

Universität Hamburg

Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften

Fachbereich Physik

Erstgutachter: Prof. Dr. Klaus Sengstock

Zweitgutachter: Dr. Thomas Garl

Betreuerin: Dortje Schirok

Bachelorarbeit im Studiengang Lehramt an Gymnasien

eingereicht im Fach Physik zu dem Thema:

**Funktionsweise eines Satellitennavigationssystems:
Entwicklung und Erprobung eines Moduls für einen
außerschulischen Lernort**

vorgelegt von:

Lena Sternberg

am:

02. September 2014

Zusammenfassung

In der vorliegenden Bachelorarbeit wird die Konzeption einer Lerneinheit für das Schullabor *Light & Schools* der Universität Hamburg vorgestellt. Das Thema dieser Einheit ist die Satellitennavigation mit dem Fokus auf dem bekanntesten System, dem US-amerikanischen GPS. Sie richtet sich an Mittelstufenklassen. Ausgehend von theoretischen Modellen zur Interessensbildung und zur didaktischen Rekonstruktion wurde das *GPS-Modul* entwickelt, Begleitmaterialien verfasst und mit zwei 8. Klassen von Hamburger Gymnasien getestet. Das GPS-Modul ist aufgeteilt in einen theoretischen Teil, in dem der Fokus auf den physikalischen Grundlage der Satellitennavigation liegt, und einen praktischen Teil, in dem die Schülerinnen und Schüler selbst, analog zur Ortung mit Satelliten, eine zunächst unbekannte Position ermitteln. Hierfür werden die Strecken zwischen der gesuchten Position und drei bekannten Punkten über die Messung der benötigten Zeit pro Strecke und der entsprechenden Geschwindigkeit ermittelt. Die Auswertung und Einschätzung des GPS-Moduls stützt sich einerseits auf selbsterstellte Evaluationsbögen, die die Schülerinnen und Schüler zum Abschluss ausfüllten, und andererseits auf die Reflexion der eigenen Eindrücke.

Abstract

This bachelor thesis presents the concept of a learning unit, conceptualized for the school lab *Light & Schools* of the University of Hamburg. The subject of this unit is satellite navigation, focussing on the best known system, the American GPS. The unit is directed at middle school. The *GPS module* was developed based on theoretical models about the creation of interest in education and didactic reconstruction. Accompanying materials were written and the GPS module was tested with two grade 8 classes from high schools in Hamburg. The GPS module consists of a theoretical part, in which the focus lies on the physical basis of the satellite navigation, and a practical part, in which the pupils themselves determine an unknown position, analogously to the localisation with satellites. The distances are determined between the position being searched and three known points through the measurement of the required time per distance and the corresponding speed. The evaluation and assessment of the GPS module rests on a self-designed questionnaire filled out by the pupils after the run-through of the module and on the reflexion of own impressions.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Außerschulische Lernorte in Deutschland	3
2.1. Aufgabenbereich der Schullabore	3
2.2. Light & Schools	5
3. Physik der Satellitennavigationssysteme	7
3.1. Der strukturelle Aufbau von Satellitennavigationssystemen	7
3.2. Positionsbestimmung	9
3.3. Datenübertragung und Signalstruktur	10
3.4. Genauigkeiten und Fehler	11
4. Pädagogischer Hintergrund	13
4.1. Interesse und Interessensentwicklung	13
4.2. Didaktische Reduktion und Rekonstruktion	16
4.3. Analogien in der Physikdidaktik	18
5. Die Ausarbeitung des GPS-Moduls für den außerschulischen Lernort Light & Schools	19
5.1. Konzeption des GPS-Moduls	19
5.2. Entwicklung eines Evaluationsbogens	24
6. Durchführung des GPS-Moduls bei Light & Schools	27
6.1. Versuchstag 1	27
6.2. Versuchstag 2	28
7. Auswertung der beiden Versuchstage des GPS-Moduls bei Light & Schools	30
7.1. Diskussion der Evaluationen	30
7.1.1. Geschlossene Fragen Versuchstag 1	30
7.1.2. Offene Fragen Versuchstag 1	31
7.1.3. Geschlossene Fragen Versuchstag 2	32
7.1.4. Offene Fragen Versuchstag 2	33
7.2. Reflexion persönlicher Eindrücke der Versuchstage	33
8. Fazit und Ausblick	36

Inhaltsverzeichnis

Literatur	40
Internetquellen	41
Abbildungsverzeichnis	41
A. Anhang	42
A.1. Folien der Präsentation	42
A.2. Laborbuch GPS-Modul	47
A.3. Umrechnungshilfe	58
A.4. Karten	59
A.5. Fotos des ersten Versuchstags	61
A.6. Evaluationsbögen	62
A.7. Auswertung der Evaluationsbögen	64
A.8. Auszüge der Internetquellen	68
Danksagung	71
Selbstständigkeitserklärung	72

1. Einleitung

„Erleben die Schülerinnen und Schüler, dass sie die als so schwierig geltenden physikalischen Begriffe und Prinzipien verstehen können und dass sie für sie persönlich wichtig sind, so fördert das nicht nur ihr Selbstvertrauen, in Physik etwas lernen zu können, sondern auch ihr Interesse, sich mit Physik intensiver auseinander zu setzen.“(Duit, 2009, S.628)

Eine wichtige Voraussetzung dafür, dass in der Physik bei den Schülerinnen und Schülern ein Lernprozess stattfinden kann, ist Reinders Duit zufolge, dass sie einen Zugang zur Physik finden und erfahren können. Dieser Zugang muss für sie selbst Bedeutung haben und Erfolgserlebnisse ermöglichen. Sie müssen sich als kompetent erleben dürfen und können. Dieser so geartete Zugang soll und kann in der Schule passieren. Er kann zudem von den Eltern, Geschwistern oder der näheren Umgebung der Schülerinnen und Schüler getragen werden. Das Kompetenzerleben kann auch in Museen oder an ähnlichen Orten stattfinden. Meist ist es an nichtschulischen Orten leichter als in der Schule, einen persönlichen Zugang zu schaffen, da einige Schülerinnen und Schüler ein Bild vom Lernen (in der Schule) haben, das ihre Motivation hemmt (Euler, 2009). Um Schülerinnen und Schülern unabhängig von Herkunft und Elternhaus ähnliche Chancen zu bieten, sollten die Lern-, Begegnungs- und Erfahrungsmöglichkeiten mit der Physik möglichst allen zugänglich gemacht werden. Eine Möglichkeit dies umzusetzen, stellt ein Schullabor dar. Die Schülerinnen und Schüler können (je nach Art des Labors) im Klassenverband an einem außerschulischen Lernort physikalischen Fragestellungen nachgehen. Sie können einen Zugang zur Physik von einer etwas anderen Seite als in der Schule erfahren, womit auch Schülerinnen und Schüler angesprochen werden sollen, bei denen eher eine geringe Begeisterung für Physik vorhanden ist. Es sollen alle gleichermaßen mit eingebunden werden können, unabhängig davon, wie sie sich bisher mit dem Physikunterricht identifizieren konnten.

Die Universität Hamburg bietet auf dem Campus Bahrenfeld mit dem Schullabor Light & Schools eine Umgebung, in der ein solches außerschulisches Lernen stattfinden kann. Dort bekam ich im Rahmen meiner Bachelorarbeit die Möglichkeit, ein Modul für den Besuch einer Mittelstufenklasse zu entwickeln. Als Thema wurde die Satellitennavigation gewählt. Die Entwicklung umfasste die Auseinandersetzung mit den physikalischen Prinzipien und pädagogischen Theorien, die Konzeption des Moduls, die Durchführung mit zwei verschiedenen Klassen und schließlich die Auswertung der Rückmeldungen der Schülerinnen und Schüler zu den Versuchstagen.

In der folgenden Arbeit werde ich in Kapitel 2 auf die Konzepte *außerschulischer Lernort* und *Schullabor* und die Ziele dieser Einrichtungen eingehen. Anschließend werde ich das

1. Einleitung

Schullabor Light & Schools und die Einbettung des erarbeiteten Moduls in das bestehende Konzept vorstellen.

Es folgt eine Einführung in die Grundlagen der Satellitennavigation in Kapitel 3, wobei ich vor allem auf die Aspekte eingehen werde, denen ich, mit Blick auf Nutzung und Verständlichkeit in einer Mittelstufenklasse, eine besondere Bedeutung beimesse.

In Kapitel 4 werde ich mich dem pädagogischen Hintergrund widmen. Da ein Hauptziel des Schullabors Light & Schools ist, das Interesse der Schülerinnen und Schüler zu wecken oder zu vertiefen, werde ich mich mit der Interessentheorie nach Manfred Prenzel/Andreas Krapp/Hans Schiefele (1986) und Eberhard Todt (1987) auseinandersetzen. Wie sich Interesse bei Schülerinnen und Schülern manifestiert, werde ich ebenfalls kurz darstellen. Didaktische Kontexte erfordern meist einen modifizierten Umgang mit dem Fachwissen. Wenn tatsächliches Lernen stattfinden soll, kann die Struktur der Fachwissenschaft oft nicht direkt in die Lernumgebung übertragen werden. Eine Möglichkeit, damit umzugehen, bietet die didaktische Rekonstruktion. Den Abschluss der pädagogischen Grundlagen bildet ein Abschnitt zum Begriff der Analogie, da im vorliegenden Modul ein Analogversuch gewählt wurde, um den Schülerinnen und Schülern das Verständnis zu erleichtern.

Nach diesem Teil zur Theorie folgt in den Kapitel 5, 6 und 7 der Hauptteil: Von der pädagogischen Grundlage und dem physikalischen Grundverständnis der Satellitennavigation ausgehend, werde ich ein Konzept für die Umsetzung im Schullabor Light & Schools vorstellen. Im Anhang A.2 ist das in diesem Zusammenhang erstellte Laborbuch zu finden, welches die Schülerinnen und Schüler bei dem Besuch bekommen haben. Ich werde den Evaluationsbogen vorstellen, durch den die Schülerinnen und Schüler Rückmeldung zu ihren Erfahrungen und Erlebnisse gaben. Damit sollen zum einen das Konzept besser eingeschätzt und zum anderen Verbesserungsvorschläge abgeleitet werden. Ich werde den Ablauf an beiden Versuchstagen beschreiben und dabei insbesondere auf die erwarteten Fehlerquellen bei den Messungen und den Umgang damit eingehen. Aufgrund der Rückmeldungen des ersten Versuchstags wurden in der Konzeption zwei kleine Veränderungen vorgenommen, die am zweiten Versuchstag umgesetzt wurden. Auf diese wird eingegangen. Es folgt schließlich die Auswertung der beiden Versuchstage. Dabei werde ich sowohl auf die Antworten in die Evaluationsbögen eingehen als auch meine eigenen Eindrücke darstellen.

