbuch entnommen, das der exakte Wert für g je nach Lage auf der Erdkugel in tatsächlich in der ersten Nachkommastelle (Äquator: $9{,}78 ms^{-2}$, Nordpol: $9{,}83 ms^{-2}$) schwanken würde.

[145] Dieses Intervall ist mehr oder weniger willkürlich gewählt worden.

5.3.3 Planung der begleitenden Untersuchung

Für eine bessere Vergleichbarkeit wurde die aufgewendete Zeit für dieses Unterrichtsreihe auf die gleiche Zeit beschränkt, die auch für die Unterrichtsreihen der Vergleichsgruppen anfiel. Der Aufwand für die Programmierung des Computermodells in differentiellen Schritten ging auf Kosten des Lösens von Übungsaufgaben mit Hilfe von Formeln, d.h. geschlossenen Lösungen. Daher ist auf der Negativseite zunächst zu vermuten, dass die Schüler der Probandengruppe:

- geringeren Zugang zu den die Vorgänge beschreibenden geschlossenen Formeln haben,
- weniger motiviert sind, geschlossene Formeln zur Lösung eines gegebenen Problems einzusetzen.

Die Untersuchung soll vor allem erheben, wie deutlich die Unterschiede ausfallen. Dies liefert die Grundlage für eine Diskussion, inwieweit die Vorteile des differentiellen computergestützten und projektorientierten Zugangs (u.a. Kreativität, Problemlösefähigkeit, IT- und Medienkompetenz, Teamfähigkeit...) vor dem Hintergrund einer möglicherweise geringer ausgebildeten Fachrechenfähigkeit der Schüler zu rechtfertigen ist.

Im Zusammenhang mit Physikunterricht wird vielfach kolportiert, er „wäre einfach nichts für Mädchen“. Empirische Studien[146] und Erfahrung mit nicht-koedukativen Physik- und Technikunterricht wie etwa der „Sommer-Universität für Frauen“ an der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg wiedersprechen dieser einfachen These, und deuten ein komplexeres Problemfeld an, dass das Rollenverhalten junger Männer und Frauen mit einbezieht. Ähnliche Vorurteile bestehen gegen „Mädchen und Computer“. Daher ist ein weiterer, wichtiger Untersuchungsaspekt: wird durch das Konzept der Unterrichtsreihe eine Personengruppe bevorzugt oder benachteiligt? Die Ergebnisse und Aussagen der Schüler werden entsprechend differenziert betrachtet, Asymmetrien mit Hilfe von Gruppengesprächen analysiert.

Der Einsatz von Computern und Multimedia im Physikunterricht wird vor dem Hintergrund der aktuellen Mediendidaktischen Diskussion zunächst als „Gut an sich“ betrachtet; das Projektorientierte Vorgehen und der Vollzug einer vollständigen Lernhandlung innerhalb der Unterrichtsreihe – mit der Softwaresimulation als „Produkt“, das durch den physikalischen und messenden Vergleich mit der Realität geprüft und bewertet wird – leitet sich aus den Betrachtungen der Abschnitte 1 und 2 her. Welche Vorteile sich, objektiv messbar, für die Schüler der Lerngruppe ergeben, soll unvoreingenommen durch die explorative Datenerhebung mit einer Bandbreite von Testfragen bestimmt werden.

---

[146] Harreis, H.; Riede, H.M.; Sieger, H.; Treitz, N.: Empirische Untersuchungen über Erfahrungen und Meinungen von Lehrkräften, Schülerinnen und Schülern zum Computer und seiner Nutzung im Unterricht, 1989.

5.3.3.1 Statistische Maße

Bei der Auswertung der Datenbasis werden folgende Maße ermittelt:

Univariate Statistik:

Mittelwertsmaße

Verbreitete Mittelwertsmaße sind der häufigste Wert einer Verteilung (Modus), der Wert, der von genauso vielen anderen Werten der Verteilung über- wie unterschritten wird (Median) und das arithmetische Mittel. Das arithmetische Mittel ist die Summe aller Messwerte, geteilt durch ihre Anzahl. Es setzt metrische Daten voraus. In dieser Auswertung wird das **arithmetische Mittel** überall dort erhoben werden, wo die Schüler eine Aussage wie z.B. „ich möchte mehr mit dem Physikbuch arbeiten“ auf einer Skala von –3 bis +3 bewerten.

Streuungsmaße

Streuungsmaße geben Aufschluss über den Grad der Homogenität oder Heterogenität der Werte innerhalb der Verteilung. Das gebräuchlichste Streuungsmaß ist die **Standardabweichung S**. Bei vielen Streuungsmaßen wird das bereits erhobene Arithmetische Mittel als Bezugspunkt genommen und in irgendeiner Form die Summe der Abweichungen vom Mittelwert gebildet. Die **Variation** ist die Summe der quadrierten Abweichungen vom Mittelwert, die auch Fehlerquadrate genannt werden. Die Minimierung der Variation ist die Grundlage vieler numerischer Regressionsverfahren. Einsichtigerweise steigt die Variation mit der Größe der Stichprobe, weil jeder vom Mittelwert verschiedene Wert der Verteilung die Variation erhöht. Um zwei verschieden große Verteilungen vergleichen zu können, wird die Variation häufig normiert, also durch die Stichprobengröße N dividiert, und heißt dann **Varianz**.

Das entstehende Maß hat, bedingt durch die Quadrierung der Abweichungen vom Mittelwert, eine andere Dimension als die Werte der zugrundeliegenden Verteilung. Deswegen wird üblicherweise die Wurzel der Varianz verwendet; dies ist die Standardabweichung S. Bei dieser Erhebung wird die Standardabweichung als Maß der Heterogenität verwendet. In einigen Fällen wird zusätzlich die Variation, als der Standardabweichung vor der Normierung zugrunde liegender Wert, angegeben.

Ermittlung der Werte aus der Datenbasis

Das Datenbank-Objekt mit dem Namen „parser” nimmt die Anfrage nach einem Feld (z.B. Akzeptanz von Computern) und eventuell festgelegte Einschränkungen (z.B. nur Werte für Datensätze mit Geschlecht = „f“) entgegen und formuliert daraus eine SQL-Abfrage an die eigentliche Datenbank. Die Datenbank gibt einen „Record“ zurück, die alle Werte die zur Anfrage passen enthält. Diese Werte werden in einem ersten Durchgang aufsummiert, bis das Ende des Records erreicht ist. Einige If...then... Anweisungen dienen dazu, ungültige Werte vor der Summierung zu eliminieren. Eine Zählvariable, die mit jedem gültigen gezählten Wert inkrementiert wird, liefert die Anzahl der aufsummierten Werte. Summe und Anzahl ergeben den Mittelwert.

Im zweiten Durchgang werden mit der Anweisung

```
Do While Not Daten.EOF

      Summe = Summe + (Daten(Spalte) - Mittelw) ^ 2

      Daten.MoveNext

Loop
```

Die quadratischen Abweichungen vom Mittelwert aufsummiert. Nach Ende des Durchlaufes enthält die Variable `Summe` bereits die Variation, die direkt an die aufrufende Funktion übergeben werden kann. Im Anschluss wird mit Hilfe der bereits ermittelten Anzahl N die Standardabweichung errechnet und übergeben.

5.3.3.2 Planung des Vorgehens

Die Evaluation geschieht in einem 3-stufigen Erhebungsverfahren.

Erste Stufe: Explorative Datenerhebung

Zunächst wird in beiden Gruppen mit einem standardisierten Fragebogen eine explorative Datenerhebung unternommen. Ziel ist die Prüfung einer Reihe von Indikatoren:

Motivations-Indikatoren

- Bereitschaft der Lerngruppe, physikalische Phänomene im Alltag mit naturwissenschaftlichen Herangehensweisen zu hinterfragen
- Bereitschaft der Lerngruppe, mit Computern umzugehen
- Bereitschaft der Lerngruppe, systematische Problemlösungswege zu verfolgen
- Bereitschaft der Lerngruppe, sich durch naturwissenschaftliche Fachliteratur zu informieren.

Verständnis-Indikatoren

- Können die Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung korrekt wiedergegeben und trennscharf voneinander abgegrenzt werden?
- Welche Werkzeuge zur Lösung eines affinen Problems sind bekannt, welche werden bevorzugt?

Die Ergebnisse der Erhebung werden möglichst schnell einer Sichtung unterzogen. Dabei werden die Ergebnisse der Probandengruppe mit dem Ergebnissen der zwei Vergleichsgruppen verglichen.

Zweite Stufe: Gruppeninterview

Dies dient als Grundlage zur Planung der zweiten Stufe, des Gruppeninterviews, das in der Folgewoche mit den beteiligten Schülern durchgeführt wird. Diese werden zu ihren Aussagen befragt, und es werden mit diesen zusammen mögliche Begründungen gesucht.

Dritte Stufe: Feldversuch

Nachdem auf diese Weise charakteristische Effekte des Unterrichts mit der Methode der objektorientierten Modellbildung explorativ erhoben und mögliche Zusammenhänge dieser Effekte durch das Gruppengespräch gefunden wurden, ging es beim Feldversuch um die empirische Bestätigung des gefundenen mit einer möglichst großen Stichprobe von Schülern.

5.3.4 Durchführung der begleitenden Untersuchung

Für die erste Erhebungsstufe, die explorative Erhebung, wird eine breite Auswahl von Fragestellungen in der Gruppe untersucht:

1. und 6. Akzeptanz des vermittelten Inhalte und der verwendeten Methoden (kurz- und langfristig)
2. Assoziationstest – Fachsprachenbeherrschung
3. Problemlösefähigkeit
4. Unterschiede der lebensweltlichen Wahrnehmung
5. Unterschiede der analytische Wahrnehmung

Zusätzlich wurden Sozialdaten erhoben, die eine eindeutige Zuordnung der Befragten zu dem von ihnen gehörten Kurs (nach dem Kurslehrer), ihrem Alter, und ihren mathematischen Grundkenntnissen (Grundkurs oder Erweiterungskurs) ermöglicht. Allen Teilnehmern wurde die Möglichkeit gegeben, ihren Fragebogen zu anonymisieren, indem sie statt ihres Realnamens einen Decknamen eingeben konnten. Die Abgabe der Fragebögen geschah an eine Vertrauensperson (Kurslehrer bei den Vergleichgruppen, Klassensprecherin bei der Versuchsgruppe), die eine Vergleichsliste mit eindeutiger Zuordnung von Fragebogen zu befragter Person führt, falls Rückfragen gestellt werden müssen.

Auf die Angabe von Namen bzw. Decknamen konnte jedoch nicht völlig verzichtet werden. Gewünscht war, dass die Schüler Aussagen formulierten, zu denen sie persönlich stehen konnten, und die sie auch im folgenden Gruppengespräch bekräftigen bzw. erläutern konnten. Altersstufenspezifisch wäre damit zu rechnen, dass die Schüler einer Jahrgangsstufe 10 im Schutz der Anonymität missbräuchliche bzw. unsinnige Angaben tätigen würden. Die Anonymisierung durch eine zwischengeschaltete Vertrauensperson hilft hier, Missbrauch verhindern und gleichzeitig die Anonymität der Befragten schützen zu können.

Die zweite Erhebungsstufe fand in Form eines gelenkten Gespräches mit der Gesamtgruppe statt. Bei der Auswertung der Fragebögen wurden eine Reihe von Auffälligkeiten deutlich,

mit der sich die Versuchsgruppe von den Vergleichsgruppen abhob. Zu deren Erklärung wurden im Verlauf der Auswertung der Fragebögen eine Reihe von Hypothesen formuliert. Diese Hypothesen sollten durch das eine Woche später stattfindende Gruppengespräches verifiziert oder falsifiziert werden. Das Gespräch wurde auf Band aufgezeichnet und im Anschluss ausgewertet.

Der Feldversuch mit 149 beteiligten Schülern diente vor allem dazu, die gefundenen Effekte empirisch zu untermauern. Aufgrund der Vielzahl der beteiligten Gruppen und unter Rücksichtnahme auf die gegebenen Randbedingungen – also vor allem dem engen Zeitplan des besuchten Unterrichtes – wurde das Gruppengespräch hierbei nicht wiederholt.

Da die Tagesordnungspunkte des Gruppengespräches sich direkt auf die entsprechenden Fragestellungen des Erhebungsbogens abbilden lassen, werden bei der folgenden Darstellung die Ergebnisse des Gruppengespräches unmittelbarer auf die entsprechende Frage des Bogens folgend dargestellt. Damit lässt sich der Zusammenhang zwischen explorativer Datenerhebung, Auswertung, Hypothesenformulierung und Hypothesenprüfung im Gruppengespräch am besten wiedergeben. Im Anschluss wird auf das Ergebnis des Feldversuches Bezug genommen.

5.3.4.1 Frage 1: Akzeptanz (kurzfristig) des erlebten Unterrichtes und seiner Inhalte.

Zum Bereich Akzeptanz wurde auf dem Fragebogen eine Liste mit 5 verschiedenen Aussagen angeboten, die angekreuzt werden konnten. Mehrfachaussagen waren explizit möglich.

Frage 1:

Du hast in den letzten Wochen intensiv mit dem Thema „Geschwindigkeit und Beschleunigung“ beschäftigt.

Kreuze bitte die für Dich zutreffende Aussage an:

Ich werde jetzt häufiger über Geschwindigkeit und Beschleunigung im Alltag nachdenken	
Ich fand es ganz interessant	
Es war für mich Unterricht wie jeder andere auch	
Ich habe mich nicht gerne damit beschäftigt	
Ich will nichts mehr davon hören	

Die inneren drei Antwortmöglichkeiten enthalten drei Aussagen zum Grad des Interesses, das der jeweilige Unterricht in seinem Verlauf hervorgerufen hat:

- Der Unterricht wurde als interessant empfunden (+1 Punkt)
- Es wurde als Unterricht wie jeder andere auch empfunden (0 Punkte)
- Der Schüler hat sich nur ungern mit dem Unterricht beschäftigt (-1 Punkt)

Von diesen drei Aussagen lässt sich nur jeweils eine widerspruchsfrei ankreuzen. Damit erfüllt der innere Teil dieser Fragestellung die Funktion einer ordinalskalierten Skala.

Am äußeren Ende der Skala befinden sich jedoch Aussagen, die vom Schüler auch zusätzlich, bzw. als Ergänzung zu den bereits getroffenen Aussagen angekreuzt werden können. Diese betreffen die langfristige Wirkung des Unterrichtes auf die Akzeptanz des vermittelten Wissens beim Schüler:

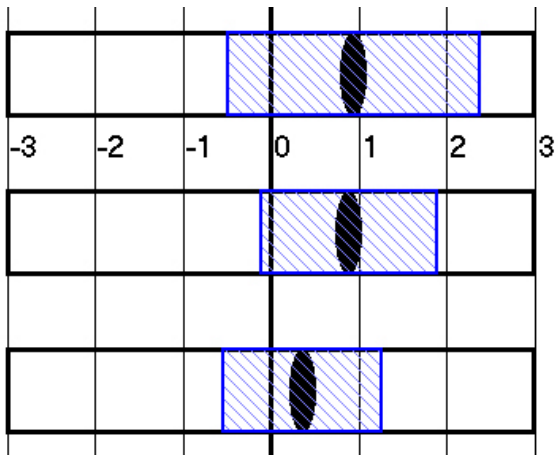
- Ich werde jetzt häufiger über Geschwindigkeit und Beschleunigung im Alltag nachdenken.

oder

- Ich will nichts mehr davon hören.

Die langfristigen Auswirkungen von Unterricht sind für die Erhebung natürlich von besonderer Bedeutung. Aus diesem Grund wurde einer zur langfristigen Wirkung getroffenen Aussage die Wichtigkeit +2 Punkte (ich werde jetzt häufiger darüber nachdenken) oder –2 Punkte (ich will nichts mehr davon hören) zugewiesen. Diese Punkte addieren sich zu den einfach gewerteten Aussagen, so dass als maximale Punktwerte für die Antworten des 1. Frageteils (+3) bzw. (-3) Punkte in Frage kommen; es ergibt sich insgesamt eine siebenstufige ordinalskalierte Skala mit eindeutigem Mittelpunkt bei 0 (Unentschieden).

5.3.4.1.1 Ergebnisse

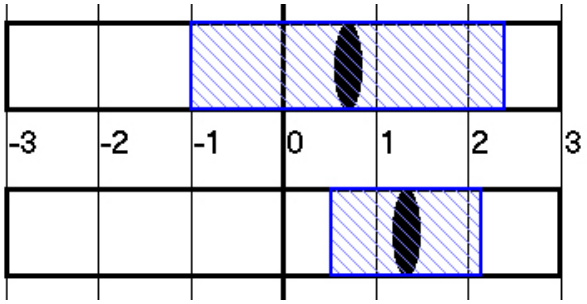
Gruppe	**Mittelw.**	**Variation**	**S**	**Grafischer Vergleich**
Laborgruppe	0,94	30,9	1,44	
Feldversuch	0,89	149	1,01	
Vergleichs-gruppen	0,36	22,4	0,91	

Wie ersichtlich, sind die Werte für kurz- und langfristiges Interesse an den Inhalten des Kurses bei den Versuchsgruppen insgesamt deutlich höher als bei den Vergleichsgruppen. Die hohe Standardabweichung verrät aber auch, das die Urteile breit gestreut sind. An dieser Stelle ist es sinnvoll, die Gruppen auf eine innere Polarisierung hin zu überprüfen: Gibt es innerhalb der Gruppen Untergruppen, die sich jeweils in ihrem Urteil deutlich unterscheiden, und lassen sich diese Untergruppen noch an anderen Merkmalen voneinander unterscheiden?

Von besonderer Brisanz ist hierbei die Frage: Führt das Kurskonzept, das ja besonders intensiv auf den konstruktiven Einsatz von Computern beruht, zu einem erhöhten Interesse bei Jungen und einem korrespondierenden Desinteresse bei Mädchen?

Zur Beantwortung dieser Frage sollen die Antworten der Schüler der Laborgruppe daher zunächst nach Geschlechtern getrennt ausgewertet werden.

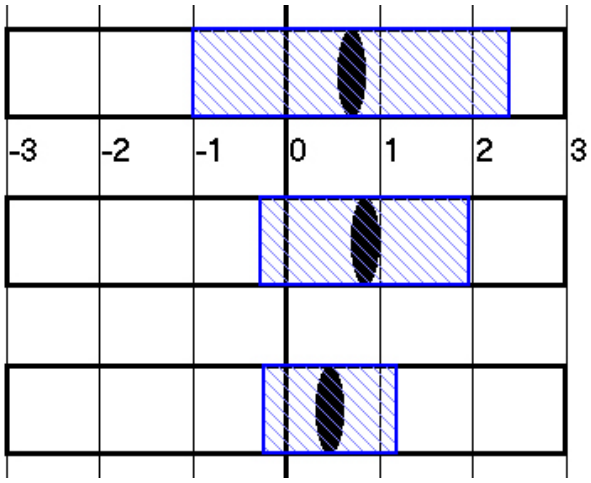
5.3.4.1.2 Ergebnisse: nur Laborgruppe

Geschlecht	Mittelw.	Variation	S	Grafischer Vergleich
Weiblich (F)	0,7	26,1	1,7	
Männlich (M)	1,3	3,3	0,82	

Wie man sieht, ist das Interesse sowohl der Jungen als auch der Mädchen an den Inhalten des Kurses im Mittelwert recht gut. Die Differenz von 0,6 Punkten zwischen den Gruppen ist schon aufgrund der Wertestreuung nicht signifikant hoch. Formal kann man also nicht davon sprechen, dass Mädchen im allgemeinen von einem Kurskonzept mit dem Ansatz Objektorientierter Modellbildung unter konstruktiven Einsatz von Computern und neuen Medien abgestoßen würden.

Auffällig ist jedoch die mehr als doppelt so hohe Standardabweichung der Antworten der Mädchengruppe, verglichen mit den Antworten der Jungengruppe. Die insgesamt hohe Standardabweichung der Antworten der Versuchsgruppe im Vergleich zu den Vergleichsgruppen wird also fast ausschließlich von den Antworten der Mädchen hervorgerufen! Hier dürften noch grundlegendere Ursachen als die Kursinhalte selbst eine Rolle spielen.

Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen (nur **F = Mädchen**) zwischen **Versuchsgruppe** und **Vergleichsgruppen**:

Gruppe	**Mittelw.**	**Variation**	**S**	**Grafischer Vergleich MÄDCHEN**
Laborgruppe (N=10)	0,7	26,1	1,7	
Feldversuch (N=70)	0,89	87,2	1,12	
Vergleichs-gruppen (N=17)	0,47	8,23	0,72	

Die Standardabweichung der Antworten der Mädchen der Versuchsgruppen deutlich über der Standardabweichung der Antworten der Mädchen der Vergleichsgruppe. Diese Form des computerunterstützten Unterrichtes scheint also zu einer ungewöhnlichen Polarisierung der Mädchen zu führen. Am ausgeprägtesten ist die Polarisierung unter den Mädchen, die unter den stark kontrollierten Bedingungen der Laborgruppe gelernt haben. Bei den 70 Mädchen, die am Feldversuch teilgenommen haben, tritt diese Polarisierung nicht mehr so scharf zum Vorschein. Wir gehen davon aus, dass hier die zahllosen nicht zu kontrollierenden Vorbedingungen und Randbedingungen an den unterschiedlichen Schulen für die teilweise Verdeckung eines in der Laborgruppe deutlich zutage getretenen Effektes sorgt.

5.3.4.1.3 Hypothesenformulierung

Denkbar sind Ursachen im grundlegenden Rollenverständnis der Mädchen im Umgang mit Computern und naturwissenschaftlichen Inhalten. Die Hypothese ist, dass Mädchen in ihrem Umgang mit Computern innerfamiliär noch mit einem differenzierten Rollenverständnis aufwachsen. Hier könnte in der Gruppe der Mädchen eine Zweiteilung herrschen zwischen denen, denen in ihrem häuslichen Frauenverständnis bereits eine umfassende „computer literacy“ zugestanden wird, und solchen, die mit der konventionellen Vorstellung von Computern als Männerdomäne aufgewachsen sind.

5.3.4.1.4 Gruppengespräch

Die entsprechende Fragengruppe eruierte die Art der häusliche Verwendung von Computern in der Gruppe der Mädchen. Bei der Beantwortung der Fragen wurden keine Wortmeldungen abgewartet, sondern es wurden gezielt einzelne Mädchen der Gruppe angesprochen. Damit sollte eine einigermaßen repräsentative Auswahl erzwungen werden; im anderen Fall wäre es denkbar gewesen, dass sich nur die selbstbewussten Mädchen zu Wort gemeldet und ihren Umgang mit Computern geschildert hätten, der in diesem Fall wahrscheinlich von genau diesem hohen Selbstbewusstsein geprägt ist.