2. Außerschulische Lernorte in Deutschland

Testergebnissen verschiedener internationaler schulischer Vergleichstudien zufolge ist die Krise, in der sich der naturwissenschaftliche Unterricht an öffentlichen deutschen Schulen befindet, zunehmend in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Zudem wurde deutlich, dass immer weniger junge Menschen ein naturwissenschaftliches oder technisches Studienfach wählen. Eine Antwort darauf waren die Einführung der nationalen Bildungsstandards und die folgende geplante Umstrukturierung des Unterrichts. Eine andere war die Suche nach und das Angebot von außerschulischen Bildungsorten (Engeln/Euler, 2004). Inzwischen haben sich diese Angebote etabliert und sind neben den Schulen ein weiterer Pfeiler, auf dem die Bildung ruht (Euler, 2009).

Dabei kann der *außerschulische Lernort* jeder Ort außerhalb der Schule sein, an dem Bildung stattfinden kann und an dem es Kindern und Jugendlichen möglich ist, verschiedene „Lernthemen in einer originalen und authentischen Begegnung zu bearbeiten“ (Haupt et al., 2013, S.325).

Auch wenn sich der Begriff *außerschulischer Lernort* nicht nur auf die naturwissenschaftlichen Lernorte und insbesondere die Schullabore bezieht, möchte ich in der folgenden Betrachtung den Fokus auf diese richten und herausarbeiten, was Charakteristika naturwissenschaftlicher Schullabore sind und worin sich ihre Aufgabenbereich von denen der Schulen unterscheiden. Anschließend werde ich das Schullabor *Light & Schools* vorstellen und die Einbettung meiner Arbeit in das bestehende Konzept erläutern.

2.1. Aufgabenbereich der Schullabore

Auf der Internetseite des Bundesverbandes der Schülerlabore e.V. *LernortLabor* (LernortLabor, 2014), wird als ‚Schülerlabor‘¹ ein Lernort bezeichnet „in dem Schülerinnen und Schüler eigene Erfahrungen beim selbständigen Experimentieren und Forschen machen.“

Trägerinnen und Betreiberinnen der Schullabore sind zum größten Teil die Universitäten, aber auch Forschungseinrichtungen, Museen, Science Center, Industriebetriebe oder Vereine und private Initiativen können die Schullabore betreuen (Haupt et al., 2013).

Die wichtigsten Merkmale von Schullaboren sind, dass den Schülerinnen und Schülern durch erfahrungsbasierte Zugänge die authentische Auseinandersetzung mit moderner Wissenschaft im Kontext ermöglicht werden soll. Dazu zählt eigenständiges Experimentieren unter der Anleitung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern (Engeln/Euler, 2004). Gerade bei den Mädchen soll der Kontakt mit weiblichen Vorbildern das Rollenmodell hin zu mehr Geschlechtergleichheit

¹Im folgenden werde ich synonym zu dem auch genutzten *Schülerlabor* den Begriff *Schullabor* verwenden. Bei letzterem gibt es keine geschlechterdifferenzierende Konnotation, weshalb ich ihn vorziehe.

2. Außerschulische Lernorte in Deutschland

beeinflussen. In Teamarbeit sollen die persönlichen Stärken erlebt werden und so zu einem positiven Selbstbild führen. In den Schullaboren ist es für das Erleben der Schülerinnen und Schüler besonders wichtig, dass die Balance zwischen Instruktion und Konstruktion stimmt. Zu viel Anleitung führt zu sinkender Motivation, da die Schülerinnen und Schüler wenig selbstgesteuert arbeiten und sich selber nicht als kompetent erleben können. Auf der anderen Seite kann zu großer Freiraum dazu führen, dass sie sich überfordert fühlen, nicht wissen, was ihre Aufgabe ist und was von ihnen erwartet wird. Auch dieses ‚Schwimmen in Unsicherheit‘ kann zu sinkender Motivation führen. Wichtig ist hier also eine gut abgestimmte Betreuung. (Euler, 2009)

Ein großer Unterschied zwischen den Schulen und den Schullaboren besteht hinsichtlich der Ziele: Ein Primärziel der Schullabore ist es, das Interesse der Schülerinnen und Schüler an dem jeweiligen Fachgebiet oder an Naturwissenschaften allgemein zu fördern (Engeln/Euler, 2004). Die Interessensförderung ist auch ein schulisches Ziel, wird aber meist mehr als Mittel zum Zweck genutzt, um bessere Leistungen zu erzielen (Berger/Schecker, 2011). Weitere Aspekte, die in Schullaboren erreicht werden sollen, sind, dass die Schülerinnen und Schüler sich gegenüber den Naturwissenschaften aufgeschlossen zeigen und sich ein adäquates Bild eines naturwissenschaftlichen Berufs und seiner gesellschaftlichen Bedeutung machen können (Euler, 2009). Nicht zuletzt soll hier auch Nachwuchs für naturwissenschaftlich-technische Berufe und Studiengänge erreicht werden (Engeln/Euler, 2004). Hierbei ist sowohl eine Breiten- als auch eine Spitzenförderung wichtig, sodass es zu einer grundsätzlichen Akzeptanz der Naturwissenschaften und der Physik in der Gesellschaft kommen kann. Es kann einerseits das Interesse bei denjenigen Menschen, die möglicherweise aufgrund ihres Umfeldes oder einer falschen Vorstellung eine Ausbildung oder ein Studium im naturwissenschaftlichen Bereich für sich nicht in Erwägung ziehen, gesteigert werden. Andererseits können so schon früh Talente gefördert werden. (Euler, 2009)

Im Folgenden möchte ich nun näher auf die physikalischen Schullabore eingehen. Bisher konnten einige Studien die Wirkung der Schullabors bezüglich des Interesses nachweisen. So zeigte sich, dass die Schülerinnen und Schüler auch noch einige Wochen nach dem Laborbesuch ein gesteigertes Interesse an dem behandelten Fachgebiet zeigten. Zudem werden Mädchen und Jungen gleichermaßen von den Besuchen angesprochen; im herkömmlichen Unterricht hingegen liegt das Interesse der Mädchen im Fach Physik in den meisten Fällen hinter dem der Jungen. Außerdem ist als positiv zu bewerten, dass gerade auch Schülerinnen und Schüler, die sich in der Schule eher wenig am Physikunterricht beteiligen, im Schullabor aktiv mitwirken und ihr negatives Bild der Physik aus dem Unterricht nicht übertragen. (Euler, 2009)

Insgesamt ist es also fruchtbar, mit den Schullaborbesuchen möglichst früh zu beginnen. So kann man alle Kinder gleichermaßen erreichen und schon zu Beginn der Schulzeit eine andere

2. Außerschulische Lernorte in Deutschland

Grundeinstellung und Akzeptanz gegenüber der Physik und den anderen Naturwissenschaften schaffen. Vorhandenes Interesse kann derart unterstützt und gehalten werden. Es kann früh genug das Wahlverhalten bezüglich der Oberstufenkurse beeinflusst werden und nicht nur Schülerinnen und Schüler, die schon ein gewisses Grundinteresse dem Fach gegenüber zeigen, werden in den Schullaborbesuchen zu mehr Interesse motiviert. Mit den Worten von Katrin Engeln und Manfred Euler kann man festhalten:

„Der frühe Kontakt mit authentischer Wissenschaft und kreative Entfaltungsmöglichkeiten beim Experimentieren und Konstruieren könnten die Potenziale und Talente bei den Jugendlichen fördern, die unsere Gesellschaft so dringend benötigt, um Innovation voranzutreiben“ (Engeln/Euler, 2004, S.48).

2.2. Light & Schools

Light & Schools ist ein physikalisches Schullabor der Universität Hamburg, welches sich auf dem Campus Bahrenfeld befindet. Derzeit wird es durch die Bundesexzellenzinitiative CUI² getragen. Entstanden ist es aus einem einmaligen Projekt zwischen einem Oberstufenkurs der Sophie-Barat-Schule und dem Institut für Laserphysik (ILP) im Jahr 2009. Beide Seiten äußerten den Wunsch nach einer Vertiefung der Zusammenarbeit und Light & Schools wurde noch im gleichen Jahr als Schullabor von der Joachim Hertz Stiftung gefördert.

Die ersten Versuche entstammten dem Bereich Optik und Laser und richteten sich vor allem an die Oberstufe: Die Schülerinnen und Schüler kommen im Klassenverband für einen halben Tag in das Schullabor und bearbeiten vor Ort die einzelnen Versuche in Kleingruppen. Dabei werden sie von Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des ILP betreut und haben die Möglichkeit bei einer Laborführung deren Arbeitsplatz kennen zu lernen und einen Einblick in die aktuelle Forschung zu bekommen. Die Versuche sind so angelegt, dass die Klassen möglichst mehrmals kommen, so dass jede und jeder Jugendliche an jedem Versuch teilnehmen kann. Am besten Falle werden die Versuche in die Unterrichtsplanung mit einbezogen und in der Schule vor- und nachbereitet. So können die Jugendlichen im Schullabor schon auf Vorwissen zurückgreifen.

Um möglichst frühzeitig bei den Schülerinnen und Schülern ein Interesse für die Physik zu wecken, wurde das Angebotsspektrum erweitert und Versuche speziell für die Mittelstufe entwickelt. Derzeit ist dieser Bereich von Light & Schools noch im Aufbau. Um an einem Alltagsthema der Schülerinnen und Schüler anzuknüpfen ist das Oberthema *Handy* für die Mittelstufenversuche gewählt worden. Der Ansatz ist hierbei, dass die Kinder und Jugendlichen im Klassenverband das Schullabor besuchen und die Versuche einzeln oder in Kleingruppen

²The Hamburg Centre for Ultrafast Imaging.

2. Außerschulische Lernorte in Deutschland

bearbeiten. Im Januar 2014 wurde erstmals eine Einheit zum LC-Display mit einer Klasse bearbeitet. Es werden Versuche zur App-Programmierung und zum Touchscreen folgen.

In diesem Rahmen ist auch das vorliegende *GPS-Modul* entstanden. Den Schülerinnen und Schülern soll der Zugang zu moderner Technik und Physik erleichtert werden, indem an einem Thema angeknüpft wird, mit dem sie täglichen Umgang haben. In spielerischer Art und Weise sollen sie verstehen können, welche Grundprinzipien Satellitennavigationssysteme möglich machen.

3. Physik der Satellitennavigationssysteme

Ein Satellitennavigationssystem ist ein System, welches es erlaubt, eine Ortung auf der Erde und eine Führung zu einem anvisierten Ziel vorzunehmen. Die Nutzerin oder der Nutzer empfängt Informationen von Satelliten und kann daraus ihre bzw. seine Position bestimmen. Dabei ist die Anzahl der Nutzerinnen und Nutzer prinzipiell unbegrenzt, da das System von Nutzerseite passiv konstruiert worden ist.

Derzeit gibt es verschiedene Betreiber und damit verschiedene Arten von Satellitennavigationssystemen. Im Folgenden werde ich den Fokus auf das vom US-amerikanischen Verteidigungsministerium entwickelte GPS³ legen. Auf das europäische Galileo und das chinesische Beidou – beide noch in der Aufbauphase – und das funktionsfähige russische GLONASS werde ich nicht näher eingehen, da die Grundprinzipien ähnlich sind. Die Einheit für Light & Schools wurde nach dem bekanntesten System als *GPS-Modul* benannt, da dieses System in der Öffentlichkeit und auch für die Schülerinnen und Schüler das bekannteste ist. So wird der Zugang zum Thema erleichtert. Nichtsdestotrotz wurde den Jugendlichen auch über die anderen Systeme berichtet.

Die folgende Beschreibung der physikalischen Grundlagen der Satellitennavigationssysteme beschränkt sich primär auf Aspekte, die für die Zielgruppe (Klassenstufe 8) verständlich sind. Daher werde ich auf Modulation und Codierung der Signale nicht näher eingehen. Im Wesentlichen beziehe ich mich in der Beschreibung des GPS auf Manfred Bauer (2003), Matthias Becker/Klaus Hehl (2012) und Bernhard Hofmann-Wellenhof/Herbert Lichtenegger/Elmar Wasle (2008).

3.1. Der strukturelle Aufbau von Satellitennavigationssystemen

Für eine Ortung sind mindestens vier Satelliten nötig. Soll die Ortung jederzeit von jedem Punkt der Erde möglich sein, so müssen die Satelliten eine entsprechende Konstellation bilden.

Weltraumsegment

Das GPS wurde ab 1973 so konzipiert, dass sich permanent 24 Satelliten in einer Umlaufbahn von etwa 20 200 km über der Erde befinden sollten, davon waren 21 als reguläre und drei als Ersatzsatelliten geplant. Derzeit umkreisen bis zu 30 funktionsfähige GPS-Satelliten die Erde. Sie sind auf vier Bahnen mit einer Inklination von 55° und jeweils 60° zueinander verschoben angeordnet. So wird eine unnötige Ballung an den Polen vermieden. Die Umlaufzeit beträgt einen halben Sternentag, also 11 Stunden und 58 Minuten.

³Die offizielle Bezeichnung des Navigationssystems lautet *NAVigation System for Timing And Ranging - Global Positioning System*: NAVSTAR-GPS.

3. Physik der Satellitennavigationssysteme

Die GPS-Satelliten sind mit je zwei Rubidium- und Cäsiumfrequenznormalen ausgestattet, außerdem mit Sende- und Empfangsantennen, Mikroprozessoren zur Steuerung, Antrieben zur Positionsänderung und Solar Kollektoren zur Energieversorgung.

Kontrollsegment

Die Aufgabe der Kontrollstationen ist die Beobachtung und Extrapolation der Satellitenorbits und der Satellitenuhren. Die korrigierten Bahndaten werden zurück an die Satelliten übermittelt, die ihrerseits bei den neu auszusendenden Daten eine Korrektur vornehmen. Die GPS-Kontrollstationen (insbesondere die *Master Control Station*) befinden sich vorwiegend auf US-amerikanischem Gebiet.

Nutzersegment

Es gibt derzeit verschiedene Varianten von Ortungsempfängern für Satellitensignale. Einige können nur GPS- oder GLONASS-Daten verarbeiten, andere können beide Daten auswerten und zur Positionsbestimmung nutzen. Es gibt Empfänger in Handys, in Flugzeugcockpits, für die Outdoornavigation, zur zivilen Fahrzeugführung (teils fest installiert) und auch im Vermessungswesen und beim Militär.

In dem *GPS-Modul* soll die Konstellation der Satelliten im Groben behandelt werden. Dabei soll auf die Bahnhöhe eingegangen werden. Die Inklination und Verschiebung der einzelnen Bahnen gegeneinander soll nur in einem Bild gezeigt und nicht mit Begriffen verwendet werden, um die Schülerinnen und Schüler nicht mit zu vielen Fachwörtern einzuschüchtern. Außerdem wird auf das Nutzersegment eingegangen, da so deutlich gemacht werden kann, in welchen Alltagsbereichen die Satellitennavigation zum Einsatz kommt. Auf die Kontrollstationen soll erst zum Ende der Veranstaltung Bezug genommen werden, da sie für das grundsätzliche Verständnis des Prinzips zunächst eine untergeordnete Rolle spielen.

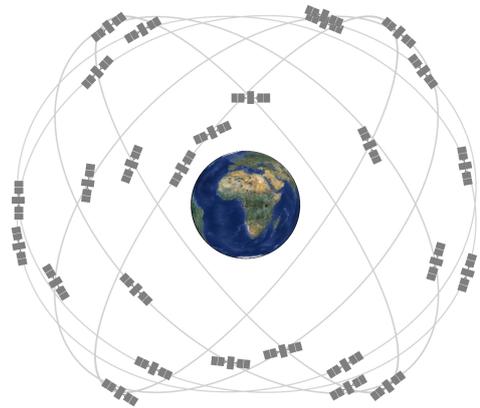


Abb. 1: Konstellation der GPS-Satelliten
Quelle: United States Government (2014).

3.2. Positionsbestimmung

Die grundlegende Idee der Positionsbestimmung ist, durch Kenntnis der Signallaufzeit ΔT und der Signalgeschwindigkeit die Strecke s zwischen Satelliten und Empfangsgerät bestimmen zu können. Ist die Entfernung zu vier Satelliten bestimmt worden, kann mit Wissen über die Satellitenposition die Position des Empfangsgeräts ermittelt werden: Es wird der Punkt gesucht, an dem sich die Kugelsphären mit den jeweiligen Radien s zu einem Zeitpunkt schneiden.

Es wird die Eigenschaft des Signals als elektromagnetische Welle genutzt, dass es sich im Vakuum mit der Lichtgeschwindigkeit c ausbreitet. Zunächst sollen die Einflüsse der Atmosphäre vernachlässigt werden. Würden die Satelliten- und die Empfängeruhr exakt übereinstimmen, so könnte die Laufzeit ΔT ermittelt und die Entfernung s bestimmt werden: $s = \Delta T \cdot c$.

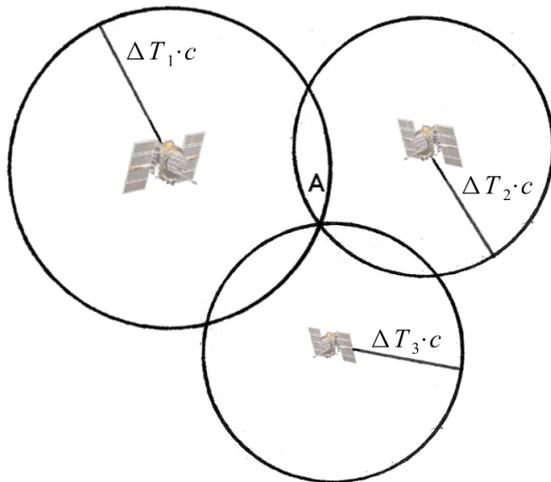


Abb. 2: Die Signale dreier Satelliten zur exakten Positionsbestimmung (2D).
Quelle: Eigene Zeichnung

Empfängt man das Signal eines Satelliten, so weiß man nun, dass man sich auf einer Kugelschale in der Entfernung s von dem Satelliten befindet; empfängt man die von zweien, so kann man die eigene Position auf einen Kreis eingrenzen; bei dreien auf zwei Punkte und bei dem vierten schließlich auf die exakte Position (vgl. dazu auch die Abbildung 2 in zwei Dimensionen: zur genauen Eingrenzung sind hier nur drei Signale notwendig).

Da die Satellitennavigationssysteme aber zur Nutzung auf der Erde bzw. in Erdnähe konzipiert worden sind, brauchen wir bei genau synchronisierten Uhren nur drei Satelliten, die vierte Kugelschale stellt die genäherte Erdoberfläche dar.

In der Regel ist es so, dass die Satellitenuhren und die Empfängeruhren nicht genau gleich laufen, sondern dass es eine Differenz zwischen ihnen gibt, den Empfängeruhrenfehler Δt . Die Kugelsphären schneiden sich dann nicht in einem Punkt. Wir benötigen also den vierten Satelliten um die exakte Position und den Empfängeruhrenfehler zu bestimmen. Eine mathematische Darstellung findet sich bei Manfred Bauer (2003, S. 172-196).

Geometrisch ist die Lösung folgendermaßen zu finden: ist der Empfängeruhrenfehler von Null verschieden, so wird es mehrere Schnittpunkte der Kugelsphären geben (vgl. die Punkte **B** in

3. Physik der Satellitennavigationssysteme

Abbildung 3). Die einzelnen Kugelsphären können nun so lange gleichmäßig ausgedehnt oder kontrahiert werden, bis sie sich in einem Punkt treffen. Dieses ist die gesuchte Position (Punkt A in Abbildung 3). Aus der Strecke, um die verändert worden ist, kann der Empfängeruhrenfehler ermittelt werden.

In dem *GPS-Modul* wird die Positionsbestimmung bei exakt synchron laufenden Uhren im Vordergrund stehen, also das Grundprinzip der vorgestellten Positionsbestimmung. Erst in dem Teil, in dem die verschiedenen Fehlerquellen bei der Satellitennavigation behandelt werden, soll auch auf den Empfängeruhrenfehler eingegangen werden und den Schülerinnen und Schülern die geometrische Lösung erklärt werden.