Die Antworten haben die Hypothese zum Teil bestätigt. Die selbstbewussten und im Kursverlauf positiv auffallenden jungen Frauen gaben an, zu Hause einen eigenen Computer zu besitzen und zu verwenden. Auch die Mädchen, die sich im Unterricht bislang sehr zurückhaltend verhalten haben, gaben aber an, zu Hause über einen Computer zu verfügen. Die Möglichkeit des Zugriffes auf einen privaten PC ist also kein trennendes Merkmal innerhalb der Gruppe.

Eine präzisere Nachfrage ergab jedoch, dass zahlreiche Mädchen sich zu Hause einen Computer „mit ihren Brüdern teilen". Auf die weitere Nachfrage, wer diesen Computer häufiger benutzt, kam zögerlich die Antwort, dass der Bruder den Computer deutlich häufiger nutzen würde.

5.3.4.1.5 Interpretation

Die Hypothese scheint sich damit zu bestätigen; es bleibt jedoch noch Raum zu einer Spekulation bis weit in den privaten Bereich der Lebenswelt junger Schülerinnen, die nicht Gegenstand dieser Arbeit sein kann. Denkbar ist jedoch, dass bei den Schülerinnen im privat-häuslichen Bereich ein Effekt auftritt, der ähnlich auch in zurückliegenden Untersuchungen zur Koedukation im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht beobachtet worden ist: Dort beobachtete man in homogenen Mädchengruppen einen selbstbewussten Umgang bei Gruppenarbeit mit physikalischen Experimenten und eine faire Rollenverteilung. Im koedukativen Unterricht dagegen halten sich die Mädchen stärker zurück und suchen möglichst passive Rollen wie die der Protokollantin[147] [148].

Werden die Erkenntnisse aus der zitierten Erhebung auf den auf den vorliegenden Fall angewandt, so könnte man für die Nutzung von Rechnern im häuslichen Bereich folgendes Szenario annehmen: Sind die Schülerinnen Einzelkinder, oder gibt es in dem Haushalt nur Mädchen, geschieht eine selbstbewusste Nutzung des Rechners. Wird der Rechner mit männlichen Geschwistern geteilt, treten die Mädchen im ersten Zweifelsfall eher von ihrem Anspruch zurück. Rechner der Klasse „Personal Computer" sind, wie der Name bereits andeutet, durch zahlreiche Maßnahmen für einen bestimmten Benutzer zu personifizieren. Persönliche Bildschirmhintergründe, Bildschirmmotive, Softwareinstallationen und -deinstallationen und eine in weiten Teilen auf einen bestimmten Nutzer angepasste Benutzerführung machen den Rechner für eine zweite Person nur noch erschwert bedienbar. Die zweite Person findet sich auf dem „fremden" Rechner nicht so einfach zurecht wie der Erstbenutzer und bekommt durch die Anpassungen ständig das Gefühl vermittelt, sich auf fremden Territorium zu bewegen. So kann es auf Dauer zu einer „schleichenden Inbesitznahme" des Computers durch den Bruder kommen.

In Familien mit traditionellem Verständnis der Geschlechterrolle ist dieses Szenario wahrscheinlicher als in Haushalten mit ausgeprägtem Bildungsdenken. So könnte es auch im Zeit-

---

[147] Harreis 1989.

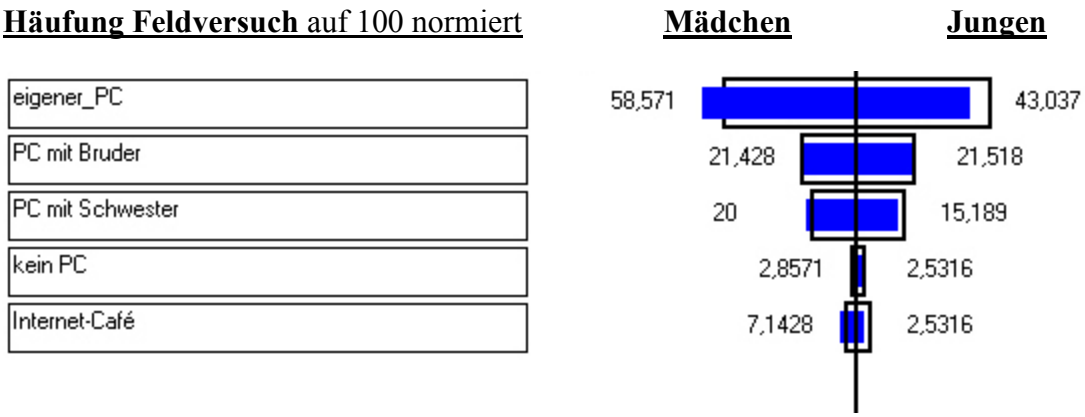
[148] Beinke, L.; Habel, K.M.; Harreis, H.; Richter, H.; Sieger, H.: Förderung naturwissenschaftlich-technischer Bildung für Mädchen in der Realschule in Nordrhein-Westfalen. Gießen/Münster/Duisburg/Essen: Verlag Polytechnik/Arbeitslehre, 1991.

alter einer schichtenübergreifenden allgemeinen Verfügbarkeit von Computern zu einer Benachteiligung von Mädchen unterer Schichten beim Umgang mit Computern kommen. Die damit verbunden Unsicherheiten könnten eine Erklärung für die vorgefundene Streuung der Computerakzeptanz bei den Mädchen der Versuchsgruppe darstellen.

5.3.4.1.6 Feldversuch

Um diesen Faktor im Feldversuch einschätzen zu können, wurde in den beim Feldversuch verwendeten Fragebögen eine zusätzliche Frage nach dem privaten Zugriff auf einen Personal Computer gestellt. Das nach Geschlechtern differenzierte Ergebnis:

Auswertung Frage 7: Nutzungsmöglichkeiten für Rechner im privaten Umfeld



Vor dem oben dargestellten Problem erscheint es zunächst beruhigend, dass immerhin etwa die Hälfte der Schüler im privaten Umfeld Zugriffsmöglichkeiten auf einen eigenen PC hat. Besonders günstig ist, dass sogar mehr als die Hälfte der Schülerinnen einen eigenen PC hat, der nicht mit Geschwistern geteilt zu werden teilen braucht. Dass die Verteilung asymmetrisch ist erstaunt zunächst. Eine mögliche Erklärung wäre, dass die Eltern schon aufgrund beobachteter Auseinandersetzungen um den Computer entschieden haben, ihrer Tochter einen eigenen PC zu beschaffen.

5.3.4.2 Frage 6: Akzeptanz der verwendeten Medien

Frage 6

Demnächst werdet Ihr in der Physik mit einem neuen Thema beginnen. Auf welche Weise würdest Du Dich gerne mit diesem Thema beschäftigen?

Kreuze mehr rechts an, wenn Du der Aussage zustimmst, kreuze mehr links an, wenn Du der Aussage nicht zustimmst.

Frage 6a: Ich würde gerne mit dem Computer arbeiten

Nein, bloß nicht !							**Ja, sehr gerne!**

Frage 6b: Ich würde gerne mit dem Physikbuch arbeiten

Nein, bloß nicht !							**Ja, sehr gerne!**

Frage 6c: Ich würde gerne mit Experimenten arbeiten

Nein, bloß nicht !							**Ja, sehr gerne!**

Der Frageteil 6 ist thematisch stark verwandt mit dem Frageteil 1. hier sollen die Schüler nochmals mit Hilfe einer Ordinalskala differenziert zu den im einzelnen verwendeten Medien der Unterrichtsreihe Stellung nehmen.

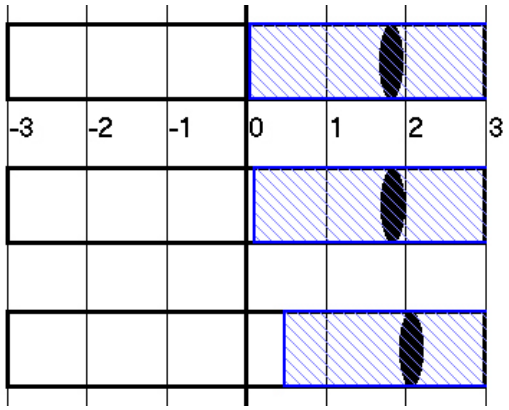
Obwohl Frageteil 6 prinzipiell eine Differenzierung des Frageteil 1 darstellt, wurde dieser Teil auf dem Fragebogen nicht in räumlicher Nähe zum Teil 1 angeordnet. Dies hat zwei Gründe:

- Während der Frageteil 1 den Fragebogen eröffnet, indem er eine auf die Vergangenheit des Kurses gerichtete Frage stellt, ist der Frageteil 6 auf die Zukunft einer nun anstehenden Unterrichtsreihe gerichtet;
- Vorliegende Erfahrungen[149] führen zur Vermutung, dass die befragten Personen bei einer zu großen Anhäufung von Ordinalskalen mit nachlassender Konzentration reagieren. Dabei sinkt nach unserer Beobachtung die Bearbeitungszeit pro Frage deutlich, die Antworten der untereinander liegenden Skalen tendieren dazu, geometrische Muster anzunehmen. Bei Schülern der Jahrgangsstufe 10 ist aufgrund der altersspezifisch geringen Konzentrationsfähigkeit durch ein abwechselungsreiches Fragebogendesign verstärkt auf diesen Effekt Rücksicht zu nehmen.

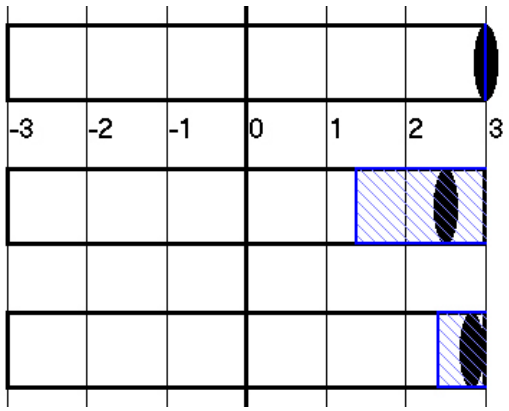
[149] Bresges, A.; Hunger, A.; Schwarz, F.; Werner, S.: Einführung neuer Medien in die Hochschulausbildung: sozialkognitive Aspekte der Software-Evaluation. In: Scheuermann, F. (Hrsg.): „Campus 2000: Lernen in neuen Organisationsformen (Tagungsband)“ Seite 347-354. Münster: Waxmann, 2000

Bei den hier dargestellten Grafiken wird die Streuung der Werte, mit der Standardabweichung als Maß, in beide Richtungen vom Mittelwert der Antworten als blau schraffierte Fläche angedeutet. Bei einer Normalverteilung enthält diese Fläche 63% aller Antworten. Dabei habe ich mich dazu entschieden, mit der angedeuteten Streuung innerhalb des Wertebereiches der Antworten zu bleiben. Da keine Antworten X aus der Menge { X <(-3) Λ X > 3 } möglich waren, macht es auch keinen Sinn, eine Streuung in diesen Wertebereich hinein anzudeuten.

5.3.4.2.1 Ergebnisse Frage 6a

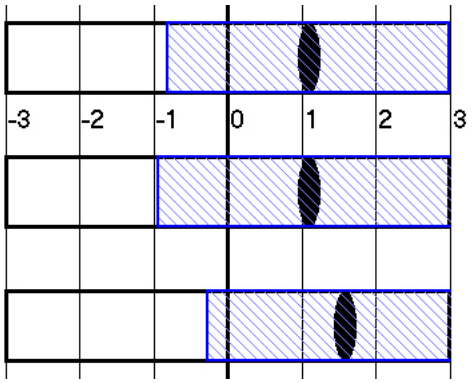
Frage 6a: **Akzeptanz Computer**				**Grafischer Vergleich**
Laborgruppe	1,81	46,4	1,76	
Feldversuch	1,84	449,4	1,75	
Vergleichs-gruppen	2,07	67,8	1,59	

Die Antworten auf Frage 6a spiegeln exakt die in Frage 1 gefundene geschlechtsspezifische Problemstellung. Der Wunsch aller Jungen, Computer in Zukunft bzw. weiterhin im Physikunterricht einzusetzen, ist deutlich; die Streuung der Antworten innerhalb der Jungen der Laborgruppe könnte geringer nicht sein.

<u>Frage 6a (nur Jungen):</u> Akzeptanz Computer				**Grafischer Vergleich JUNGEN**
Laborgruppe	3	0	0	
Feldversuch	2,49	95,7	1,11	
Vergleichs-gruppen	2,82	1,6	0,40	

Auch in den Gruppen der Mädchen ist der Wunsch nach Einsatz von Computern vorhanden. Dies betrifft sowohl die Mädchen der Versuchsgruppen, als auch die der Vergleichsgruppen. Jedoch differenziert sich das Antwortverhalten der Mädchen generell wesentlich stärker aus.

Wir finden bei Einzelbetrachtung der Fragebögen zahlreiche Mädchen, die den Wunsch nach Einsatz von Computern sehr deutlich äußern (+3), Mädchen, die sich zurückhaltend äussern (+1) und Mädchen, die den Einsatz von Computern doch eher ablehnen (-1, -2). Im Mittelwert also ein positives Votum für Computer, aber eindeutig eine Frage, an der sich bei allen Mädchen die Geister scheiden.

<u>Frage 6a (nur Mädchen):</u> Akzeptanz Computer	**Mittelw.**			**Grafischer Vergleich MÄDCHEN**
Laborgruppe	1,1	32,9	**1,91**	
Feldversuch	1,1	282,3	**2,04**	
Vergleichs-gruppen	1,59	56,1	**1,87**	

Die Mittelwerte der Antworten zu 6a für alle Gruppen ohne Differenzierung der Geschlechter ist eine Aussage mit geringem Wert. Da die Antworten der Mädchengruppen und die Ant-

worten der Jungengruppen jeweils in der gleichen Größenordnung liegen, wird die Höhe des Mittelwertes nur von der jeweiligen Verteilung der Geschlechter in der Gruppe bestimmt! Bei getrenntgeschlechtlicher Auswertung ist sichtbar, dass die Akzeptanz von Computern bei den Mädchen der Versuchsgruppen insgesamt zwar vorhanden, aber tendenziell etwas niedriger ist als die der Mädchen der Vergleichsgruppen. Diese Tendenz wäre zwar Angesichts der sehr hohen Wertestreuung zu vernachlässigen, soll aber dennoch im Rahmen des Gruppengesprächs beleuchtet werden.

5.3.4.2.2 Hypothesenformulierung

An der Willy-Brandt-Schule Mülheim werden seit 5 Jahren intensiv Computer auch außerhalb des Informatikunterrichtes im Unterricht eingesetzt. Das Medienkonzept der Willy-Brandt-Schule sieht den Einsatz des Computer vor:

- als Lehr/Lernmedium im Fachunterricht unter Einsatz multimedialer Lern- und Präsentationssoftware, in Verbindung mit Videoprojektoren oder im Gruppenlernen vor PC,
- als Arbeitsmittel im Informatikunterricht, wo vor allem der Einsatz von Office-Software für kaufmännische Anwendungen erlernt wird,
- als System des Informationsumsatzes im Technikunterricht, wo Aufbau und Vernetzung von PC Gegenstand von Kursen des Wahlpflichtbereiches sind,
- als Zugang zum Internet.

Weiterhin kennen die Schüler PC als Spiel- und Unterhaltungsgerät aus dem privaten Bereich. Ich gehe davon aus, dass die oben genannten Anwendungsgebiete das Bild der befragten Schüler im Lauf ihrer 4-jährigen Schulzeit an der Willy-Brandt-Schule nachhaltig geprägt hat.

Allein auf die Versuchsgruppe bezogen gehe ich davon aus, dass die intensive und konzentrierte Arbeit mit Computer an physikalischen Inhalten den Schülern ein neuartiges Bild des Computers als Arbeitsmittel zur Objektorientierten Modellierung vermittelt hat. Die Hypothese ist, dass die Schüler der Versuchsgruppe ein differenzierteres Bild vom Computer im Physikunterricht gewonnen haben und dieses Bild nutzen, um sich bei der Beantwortung der Frage 6a eine Vorstellung des Computereinsatzes in der kommenden Unterrichtsreihe machen. Diese Vorstellung muss sich zwangsläufig von der Vorstellung der Schüler der Vergleichsgruppen unterscheiden, die den PC-Einsatz allein mit dem typischen Medienkonzept der Willy-Brandt-Schule und dem privaten/spielerischen Einsatz in Verbindung bringen, und äußert sich in einer insgesamt positiven, aber dennoch etwas vorsichtigeren Einstellung. Wie ist diese differenzierte Vorstellung?

5.3.4.2.3 Gruppengespräch

Die entsprechende Fragengruppe versuchte, das differenzierte Bild der Schülerinnen und Schüler vom Einsatz des Computer im zukünftigen Physikunterricht getrennt nach wahrgenommenen Vorteilen und wahrgenommenen Nachteilen/Risiken zu erfragen.

Zusammenfassung der Antworten:

Vorteile:

1. Nicht so starr wie das Vorgehen nach Lehrbuch

2. Das Erlebnis, durch das „direkt selber programmieren“ die physikalischen Vorgänge handelnd erfahren zu können, ist „angenehm“

3. „Man kann es sich so viel besser vorstellen als im Physikbuch“

Nachteile:

4. Die Schüler äußerten sehr schnell die Wahrnehmung, dass eine Ungerechtigkeit im Unterricht entsteht zwischen den Schülern mit gut fundierten Computerkenntnissen und hervorragendem Zugriff auf private Computer und den Schülern, denen diese Voraussetzungen fehlen.

Jedoch (Gegenstimme einer Schülerin):

5. Es (der Umgang mit Computern) sei von Anfang an gut erklärt worden

An dieser Stelle geschah eine Rückfrage zu dem in der Unterrichtsreihe verwendeten Tutorensystem durch den Befrager.

6. Die Schüler bestätigten, dass durch das Tutorensystem eine umfassende Betreuung gewährleistet werden konnte, so dass jeder in den Unterricht einbezogen blieb.

5.3.4.2.4 Interpretation

Die Äußerungen der Schüler liefern stimmige Erklärung der differenzierten Haltung der Versuchsgruppe, die sich dazu sehr gut mit den Ergebnissen der Befragung zu Frageteil 1 deckt.

Die Schüler konnten im Verlauf der Unterrichtsreihe eine Reihe von Eigenarten computer-unterstützten Unterrichtes wie seine Offenheit, seine Handlungs- und Produktorientierung erfahren und dies als attraktive Form des Lernens wahrnehmen. Auf der anderen Seite konnten sie erleben, das der konstruktive und handlungsorientierte Umgang mit Computern allen Schülern nicht nur ein hohes Maß an persönlichem Einsatz abverlangt, sondern auch, dass durch die bei den Schülern unterschiedlich vorhandenen Computerkenntnisse von vorne herein unterschiedliche Startpositionen der Schüler entstanden. Das Tutorensystem sorgte vor allem dafür, dass in den Phasen intensiver Computernutzung kein Schüler ohne Computer-kenntnisse vom Unterrichtsverlauf „abgehängt“ wurde. Es brachte aber mit sich, dass sich die Schüler selbst in die Rollen des Belehrenden bzw. des Belehrten einordnen mussten.

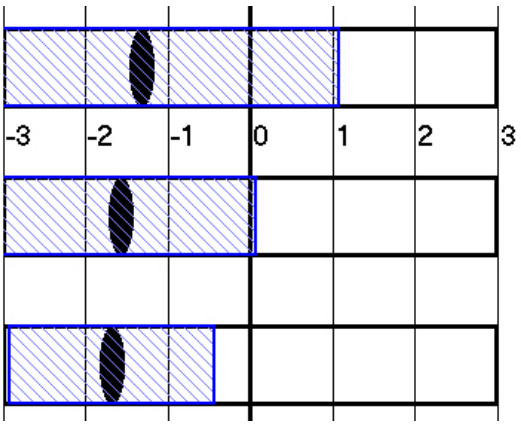
Vergleichbares konnten die Schüler der Vergleichsgruppen nicht wahrnehmen. Dies wird auch noch durch das Medienkonzept der Schule unterstützt; werden hier nämlich Computer eingesetzt, so wird die Rolle der Informationsquelle hier vom Computer (und nicht von einem

Mitschüler) eingenommen – was, im starken Gegensatz zum Einsatz von Computern zur Objektorientierten Modellierung, eher für Angleichung innerhalb der Schülergruppe sorgt.

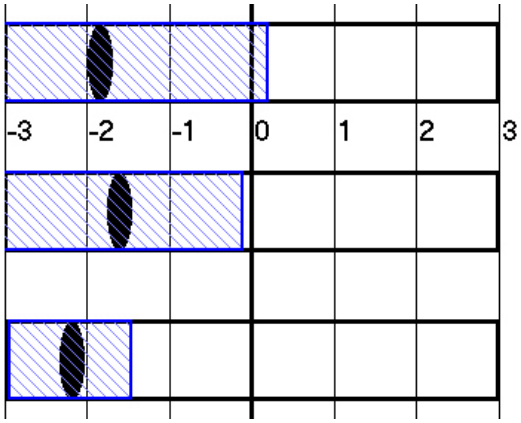
Der Schüler muss nun, wenn er sich im Frageteil 2 für die Auswahl der Medien der zukünftigen Unterrichtsreihe (implizit damit für das zukünftige Vorgehen) entscheidet, seine eigene Rolle in dieser Unterrichtsreihe antizipieren. Die Mädchen der Versuchsgruppe urteilten hier aufgrund der im Zusammenhang mit Frageteil 1 diskutierten Problemlage vorsichtiger.

Und doch äußern sich auch die Mädchen der Versuchsgruppe eindeutig **positiv** zur Nutzung von Computern, obwohl sie nun über das genannte Problembewusstsein und die entsprechend differenzierte Wahrnehmung verfügen! Dies wäre wahrscheinlich ohne das eingeführte Tutorensystem und ohne die sorgfältiger Beobachtung dieser Gruppe nicht geschehen. Eine Beobachtung über einen längeren Zeitraum als den zur Verfügung stehenden könnte klären, ob das Selbstbewusstsein der jungen Mädchen mit häufigerem Erleben ihrer eigenen Handlungsfähigkeit im Umgang mit Computern steigt. Das würde sich in einer günstigeren Antizipation ihrer Rolle in zukünftigen Unterrichtsreihen und damit in einer noch deutlich größeren und weniger breit gestreuten Akzeptanz des Computers als Arbeitsmittel äußern.