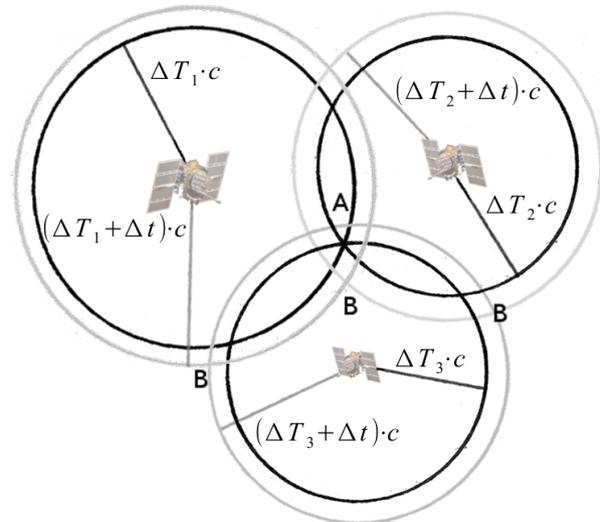


Abb. 3: Punkt A stellt die genaue Position dar. Der Empfängeruhrenfehler impliziert aber eine Entfernung, die nur zu den Schnittpunkten in B führt. Durch gleichmäßiges Ändern aller Radien kann die genaue Position gefunden werden. (2D)
Quelle: Eigene Zeichnung

3.3. Datenübertragung und Signalstruktur

Die Übertragung der für die Positionierung wichtigen Daten vom Satelliten zum Empfangsgerät geschieht mittels elektromagnetischer Wellen im Mikrowellenbereich. Das bedeutet, dass eine Sichtverbindung zwischen Satellit und Empfangsgerät bestehen muss. Die von GPS-Satelliten am meisten genutzte Trägerfrequenzen sind $L_1 = 1575,42 \text{ MHz}$ und $L_2 = 1227,6 \text{ MHz}$. Auf diese Trägerfrequenzen werden kodierte Informationen aufmoduliert. Das Empfangsgerät erzeugt ebenfalls einen solchen Code und synchronisiert empfangenen und erzeugten Code. Daraus kann die Laufzeit ermittelt werden. Dabei ist L_1 inklusive des Codes frei zugänglich, bei L_2 ist das Signal selber frei zugänglich, aber nicht der entsprechende Code, über den nur das Militär verfügt.

Für das vorliegende *GPS-Modul* für eine 8. Klasse wurde auf diese Darstellung verzichtet, da das Verstehen anderer Grundlagen im Vordergrund steht und nicht zusätzlich ein unbekanntes Thema eingeführt werden soll. Der Aufbau der Navigationsnachricht, wie er im Folgenden dargestellt wird, wurde jedoch in vereinfachter Form behandelt.

3. Physik der Satellitennavigationssysteme

Die Navigationsnachricht bildet einen Frame mit 1500 Bits, die in 30 Sekunden übertragen werden. Jeder Frame besteht aus 5 Subframes. Zu Beginn jedes Subframes werden ein Synchronisationscode und die Satellitenzeit übertragen. Die einzelnen Subframes enthalten Informationen über das Alter der Uhrdaten, Parameter zur Berechnung des Satellitenuhrenfehlers, den Zustand der Satelliten, die Ephemeriden des jeweiligen Satelliten und ihr Alter, das ionosphärische Refraktionsmodell und die derzeitige Satellitenkonfiguration. Außerdem werden die technischen Zustände und die Bahndaten aller Satelliten in vereinfachter Form zur Vorausberechnung, wann welcher Satellit zur Ortung zur Verfügung steht, übermittelt. Dieser sogenannte Almanach muss für jeden der 25 Satelliten einzeln ausgegeben werden, so dass zur Übermittlung der kompletten Nachricht 25 Frames nötig sind, bei denen die Subframes 1-3 jeweils gleich bleiben. Die komplette Übertragung dauert damit $25 \cdot 30\text{ s} = 12,5\text{ min}$. Daher können Ortungsgeräte oft nicht sofort nach dem Einschalten die genaue Position bestimmen.

3.4. Genauigkeiten und Fehler

Die Genauigkeit der GPS-Ortung hängt von den verwendeten Geräten und technischen Möglichkeiten der Fehlerkorrektur ab. Bei handelsüblichen Geräten für die zivile private Nutzung liegt sie bei etwa 10 m. Auf die Genauigkeit haben verschiedene Faktoren einen Einfluss. Diese sollen nun wiedergegeben werden.

Selected Availability – SA

Dadurch, dass das GPS ein Satellitennavigationssystem des US-amerikanischen Verteidigungsministeriums ist, hat dieses auch das Oberkommando über die Verfügbarkeit. In den Jahren 1994–2000 wurde eine Technik zur Verschlechterung der zivilen Nutzung eingesetzt: die *selected Availability* - SA, eine ausgewählte Verfügbarkeit: Die Genauigkeit wurde durch verfälschte Satellitenbahnen und ein künstliches Verrauschen der frei zugänglichen L_1 -Signale auf etwa 100 m begrenzt. Die SA ist derzeit nicht in Betrieb, kann aber erneut eingeschaltet werden.

Satelliten

Die Genauigkeit der Positionsbestimmung hängt auch von der geometrischen Satellitenverteilung ab. Können nur die Signale von Satelliten empfangen werden, die in einem ähnlichem Winkel vom Empfangsgerät gesichtet werden, so ist der Fehler größer, als wenn die Satelliten unter großem Winkel beobachtet werden. Außerdem kann es u.a. durch die Anziehungskräfte der Gestirne zu einer Abweichung der Satelliten von ihrer Bahn kommen. Dadurch kann bei es bei

3. Physik der Satellitennavigationssysteme

der Ortung zu einem Fehler von etwa 5 m kommen. Durch die Überwachung und Aktualisierung der Bahndaten durch die Kontrollstationen kann dieser Fehler minimiert werden.

Eine weitere Fehlerquelle sind die Uhren der Satelliten. Diese Oszillatoren müssen aufgrund der Einflüsse der Relativitätstheorie vor dem Start in den Orbit verstimmt werden. Trotzdem ist hier mit einem Fehler von etwa 1 m zu rechnen.

Fehler bei der Signallaufzeitmessung

Die Signale durchqueren auf ihrem Weg von den Satelliten zum Empfangsgerät die elektrisch geladene Ionosphäre und die neutrale Troposphäre. Dadurch kommt es zu Laufzeitverzögerungen. In der Ionosphäre ist die Verzögerung frequenzabhängig. Daher kann sie durch das Empfangen von zwei Frequenzen (L_1 und L_2) ermittelt und damit bei der Auswertung der Daten berücksichtigt werden. Die zivilen Nutzer, welche nur L_1 nutzen können, bekommen von Referenzstationen ein Signal, in welchem Korrekturen enthalten sind und können diese Fehler dadurch minimieren. Werden diese Einflüsse nicht korrigiert, so könnten Ungenauigkeiten von mehreren hundert Metern auftreten.

Ein weitere Fehlerquelle stellen reflektierte Signale (z. B. an Hauswänden, Felsen oder vom Boden) dar. Die Fehler können hier zwischen 5 und 20 Meter betragen. Eigenschaften der reflektierten Signale sind, dass sie eine andere Polarisation als das ursprüngliche Signal aufweisen⁴ und dass ihre Intensität in aller Regel gegenüber dem Originalsignal stark abgeschwächt ist. Außerdem ist ihre Phase in den meisten Fällen verschoben gegen die Phase des direkten Signals.

Mit den Schülerinnen und Schülern soll im Rahmen des *GPS-Moduls* über einige der Fehler diskutiert werden: Die Genauigkeit der Bahndaten sowie die Korrektur des zu erwartenden Fehlers mithilfe der Signale der Kontrollstation sollen thematisiert werden. Hieran soll deutlich gemacht werden, dass ‚Fehler‘ nicht nur in dem Analogversuch der Schülerinnen und Schüler stattfinden, sondern zum Alltag gehören und ein Weg gefunden werden muss, wie mit ihnen umgegangen werden kann. Der Einfluss der Atmosphäre soll insofern angesprochen werden, als die Signalgeschwindigkeit hier ‚verlangsamt‘ wird. Auch hier soll die Korrekturmöglichkeit durch die Referenzstationen dargelegt werden. Außerdem soll die Mehrwegeausbreitung aufgrund der Anschaulichkeit und der Alltagsnähe für die Schülerinnen und Schüler eingebunden werden.

⁴Wenn die Antenne des Empfangsgeräts nur die Polarisation der direkten Signale verarbeiten kann, so können reflektierte Signale also eliminiert werden.

4. Pädagogischer Hintergrund

Wie aus der didaktischen Forschung bekannt ist, kann eine Sachstruktur nicht direkt in einen pädagogischen Kontext übertragen werden. Es ist wichtig, weitere Faktoren miteinzubeziehen. Ein Modell zur Aufbereitung für die Wissensvermittlung ist das der didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997). Die Grundzüge des Modells werde ich im folgenden Abschnitt vorstellen. Außerdem werde ich mich mit dem Analogiebegriff und damit, wie Analogien in der Physikdidaktik verwendet werden können, auseinandersetzen. Ausgehend von dem Primärziel der Schullabors, der Interessenssteigerung (siehe Kapitel 2), werde ich zunächst auf verschiedene Interessenskonzepte und darauf eingehen, wie Interesse gesteigert und gefördert werden kann.

4.1. Interesse und Interessensentwicklung

Hans Schiefele fasst das Interesse als

„eine besondere Qualität der Beziehung von Menschen (Subjekten) zu bestimmten Sachverhalten (Gegenständen), und zwar eine Beziehung in der das Subjekt versucht, erkennend, die Eigenart des Gegenstandes verstehend, ihn sich zu erschließen und dabei selbst Bereicherung zu erfahren“ (Schiefele, 1986, S.156).

Ähnliche Definitionen findet sich auch bei anderen Autorinnen und Autoren. Allen gemeinsam ist, dass das Interesse eine Person-Gegenstands-Relation beschreibt. Der Gegenstand kann dabei durch reale Gegenstände, Wissensgebiete, Themenbereich, Umweltausschnitte, Idee, Fertigkeiten, Fähigkeiten etc. repräsentiert werden.

Das Interesse kann dabei in verschiedene Dimensionen oder Merkmalsbereiche unterschieden werden. Christoph Pawek (2009) nennt andere als Manfred Prenzel/Andreas Krapp/Hans Schiefele (1986):

kognitiv: Die Person kann den Interessensgegenstand differenziert betrachten und sich seiner Komplexität von verschiedenen Seiten in verschiedener Art nähern.

emotional: Die Beschäftigung mit dem Gegenstand ist mit positiven Gefühlen verbunden und wird als angenehm und anregend empfunden.

Wertschätzung: Der Gegenstand erfährt eine hohe Wertschätzung der Person. Die Beschäftigung mit dem Gegenstand geschieht um seiner selbst willen und wird als wertvoll eingeschätzt.

epistemisch: Die Person hat den Wunsch, ihre Kompetenzen und Fähigkeiten auszubauen und mehr über den Gegenstand zu erfahren und zu lernen.

4. Pädagogischer Hintergrund

Die emotionale und die wertschätzende Dimension finden sich in beiden Werken, die kognitive bei Manfred Prenzel/Andreas Krapp/Hans Schiefele und die epistemische bei Christoph Pawek.

Im Zusammenhang mit der Schule und dem Interesse an Physik gilt: Auch aus der direkten Sicht von Schülerinnen und Schülern sind obige Faktoren wichtig. So geht aus Befragungen von Fritz Kubli bei seinen eigenen Schülerinnen und Schülern hervor, dass Interesse für ein Fach besteht, „wenn man darin lernen und verstehen kann“, „wenn es zum Weiterdenken anregt“ und „wenn man die praktischen Zusammenhänge sieht“ (zitiert nach Willer, 2003, S.35f.).

Zweckdienlich erscheint es, in diesem Zusammenhang das Sach- und das Fachinteresse voneinander zu unterscheiden. Ersteres beschreibt das Interesse an einem Gegenstand selber, also im vorliegenden Fall an physikalischen Inhalten. Letzteres bezieht sich auf das Interesse, dass an dem Schulfach besteht. In der IPN-Interessenstudie Physik haben Lore Hoffmann, Manfred Lehrke und Peter Häußler über einen Zeitraum von fünf Jahren das Interesse der Schülerinnen und Schüler an der Physik und am Fach Physik untersucht und sind dabei zu folgenden Ergebnissen gekommen: Das Fachinteresse an der Physik nimmt im Verlauf der Sekundarstufe I kontinuierlich ab, besonders bemerkenswert ist ein rapider Einbruch des Interesses in der siebten Klasse. Die Autorin und die Autoren erklären es sich damit, dass die Kinder in diesem Alter erstmals Physikunterricht als eigenständiges Fach haben. Das Sachinteresse hingegen hält sich relativ stabil. Die Schule hat also eher einen geringen Einfluss auf die Interessenstruktur am Gegenstand (Hoffmann/Lehrke, 1986; Willer, 2003). Allerdings führt ein wenig interessanter Unterricht zu einer Abwahl des Faches. Als Schullabor ist es also wichtig, die Schülerinnen und Schüler gerade in dem Alter des beginnenden Physikunterrichts zu begleiten und ihr Interesse an Physik aufrecht zu erhalten und befördern zu können.

Insgesamt sind die Jungen an mehr Teilgebieten der Physik interessiert als die Mädchen, auch sinkt ihr Interesse nicht ganz so stark. Die Mädchen zeigen ein größeres Interesse an Naturphänomenen, Alltagsbezügen und an Kontexten, die eine Nützlichkeit für den Menschen (beispielsweise medizinische Zusammenhänge) aufweisen. Betrachtet man die Interessenssteigerung, so lässt sich feststellen, dass für die Bereiche, die für Mädchen von vornherein als interessant gelten, kein Unterschied zwischen den Geschlechtern bezüglich der positiven interessenssteigernden Wirkung auszumachen ist. Orientiert man sich an den Mädchen, dann können alle davon profitieren (Häußler et al., 1996). Dem Kontext, in dem der behandelte physikalische Zusammenhang steht, kommt also bei der Interessenssteigerung eine entscheidende Bedeutung zu. Das soll auch im Schullabor Light & Schools und insbesondere bei dem *GPS-Modul* berücksichtigt werden: Das Thema GPS ist dem Alltag der Schülerinnen und Schüler entnommen, viele berichteten davon, dass sie es über die Funktion ihres Smartphones nutzen.

4. Pädagogischer Hintergrund

Eine Unterscheidung der verschiedenen Interessensqualitäten kann nach Eberhard Todt (1987) in drei Stufen geschehen: zum einen lässt sich das *allgemeine Interesse* festhalten, das als eine überdauernde Größe betrachtet werden kann. Es bezieht sich auf Themenbereiche, mit denen sich die Person gerne und viel beschäftigt oder beschäftigen möchte und ist vor allem durch affektive und kognitive Komponenten geprägt. Das *spezifische Interesse* ist die „Bereitschaft, in einem relativ begrenzten Realitätsbereich zu handeln“ (Todt, 1987, S.112). Es kann auch über einen längeren Zeitraum bestehen und äußert sich meistens in Freizeitbeschäftigungen oder Berufsvorstellungen. Hierbei spielen die affektive und die kognitive Komponenten eine entscheidende Rolle. Zuletzt ist noch die *Interessiertheit* zu nennen als das Gefühl, an einem Gegenstand (bei Todt dem naturwissenschaftlichen Unterricht) interessiert zu sein. Es ist hauptsächlich durch affektive und kognitive Komponenten geprägt. Roland Berger/Horst Schecker (2011) nehmen eine ähnlich Unterscheidung vor: Sie differenzieren zwischen einer stabilen, andauernden Person-Gegenstands-Relation als dem *individuellen Interesse* und dem *situationalen Interesse* als der aktuellen Interessantheit, die durch den aktuellen Lerngegenstand ausgelöst wird. Sogenannte ‚catch‘-Faktoren sollen dazu dienen, die erstmalige Aufmerksamkeit, also ein erstmaliges situationales Interesse, zu erregen. Durch ‚hold‘-Faktoren soll dieses dann aufrecht erhalten werden. Im günstigsten Fall kann das situationale Interesse in ein individuelles übergehen. (Berger/Schecker, 2011)

Dabei ist wichtig festzuhalten, dass eine Handlung, die wiederholt befriedigend ausgeführt wird, zu einer positiven Bewertung und damit auch einer Interessenssteigerung führen kann (Lechte, 2008, vgl. S. 57). Aus pädagogisch-psychologischer Sicht kann man sagen, das „Interesse manifestiert sich in Auseinandersetzung mit dem Gegenstand“ (Prenzel et al., 1986, S.168) wodurch es auch zu einer Persönlichkeitsentwicklung kommen kann.

Als grundlegend für die Interessensentwicklung werden das Kompetenz- und das Autonomieerleben der Person betrachtet. In ihrem Handeln strebt sie nach einer Befriedigung dieser Bedürfnisse. Soll das Interesse gesteigert werden, so ist es wichtig, dass die Person sich der Aufgabe gewachsen fühlt und es weder zu einer Über- noch zu einer Unterforderung kommt. Sie sollte in dem gegebenen Rahmen selbstbestimmt handeln können und nicht nur äußere Auflagen erfüllen müssen. Außerdem ist es wichtig, dass ein Gefühl der sozialen Eingebundenheit vorhanden ist. (Pawek, 2009, S.36f.)

Für die Umsetzung im Schullabor und bei der Konzeption des *GPS-Moduls* bleibt an dieser Stelle festzuhalten, dass das allgemeine bzw. individuelle Interesse der Schülerinnen und Schüler nicht durch einen einmaligen Besuch im Schullabor verändert werden kann. Sehr wohl kann aber auf die Interessiertheit, das spezifische bzw. situationale Interesse Einfluss genommen werden. Dazu sollte die Physik in einem Kontext stehen, der eine reale Bedeutung, einen Alltagsbezug

4. Pädagogischer Hintergrund

oder einen erkennbaren Nutzen für die Schülerinnen und Schüler hat. Ihre eigenen Aufgaben sollen sie selbstständig und möglichst gemeinsam Kleingruppen bewältigen können.

4.2. Didaktische Reduktion und Rekonstruktion

Die Zeiten, als man meinte, Kindern und Jugendlichen Wissen nach Manier des Nürnberger Trichters einflößen zu können, sind lange vorbei. Nach und nach hat sich die Vorstellung durchgesetzt, dass beim Lernprozess mehr als nur das zu vermittelnde Fachwissen wichtig ist: Die Sachstruktur ist nicht direkt auf die Fachstruktur übertragbar. Lernen ist vielmehr ein Aufbauvorgang, bei dem die oder der Lernende eine aktive Rolle übernimmt. Häufig haben Schülerinnen und Schüler gewisse eigene Vorstellungen eines Sachverhaltes bevor sie in der Schule oder an anderen Orten mit der wissenschaftlichen Vorstellung konfrontiert werden. Man kann Lernen also als Vorstellungsänderung betrachten. (Kattmann et al., 1997)

In diesem Zusammenhang kommt der didaktischen Rekonstruktion eine entscheidende Rolle zu. Nach Ulrich Kattmann et al. umfasst sie

„sowohl das Herstellen pädagogisch bedeutsamer Zusammenhänge, das Wiederherstellen von im Wissenschafts- und Lehrbetrieb verlorengegangenen Sinnbezügen, wie auch den Rückbezug auf Primärerfahrungen sowie auf originäre Aussagen der Bezugswissenschaften“ (Kattmann et al., 1997, S.4).

Sie geht damit deutlich über die didaktische Reduktion oder Transformation hinaus und bezeichnet einen Wiederaufbau von Sinnstrukturen (Kattmann et al., 1997).

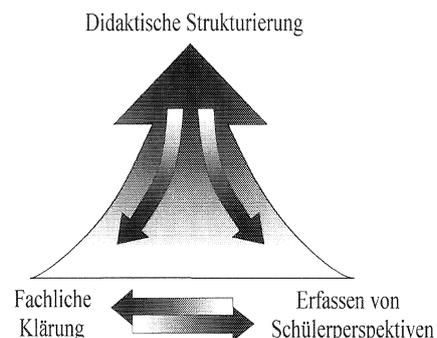


Abb. 4: Fachdidaktisches Triplett: Beziehungsgefüge der Teilaufgaben im Modell der didaktischen Rekonstruktion. Quelle: Ulrich Kattmann et al. (1997).