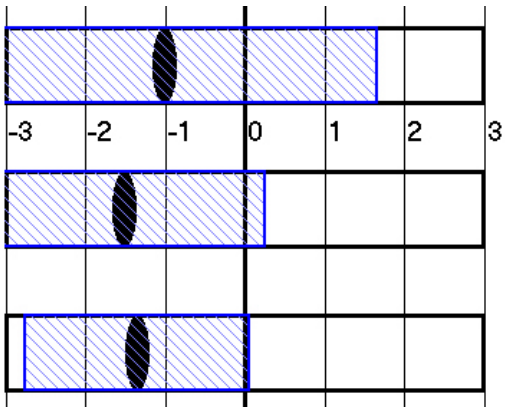
5.3.4.2.5 Ergebnisse Frage 6b

Frage 6b (alle): Akzeptanz Physikbuch	**Mittelw.**			**Grafischer Vergleich**
Laborgruppe	-1,31	87,4	2,41	
Feldversuch	-1,56	392,5	1,63	
Vergleichs-gruppen	-1,68	42,1	1,25	

Im Gegensatz zu dem eindeutig positiven Votum für Computer im Unterricht neigen alle befragten Schülerinnen und Schüler dazu, den Einsatz von Physikbüchern abzulehnen. Dabei äußern die Jungen eine etwas stärkere Abneigung gegen Bücher als die Mädchen. Auffällig ist wiederum das punktuelle Auftreten einer starken Streuung der Antworten aus der Laborgruppe (Standardabweichung: S = 2,41 gegenüber S = 1,35 bei den Vergleichsgruppen). Das Auftreten der Streuung ist diesmal nicht geschlechtsspezifisch.

Frage 6b (nur Jungen): Akzeptanz Physikbuch	**Mittelw.**			**Grafischer Vergleich JUNGEN**
Laborgruppe	-1,83	20,8	**2,04**	
Feldversuch	-1,61	180,8	1,52	
Vergleichs-gruppen	-2,18	5,6	0,75	

Betrachtet man die Antworten nach Gruppen und Geschlechtern getrennt, wird das starke Abweichen der Versuchsgruppe gegenüber den Vergleichsgruppen besonders deutlich: wo sich z.B. die Meinung der Jungen der Vergleichsgruppen deutlich ausprägt (starke Abneigung mit M= –2,5 bzw. –2,1; Standardabweichung dabei lediglich S = 0,7-0,8) ist die Aussage der Jungen der Vergleichsgruppe mit M = –1,83 moderater; insbesondere ist das Meinungsbild im Vergleich mit S = 2,04 wirklich außerordentlich stark gestreut.

Frage 6b (nur Mädchen): Akzeptanz Physikbuch				**Grafischer Vergleich MÄDCHEN**
Laborgruppe	-1	64	2,67	
Feldversuch	-1,51	211,2	1,76	
Vergleichs-gruppen	-1,35	31,9	1,41	

Bei den Mädchen ist die Streuung mit S = 2,67 nochmals deutlich höher (nahezu 45% des Wertebereiches), jedoch ist die Streuung auch in etwas schwächerer Form bei den Mädchen der Vergleichsgruppe vorhanden. Auch im Feldversuch mit 149 Teilnehmern ließ sich die Diversifikation der Meinungen nicht in der gleichen Stärke reproduzieren, obwohl die Tendenz in die gleiche Richtung weist.

5.3.4.2.6 Hypothesenbildung

Eine starke Streuung haben wir bereits im Zusammenhang mit den Frageteilen 1 und 6a als einen Indikator für eine differenzierte Wahrnehmung und Meinung innerhalb der Versuchsgruppe gedeutet, die aus der intensiven und computerunterstützten Auseinandersetzung mit dem Gegenstand nach dem Verfahren der objektorientierten Modellbildung erwachsen ist. Diese differenzierte Wahrnehmung der Rolle von Physikbüchern ist eine wertvolle Information zur Beurteilung des Konzeptes der Objektorientierten Modellbildung und soll deshalb im Gruppengespräch hinterfragt werden.

5.3.4.2.7 Gruppengespräch

Frage 1: Ihr habt in der zurückliegenden Unterrichtsreihe multimedial gelernt, also unter Zugriff auf viele verschiedene Informationsquellen. Wäre es manchmal nicht besser und bequemer gewesen, wenn Ihr nur das Buch als Informationsquelle gehabt hättet, und alles was ihr wissen müsst wäre zwischen den Seiten x und y zu finden gewesen?

Antwort:

1. Es hat uns etwas mehr angereizt, mit Computern UND Experimenten zu arbeiten, weil wir (in Physik) das erste Fach sind, was so arbeitet. Bücher haben wir ja in anderen Fächern auch.

Frage 2: Der andere Kurs hat mehr mit dem Buch gearbeitet und ist genau so wie ihr darüber befragt worden, ob sie in Zukunft gerne mit Buch, gerne mit Experimenten und gerne mit dem Computer arbeiten würden. Während Ihr angegeben habt, dass Ihr mit dem Buch keine Probleme habt, aber lieber mit Computer und Experimenten arbeiten wolltet, haben die anderen Kurse das Buch rundheraus abgelehnt. Sie wollten es ganz einfach nicht mehr benutzen. Habt Ihr dafür eine Erklärung?

Antworten:

2. Im Buch kann man mal etwas nachschlagen.

3. Für einige Sachen braucht man das Buch.

4. Zum Nachschlagen ist das Buch in Ordnung, aber nicht zum „was neues Lernen“! (Aussage wurde stark betont vorgetragen).

5. Das Buch ist eine Hilfe, aber: es ist eine „eingestaubte Hilfe“.

6. Im Buch versteht man vieles nicht sofort (Beispiel aus der Chemie wird genannt). Wenn man das mit einem Experiment verbindet, versteht man es viel besser und dann kann man es hinterher im Buch immer wieder nachlesen.

7. Wir haben mit dem Buch gar nicht so viel gearbeitet. Wir können daher nicht erklären, was die anderen Schüler für Probleme mit diesem Buch haben, denn wir kennen es kaum.

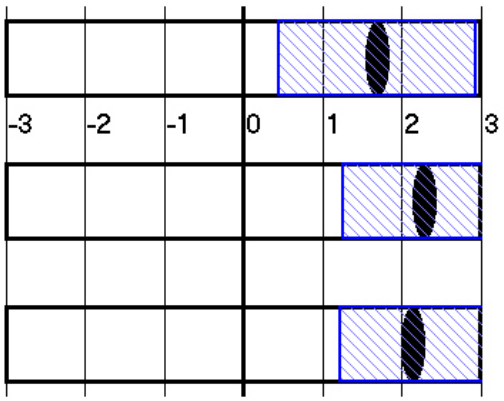
5.3.4.2.8 Interpretation

Aussage 1 beschreibt einen bekannten Effekt: neuartiges Vorgehen erzeugt immer zunächst ein mehr an Aufmerksamkeit, und damit ein besseres Einprägen und einen besseren Lernerfolg - ohne das damit erwiesen ist, dass das beschriebene Vorgehen dadurch tatsächlich besser als das alte ist. Elton Mayo ist bereits 1933 bei systematischen Veränderungen der Arbeitsumgebung im Rahmen einer wissenschaftlichen Studie aufgefallen, dass sowohl jede eingeführte Veränderung als auch deren Zurücknahme zu einer kurzfristigen Verbesserung der Produktivität führte. Dieser Effekt wird seitdem als „Hawthorne-Effekt“ bezeichnet, da die betroffenen Arbeiter in den Hawthorne-Elektrowerken in Chicago waren[150]. Interessant ist an Antwort 1, dass der Effekt den Schülern der Versuchsgruppe selbst aufgefallen ist.

Die Antworten 2-7 liefern eine stimmige Erklärung für die wenig ausgeprägte Abneigung der Schüler gegen physikalische Lehrbücher (im Vergleich zu den Schülern der Vergleichsgruppen). Das handlungsorientierte Konzept der objektorientierten Modellierung brachte die Schüler dazu, das Lehrbuch als wichtige unterstützende Informationsquelle zu schätzen (und genau so wurde es im Verlauf der Unterrichtsreihe auch positioniert). Der dennoch geäußerte Wunsch, Physikbücher nicht in hohem Maß in der zukünftigen Unterrichtsreihe zu nutzen, resultiert offenbar aus Erfahrungen der Schüler in anderen Unterrichtsreihen, in denen der Lehrer das Schulbuch (die „verstaubte Hilfe“) als zentrales Lehrmedium positioniert hat. Diese in der Lerngruppe vorhandene und stark negativ bewertete Erfahrung (Vgl. den mit Verve vorgetragenen Ausbruch des Schülers in Antwort 6) führt bei allen Schülern zu den Ressentiments gegen Lehrbücher. Diese sind bei der Versuchsgruppe nach Ablauf der Unterrichtsreihe offenbar etwas in den Hintergrund getreten, beeinflussen aber noch mehr oder weniger das Denken der Schüler. Diese **Individuell** prägende Vorerfahrung ist dann wohl auch die Erklärung für die starke (und nicht geschlechtsspezifische) Streuung der Antworten der Versuchsgruppe zu Frageteil 6b.

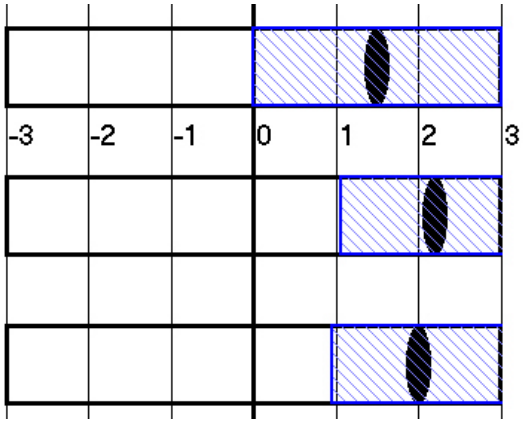
[150] Mietzel, G.: Wege in die Psychologie. Stuttgart: Klett-Cotta, 9. Auflage 1998. Seite 54.

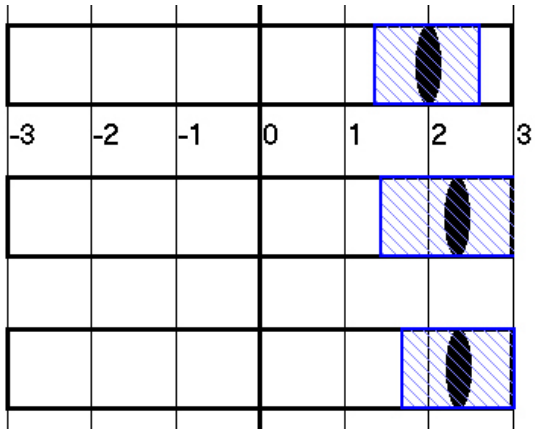
5.3.4.2.9 Ergebnisse Frage 6c

Frage 6c (alle): Akzeptanz Experimente				**Grafischer Vergleich**
Laborgruppe	1,69	23,43	1,25	
Feldversuch	2,28	153,6	1,02	
Vergleichs-gruppen	2,14	23,44	0,93	

Die Akzeptanz von Experimenten im Physikunterricht ist bei allen Gruppen gleichermaßen hoch. Dies ist für Unterrichtspraktiker keine Überraschung. Ziel guter Unterrichtspraxis im Fach Physik war aber stets eine sinnvolle Einbindung von Experimenten in den Unterricht, um ihre Lernhaltigkeit voll zu nutzen.

Die einzige Auffälligkeit ergibt sich aus den Antworten der Laborgruppe. Auch diese Gruppe wünscht sich in Zukunft das Arbeiten mit Experimenten, jedoch ist dieses Votum bei allen anderen Gruppen extremer ausgeprägt. Aus dem Gespräch mit der Laborgruppe gaben sich keine erklärenden Hinweise, so dass nur unklare Vermutungen geäußert werden könnten - wovon wir allerdings hier Abstand nehmen wollen, zumal sich im Feldversuch bei der großen Versuchsgruppe keine Wiederholung dieses Effektes zeigte.

Frage 6c (nur Mädchen): Akzeptanz Experimente				**Grafischer Vergleich MÄDCHEN**
Laborgruppe	1,5	20,5	1,51	
Feldversuch	2,20	89,1	1,15	
Vergleichs-gruppen	2,00	18	1,06	

Frage 6c (nur Jungen): Akzeptanz Experimente				**Grafischer Vergleich JUNGEN**
Laborgruppe	2	2	0,63	
Feldversuch	2,34	63,7	0,90	
Vergleichs-gruppen	2,36	4,54	0,67	

Positiv festhalten lässt sich aufgrund dieser Ergebnisse, dass der Zugang zur Physik mit Hilfe der objektorientierten Modellbildung nicht zu einem Zurückdrängen des Interesse am klassischen Experiment führt.

5.3.4.3 Frage 2: Begriffsassoziation und Problemhandeln

Im Fragenteil 2 wurden den Schülern einige Begriffe genannt, die in der Unterrichtsreihe zur Einführung in die Mechanik thematisiert wurden. Der Assoziationstest ermöglicht den Schülern, auf eine offene Fragestellung hin ihre Assoziationen mit den Begriffen zu beschreiben. Von Interesse ist hierbei, wie hoch der Anteil der Schüler ist, die in der

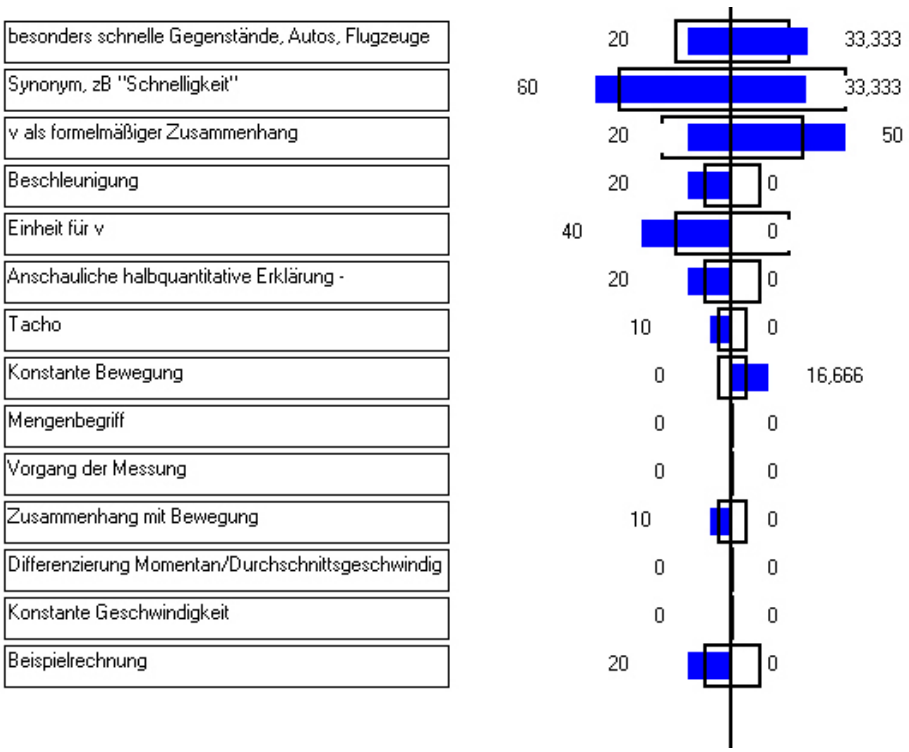
Lebenswelt definierte, umgangssprachlichen Begriffe (Geschwindigkeit, Beschleunigung) nun auch mit ihrer physikalischen Definition verbinden und sie fachsprachlich korrekt beschreiben können.

Frage 2:

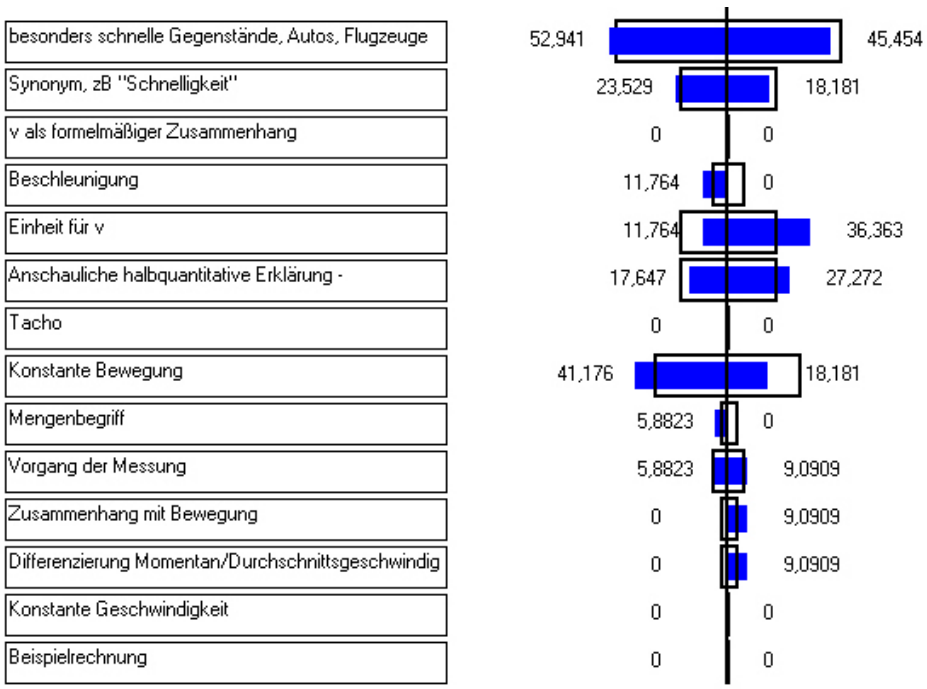
Was verbindest Du mit dem Begriff „Geschwindigkeit“? Beschreibe!

5.3.4.3.1 Auswertung Frage 2a: Assoziationen mit dem Begriff „Geschwindigkeit“

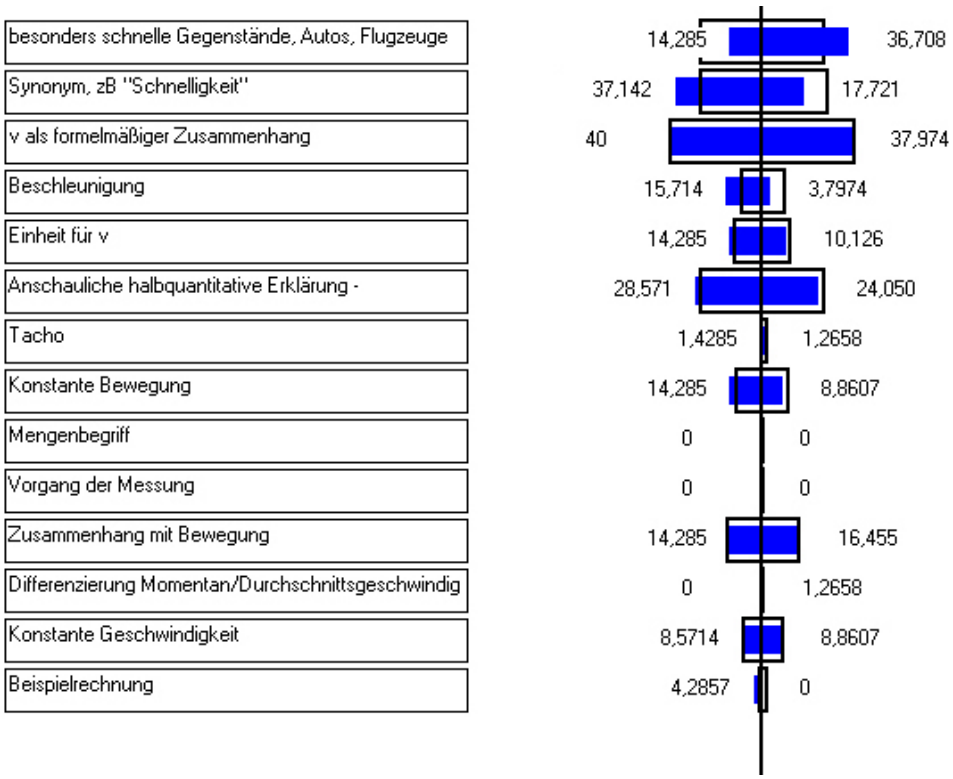
Häufung Laborgruppe auf 100 normiert



Häufung Vergleichsgruppe auf 100 normiert



Häufung Feldversuch auf 100 normiert



Bei der Vergleichsgruppe dominiert statt einer Antwort mit Formeln die Assoziation mit schnellen Gegenständen wie Autos und Flugzeugen die Antworten sowohl von Mädchen als auch von Jungen; hier ist keine Asymmetrie zwischen den Geschlechtern erkennbar. Diese

naive Assoziation ist aber ein Zeichen dafür, dass das fachliche Wissen des Physikunterrichtes noch nicht sehr tief in die Wahrnehmung der betreffenden Schüler eingedrungen ist. Diese und eine Reihe anderer naiver Antworten kennzeichnet die Größe der Gruppe von Schülern innerhalb der Versuchs- und Vergleichsgruppen, bei denen die Wahrnehmungen vor allem noch vom Alltagsverständnis und den Gegenständen des Alltages geprägt ist.

Auch unter den Schülern, die an der Unterrichtsreihe zur Objektorientierten Modellbildung im Physikunterricht teilgenommen haben, finden sich naive Antworten. Diese äußern sich weniger häufig durch die Assoziation mit schnellen Gegenständen; dafür ziehen sich hier signifikant häufig Schüler regelrecht aus der Affäre, indem sie auf den Begriff „Geschwindigkeit“ einfach mit einem synonymen Begriff wie dem Wort „Schnelligkeit“ antworten. Auch dies zählt als naive Antwort mit den oben genannten Schlussfolgerungen.

Erfreulich viele Teilnehmer sowohl des Feldversuches (26%) als auch des konventionellen Unterrichtes in der Vergleichsgruppe (21%) bemühen sich, durch eine anschauliche Erklärung das hinter dem Geschwindigkeitsbegriff verborgene Konzept darzulegen. Dieser Versuch wird als „anschauliche halbquantitative Erklärung“ bezeichnet, wenn er zwar ein „je-desto-Verhältnis“ beschreibt, aber dabei keine Formel bemüht. Die quantitativen und die halbquantitativen Antworten bilden zusammen die Gruppe der wünschenswerten Antworten auf die Frage 2a.

Insbesondere die Schüler der Vergleichsgruppe antworteten auf die Frage nach dem Begriff Geschwindigkeit mit der offenbar auswendig gelernten Definition der konstanten Geschwindigkeit. In der Vergleichsgruppe sind es immerhin 42% der Mädchen, allerdings nur 18% der Jungen. Dies könnte auf eine Taktik der Mädchen im konventionellen Unterricht Hinweisen, sich durch das Auswendiglernen von Begriffen durch den Unterricht und über die Klausur zu retten. Bei den Teilnehmern des Unterrichtsversuchs trat dieses Verhalten kaum auf; bei den vorgekommenen Antworten dieser Art (6% in der Laborgruppe, 11% im Feldversuch) ist keine nennenswerte Asymmetrie zwischen Jungen und Mädchen erkennbar. Möglicherweise bietet die Struktur der Unterrichtsreihe, die stärker auf die Ausprägung von Vorstellungsmodellen als auf das Bilden von Begriffen orientiert ist, auch weniger Ansatzpunkte für diese Taktik.

Bei allen Gruppen ungefähr gleich häufig kam die Nennung von Einheiten der Geschwindigkeit (km/h bzw. m/s) vor. Im Feldversuch wurde hier kein geschlechtsspezifischer Unterschied deutlich, wobei Labor- und Vergleichsgruppen noch deutlich Asymmetrie - mit unterschiedlichem Vorzeichen - zeigten.