Die drei Säulen, auf denen die didaktische Rekonstruktion dabei ruht, sind die Perspektive der Schülerinnen und Schüler, die fachliche Klärung und die didaktische Strukturierung als Verknüpfung. In einem wechselseitigen Vergleich (wie in Abbildung 4 erkennbar) müssen lernförderliche und lernhinderliche Aspekte herausgearbeitet und in der weiteren Planung berücksichtigt werden. (Kattmann et al., 1997)

Die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler bilden dabei den notwendigen Ausgangspunkt für das Lernen. Es ist davon auszugehen, dass ihre Konzepte eines bestimmten Sachverhaltes bis zu diesem Zeitpunkt in dem jeweiligen Kontext immer hinreichend sinnvoll und stimmig waren. Daher werden sie sich bei einem Konzeptwechsel schwer tun und neue Vorstellungen nur langsam akzeptieren. Stoßen die Schülerinnen und Schüler allerdings an ein Phänomen, das

4. Pädagogischer Hintergrund

mit den bisherigen Konzepten nicht mehr zu erklären ist, so fällt es ihnen leichter, die neue Vorstellung zu nutzen (Kattmann et al., 1997). Nichtsdestotrotz ist es oft so, dass sie die physikalische Sicht verstehen, aber sie nicht wirklich glauben können. So kann beispielsweise in dem Kontext von Licht und Sehen verstanden werden, dass sich selbstleuchtende und nicht selbstleuchtende Gegenstände ähnlich verhalten. Innerlich verankert bleibt aber weiterhin die Vorstellung, dass nur selbstleuchtende Körper Licht aussenden, während die nicht selbstleuchtenden eine völlig andere Rolle übernehmen. (Duit, 2009)

Bei der inhaltlichen Klärung ist es wichtig, sich bewusst zu machen, dass der Inhalt „nicht allein um seiner selbst willen unterrichtet werden, sondern gewissermaßen ‚exemplarisch‘ etwas Allgemeines erschließen“ (Kattmann et al., 1997, S.8) soll. An einem Lerngegenstand soll mehr als nur etwas über das Einzelphänomen gelernt werden. Um dieses Allgemeine erfassen zu können, kann man sich der Elementarisierung bedienen. Diese kann als Konzentration auf das Wesentliche und eine Unterteilung des Lerninhalts in adressatengerechte Sinneinheiten verstanden werden. Dabei gibt es drei verschiedene Aspekte der Elementarisierung: Bei der *Vereinfachung* wird die Komplexität des Lerngegenstandes vermindert, die Abstraktheit verringert und soweit möglich Alltagserfahrungen mit einbezogen um den Zugang zu erleichtern. Die *Bestimmungen des Elementaren* bezeichnet einen Prozess, bei dem das Elementare als grundlegende Idee oder als Grundprinzip freigelegt wird. Es sollen allgemeine Gesetzmäßigkeiten erkannt werden können. Die Planung der Abfolge von einzelnen, aber miteinander zusammenhängenden Unterrichtseinheiten wird als die *Zerlegung in (methodische) Elemente* bezeichnet. Das Lernen wird als ein Aufbauvorgang gefasst, bei dem das Erreichen des Ziels nicht im ersten Anlauf gelingt, sondern einer sukzessiven Annäherung bedarf. (Bleichroth, 1991)

Schließlich bleiben noch die Kriterien festzuhalten, denen die didaktische Rekonstruktion gerecht werden muss: Die Erklärungsmuster müssen *fachgerecht* sein, also fachlich relevant und erweiterbar; sie müssen *schülerinnen- und schülergerecht* sein, also an die Alltagserfahrungen und das Vorverständnis der Schülerinnen und Schüler anknüpfen; und sie müssen *zielgerecht* sein, also der didaktischen Relevanz der jeweiligen Situation genügen (Kirchner, 2009).

In der konkreten Durchführung der didaktischen Rekonstruktion ist also darauf zu achten, sich auf Phänomen und Prinzip zu beschränken, experimentelle Veranschaulichungen zu finden und Entwicklungsstufen und Vorwissen der Lernenden einzubeziehen (Kirchner, 2009).

In Rahmen der vorliegenden Arbeit war eine umfassende Erfassung der Vorvorstellungen der Schülerinnen und Schüler zu dem Thema nicht möglich. Zu Beginn der Vortragseinheit wurde stattdessen versucht, das Vorwissen in dem gegebenen Moment abzufragen und darauf reagieren zu können.

4. Pädagogischer Hintergrund

4.3. Analogien in der Physikdidaktik

In dem *GPS-Modul* wurde ein Analogversuch gewählt, um den Schülerinnen und Schülern den Zugang zum Thema zu erleichtern, indem Alltagsvorstellungen von Geschwindigkeiten mit einbezogen wurden.

Analogien werden oft in der didaktischen Reduktion genutzt, um das Fachwissen verständlicher zu machen. So können Analogien als Lernhilfe dienen, um „schwierige und abstrakte Begriffe und Prinzipien verständlich zu machen“ (Duit, 1992, S.259).

Die Analogie ist dabei nach Wolfgang Manthei „die Ähnlichkeit, Übereinstimmung oder Entsprechung zwischen zwei oder mehr Objekten bezüglich ihrer Bestandteile und/oder ihrer Relation (Struktur) und/oder ihrer äußeren Funktionen bzw. ihrer Gesamtwirkungsweise“ (Manthei, 1992, S.250). Eine Analogie kann also auf der phänomenologischen, der strukturellen oder der funktionellen Ebene bestehen.

Legt man die Auffassung des Lernens als aktiven Konstruktionsprozess zugrunde, so wird neues in Anknüpfung an vorhandenes Wissen erworben. In diesem Zusammenhang kommt der Analogie eine große Bedeutung zu, da bereits Bekanntes als Brücke genutzt werden kann. Über eine Oberflächenähnlichkeit kann der Zugang erleichtert werden, aber wirklichen Nutzen können die Lernenden erst daraus ziehen, wenn die Ähnlichkeit sich auch strukturell zeigt. (Duit, 1992)

Bei der Nutzung von Analogien ist es wichtig, dass der Ausgangsbereich den Schülerinnen und Schülern ausreichend vertraut ist und dass sie nicht erst ein neues Themenfeld erlernen müssen aus dem anschließend Analogien gebildet werden können⁵. Außerdem muss die Passung zwischen Ziel- und Ausgangsbereich der Analogie geklärt werden: Bei welchen Elementen besteht eine Ähnlichkeit und welche Elemente sind tatsächlich relevant für das Verständnis?

Häufig werden Analogien von Schülerinnen und Schüler auch nur aktiv genutzt, wenn der zu erlernende Bereich ausreichend schwierig und neu ist. Die leistungsschwächeren Schülerinnen und Schüler brauchen meist mehr Unterstützung durch Analogien, die von der Lehrkraft vorstrukturiert sind; den leistungsstärkeren helfen die Analogien besser, die sie selber konstruiert haben. (Duit, 1992)

Analogien können neue Perspektiven eröffnen, die Umstrukturierung von Wissen erleichtern, das Verständnis von Abstraktem ermöglichen und nicht zuletzt können sie motivierend wirken.

⁵Ein klassisches Beispiel für eine in der Schule gebräuchliche Analogie ist die des Wasserkreislaufes mit dem Stromkreislauf. Häufig ist das benötigte Vorwissen nicht vorhanden. Da der vermeintlich bekannte Wasserkreislauf nur kurz angerissen wird und der Stromkreislauf dann auf diesen bezogen wird, findet in den meisten Fällen leider kein effektives Lernen statt (Duit, 1992).

5. Die Ausarbeitung des GPS-Moduls für den außerschulischen Lernort Light & Schools

Auf Grundlage des theoretischen Wissens über die Funktionsweise des Satellitennavigationssystems und aufbauend auf den pädagogischen Grundlagen war es nun meine Aufgabe, im Rahmen der Bachelorarbeit eine Einheit *GPS-Modul* für einen Besuch der Schülerinnen und Schüler im Schullabor Light & Schools zu konstruieren.

Ich werde im Folgenden auf die Konzeption und die Strukturierung des Moduls eingehen und den Evaluationsbogen vorstellen, den ich zur Auswertung durch die Schülerinnen und Schüler ausfüllen ließ. Anschließend werde ich von der Durchführung mit zwei verschiedenen Klassen berichten, insbesondere davon, wie die zu erwartenden Messfehler eingebunden werden konnten. Schließlich werde ich anhand der Evaluationsbögen und der eigenen Eindrücke zur Auswertung des Moduls kommen.

5.1. Konzeption des GPS-Moduls

Die Entwicklung des *GPS-Moduls* ist eingebettet in das Mittelstufenprojekt zur Themenreihe *Handy* im Schullabor Light & Schools. Die initiierte Idee zum Versuchsteil stammt dabei von der Light & Schools-Koordinatorin Dortje Schirok, die sich an einen entsprechenden Versuch des DLR_School_Lab anlehnt.

Der Aufbau des Moduls setzt sich aus verschiedenen Einheiten zusammen. Die einzelnen Einheiten unterscheiden sich dabei in der Art und dem Umfang der Beteiligung der Schülerinnen und Schüler und nach dem Ziel, das in dem jeweiligen Abschnitt erreicht werden soll.

Die prinzipielle Abfolge gestaltet sich folgendermaßen: Die Schülerinnen und Schüler werden in einem *Kurzvortrag* in das Thema ‚Satellitennavigation‘ eingeführt, wobei die wichtigsten Grundlagen diskutiert werden. Es folgt der *Analogversuch* im Freien, bei dem die Schülerinnen und Schüler ausgehend von drei bekannten Positionen und indirekten Streckenmessungen (Aufnahme der Geschwindigkeit und der benötigten Zeit) eine gesuchte Position ermitteln sollen. Bei dem Analogversuch war ihre Aufgabe, die zu messenden Größen aufzunehmen. Im *Rechenteil* werden die Ergebnisse ausgewertet und auf eine Karte übertragen. Anschließend wird bei der *Fehlerbesprechung* im Plenum über die Fehlerquellen der Schülerinnen und Schüler im Analogversuch und anschließend über diejenigen, die bei der Satellitennavigation beachtet werden müssen, gesprochen. Mit der Klasse des zweiten Versuchstages wurde anschließend noch eine *Schnitzeljagd* mit GPS-Empfängern veranstaltet.