Die übrigen Klassen von möglichen Antworten sind marginal besetzt. Die Angaben von Beispielrechnungen, die im Rahmen des Laborversuches noch als erfreuliche Ergebnisse notiert werden konnten, haben sich im Feldversuch leider nicht wiederholt. Zum Glück auch nicht wiederholt hat sich die Antwort einer Schülerin der Vergleichsgruppe, die einen „Mengenbegriff“ zur Geschwindigkeit äußerte: „Es gibt eine Menge davon auf der Autobahn“.

Im direkten Vergleich wird eine unterschiedliche Ausprägung zwischen Laborgruppe und Vergleichsgruppe deutlich. Besonders markant – und erfreulich – ist, dass insgesamt 31% der Schüler der Laborgruppe zur Beantwortung der Frage „was verbindest Du mit ‚Geschwindigkeit'" den formelmäßigen Zusammenhang nennt. Dieses Verhalten ist bei den Jungen der Laborgruppe besonders deutlich ausgeprägt (50%), bei den Mädchen sind es lediglich 20%. Im Vergleich dazu hat kein einziges Mitglied der beiden Vergleichskurse einen Versuch unternommen, den Begriff „Geschwindigkeit" mit Hilfe einer Formel zu erläutern. Der Feldversuch mit 149 Beteiligten bestätigt die Beobachtung in der Laborgruppe; hier enthalten 38% der Antworten aller Schüler die Formel. Die Asymmetrie zwischen den Geschlechtern wird im Feldversuch nicht bestätigt.

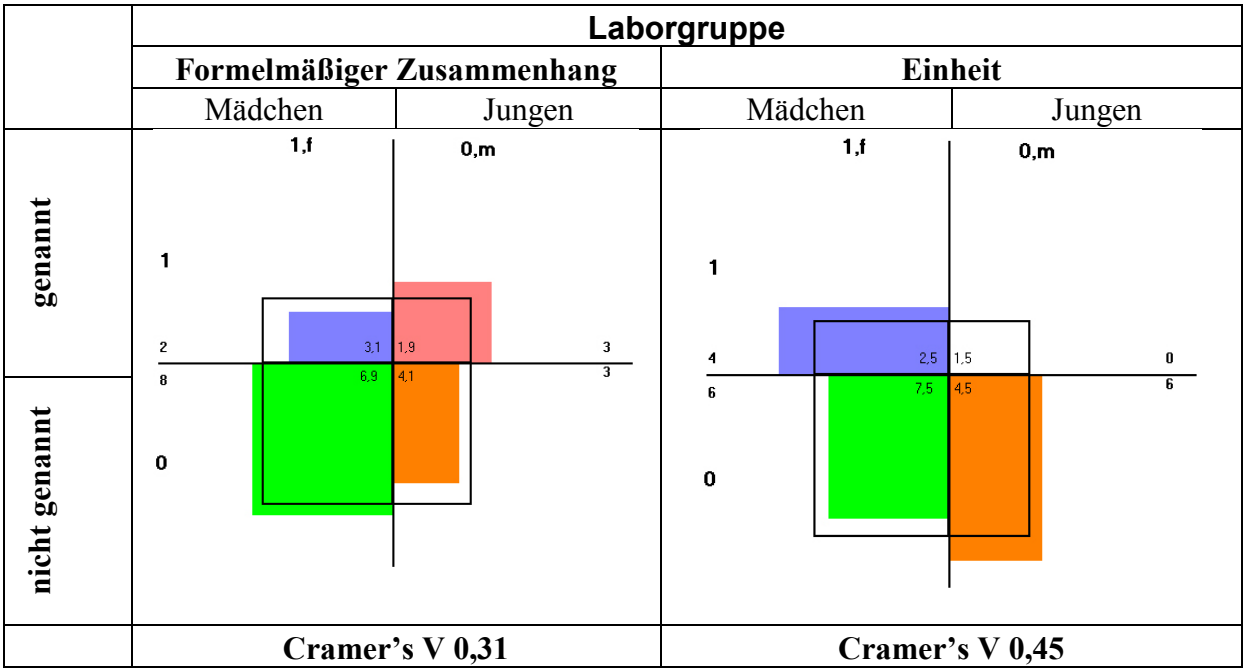
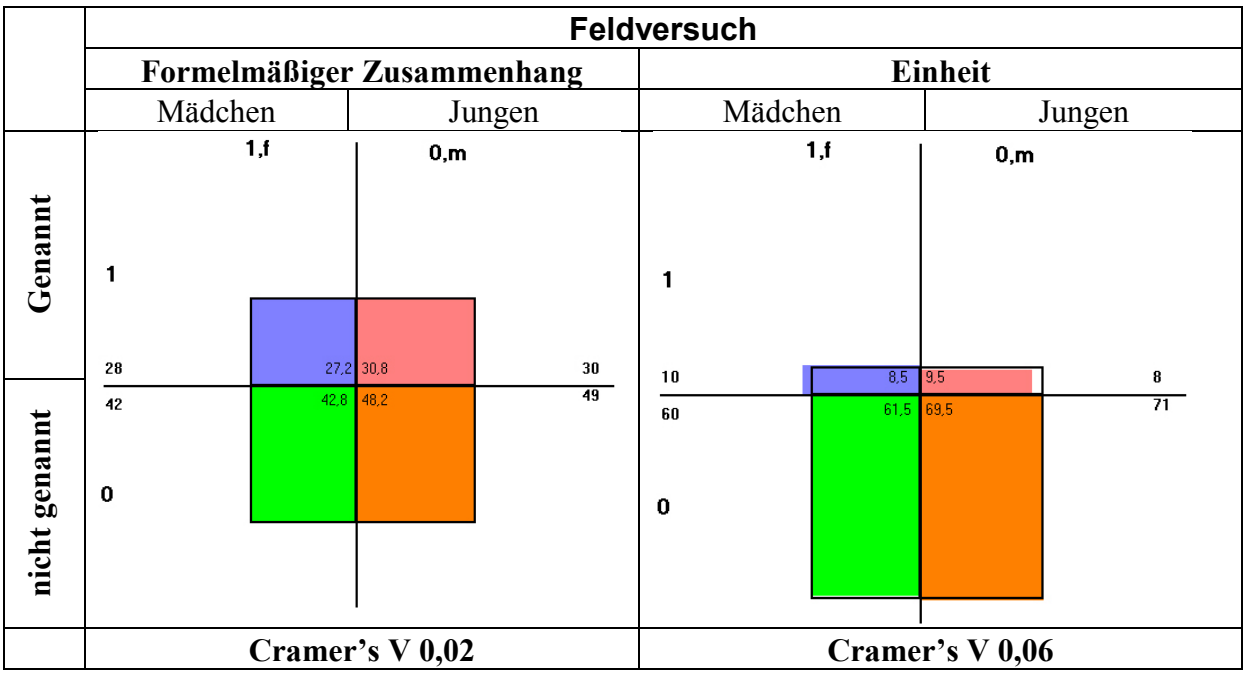


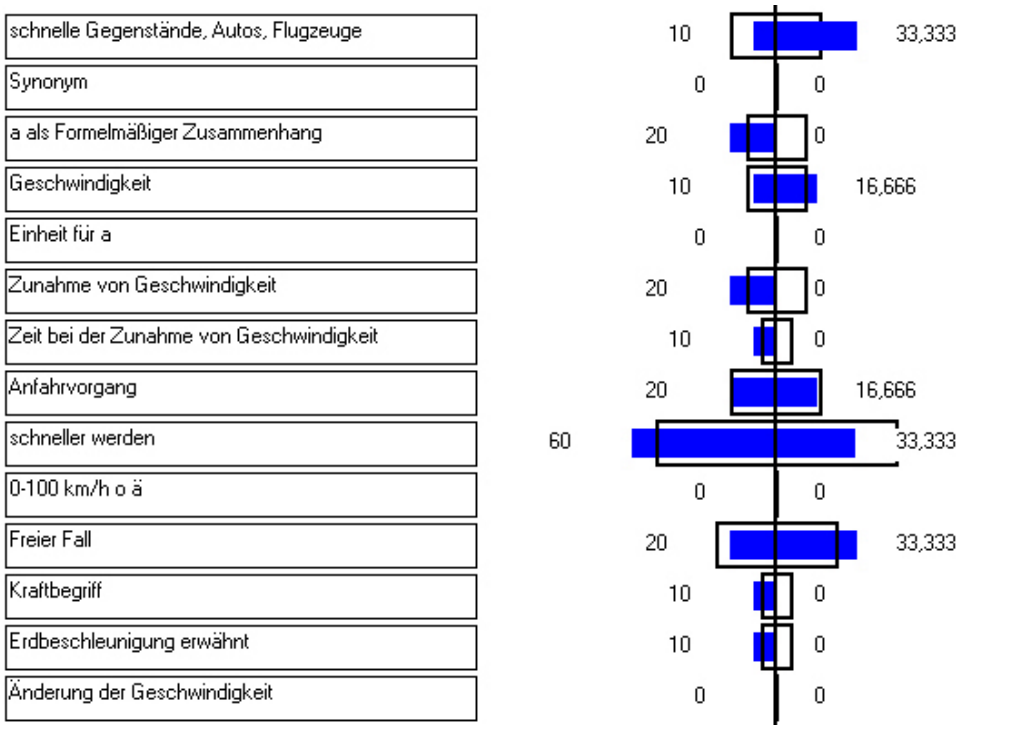
Abbildung 72: Vergleich der Bevorzugten Assoziationen in der Laborgruppe und im Feldversuch



5.3.4.3.2 Auswertung Frage 2b: Assoziation mit dem Begriff „Beschleunigung“

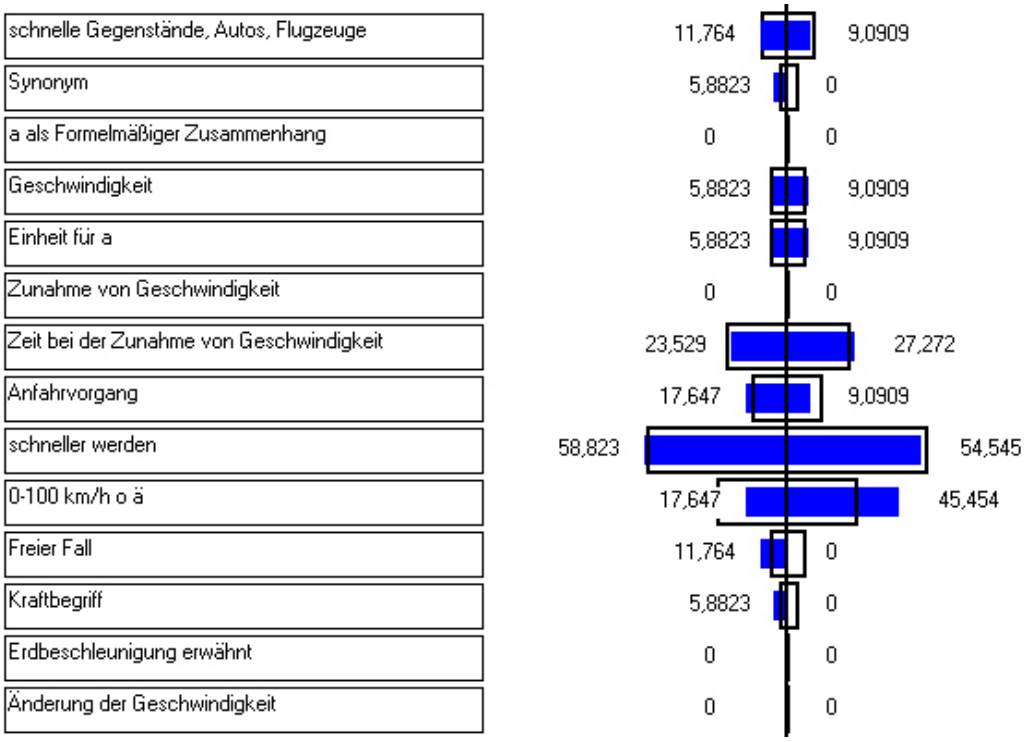
Häufung Laborgruppe auf 100 normiert

Mädchen **Jungen**

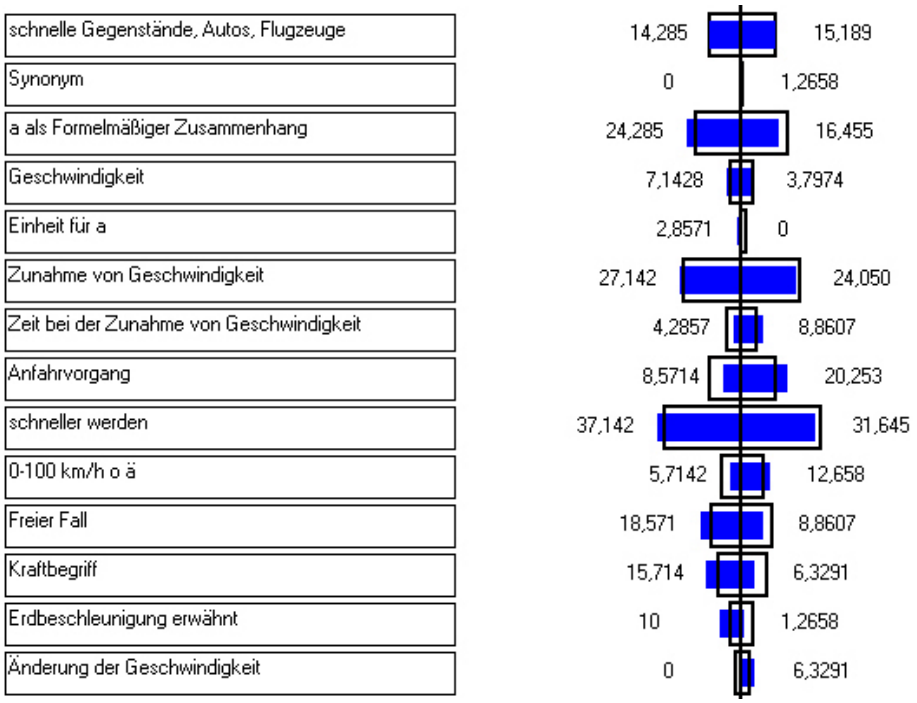


Häufung Vergleichsgruppe auf 100 normiert

Mädchen **Jungen**



Häufung Feldversuch auf 100 normiert **Mädchen** **Jungen**



Das Spektrum der Antworten auf die Frage 2b: „Was verbindest Du mit dem Begriff ‚Beschleunigung'?" sind wenig signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen erkennbar. Dass innerhalb der Laborgruppe, vor allem durch 33 % der Jungen, eine naiv-lebensweltliche Verbindung mit schnellen Fahrzeugen gezogen wurde enttäuschte zunächst. Im Feldversuch trat diese Antwort allerdings nicht häufiger auf als in der Vergleichsgruppe.

Bei allen 3 Gruppen war die Beschreibung „Beschleunigung ist wenn ein Gegenstand schneller wird" in irgendeiner Form dominierend (jeweils über die Hälfte der Beteiligten antworteten auf diese Weise). Ebenfalls bei allen Gruppen von 20-25 % der Schüler genannt wurde die Beschreibung, dass Beschleunigung die Zunahme von Geschwindigkeit sei. In der Vergleichsgruppe gaben 25 % dieser Schüler eine Antwort, die auf das Vorhandensein einer quantitativen Vorstellung der Art „Beschleunigung = Geschwindigkeitsänderung pro Zeit" schließen lassen; explizit in Form einer Formel beschrieben hat dies jedoch kein einziges Mitglied der Vergleichsgruppe. Dies geschah aber signifikant häufiger durch die Schülerinnen der Laborgruppe (20 % der Schülerinnen) und durch 20 % der Schülerinnen und Schüler des Feldversuches. Hier sind es vor allem die Mädchen (24 %), die sich durch Angabe des formelmäßigen Zusammenhanges vor den Jungen (16 %) hervortun.

Es ist auch hier nicht zu erkennen, dass die Mädchen durch die stark am Computer ausgerichtete Struktur der Unterrichtsreihe eine Benachteiligung erfahren haben.

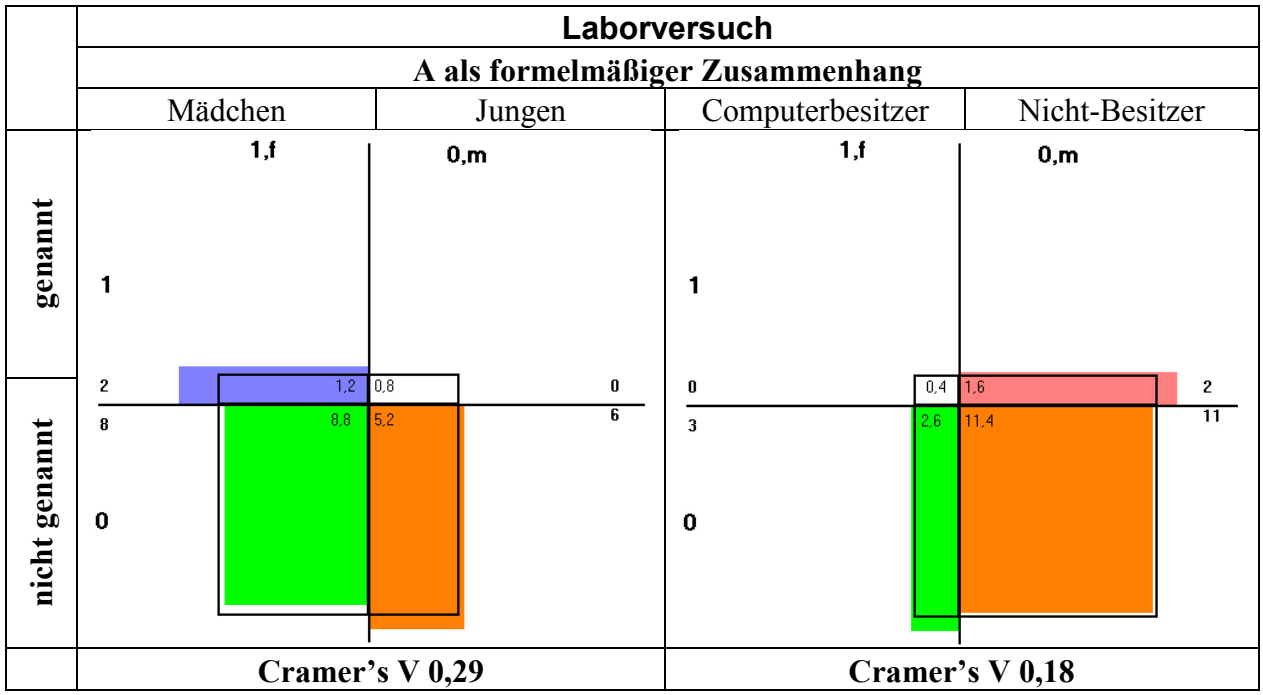


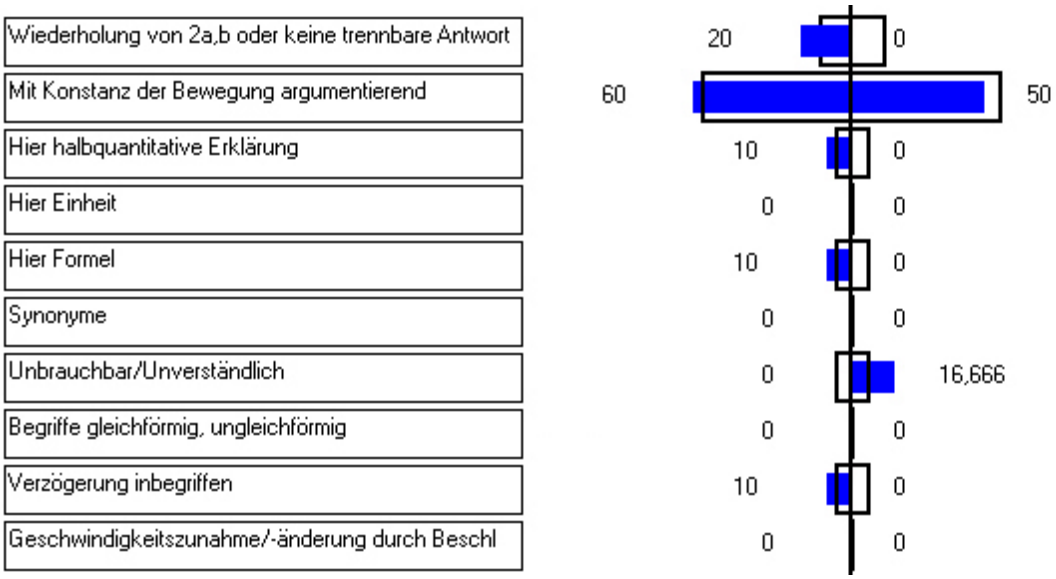
Abbildung 73: Im Laborversuch waren es vor allem die Mädchen, die durch Angabe formelmäßiger Zusammenhänge positiv auffielen (linkes Diagramm). Computerbesitzer waren hier nicht im Vorteil (rechtes Diagramm).

Mit einem Cramer's V Test wurde untersucht, ob sich die Gruppe der Computerbesitzer durch eine erhöhte Häufigkeit der Nennung des formelmäßigen Zusammenhangs ausweist – oder mit anderen Worten, ob das Fehlen der Zugriffsmöglichkeit auf einen eigenen PC sich an dieser Stelle als nachteilig erweist. Dies bestätigte sich nicht; während in der Feldversuchsgruppe der Zusammenhang mit Cramer's V = 0,1 völlig marginal ausgeprägt war, weist der Zusammenhang in der Laborgruppe sogar in die entgegengesetzte Richtung. Allerdings macht ein Blick in die Grafik die Korrelation von Cramer's V = 0,18 sofort als „Rundungsgewinn" deutlich: aus den Randverteilungen errechnet sich eine erwartete Häufung von 0,4 Computerbesitzern, die einen Formelzusammenhang für a nennen sollten. Dies ist natürlich nicht möglich, da die Häufung nur reale Werte annehmen kann.