5. Die Ausarbeitung des GPS-Moduls für den außerschulischen Lernort Light & Schools

Als Zielgruppe wurde die Klassenstufe 8 gewählt. In diesem Alter sollen die Jugendlichen laut dem Hamburger Bildungsplan Physik (2011) mit den Grundbegriffen und -definitionen der Geschwindigkeit vertraut sein. Daher soll das physikalische Hauptaugenmerk des Analogversuches auf der Ermittlung einer Strecke bei bekannter Geschwindigkeit und bekannter Laufzeit liegen. Aus der Kenntnis dreier Strecken zu einem Punkt soll anschließend geometrisch die gesuchte Position bestimmt werden.

Aus der fachlichen Perspektive der didaktischen Rekonstruktion wird also zunächst ein Idealmodell angenommen. Dieses soll so gestaltet sein, dass ein Ausbau zu einem späteren Zeitpunkt für die Schülerinnen und Schüler möglich ist. Daher wird das Signal als Black Box behandelt. So müssen die Schülerinnen und Schüler sich zu einem späteren Zeitpunkt nicht erst wieder von falschen Vorstellungen lösen.

Als zeitlicher Rahmen für einen Besuch zum *GPS-Modul* wird ein halber Tag angesetzt.

Ziel des Moduls ist es, das Interesse der Schülerinnen und Schüler an der Physik zu wecken bzw. zu festigen. Sie sollen in der Anwendung sehen können, wofür sie die Schulphysik gebrauchen können und das Gefühl bekommen, Hochtechnologie verstehen zu können.

Kurzvortrag

Der Kurzvortrag zu Beginn dient dazu, die Schülerinnen und Schüler mit dem Thema und Betreuende und Schülerinnen und Schüler miteinander vertraut zu machen. Wie in Abschnitt 4.2 dargelegt, ist es beim Lernvorgang wichtig, auf dem Vorwissen der Jugendlichen aufzubauen. Nachdem es bei Schullaboren in aller Regel nicht der Fall ist, dass die Lerngruppe in ihrer Zusammensetzung, mit ihren Besonderheiten und Vorwissen den Betreuenden bekannt ist, stellt dies also eine gewisse Herausforderung dar. Um damit konstruktiv umgehen zu können, ist der Kurzvortrag dialogisch geplant, es sollen Vorwissen und Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler einbezogen werden. Es soll kein Wissen präsentiert, sondern in Fragen auf ihre Gedanken und Ideen eingegangen werden. Zu diesem Zweck wurden Folien erstellt, die das Thema graphisch und ohne viel Text aufbereiten⁶. Zusätzlich habe ich auf Grundlage der Formatvorlage von Dortje Schirok ein Laborbuch erstellt, in dem die Informationen nochmal zusammengetragen sind. Die Schülerinnen und Schüler können vor Ort ihre Aufzeichnungen in das Laborbuch eintragen und zuhause die Einzelheiten des Gelernten nachlesen. Viele der in der Präsentation verwendeten Graphiken sind diesem Laborbuch entnommen⁷.

⁶Auch wenn sie ohne das gesprochene Wort nicht aussagekräftig sind, sind die Vortragsfolien der Vollständigkeit halber in Anhang A.1 auf Seite 42 zu finden.

⁷Das Laborbuch ist im Anhang A.2 auf Seite 47 zu finden, allerdings nur mit einer anstatt zwölf Seiten für die Notizen.

5. Die Ausarbeitung des GPS-Moduls für den außerschulischen Lernort Light & Schools

Inhaltlich ist die Einheit so aufgebaut, dass auf Begrüßung und Vorstellung von Light & Schools die Frage folgt, was die Schülerinnen und Schüler über GPS wissen. Es wurde (wie auf Seite 7 schon erwähnt) der Titel *GPS-Modul* gewählt, um einen Anknüpfungspunkt zu schaffen. Im Anschluss an die Antworten (oder auch um diese zu initiieren) werden die Einsatzgebiete vorgestellt und ein geschichtlicher Abriss eingeschoben um die Schülerinnen und Schüler dafür zu sensibilisieren, welche Umstände zur Entwicklung des GPS geführt haben und auch dafür, dass es weltweit noch andere Systeme gibt, die ähnlich arbeiten. Außerdem sollen hiermit auch Schülerinnen und Schüler angesprochen werden, die eher historisch interessiert sind.

Anknüpfend an die Elementarisierung (siehe Abschnitt 4.2), sollen die grundlegenden, notwendigen Bausteine der Satellitennavigation dialogisch herausgearbeitet werden. Es ist davon auszugehen, dass die Schülerinnen und Schüler die drei Komponenten Empfangsgerät, Sender (Satellit) und Signal selber einbringen können. Anschließend wird dargestellt, wie man sich die Satellitenkonstellation vorstellen kann und in welcher Höhe die Satelliten die Erde umkreisen. Diese Höhe wird zum Anlass genommen, um die Frage aufzuwerfen, wie lange das Signal von dem Satelliten zur Erde braucht. In diesem Zusammenhang wird das für die Schülerinnen und Schüler neue Konzept (zumindest in Bezug auf die vorgesehene Schulbildung) der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit sowie die gleichmäßige Signalausbreitung eingeführt. Anschließend wird das Wissen der Schülerinnen und Schüler über Geschwindigkeiten, die damit verbundenen Größen Zeit und Strecke und ihre Berechnungen wiederholt und erneut ins Bewusstsein gerufen.

Die Schülerinnen und Schüler sollen vor das Dilemma gestellt werden, dass mit der Information von nur einem Satelliten nur ausgesagt werden kann, dass man sich auf einer Kugeloberfläche befindet. Es ist dadurch noch keine eindeutige Ortsbestimmung möglich. Durch eigenes Nachdenken sollen sie darauf kommen, die Informationen weiterer Satelliten zu nutzen, um die Position als Schnittpunkt finden zu können.

Das Signal wird mehr oder minder als Black Box eingeführt. Die Betrachtung von Trägerfrequenz und aufmodulierten Informationen würde in einer 8.Klasse voraussichtlich zu Überforderung und damit Frustration führen. Zudem ist es für das grundsätzliche Verständnis nicht von Bedeutung. Die Schülerinnen und Schüler wissen von dem Signal also, dass es sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, dass eine Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger bestehen muss und dass es eine Information über die Sendezeit und über den Sendesatelliten und seine Position tragen muss.

5. Die Ausarbeitung des GPS-Moduls für den außerschulischen Lernort Light & Schools

Der Analogversuch im Freien

Der Versuch im Freien soll einen Analogversuch zur Satellitennavigation darstellen. Primäres Ziel ist es, durch eine Aufgabe, bei der die Schülerinnen und Schüler aktiv beteiligt sind, ihr Interesse zu steigern und dass sie durch die eigene Tätigkeit zu einem besseren Verständnis zu gelangen. Auch die Einbindung in eine soziale Gruppe, das gemeinsame Lösen einer Aufgabe, sowie der Spaß, den man dabei entwickeln kann, sollen zu mehr Interesse führen. Als Ansporn kann der Analogversuch als Wettbewerb bezeichnet werden, doch ob das zu mehr oder weniger Motivation führt, muss in der konkreten Situation von der oder dem Betreuenden erfasst werden.

Die Schülerinnen und Schüler arbeiten jeweils in Tandems zusammen und etwa 3-4 Tandems bilden eine Gruppe mit je einer oder einem Betreuenden.



Abb. 5: Geschwindigkeitsmesser: Konstruktion zum Halten einer konstanten Geschwindigkeit und dem Erfassen der benötigten Zeit mit Hilfe des angebrachten Tachometers.
Quelle: Eigenes Foto

Die Idee des Analogversuches ist, dass es drei bekannte Positionen im Gelände gibt, die durch Vermessungsstangen bzw. Kreidemarkierungen auf dem Boden gekennzeichnet sind. Diese stellen die Satelliten dar und sollen von den Jugendlichen auf die Karte übertragen werden (siehe dazu auch Anhang A.4 auf Seite 59). Anschließend wird für die zu ermittelnde Position ein Verkehrshütchen so positioniert, dass es von den anderen Positionen aus ohne Hindernis zu erreichen ist. Dieses Verkehrshütchen ist als Analogon zum GPS-Empfangsgerät zu sehen. Nun soll die Strecke zwischen den Vermessungsstangen und dem Verkehrshütchen ermittelt werden, indem die Zeit, die man mit einer konstanten Geschwindigkeit benötigt, gemessen wird. Um eine konstante, bekannte Geschwindigkeit zu halten, wird eine Konstruktion genutzt, die ich im Rahmen der Arbeit gebaut habe: Wie in Abbildung 5 zu sehen, wurde das Vorderrad eines Fahrrades in einer Radgabel mit einem Griff versehen, so dass man es gut schieben kann. Über ein angebrachtes Tachometer kann die Geschwindigkeit und die Laufzeit abgelesen werden. In dem Moment, in dem die Schülerinnen und Schüler mit die-

sem Rad die Strecke abgehen, sind sie also als analog zum Signal zu betrachten: Sie bewegen sich mit einer konstanten Geschwindigkeit geradlinig fort und übertragen eine Information über die benötigte Zeit.

5. Die Ausarbeitung des GPS-Moduls für den außerschulischen Lernort Light & Schools

Jede Strecke soll von jedem der Tandems mindestens zweimal erfasst werden, um später einen Mittelwert bilden zu können.

In diesem Teil soll darauf geachtet werden, von ‚Satelliten‘ und ‚Empfänger‘ oder ‚gesuchter Position‘ zu sprechen, damit die Beziehung zwischen dem Analogversuch und dem Satellitennavigationssystem im Bewusstsein bleibt. Außerdem soll so klar gestellt werden, dass die Schülerinnen und Schüler jederzeit wissen, was sie gerade tun. Außerdem ist es wichtig, die Differenz zwischen dem ‚Signal‘ im Analogversuch und bei der tatsächlichen Navigation deutlich zu machen, dass nämlich eine Messung der Geschwindigkeit nur notwendig ist, da sie im Analogversuch nicht bei allen Messungen den gleichen, konstanten Wert hat.