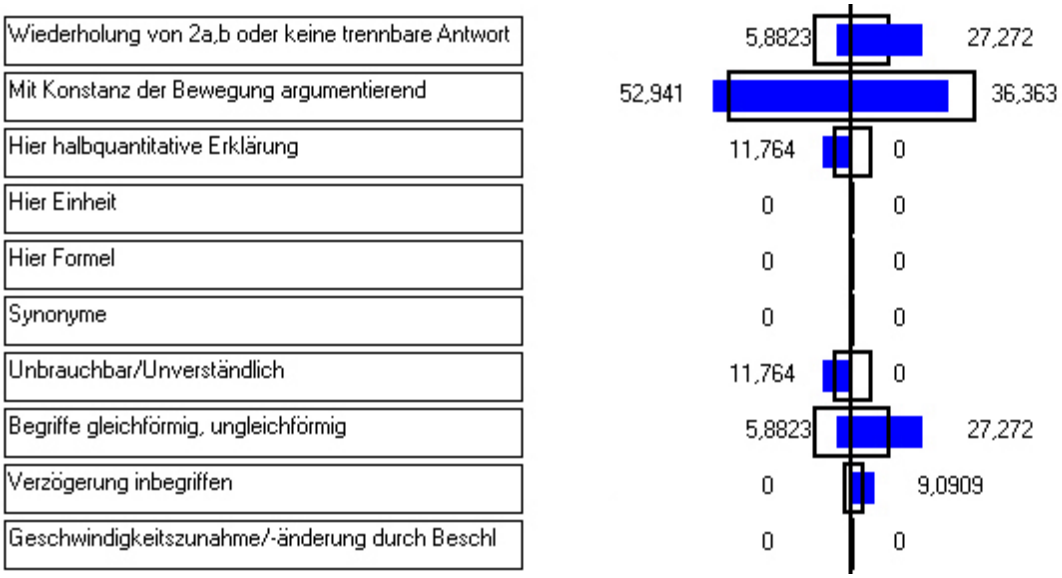
Bedingt durch den Fallversuch aus dem Gebäudefenster als zentrale Methode zur Untersuchung der beschleunigten Bewegung assoziieren 25 % der Laborgruppe und noch 14% der Feldversuchsgruppe Beschleunigung mit dem „freien Fall". Dies trat bei der Vergleichsgruppe nur marginal auf. Statt dessen antworteten 45 % der Jungen und noch 18 % der Mädchen in der Vergleichsgruppe in der Form „Beschleunigung ist 0 auf 100 in X Sekunden". Die Wahl der Einheiten deutet darauf hin, dass dies eine lebensweltliche Assoziation ist, die schon vor dem Physikunterricht manifestiert war.

5.3.4.3.3 Auswertung Frage 2c: Vergleich der Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung

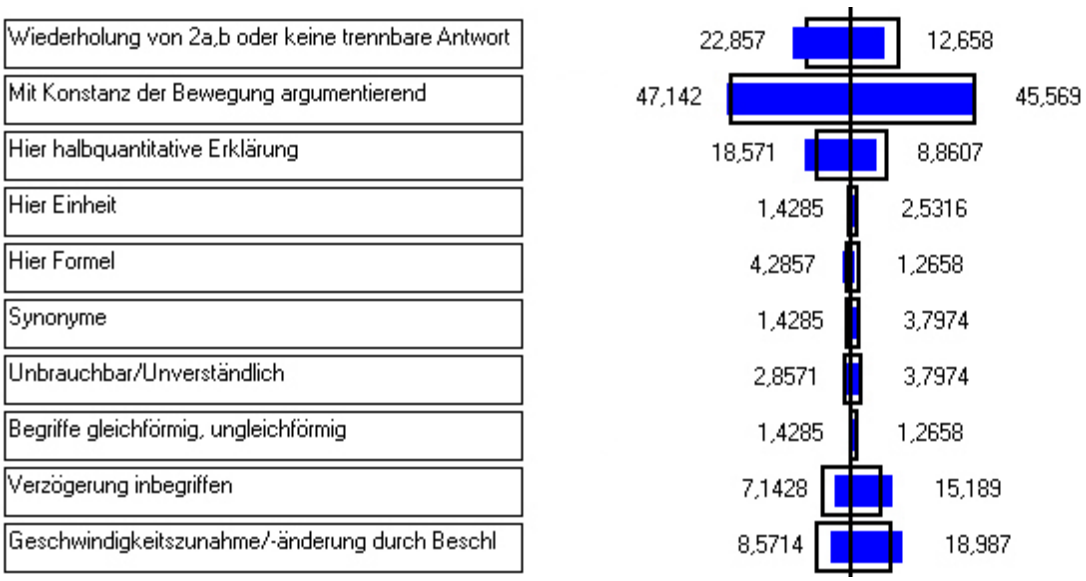
Häufung Laborgruppe auf 100 normiert



Häufung Vergleichsgruppe auf 100 normiert



Die Bitte 2c: „Beschreibe den Unterschied zwischen Geschwindigkeit und Beschleunigung“ ist eigentlich als eine Antwortalternative zu den vorhergehenden Fragen 2a und 2b zu verstehen. Sie soll denjenigen Schülerinnen und Schülern, die mit den offenen Assoziationsfragen zur Geschwindigkeit und Beschleunigung nichts anfangen konnten, die Möglichkeit geben, durch den Vergleich der beiden Begriffe eine präzisierte Antwort zu geben.



Die präzisere Fragestellung bringt ein verringertes Spektrum möglicher Antworten mit sich. Die Diagramme der verschiedenen Gruppen sehen sich entsprechend ähnlich. Das ist zunächst ein Argument dafür, freie Assoziationsfragen mit offenen Fragestellungen wie in den Fragen 2a und 2b zu verwenden, wenn man nach Indizien für die Modelle sucht, die von den Schülern nach Abschluss der Unterrichtsreihe intern verwendet und präferiert werden. Stellt man präzisere Fragen mit quantitativem Hintergrund, fokussiert man damit die Antworten der Schüler stärker auf den Kontext des Physikunterrichtes, da dort (und für viele Schüler nur dort) eine qualitative und quantitative Diskussion der Begriffe stattfindet. Sinn einer Wirksamkeitsstudie im Bereich allgemeinbildender Schulen kann es aber nicht allein sein, eine auf den Kontext des Physikunterrichtes beschränkte Wirkung des Unterrichtes zu erheben[151]; es muss hinterfragt werden, in welcher Weise sich die alltäglichen physikalischen Modellvorstellungen und ihre Anwendungen im Alltag nach einer Unterrichtsreihe im Physikunterricht geändert haben.

Die soeben skizzierten Theorie der Kontextänderung durch Fragestellung erklärt, warum nun in allen Gruppen der überwältigende Teil der Antworten sich auf eine verbale physikalische Definition stützt, nämlich der Definition der konstanten Bewegung. 56 % der Antworten aus der Laborgruppe, 46% der Antworten aus der Vergleichsgruppe und ebenfalls 46 % der Antworten aus den Klassen des Feldversuches stützten sich in irgendeiner Form auf diese Definition und argumentierten, dass bei Geschwindigkeit diese Definition

- erfüllt ist,
- prinzipiell erfüllt sein könnte oder
- zur korrekten Messung erfüllt sein müsste,

[151] Non vita sed scholae discimus. Seneca: Epistula morales 106,12. Rom, ca. 65 n. Chr.

während die Definition auf eine beschleunigte Bewegung auf gar keinen Fall zutreffen könnte. Da Geschwindigkeit aber eine Messgröße ist, die auch auf eine beschleunigte Bewegung festgestellt werden kann, führt die Trennung der Begriffe mit Hilfe der Definition der konstanten Bewegung von vorne herein in eine geistige Sackgasse! Diese Antwort ist auf keinen Fall befriedigend und deutet eher darauf hin, dass hier Begriffe und Definitionen nicht sinnvoll genutzt werden, sondern von den Schülern je nach dem Kontext aufgerufen werden, innerhalb dessen sie ursprünglich vermittelt wurden. Diese Reaktion ist nicht spezifisch für eine Gruppe wie der Vergleich zwischen den Ergebnisse des Feldversuches und der Vergleichsgruppe zeigt.

Die übrigen und eher wünschenswerten Antworten sind im wesentlichen Verlagerungen der Antworten, die für die Fragen 2a und 2b erwartet wurden. 10 %-11 % der Schülerinnen der Laborgruppe und der Vergleichsgruppe versuchten spätestens an dieser Stelle eine halbquantitative Beschreibung der Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung; im Feldversuch waren es sogar 18 %. Ebenfalls 10 % der Schülerinnen der Laborgruppe nannten erst an dieser Stelle die Formeln, die Geschwindigkeit und Beschleunigung eines Objektes beschreiben, und verglichen diese[152]. Immerhin 15 % der Antworten im Feldversuch erklärten richtig, dass sich durch die Beschleunigung die Geschwindigkeit eines Objektes ändern würde.

5.3.4.3.4 Zusammenfassung des Fragenteils 2

Zusammenfassend wird auch bei dieser Fragestellung nicht deutlich, dass die Schüler, die an der Unterrichtsreihe zur Objektorientierten Modellbildung teilgenommen haben, durch den erhöhten Anteil von Arbeit am Computer ein Defizit im physikalischen Verständnis davon getragen hätten. Statt dessen sind die Antworten der Mädchen hier sogar tendenziell von höherer Qualität - betrachtet man z. B. den höheren Anteil an quantitativen Formulierungen als Antwort auf Frage 2b und die Nennung der Einheiten für v in Frage 2a.

Viele Schüler haben die Möglichkeit genutzt, den Begriff zunächst naiv - umgangssprachlich zu beschreiben, und dann mit den im Physikunterricht gelernten Begriffen näher auszuführen - insgesamt ein lobenswertes Vorgehen. Ein rein naives Beschreiben wäre ein Zeichen dafür, dass die Schüler auch nach Ablauf des Kurses zur Mechanik nicht gewillt oder in der Lage sind, den Begriff „Geschwindigkeit“ mit physikalischem Fachwissen zu verbinden.

Auf der anderen Seite ist auch eine rein fachsprachliche Besetzung des Begriffes bei den Schülern nicht problemfrei. „Der Physikunterricht in der Sekundarstufe I vermittelt wichtige grundlegende Kenntnisse und Qualifikationen, indem er Einsichten in Naturvorgänge eröffnet und für ein besseres Verständnis unserer natürlichen und technischen Umwelt sorgt.“[153], so fassen die Richtlinien für das Fach Physik in der gymnasialen Oberstufe die Aufgabe des Physikunterrichtes in der Sekundarstufe I kompakt zusammen. Das heißt, im Physikunterricht

---

[152] Nur die Schüler die erstmals bei 2c quantitative oder halbquantitative Antworten gaben. Die Wiederholung von bereits zu 2a oder 2b gelieferten Formeln führte zu einem Eintrag bei „Wiederholung gegebener Antworten“

[153] Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Fach Physik. Frechen: Ritterbach Verlag, 1999.

der Sekundarstufe I erworbene Kenntnisse dürfen nicht unverbunden im Kopf des Schülers verankert sein - der Schüler soll auch den Zusammenhang mit lebensweltlicher Wahrnehmung verstanden haben und wiedergeben können.

Wie differenziert sich die Versuchsgruppe nun vor dem Hintergrund der Vergleichsgruppen aus? Besonders positiv fällt auf, dass lediglich aus dieser Gruppe Schüler direkt quantitative Zusammenhänge, Formeln, korrekt mit dem Begriff der Geschwindigkeit verbunden haben. Dies erstaunt um so mehr, als das dass (Auswendig)lernen von Formeln beileibe nicht Gegenstand der Unterrichtsreihe gewesen ist.

5.3.4.3.5 Gruppengespräch

Im Gruppengespräch mit den Schülern der Laborgruppe sollten Ursachen für das beobachtete Antwortverhalten der Schüler gesucht werden. Im Zusammenhang mit Fragenteil 2 interessierte vor allem, warum so viele Schüler die Angabe des quantitativen Zusammenhangs s=vt als Assoziation mit dem Begriff der Geschwindigkeit verbunden haben, obwohl der Umgang mit dieser Formel nicht durch das in anderen Unterrichtsreihen übliche Fachrechnen geübt worden ist.

Die Schüler antworteten, die Formel sei ja „ganz am Anfang“ der Unterrichtsreihe benutzt worden. Auf die Entgegnung des Gesprächsleiters, bei anderen Kursen sei die Formel durchgängig benutzt worden, aber es hätte trotzdem nicht ein einziger Schüler der anderen Gruppen die Formel als Antwort auf Frage 2a genannt, konnten die Schüler lediglich ihre Verwunderung darüber zum Ausdruck bringen.

5.3.4.3.6 Interpretation

Die Schüler der Versuchsgruppe verbinden den Begriff der Geschwindigkeit in zufriedenstellendem Masse mit elaboriertem Wissen aus der Unterrichtsreihe. Sie haben den Begriff der Geschwindigkeit in ausreichendem Maße in Zusammenhang mit quantitativen und zielorientierten Problemstellungen kennen gelernt, und können auch noch gute Bezüge zur Lebenswelt darstellen (vgl. die geringe Anzahl an rein fachlich und nicht lebensweltlich orientierten Assoziationen).

Auf der anderen Seite ist in der Unterrichtsreihe weniger Wert auf fachsprachlich formulierte Merksätze gelegt worden, die den Schülern anderer Unterrichtsreihe eine wesentliche Hilfe zum Memorieren grundlegender Sachverhalte sind. Dies könnte in Zukunft sicherlich noch verstärkter erfolgen.

5.3.4.4 Frage 3: Problemlösungsdenken in Zusammenhang mit dem Geschwindigkeitsbegriff

Im Frageteil 3 wurde den Schülern zur Aufgabe gestellt, ihre Vorgehensweise bei der Lösung eines mit der bisherigen Unterrichtsreihe verbundenen Problems - dem Aufnehmen und Verarbeiten von Geschwindigkeitswerten eines Fahrradfahrers - zu beschreiben. Die Schüler wurden dazu geführt, in einem dreistufigen Verfahren vorzugehen:

1. Brainstorming: Vorschläge zur Messung der Geschwindigkeit sammeln
2. Lösungsentwicklung: aus den genannten Vorschlägen einen geeigneten Auswählen und das genaue Vorgehen zur Geschwindigkeitsmessung entwickeln und beschreiben,
3. Einen quantitativen Ansatz zur Vorausberechnung der gefahrenen Strecke schildern.

Frage 3:

3a. Ein Fahrradfahrer fährt über den Schulhof. Nenne alle Methoden, die Dir einfallen, seine Geschwindigkeit zu bestimmen:

1. _____ 2. _____

3. _____ 4. _____

5. _____ 6. _____

7. _____ 8. _____

3b. Greife Dir Deine Lieblings-Methode von den oben genannten heraus, und beschreibe sie näher.

3c. Nachdem Du die Geschwindigkeit des Radfahrers bestimmt hast, könntest Du vorhersagen, wo der Radfahrer nach einer bestimmten Zeit angekommen ist. Wie würdest Du das machen?

5.3.4.4.1 Ergebnisse

Bei der Auswertung der Ergebnisse zur Frage 3a wurde die absolute Anzahl der gemachten Vorschläge ebenso ermittelt wie die Anzahl der Vorschläge pro Kopf. Diese wurden nach Geschlechtern getrennt erfasst, um hier geschlechtsspezifischen Unterschieden auf die Spur zu kommen.

Weiterhin war vom Interesse, wie viele voneinander unabhängige Vorschläge gemacht wurden. In manchen Fällen versuchten Schüler, den gleichen Messvorgang in verschiedenen Abwandlungen zu beschreiben. Das könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Schüler sich selbst mangelnder Ideen bewusst sind und dies vertuschen wollen.

5.3.4.4.2 Auswertung Frage 3a: Bestimmung der Geschwindigkeit eines Radfahrers (Lösungsansätze)

Frage 3a: **Sammeln von Vorschlägen**	**Gesamt**	**Nur Mädchen**			**Nur Jungen**		
	Anzahl Vorschl.	Pro Kopf	Davon qualifiziert	Davon unabhängige	Pro Kopf	Davon qualifiziert	Davon Eigenständige
Laborgruppe 16 Befragte	**60**	**3,7**	67%	96%	**3,83**	91%	86%
Feldversuch 149 Befragte	**498**	**3,54**	82%	99%	**3,16**	86%	96%
Vergleichsgruppe 28 Befragte	**49**	**1,47**	92%	78%	**2,18**	96%	96%

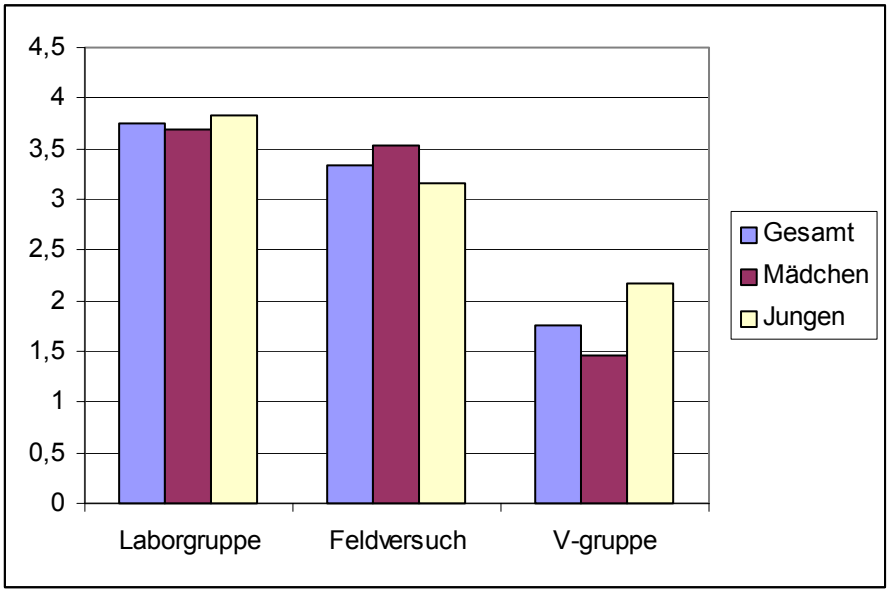
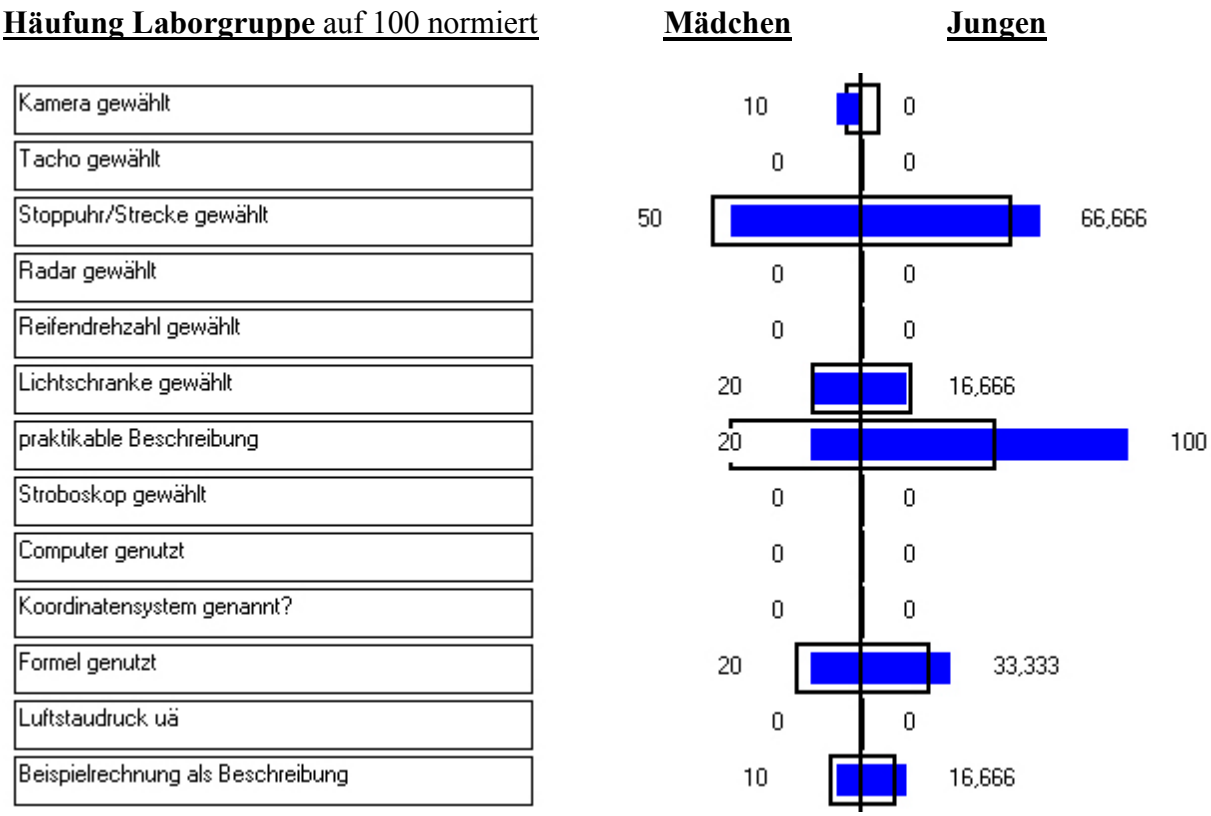


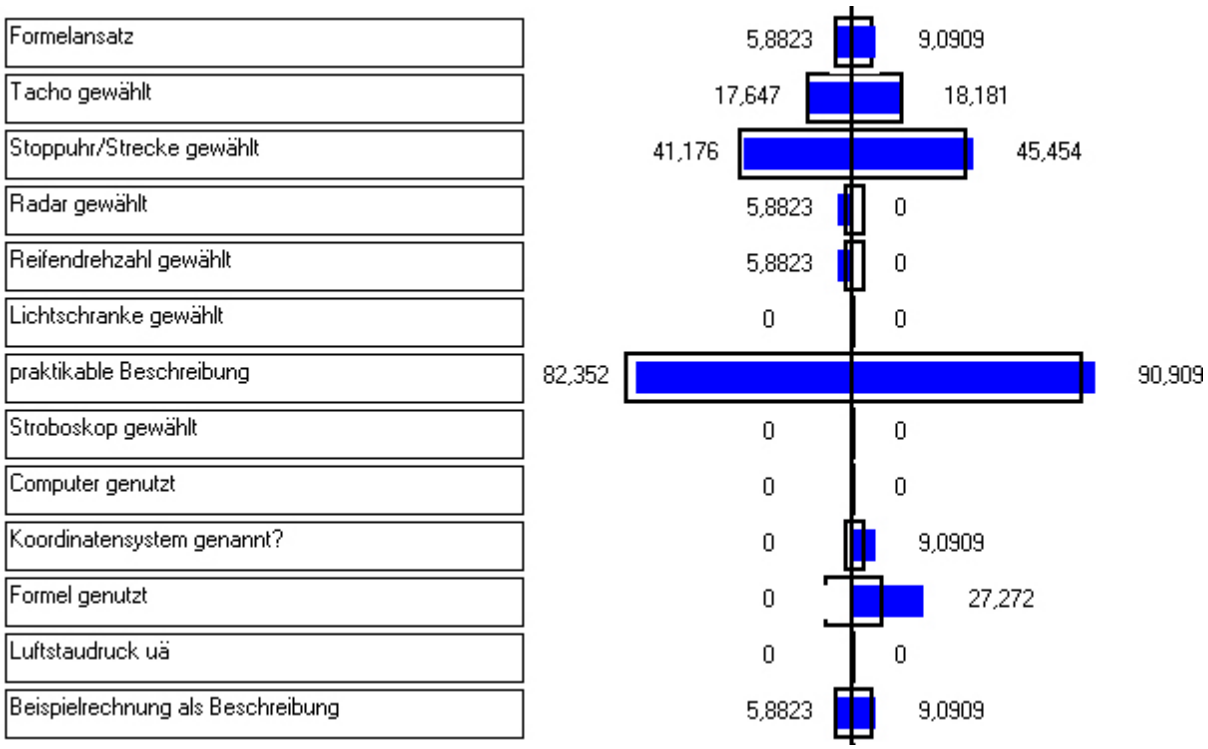
Abbildung 74: Anzahl genannter Lösungen zum Messen von Geschwindigkeit

Das hervorragende Verhalten beim Lösen des gestellten Problems ist die hervorstechendste Eigenschaft der Versuchsgruppen, sowohl im Laborversuch als auch unter den 149 Schülern des Feldversuches. Jeder der Schülerinnen und Schüler konnte 3-4 verschiedene praktikable Vorschläge einbringen. Befriedigend ist auch, dass der Anteil der qualifizierten Vorschläge sehr hoch ist - das heißt, es wurden kaum unpraktikable Vorschläge gemacht. Auch der Anteil der unabhängigen Vorschläge ist hoch: es wurden also nicht mehrere äquivalente Varianten eines Messverfahrens genannt, um die Anzahl der Einträge in die Vorschlagsliste künstlich zu erhöhen.

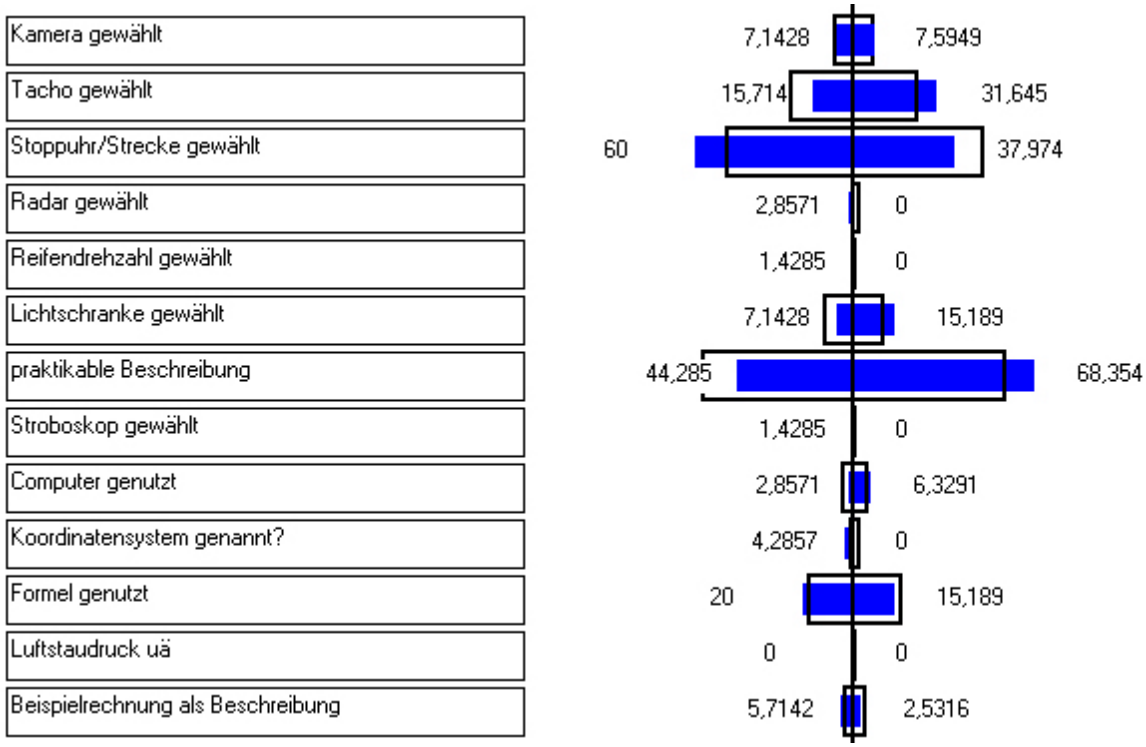
5.3.4.4.3 Auswertung Frage 3b: Tatsächlich gewählte Lösung zur Messung einer Geschwindigkeit



Häufung Vergleichsgruppe auf 100 normiert



Häufung Feldversuch auf 100 normiert



Bei der Auswahl und Beschreibung eines geeigneten Vorschlages wurde im Rahmen der Auswertung vor allem darauf geachtet, welcher Vorschlag tatsächlich näher ausgearbeitet und beschrieben wurde. Zahlreiche Vorschläge betreffen den Einsatz komplexer technischer Systeme, deren exakte Funktionsweise nicht annähernd zum Gegenstand des Physikunterrichts gemacht werden konnte - beispielsweise die Radarfalle der Polizei, aber auch das Tachometer des Autos. Diese Geräte haben zwar eine große Bedeutung in der Lebenswelt der Schüler, der Messvorgang erschließt sich den Schülern aber beim derzeitige Stand des Wissens nicht. Da die Aufgabenstellung aber nach der Durchführung des Messvorganges fragt, ist es ein Malus, wenn der Schüler z.B. mit „ich würde ein Radargerät nehmen“ antwortet. Da der Schüler keine Informationen über den Ablauf des Messvorganges bei diesem Gerät besitzt, muss seine Beschreibung naturgemäß sehr lapidar aussehen. Wir gehen davon aus, dass Schüler mit einem durch den Physikunterricht vertieften Verständnis dazu neigen den Messvorgang zu beschreiben, den sie am besten verstanden haben - im positive Fall sind das die eingehend besprochen Messungen mit abgemessenen Versuchsstrecken und Zeitmessung der Zwischenzeiten, oder Versuche mit Nutzung der Videokamera.

Wie man hier sieht, beschreiben die Schüler der Versuchsgruppe schwerpunktmäßig die Messvorgänge, die sie verstehen und beschreiben können. 25 % der Schüler der Versuchsgruppe entscheiden sich dafür, die Messung mit der Kamera zu beschreiben - eine gute Möglichkeit, die den Schülern der Vergleichsgruppen natürlich nicht offen steht. Die mit Abstand häufigste Wahl ist bei allen Gruppen das Messen mit der Stoppuhr entlang einer abgemessenen Versuchsstrecke. Die Häufigkeit dieser Antwort ist bei Schülerinnen und Schülern, die am Unterrichtsversuch in der Laborgruppe oder im Feldversuch teilgenommen haben, etwas höher als in der Vergleichsgruppe. In der Vergleichsgruppe lassen viele Schüler es mit dem einfachen Vorschlag bewenden, auf den Tacho zu sehen (18 % der Nennungen).

Der Anteil der Schülerinnen und Schüler, die diesen Vorschlag machen, im Feldversuch zwar auch bei etwa 15 % (bei den Jungen alleine mit 32 % noch deutlich häufiger), aber bei der Auswertung der Fragebögen wurde deutlich, dass dieser Vorschlag in der Regel noch durch einen anderen ergänzt wurde. Kein Schüler der Laborgruppe äußerte den Vorschlag, den Tacho zu benutzen.

Die Antworten wurden bei der Auswertung auch danach bewertet, ob sie praktikabel waren oder nicht. Natürlich muss der Vorschlag, einen Tacho zu benutzen, als praktikabel gesehen werden - auch wenn er vielleicht nicht die Intention des Lehrers trifft. Das erklärt teilweise, warum 85 % der Vorschläge der Vergleichsgruppe als praktikabel gewertet werden müssen. Wie aus dem Diagramm ersichtlich, neigten die Jungen in allen Gruppen eher dazu, den einfachen Weg zu gehen und auf den „Tacho zu schauen“ Aber auch die Schülerinnen und Schüler, die einen Vorschlag zur Nutzung einer Kamera oder des Stoppuhr/Messband Verfahrens machten, konnten in allen Gruppen in der Regel eine praktikable Beschreibung vorweisen.

Der Cramer’s V Test zeigt, das der Rückgriff auf den trivialen Weg „ich würde einfach den Tacho ablesen“ leider vor allem Männersache ist (linkes Diagramm). Die Mädchen, die an der Unterrichtsreihe teilgenommen haben, sind statt dessen signifikant häufiger dabei, die anspruchsvollere Variante der Messung mit Stoppuhr und Maßband zu beschreiben (rechtes Diagramm). Die Vermutung liegt nahe, dass die Mädchen intuitiv erfassen, dass die triviale Lösung nicht das ist, was im Rahmen des Fragebogens von ihnen erwartet wurde.

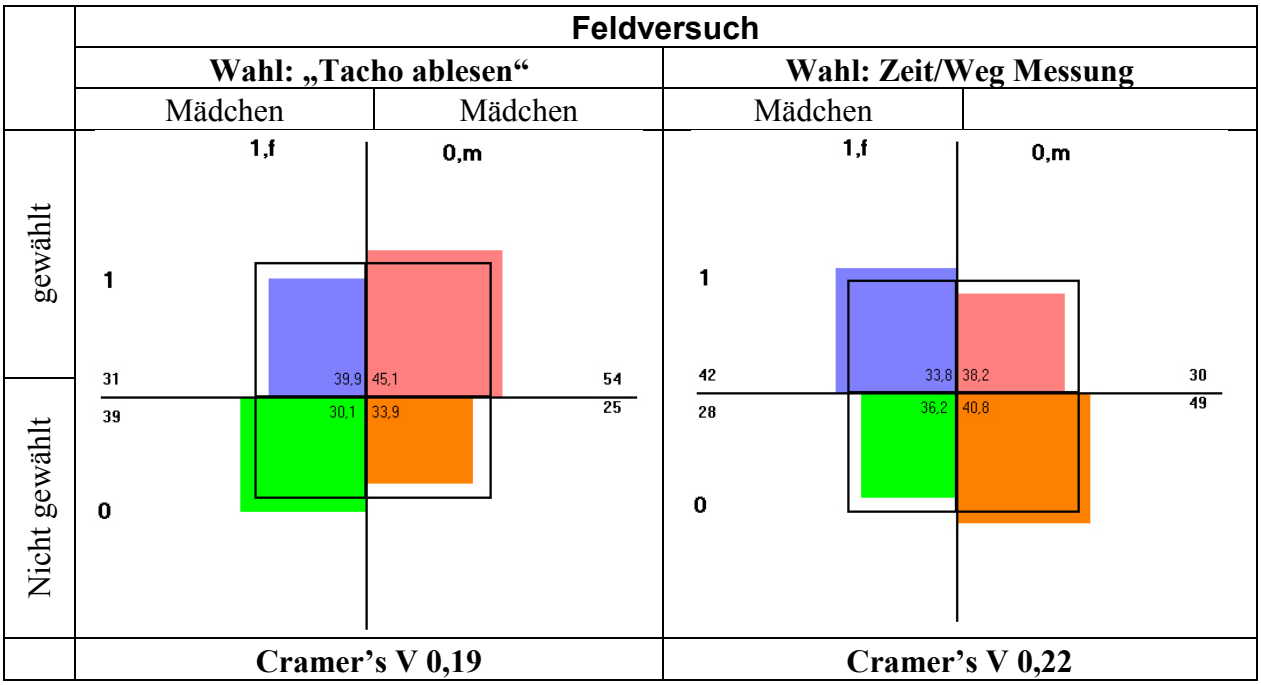
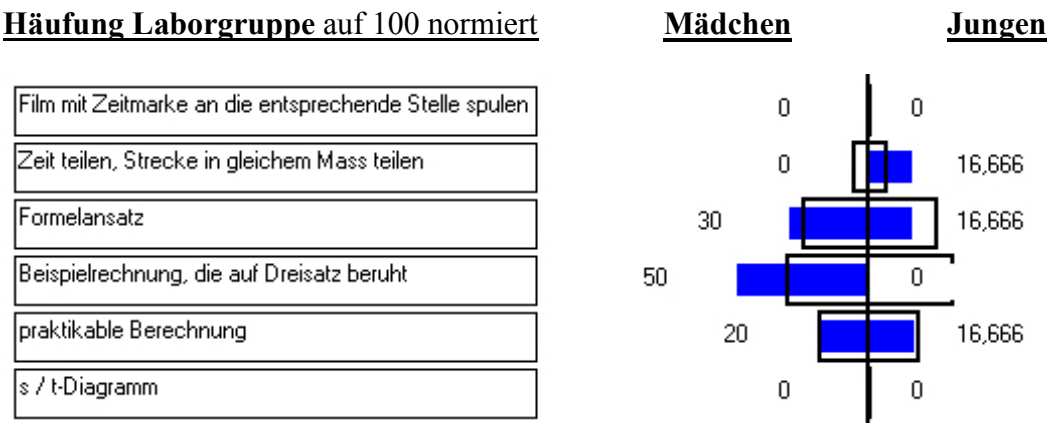


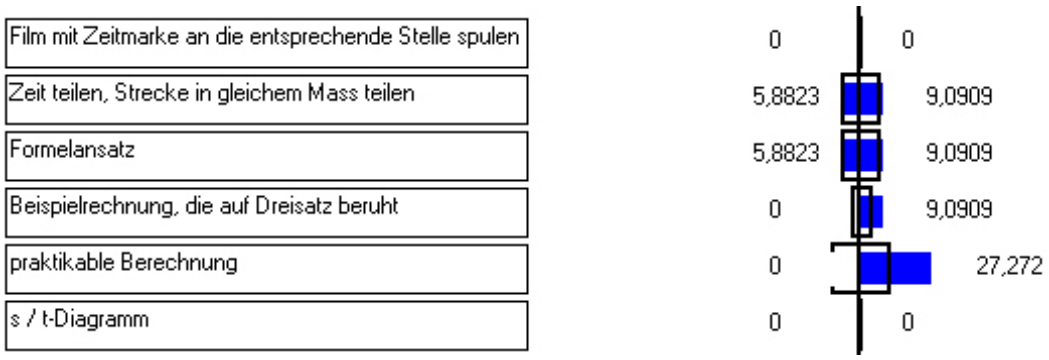
Abbildung 75: Jungen tendieren stärker zur einfachen Antwort „ich würde den Tacho ablesen“ (linkes Diagramm), Mädchen neigen zur anspruchsvolleren Darstellung einer Methode die die Messung von Zeit und Weg beinhaltet.

Positiv wirkt bei den Versuchsgruppen, dass etwa 20 % der Schülerinnen und Schüler ihren Vorschlag zur Geschwindigkeitsmessung durch Angabe der entsprechenden Formel präzisierten. Dies wurde bei den Versuchsgruppen von Jungen und Mädchen etwa gleich häufig vorgenommen, während es in der Vergleichsgruppe von den Mädchen völlig vermieden wurde. Einige wenige Schülerinnen und Schüler aller Gruppen gaben eine Beispielrechnung an.

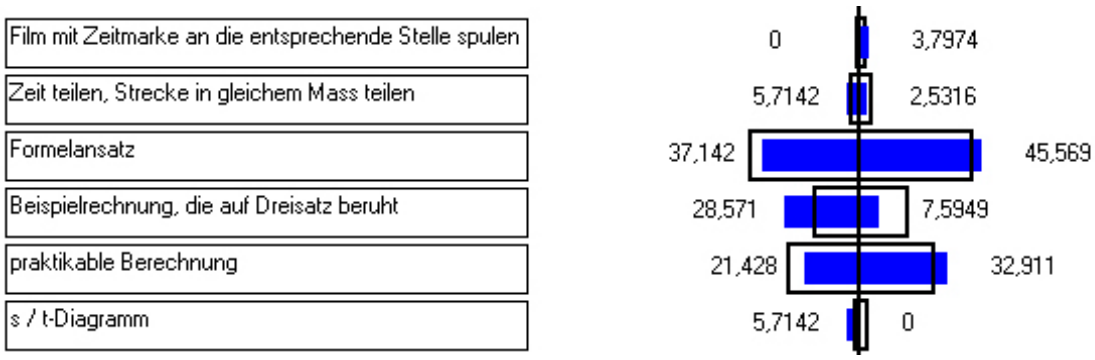
5.3.4.4.4 Auswertung Frage 3c: Vorhersage der gefahrenen Strecke (Lösungsansätze)



Häufung Vergleichsgruppe auf 100 normiert



Häufung Feldversuch auf 100 normiert



In Frage 3c wurden die Schüler gefragt, auf welche Weise sie mit Hilfe der in Frage 3b bestimmten Geschwindigkeit bei gegebener Zeit die gefahrene Strecke des Radfahrers bestimmen würden. Dabei stießen insbesondere die Schülerinnen der Vergleichsgruppe auf Schwierigkeiten. Wie sich im Diagramm ablesen lässt, hat keine einzige Schülerin der Vergleichsgruppe eine praktikable Berechnung aufgestellt. Bei den Versuchsgruppen nannten immerhin 27,5 % aller Teilnehmer[154] eine praktikable Berechnung, wobei, positiverweise, keine Unterschiede bei getrennter Betrachtung der Geschlechter deutlich werden.

Auch wenn nur die Ansätze betrachtet werden ist der Unterschied zwischen der Vergleichsgruppe und den Versuchsgruppen deutlich; das Engagement bei dieser Aufgabe ist bei den Versuchsgruppen insgesamt deutlich höher, die Verteilung insbesondere im Feldversuch symmetrischer. Im Mittel wählten nur 7 % der Mitglieder der Vergleichsgruppe einen Formelansatz zur Problemlösung; im Feldversuch waren es im Mittel 41 %. Bei den Mädchen wurde in Laborgruppe und Feldversuch eine Präferenz deutlich, den Weg der Messung mit Hilfe einer Beispielrechnung darzustellen (linkes Diagramm). Die analytische Beschreibung unter Zuhilfenahme von Formel geschah bei beiden Geschlechtern gleich häufig (rechtes Diagramm)

[154] Damit ist allerdings nicht gesagt, dass bei einer konkreten Aufgabenstellung nicht wesentlich mehr Mitglieder von Versuchsgruppe und Vergleichsgruppen eine entsprechende Aufgabe korrekt lösen würden.

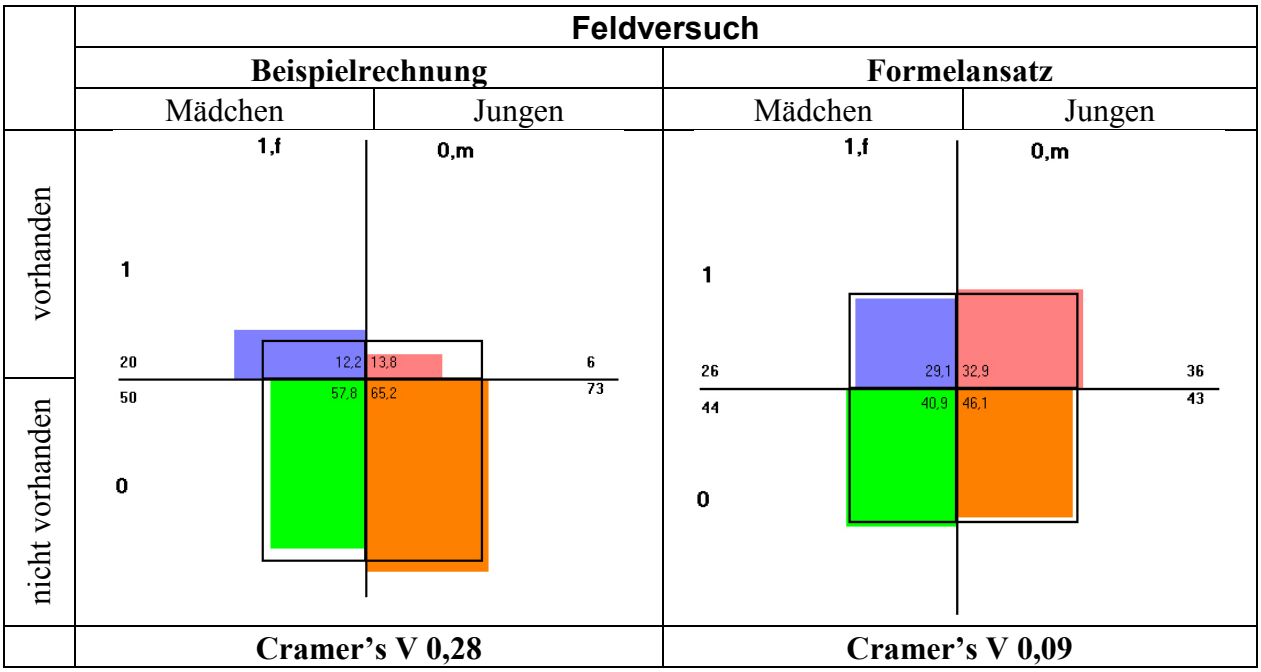


Abbildung 76: Das linke Diagramm zeigt die Neigung der Mädchen, die Bestimmung der gefahrenen Strecke anhand einer Beispielrechnung zu erklären. Formelansätze finden sich dagegen bei beiden Geschlechtern gleichermaßen (rechts).

5.3.4.5 Frage 4: Bisher stattgefundene Übertragungen des Unterrichtswissens in die Lebenswelt

Frageteil 4 sollte prüfen, ob die Inhalte des Physikkurses bereits zu einer veränderten Wahrnehmung der Schüler in ihrer gegenwärtigen Lebenswelt geführt hat. Von einer offenen Fragestellung angeregt, sollten die Schüler darüber nachdenken, wann sie das letzte Mal dem Kursthema „Geschwindigkeit" im Alltag begegnet sind.

Frage 4:

4. Wann hast Du das letzte mal etwas mit dem Problem der Geschwindigkeit zu tun gehabt? Hast Du Dich dabei an die Inhalte des Physikkurses erinnert? Was hast Du dabei gedacht?

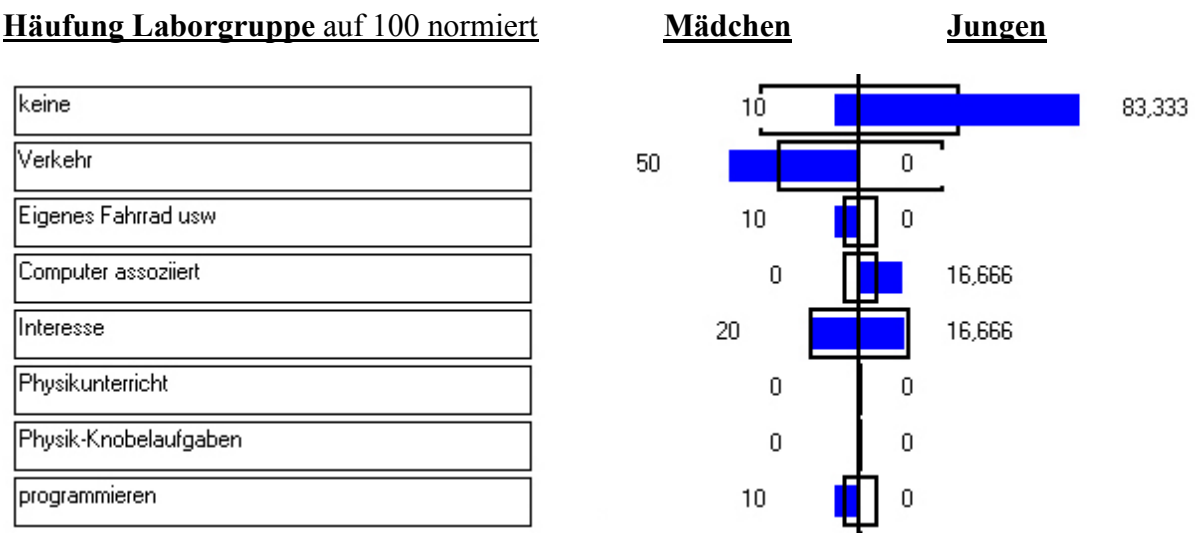
5.3.4.5.1 Ergebnisse

Frage 4: **stattgefundene Übertragungen des Unterrichtswissens in die Lebenswelt (Anteil der Schüler mit der betreffenden Nennung / Mehrfachnennung möglich / Prozentsummen können über 100% sein)**	**Labor-gruppe**	**Feld-versuch**	**Vergleichs-gruppen**
Keine Erinnerung / Keine Angabe	37%	29%	50%
Erinnerung im Zusammenhang mit Straßenverkehr	32%	29%	36%
Assoziation mit dem eigenen Verkehrsmittel (Fahrrad, Mofa usw.)	6%	28%	0%
Assoziation mit Computer	6%	3%	0%
Allgemeine Bekundung von Interesse	19%	8%	14%

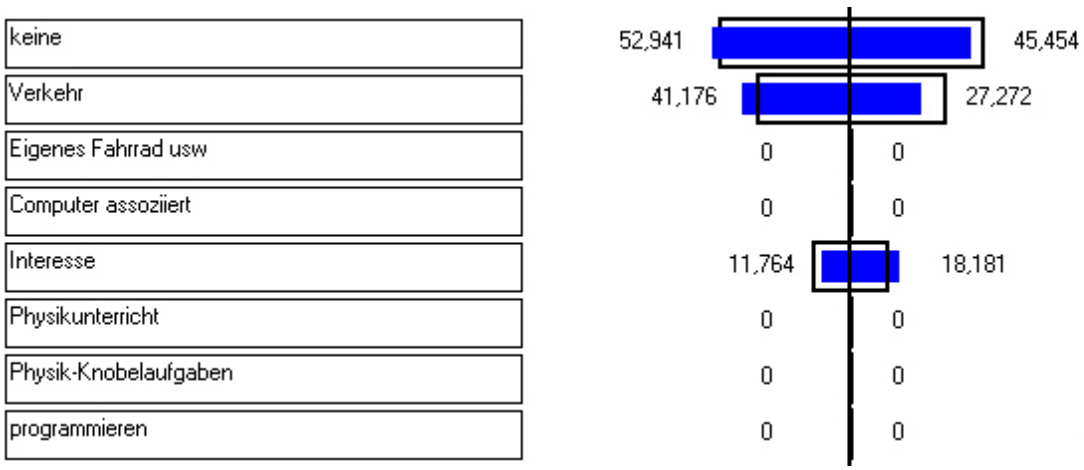
Wenig zufriedenstellend ist, dass 37 % der Schüler der Laborgruppe und immer noch 29 % der Vergleichsgruppe angeben, sich im Alltag bis jetzt nicht an Inhalte des Physikkurses erinnert worden zu sein[155]. Fast alle genannten Assoziationen im Alltag bezogen sich auf das Thema Straßenverkehr, oder standen im Zusammenhang mit Fahrzeugen der Schüler (Fahrräder, Mofa, Fahrschulauto). Dies unterstützt massiv solche Ansätze der Fachdidaktik, die den Straßenverkehr als besonders geeigneten lebensweltlichen Zugang zur Mechanik auffassen. Generell scheint es nach den vorliegenden Erkenntnissen ratsam, zukünftige Unterrichtsreihen zur Mechanik und die Problemstellungen der enthaltenen Experimente noch eher als bisher schon am lebensweltlichen Gegenstand des Straßenverkehrs und seiner Verkehrsmittel auszurichten. Dies ist jedoch kein Wiederspruch gegen das Konzept der Objektorientierten Modellierung im Physikunterricht; es führt aber zu deutlichen Konsequenzen hinsichtlich der Auswahl der zur Validierung der Simulation auszuwählenden Experimente.

[155] Die grafische Darstellung täuscht einen wesentlich höheren mittleren Anteil in der Laborgruppe vor, weil die Jungen sich zwar sehr stark in diese Richtung äußern, aber weniger zahlreich sind als die Mädchen.

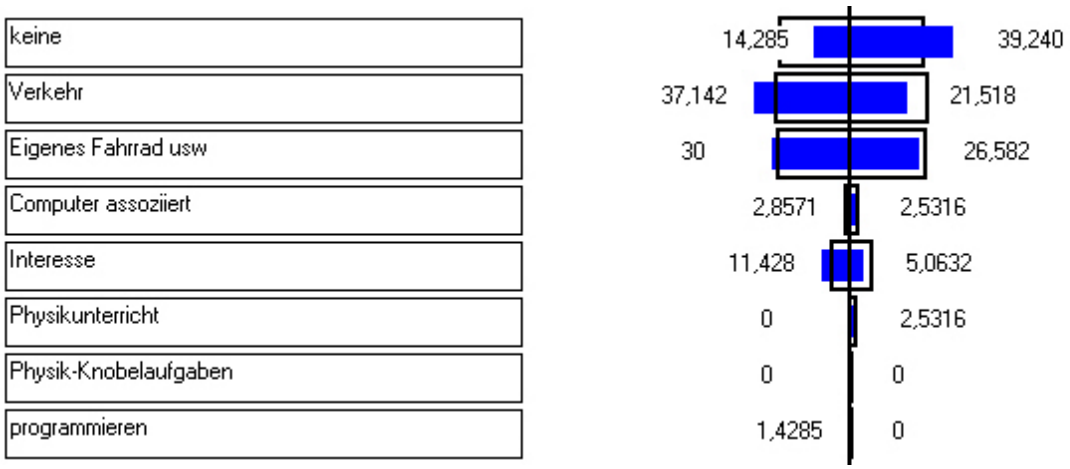
Häufung Laborgruppe auf 100 normiert



Häufung Vergleichsgruppe auf 100 normiert



Häufung Feldversuch auf 100 normiert



Im übrigen unterscheiden sich die Gruppen in der Beantwortung der Frage 4 nicht wesentlich. Die Unterscheidung, ob die Schüler ein Verkehrsmittel oder den Straßenverkehr an sich mit dem Thema in Verbindung bringen, ist nur schwach aussagekräftig. Eine Assoziation mit dem Computer, z.B. im Zusammenhang mit Computerspielen, wurde kaum genannt. Das beruhigt

insofern, als dass die Übertragung des Software-Modells von Geschwindigkeit und Beschleunigung aus dem Computer in die Realwelt von den Schülern offenbar vorgenommen wird. Auf der anderen Seite lässt sich so natürlich kein verstärktes Interesse an der Programmierung mechanischer Modelle nachweisen. Der Anteil der mit „keine Assoziation“ antwortenden Schüler ist bei allen Gruppen unangenehm hoch, wenn auch in den Versuchsgruppen noch geringer als in den Vergleichsgruppen. Eine stichprobenhafte Durchsicht der entsprechenden Bögen fördert an dieser Stelle vielfach trotzige Antworten zu Tage. In andere Bögen, im Feldversuch vor allem denen der Mädchen, findet sich an dieser Stelle direkt im Anschluss an das „keine Erinnerung“ häufig (20 % Laborgruppe, 11 % Feldversuch) die nett gemeinte Aussage, es sei trotzdem „sehr interessant“ gewesen.

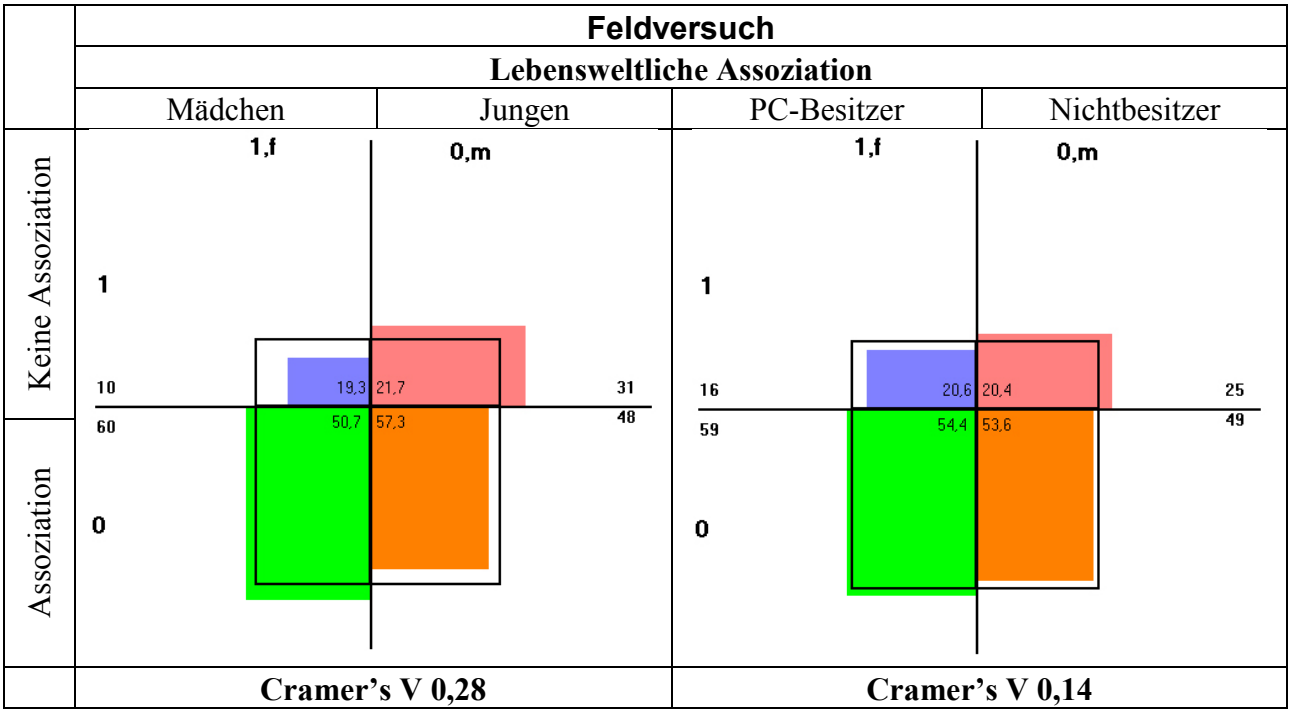


Abbildung 77:Die Antwort „habe mich privat nicht an den Physikunterricht erinnert“ wird vor allem von Jungen geliefert. Der private Besitz eines eigenen Computers spielt keine Rolle.

Der Cramer’s V Test zeigt, dass die Häufigkeit einer fehlenden Antwort oder der Antwort „habe mich nicht an Physik erinnert“ deutlich mit dem Geschlecht korreliert (Cramer’s V = 0,28 bei der großen Stichprobe der Vergleichsgruppe). Es sind vor allem die Jungen, die keine lebensweltliche Anbindung der im Physikunterricht vermittelten Inhalte zu nennen wussten (linkes Diagramm). Mit einem weiteren Korrelationstest sollte geprüft werden, ob vielleicht nur diejenigen eine Assoziation zu nennen wussten, die zu Hause Zugriff auf einen eigenen PC haben und damit die Computersimulationen zu Hause eher nachvollziehen konnten. Diese Korrelation ergibt sich allerdings nicht; mit Cramer’s V = 0,14 zeigt die Korrelation schwach in die entgegengesetzte Richtung (rechtes Diagramm).

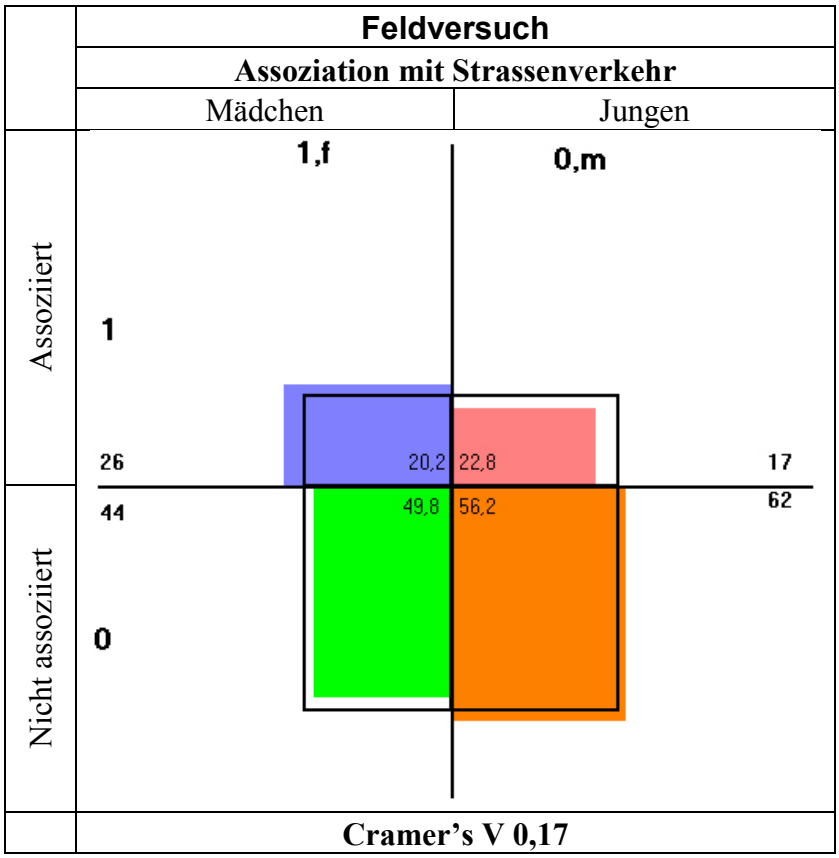


Abbildung 78:Vor allem Mädchen fallen als Assoziationen am ehesten Ereignisse des Straßenverkehrs ein.

Interessant ist eine besondere Korrelation zwischen dem Geschlecht und der Tendenz, bei der Frage nach Erlebnissen im Kontext mit „Geschwindigkeiten" Erlebnisse aus dem Straßenverkehr zu benennen. Dies geschieht über Erwartung häufig durch Mädchen (Cramer's V 0,17). In den Fragebögen wird „Geschwindigkeit" dazu vielfach als etwas bezeichnet, von dem für die Mädchen eine Bedrohung für Leib und Leben ausgeht.

In Verbindung mit den generell guten Bewertungen in den Akzeptanzfragen 1 und 6 kann das Ergebnis der Frage 4 für jeden dritten Schüler so zusammengefasst werden: es war ganz nett und interessant, aber eine Hilfe für mein tägliches Leben finde ich darin nicht.

5.3.4.6 Frage 5: Analyse eines Bewegungsprofils

Der Frageteil 5 stellte den Schülern zur Aufgabe, anhand der gezeichneten Flugbahn zweier Körper zu entscheiden, welcher Körper sich mit der höheren Beschleunigung bewegt. Die gezeichnete Bewegung entspricht der Seitenansicht des waagerechten Wurfes eines Körpers. Der untere der gezeichneten Körper hat jedoch eine höhere gedachte Fallbeschleunigung als der obere, und deshalb eine weniger stark geöffnete Flugparabel. Vor dem Beginn des Parabelfluges ist eine Strecke gezeichnet, die beide Köper im parallel und mit der gleichen Geschwindigkeit zurücklegen. Dies wird im beschreibenden Text auch so erklärt. Damit lässt sich hinreichend erkennen und begründen, dass die beiden Körper sich mit der gleichen Geschwindigkeit in x-Richtung bewegen, das also der Öffnungswinkel der Parabel nur mit der Beschleunigung in y-Richtung zusammen hängen kann.

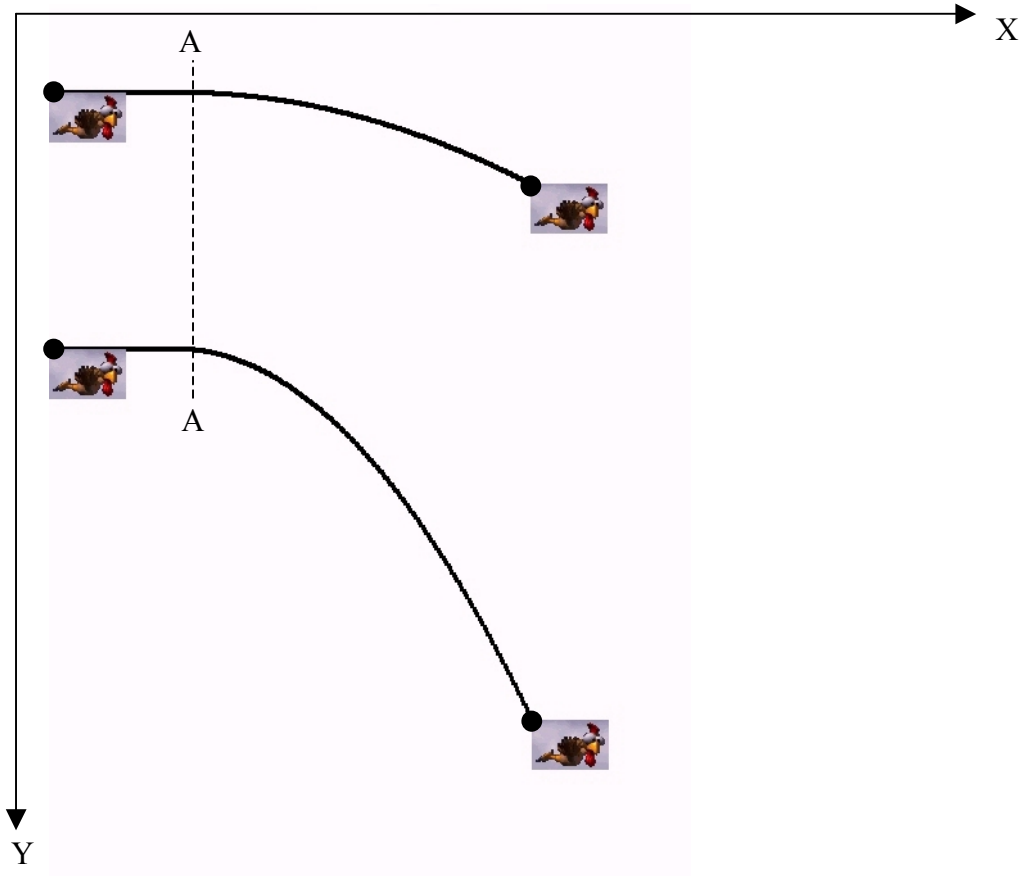
Die Schüler hatten die Möglichkeit, das eingezeichnete Koordinatensystem zu nutzen, um ihre Aussage zeichnerisch zu begründen. Die Aufpunkte der Grafiken, die die fallenden Körper repräsentierten, wurden der Eindeutigkeit wegen hervorgehoben.

Bei den dargestellten Körpern handelte es sich wieder um die bekannten Moorhühner. Die Entscheidung für diese Darstellung fiel nach einigem Abwägen. Entscheidend war letztendlich, das die Moorhühner, aufgrund der hohen Popularität des originalen Spieles „Moorhuhnjagd“ der Phenomedia AG, sowohl bei den Schülern der Versuchsgruppe als auch bei den Schülern der Vergleichsgruppen gleich bekannt ist.

Von der Versuchsgruppe wird allerdings nach Absolvieren des Kurses eine andere Betrachtung der auf dem Bildschirm dargestellten Bewegung erwartet, als von den Vergleichsgruppen. Diese andersartige Betrachtung dieser und ähnlicher Bewegungen zu erfassen und zu bewerten ist letztlich Ziel der Erhebung.

Frage 5:

5. Zwei Moorhühner bewegen sich auf dem Bildschirm mit gleicher Geschwindigkeit nach rechts. Plötzlich - ab der Stelle A - beschleunigen beide nach unten, und folgen der gezeigten Flugbahn.



Welches Huhn beschleunigt schneller, das obere oder das untere? *Begründe!*

5.3.4.6.1 Auswertung

Frage 5 enthält eine offene Fragestellung. Bei der Auswertung wurden die Schülerantworten in Klassen von solchen Antworten geordnet, die jeweils den gleichen Lösungsansatz der Schüler vermuten lassen.

<u>Zu den gebildeten Klassen im Einzelnen</u>:

Argumentation über das Verhältnis von Zeit zur zurückgelegten Strecke

Beispielantwort: „Das untere Moorhuhn beschleunigt schneller, weil es in der selben Zeit eine längere Strecke zurücklegt“

Diese Antwort entspricht dem Ansatz $s = \frac{1}{2}at^2$ und muss daher als korrekt angesehen werden. Die Gleichung ist im Unterricht thematisiert worden, jedoch nicht sehr ausgiebig. Sehr wahrscheinlich ist jedoch, dass die Schüler die mit dem Geschwindigkeitsbegriff verbundene Beziehung „je größer die Strecke desto höher die Geschwindigkeit“ in naiver Weiser auf den Beschleunigungsbegriff übertragen.

Argumentation über den „Parameter“

Beispielantwort: „Das untere Moorhuhn beschleunigt schneller, weil der Parameter größer eingestellt ist.“

Diese Antwort erstaunt zunächst; in der Tat aber ist in der Softwaresimulation das Inkrement der Geschwindigkeit pro Zeit zunächst abstrakt als „der Parameter“ bezeichnet worden. Bei der Suche der Schüler nach dem physikalischen Analogon wurden die Schüler dann zur realweltlichen Beschleunigung geführt.

Dort, wo Schüler mit dem „Parameter“ ihre Argumentation führen, zeigen sie deutlich, dass sie sich geistig gerade in der Modellwelt der Simulation befinden und von dort aus argumentieren. Das ist an sich nicht schlecht; es muss jedoch im Nachtrag im Rahmen des Gruppengespräches geklärt werden, ob die Schüler die im Unterricht grundgelegte Verbindung zwischen der Variable in der Simulation und der realen Beschleunigung ausreichend verinnerlicht haben.

Argumentation über den Neigungswinkel der Flugbahn

Beispielantwort: „Das obere Moorhuhn beschleunigt schneller, weil es einen kleineren Neigungswinkel hat“

Auch diese Antwort wirkt zunächst erstaunlich, zumal sie zu dem Schluss führt, dass das obere Moorhuhn mit der weiter geöffneten Parabel der schneller beschleunigende Gegenstand ist.

Auf Nachfrage ergab sich, dass die betroffenen Schüler offenbar die Angabe der Wirkrichtung der Beschleunigung auf dem Arbeitsblatt nicht richtig erfasst haben. Die Schüler verbanden mit „Beschleunigung“ intuitiv ein Beschleunigen **nach vorn**,

also in x-Richtung. Übernimmt man diese Ansicht, so wäre die Parabel mit der größeren Öffnung, also die obere, tatsächlich die mit der größeren Beschleunigung.

Argumentation über die Bahnkrümmung

Beispielantworten: „Das untere Moorhuhn beschleunigt schneller, weil es eine kleinere (stärkere) Kurve macht." oder „...weil es sehr schnell die Flugbahn verändert."

Diese Antwort ist sehr nahe an der idealerweise geforderten Argumentation mit der Öffnung der Parabel. Physikalisch richtig ist auch, dass ein kleinerer Krümmungsradius einer beliebigen Kurve bei einer gegebenen Geschwindigkeit immer mit einer höheren Beschleunigung des der Kurve folgenden Körpers verbunden ist. Die Wurfparabel ist lediglich die einzige Kurve, in der diese Beschleunigung immer entlang der gleichen Achse (nach unten) weist. Wir gehen davon aus, dass bei den Antworten das richtige gemeint war, wenn auch kein Schüler die Kurve tatsächlich als Parabel erkannt hat.

Argumentation über Bogenlänge

Beispielantwort: „Das untere, weil es einen kleineren Bogen fallen muss. Das obere muss ja noch den ganzen Weg drum rum machen."

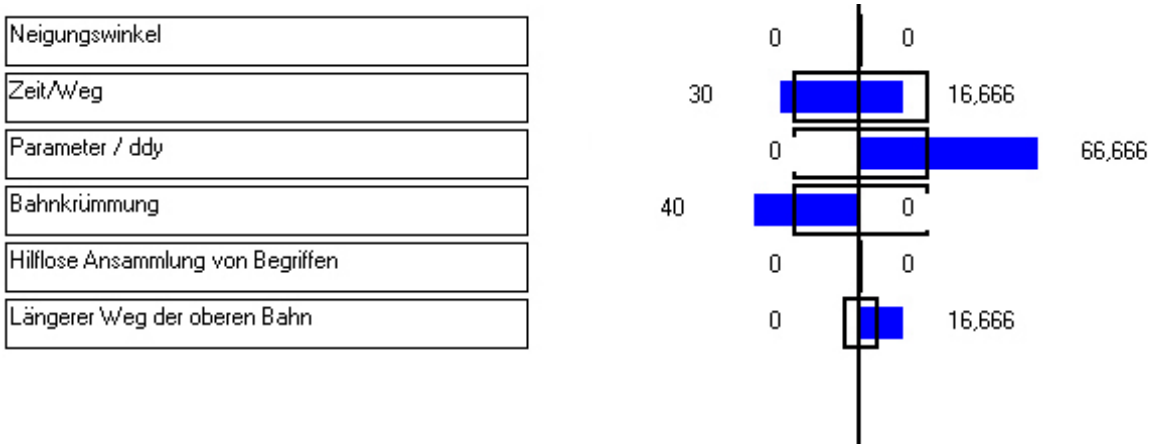
Diese Antwort zeigt ein mangelndes Verständnis der zugrundeliegenden physikalischen Abläufe.

Nach der Klassierung wurden die Häufigkeiten der Antworten in den verschiedenen Klassen gezählt, getrennt nach Kursen und Geschlechtern. Damit bildeten sich 6 Untergruppen. Nun wurde die Häufigkeit für das Auftreten einer bestimmten Antwort in der jeweiligen Untergruppe ermittelt. Die Aufteilung in 6 Untergruppen wurde hierbei nach einigen Versuchen gewählt, weil sie besonders aufschlussreiche Ergebnisse liefert - wie im Anschluss ersichtlich werden soll.

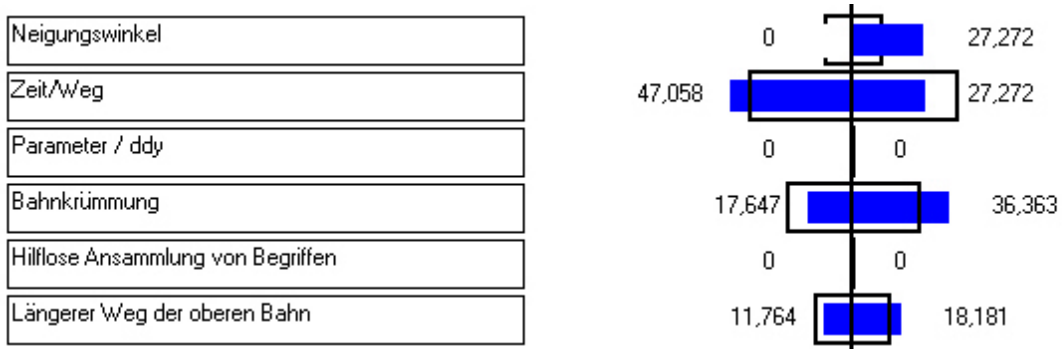
Da die Antwort einiger Schüler mehr als eine Begründung erhielt, kann die Summe der Häufigkeiten für alle Antworten in einer Gruppe deutlich über 100 % liegen. In der Versuchsgruppe begründeten z.B. alle Jungen (100 %) ihre Antwort mit dem „Parameter"; einer zusätzlich auch noch mit dem Neigungswinkel der Bahn (17 %), wodurch sich für beide Antworten zusammen eine Häufigkeit von 117 % ergibt.

Umgekehrt haben sich in vielen Gruppen auch Teilnehmer gänzlich jeder Antwort enthalten. Damit kann die Häufigkeit für alle denkbaren Antworten in einer Untergruppe insgesamt auch unter 100 % liegen.

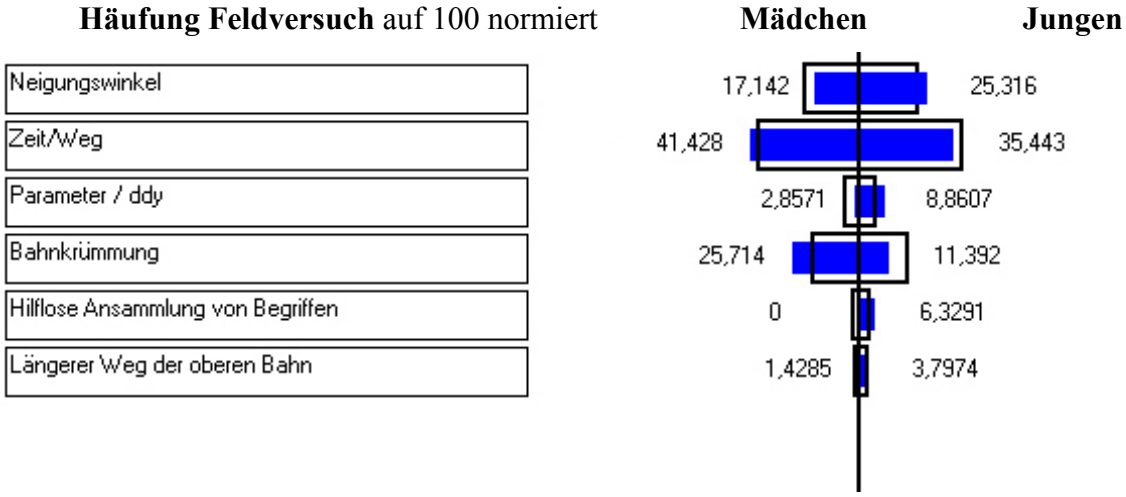
Häufung Laborgruppe auf 100 normiert



Häufung Vergleichsgruppe auf 100 normiert



Häufung Feldversuch auf 100 normiert



In der Laborgruppe stürzten sich die Jungen nahezu auf den Ansatz, die Unterschiede der in der Skizze dargestellten Bewegung mit dem „Parameter“ zu erklären, der in der Simulationswelt zur Anpassung der Simulation an die physikalisch messbare Realität diente. Dabei handelt es sich zweifellos um einen quantitativen Ansatz zu Lösung des Problems, und einige Jungen gaben auch tatsächlich Schätzungen ab, welche Zahlenwerte für den Parameter zum Verlauf der gezeigten Flugbahnen führen würde. Von den Mädchen wurde dieser Ansatz nur wenig genutzt, und in diesen Fällen auch nur ergänzend (Mehrfachantworten waren erlaubt!). Statt dessen nutzten **70 %** der Mädchen der Versuchsgruppe den quantitativen Ansatz über Zeit/Strecke - signifikant mehr als irgendeine Untergruppe der Vergleichsgruppen.

Diese geschlechtsspezifische Polarisierung durch das Kurskonzept in der Laborgruppe ist im Feldversuch nicht im gleichen Umfang bestätigt worden. Sichtbar ist im Feldversuch eine besondere Präferenz der Mädchen, aus der Form der Bahn (d.h. aus der Öffnung der Parabel) auf die Höhe der Beschleunigung zu schließen (linkes Diagramm). Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass Mädchen Diagramme und Bewegungen tendenziell eher holistisch und formwahrnehmend als detailbezogen-analytisch betrachten.

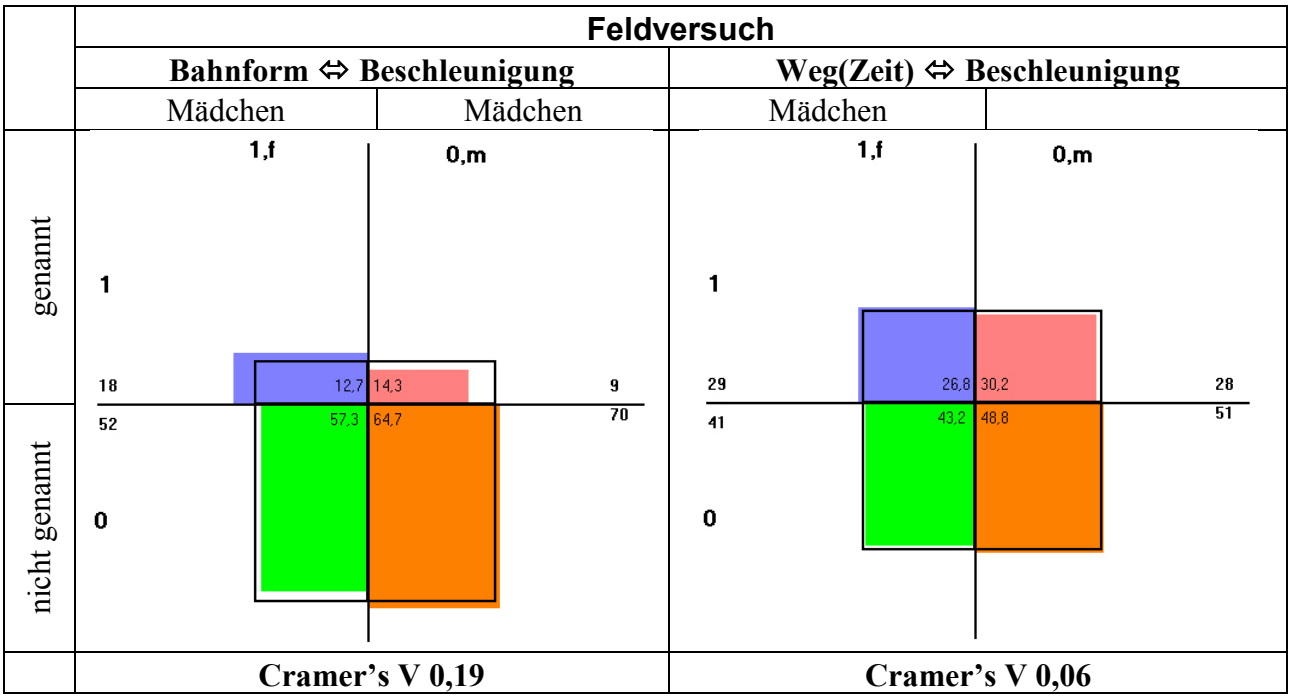


Abbildung 79: Die Mädchen zeigen eine Präferenz, aus der Form der Kurve auf die Beschleunigung zu schließen (linkes Diagramm). Der Schluss vom Weg auf die Beschleunigung ist in der Häufigkeit dagegen nicht mit einem Geschlecht korreliert.

Würde sich dies als eine generelle Tendenz erweisen, wäre der Physikunterricht gezwungen, bei der Arbeit mit Diagrammen stärker auf dieses Geschlechtsspezifikum einzugehen.

Die am häufigsten vorgefundene und stärker analytische Wahrnehmung, aus dem Diagramm den von den Hühnern zurückgelegten Weg zu ermitteln und zu vergleichen (entsprechend $s = \frac{1}{2}at^2$) wird von beiden Geschlechtern gleich häufig beschritten (rechtes Diagramm)

Insgesamt ist die Vielfalt und die absolute Anzahl physikalisch gehaltvoller Antworten, die die Versuchsgruppen geliefert haben, größer als bei den Vergleichsgruppen.

5.3.4.6.2 Hypothesenformulierung

Vor dem Gespräch mit den Schülern bleibt es eine Vermutung, ob die Schüler, die die Flugbahn des Körpers mit dem beschriebenen „Parameter" in Verbindung bringen, damit auch die Verbindung zur physikalischen Realität eingesehen haben. Wir unterstellen, dass den Schülern nach Ablauf der Unterrichtsreihe den deutlich betonten Zusammenhang zwischen der physikalisch messbaren Beschleunigung und dem zur Anpassung der Simulation verwendeten Parameter bei der Formulierung der Antwort als Selbstverständlichkeit verstanden haben und

deswegen keine weitere Erläuterung ausführten. Dies muss aber in einem protokollierten Gespräch mit den Mitgliedern der Versuchsgruppe auch so abgesichert werden.

Weiterhin ist auffällig, dass beide Geschlechter auf völlig unterschiedliche Art von der Unterrichtsreihe profitiert zu haben scheinen. Die Jungen sind durch ihre intrinsische Motivation stark auf den Einsatz des Computers fixiert. Die Frage ist: was bedeuten ihnen dabei die physikalischen Hintergründe und die durchgeführten Experimente?

Auf der anderen Seite haben den Ergebnissen der Befragung zu Folge auch die Mädchen stark von der in der vorliegenden Form durchgeführten Unterrichtsreihe profitiert. Sie haben deutlich mehr physikalisch sinnvolle Antworten liefern können als die Mädchen der Vergleichsgruppen. Die Antworten auf die offenen Fragestellung sind aber fast ausnahmslos auf die real beobachtbare Physik bezogen, und kaum auf die Computersimulation. Dennoch haben die Mädchen in ihren Antworten auf die Frage 6a sehr wohl den Wunsch geäußert, Computer weiterhin im Unterricht einzusetzen. Hier ist die Frage: was bedeutet den Mädchen die Arbeit mit dem Computer? Wie haben die Mädchen von dessen Einsatz profitiert?

5.3.4.6.3 Gruppengespräch

Das Gruppengespräch befragte zunächst gezielt die Untergruppe der Mädchen: Wie hat ihnen die Arbeit mit dem Computer gefallen? Welche Vorteile sehen sie beim Einsatz des Computers?

Die Mädchen äußerten, man könnte „es sich so viel besser vorstellen“. Bei der Nachfrage, welchen Vergleichsmaßstab die Mädchen dafür ansetzten, wurden vor allem die Lehrbücher genannt. Generell scheinen die Mädchen vor allem die Visualisierungsmöglichkeiten des Computers beim Umgang mit schwer vorstellbaren oder schwer beobachtbaren Vorgängen zu schätzen. Dies würde bedeuten, dass die Mädchen nicht unmittelbar Wert auf ein handlungsorientiertes Umgehen mit dem Computer, und eigenes Programmieren legen würden.

Die an die Untergruppe der Jungen gerichtete Frage richtete sich auf den Wert der physikalischen Experimente für ihre Arbeit. Wenn den Jungen primär am Programmieren im Physikunterricht gelegen wäre, müsste die direkte Auseinandersetzung mit realen Physikexperimenten für sie nebensächlich und möglicherweise sogar überflüssig erscheinen.

Das wurde von den Jungen jedoch heftig bestritten.

„Was man lernt muss man auch umsetzen können“, war der erste Einwand, und: „Experimente machen die Sache erst interessant“. In einer etwas zusammenhängenderen Rede stellte ein Schüler dar, das sie die Simulation zwar gerne programmiert hätten, aber doch nur durch die Experimente beweisen konnten, dass die Simulationen auch „echt“ waren.

Ein anderer Schüler verwies auf den „Parameter“ und auch auf die entsprechende Variable, die bei der Behandlung der gleichförmigen Bewegung genutzt wurde: „Man müsste sich dafür ja sonst Zahlen ausdenken“. Der Abgleich mit der physikalischen Realität verhindert also im Auge der Schüler, dass die Simulation willkürlich erscheint.

5.3.5 Zusammenfassung

Die begleitende Untersuchung zum Einsatz Objektorientierter Modellbildung im Physikunterricht sollte vor allem belegen, dass die Objektorientierte Modellbildung als Unterrichtsmethode einem konventionellen Schema von Physikunterricht mindestens gleichwertig ist, und die besondere konzeptuelle Überlegenheit in den Bereichen „Mädchenförderung“ und „Problemlösendes Denken und Handeln“ zeigen.

Es sollte abgeschätzt werden, inwieweit der Zeitaufwand für die Einführung des Computers als Werkzeug zur Modellbildung die Aufmerksamkeit der Schüler auf den physikalischen Hintergrund raubt. Gleichzeitig sollte sorgfältig geprüft werden, ob der massive Einsatz von Computern und die Programmierung von Software-Modellen physikalischer Vorgänge zu einer Benachteilung von Mädchen im Physikunterricht führt.

Im Ergebnis kann mit ausreichender Sicherheit festgehalten werden, dass die Teilnehmer der Unterrichtsreihe zur objektorientierten Modellbildung keine Nachteile davongetragen haben. Dafür spricht sowohl die subjektive Einschätzung der Schüler, gemessen an den guten Akzeptanzwerten der Fragen 1 und 6, als auch die objektive Wertung durch die Testfragen 3 (Messung und Berechnung von Geschwindigkeiten) und 5 (Bewertung einer beschleunigten Bewegung in zwei Ebenen). Die Modellvorstellungen der Schüler, gemessen an den Assoziationstests in Frage 2 und 4, sind auf ähnlichem Niveau ausgeprägt.

Folgende **Vorteile des Vorgehens mit Hilfe der Objektorientierten Modellbildung** wurden sichtbar und lassen sich durch die Untersuchung belegen:

1. Die Teilnehmer am Unterrichtsversuch schätzen den quantitativen Umgang mit Physik höher als die Teilnehmer der Vergleichsgruppe.

2. Sie nutzen wesentlich eher Formeln zur Beschreibung von Zusammenhängen, und zur Lösung von Problemen (Fragen 2 und 3).

3. Sie lehnen den Umgang mit Physikbüchern nicht kategorisch ab wie die Mitglieder der Vergleichsgruppe, sondern schätzen sie als unterstützende - aber auf keinen Fall als einzige - Informationsquelle (Gruppengespräch zu Frage 6b).

4. Die Teilnehmer der Versuchsgruppen zeigen sich kreativ und engagiert:

    a. sie haben wesentlich mehr verschiedene Vorschläge zur Bestimmung der Geschwindigkeit von Objekten als die Vergleichsgruppe,

    b. können ihre Vorschläge praktikabel beschreiben und

    c. selbstständig und korrekt durchführen (sie Skizze des Unterrichtsversuches in der Laborgruppe).

5. Erfreulich gut ließ sich die Sorge um die eventuelle Benachteiligung von Mädchen im stark computergestützen Physikunterricht wiederlegen. Die Mädchen der Laborgruppe und des Feldversuches zeigen ihren eigenen Stil, indem sie lieber mit verbalen Definitionen und Beispielrechnungen als mit geschlossenen Formeln arbeiten, und kommen

damit zu absolut vergleichbaren Ergebnissen. Darüber hinaus zeigen sie sich als aufmerksame Beobachter und geschickte Experimentatoren. Bei der Begleitung des Unterrichtes in den Feldversuchen konnte beobachtet werden, dass die Kamera ebenso häufig von Mädchen wie von Jungen bedient wurde; zwar haben diese Mädchen streng genommen damit wieder die Funktion einer Protokollantin, aber da die aufzeichnende Kamera gleichzeitig Messinstrument ist muss man es dennoch als eine wesentliche Aufwertung betrachten.

Es kann nicht bestritten werden, dass auch in den Lerngruppen des Unterrichtsversuches zwischen den Geschlechtern eine Rollenverteilung beobachtet werden konnte. Diese äußerte sich hierbei jedoch so, dass die Jungen sich vor allem durch ihre Fähigkeiten im Umgang mit Computern hervortaten. Dort wo die Mädchen eigenen Gruppen zugeordnet wurden, denen jeweils ein PC zu Verfügung stand, konnte aber beobachtet werden, dass unter einer konkreten Zielvorgabe das zielgerichtete und problemorientierte Vorgehen der Mädchen dem spielerisch-leichten Umgang der Jungen in Nichts nachstand. Bei der Durchführung der Experimente profitieren die Mädchen sogar davon, dass die Jungen in dieser Unterrichtsreihe eher den Computer als ihre Domäne sehen, und so den Mädchen mehr Freiraum bei den physikalischen Experimenten lassen.

5.4 Dritter Teil: Einsatz, Erprobung und Evaluation von Komponentenorientierter Lernsoftware im Technikunterricht der Gymnasialen Oberstufe

5.4.1 Über das Unterrichtsthema

Als beispielhaften Gegenstand wurde ein Ausschnitt aus der Regelungstechnik gebildet, und zwar die Drehzahlregelung eines Motor-Generator-Satzes mit stetigen Reglern. Die Unterrichtsreihe soll einen einführenden Charakter haben und die Schüler mit gängigen Begriffen, Methoden und Problemstellungen der Regelungstechnik vertraut machen.

Ein Thema aus dem Gebiet der Regelungstechnik bietet sich, neben der guten Integration in den Themenkatalog des Technikunterrichtes der gymnasialen Oberstufe, durchaus auch mit Blick auf aktuelle Bezüge an. Die Regelungstechnik ist schon eine recht traditionsreiche Wissenschaft. Vorläufer regelungstechnischer Anordnungen sind bereits aus der Antike und von Leornardo da Vinci überliefert worden; als Begründer der modernen Regelungstechnik gilt James Watt, und zwar ebenfalls mit einer Drehzahlregelung: er verwendete ein Fliehkraftpendel zur last- und dampfdruckunabhängigen Drehzahlregelung seiner Dampfmaschinen[156]. In allen Ingenieurwissenschaften, der Verfahrenstechnik, vermehrt auch in der Biologie und den systemtheoretisch orientierten Sozialwissenschaften stellt die Regelungstechnik eine Grunddisziplin dar.

Dennoch ist sie gerade zur Zeit hochaktuell: Grund dafür ist die zunehmende Miniaturisierung leistungsfähiger Computer und deren Integration in immer mehr stationäre und mobile

[156] Leonard, W.: Regelungstechnik. In: Forschung in der Bundesrepublik Deutschland. Beispiele, Kritik, Anregungen. Im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) von Christoph Schneider (Hrsg.): Weinheim, Deerfield Beach, Florida, Basel: Verlag Chemie, 1983. Seite 757.