Rechenteil: die Ergebnisauswertung

Die Auswertung der Ergebnisse ist für eine tatsächliche Bestimmung der Position unabdingbar. Außerdem kann hier eine Vermittlung dessen stattfinden, wozu das in der Schule vermittelte Wissen nötig ist bzw. wo man es anwenden kann. Da das Tachometer die Geschwindigkeit in Kilometer pro Stunde anzeigt, die Zeit aber in Sekunden gemessen wird, müssen die Einheiten zu Beginn vereinheitlicht werden. Es bietet sich an, die Geschwindigkeit in Meter pro Sekunde umzurechnen, da auch die einzuzuzeichnende Strecke in der Größenordnung Meter liegt. Aus den so ermittelten Strecken soll ein Mittelwert gebildet und diese Länge nach einer Maßstabumrechnung in die Zeichnung eingetragen werden. Dabei fertigt jedes Tandem seine eigene Skizze an. Bleibt noch Zeit, so können die Tandems innerhalb ihrer Gruppe aus ihren Streckenmittelwerten wiederum einen Mittelwert bilden und diesen jeweils mit den eigenen Ergebnissen vergleichen. Nun kann schon in den einzelnen Gruppen darüber diskutiert werden, was die Ursachen dafür sein könnten, dass sich die eingezeichneten Kreise unter Umständen nicht schneiden.

Fehlerbesprechung: Diskussion über Fehler und Genauigkeiten

Nachdem die Schülerinnen und Schüler bei ihrer eigenen Arbeit mit einem Ergebnis mit eingeschränkter Genauigkeit konfrontiert worden sind, soll anschließend mit der Gesamtgruppe über die Fehlerquellen diskutiert werden. In diesem Zusammenhang sollen als mögliche Fehlerquellen bei der Satellitennavigation die Mehrwegeausbreitung, die Einflüsse der Atmosphäre auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit sowie Korrekturmöglichkeiten ausgeführt werden. Außerdem soll die Rolle der Kontrollstationen bei der genauen Positionsbestimmung der Satelliten thematisiert werden. Abschließend soll noch geklärt werden, wie eine Ortung möglich ist, wenn nur die Satelliten, aber nicht die Empfänger einen genauen Taktgeber haben, wie also mit dem Empfängeruhrenfehler umgegangen werden kann.

5. Die Ausarbeitung des GPS-Moduls für den außerschulischen Lernort Light & Schools

Schnitzeljagd

Zum Abschluss des Tages sollen die Schülerinnen und Schüler selber ein GPS-Gerät benutzen. Ziel dieser Einheit ist, dass die Schülerinnen und Schüler ihre Fähigkeit im Umgang mit technischen Geräten schulen, also eine Gerätekompetenz entwickeln können (Hamburger Bildungsplan Physik, 2011). Außerdem soll die Handhabung des GPS-Gerätes sie zum Abschluss des Tages noch einmal emotional ansprechen. Die Idee einer Schnitzeljagd kam dabei erst vor dem Besuch der zweiten Klasse. Am ersten Versuchstag stand nur ein GPS-Gerät zu Verfügung und die Jugendlichen sollten zum Ende frei die verschiedenen Funktionen ausprobieren dürfen. Unter anderem kann bei dem verwendeten Gerät angezeigt werden, von welchen Satelliten derzeit Signale empfangen werden und wie sich die momentane Konstellation gestaltet. Dabei können sowohl GPS-, als auch GLONASS-Satelliten beobachtet werden.

Am zweiten Versuchstag sollen die Schülerinnen und Schüler mittels des GPS-Geräts zuerst die Position ihres Verkehrshütchen bestimmen und mit der von ihnen ermittelten Position vergleichen und anschließend mit gegebenen Koordinaten einen Punkt auf dem Gelände und dort einen ‚Schatz‘ finden. Dieser Teil soll dazu dienen, dass sie erfahren können, was für eine Wirkung das von ihnen Erlernte haben kann. Außerdem findet der Tag im Schullabor einen Abschluss, bei dem sie emotional beteiligt werden.

Damit die Schülerinnen und Schüler nicht ‚einfach nur die Zahlen in das GPS-Gerät eingeben‘, ist es notwendig, an dieser Stelle zu besprechen, was mit Koordinaten ausgedrückt werden kann. Dazu werden die Bedeutung der geographische Länge und Breite wiederholt. Anschließend dürfen die Schülerinnen und Schüler zur ‚Schnitzeljagd‘ aufbrechen.

5.2. Entwicklung eines Evaluationsbogens

Am Ende der Versuchstage sollen die Schülerinnen und Schüler jeweils einen Evaluationsbogen ausfüllen. Das soll dazu dienen, zu erfahren, ob die Veranstaltung allgemein von der Zielgruppe angenommen wird, ob die einzelnen Teile ihre Wirkung so entfalten, wie es geplant ist und soll nicht zuletzt auch zu Verbesserung führen.

Bei der Erstellung des Evaluationsbogen (siehe Anhang A.6 auf Seite 62) habe ich mich an der Formatvorlage von Dortje Schirok orientiert. Er besteht aus zwei offenen Fragen („Mir hat heute besonders gut gefallen“ und „Mir hat heute nicht so gut gefallen“) und aus geschlossenen Fragen, bei denen die Schülerinnen und Schüler zuordnen sollen, wie sehr sie einer Aussage zustimmen können. Die Auswahlmöglichkeit reicht von 1 (stimmt voll und ganz) bis 6 (stimmt gar nicht).

5. Die Ausarbeitung des GPS-Moduls für den außerschulischen Lernort Light & Schools

Der erste Block (1-6) besteht aus Aussagen, die eine Grundstimmung der Schülerinnen und Schüler abfragen und einer Legitimation des Moduls gelten, im zweiten Block (9-15) werden einzelne Merkmale differenzierter und auch mit Hinblick auf eine Veränderung bzw. Verbesserung betrachtet. Vor dem zweiten Versuchstag wurde der Bogen im zweiten Block leicht modifiziert, um die vorgenommene Veränderung im Ablauf erfassen zu können.

Die Aussage 1 („Ich habe heute etwas Neues gelernt.“) bezieht sich auf den Wissenszuwachs der Jugendlichen. Sie soll dazu dienen, das Niveau der Veranstaltung abschätzen zu können: Fällt die Antwort überwiegend ablehnend aus – ist also vieles von dem Wissen schon vorhanden –, so ist zu überlegen, wie das Modul verändert werden könnte, um die Schülerinnen und Schüler nicht zu langweilen. Es ist wichtig, dass sie im Schullabor die Möglichkeit bekommen, nicht nur Schulstoff zu wiederholen, sondern neue und spannende Seiten der Physik kennenzulernen.

Die Aussagen 2 („Ich glaube, ich habe verstanden, wie GPS funktioniert.“) und 3 („Ich denke, ich kann jemand anderem erklären, wie GPS funktioniert.“) fragen gestuft nach dem Zutrauen der Schülerinnen und Schüler in ihre eigenen Fähigkeiten und damit auch nach dem Kompetenzerleben, welches ein wichtiger Faktor zur Interessensbildung ist. Fallen hier die Antworten bei den meisten ablehnend aus, so ist davon auszugehen, dass das Niveau zu hoch war und einfachere Erklärungsmuster gefunden werden müssen.

In der Aussage 4 („Ich fand die Veranstaltung interessant.“) wird unmittelbar danach gefragt, ob die Veranstaltung als interessant wahrgenommen wurde, um zu einer direkten Einschätzung der Schülerinnen und Schüler zu kommen und sie mit den anderen Aussagen vergleichen zu können.

Etwas indirekter wird das Interesse und auch eine allgemeine Zustimmung in den Aussagen 5 („Ich würde gerne zu einem anderen Versuch von Light & Schools kommen.“) und 6 („Ich würde einer Freundin oder einem Freund das GPS-Projekt empfehlen.“) abgefragt. Sind die Schülerinnen und Schüler von dem Versuchstag so begeistert, dass sie gerne mehr erfahren würden oder stellt dieser Tag eher nur eine nette Alternative zur Schule dar?

Den zweiten Block habe ich erstellt, um tatsächlich nach dem ersten Versuchstag, falls notwendig, Veränderungen vornehmen zu können und die Ergebnisse der ersten und der zweiten Versuchsklasse miteinander vergleichen zu können. Auch die Gesamtkonzeption und ihre Stimmigkeit sollen nochmal grundlegend überprüft werden, um Tendenzen für eine längerfristige Verbesserung ableiten zu können.

Die Aussage 9 („Den Vortrag/Die Vorträge fand ich interessant.“) bezieht sich auf das Interesse am Vortrag, also speziell an der Theorie, die die Satellitennavigation möglich macht. Die Zustimmung bzw. Ablehnung der Schülerinnen und Schüler stellt auch ein Maß für die Vortragsqualität und die Art und Weise, wie der oder die Vortragende sich präsentiert, dar, da

5. Die Ausarbeitung des GPS-Moduls für den außerschulischen Lernort Light & Schools

das Interesse in gewissem Maße auch davon abhängt, wie begeisterungsfähig die Rednerin oder der Redner ist. Diese Frage wurde vom ersten zum zweiten Versuchstag leicht verändert. Am ersten Tag war die Frage nach dem Vortrag im Singular. Am zweiten Tag wurde dem Umstand Rechnung getragen, dass der Anfangsvortrag sich in zwei Teile aufspaltete, der erste Teil fand vor und der zweite Teil nach dem Analogversuch statt (siehe auch Abschnitt 6.2).

Die Aussage 10 („Der Vortrag zu Beginn hat mir geholfen, GPS im Gelände nachzustellen.“) soll zu einer nachträglichen Einschätzung des Niveaus der Schülerinnen und Schüler dienen und fragt nach der Verständlichkeit des theoretischen Teils. Antworten können einen Hinweis darauf liefern, ob die didaktische Rekonstruktion in dem Maße geglückt ist, wie es beabsichtigt war.

Die Aussage 11 („Der Anfangsvortrag und der Versuch im Freien haben gut zusammengepasst.“) bezieht sich auf die Passung zwischen dem Analogversuch und der Theorie. Wird ausreichend deutlich, welche Komponenten sich analog zueinander verhalten und wie der Analogversuch in Beziehung zur Satellitennavigation steht? Ist dies nicht der Fall, so kann mit einem Interessenseinbruch gerechnet werden, da nicht klar ist, welchem Ziel der Analogversuch dient.

Die Aussage 11a („Der zweite Vortrag hat mir beim Verständnis von GPS geholfen.“) befindet sich nur in dem Evaluationsbogen der zweiten Versuchsklasse. Es soll erfasst werden, wie die Modifikation des Konzeptes von den Schülerinnen und Schülern wahrgenommen wird und ob ein besseres Verständnis erzielt werden kann.

Die Aussage 12 („Mir hat es gefallen, das wir im Freien gearbeitet haben.“) schließt eine Rechtfertigung des Analogversuches in der derzeitigen Form mit ein. Es wird nach der emotionalen Zustimmung als Hinweis auf ein Interesse der Schülerinnen und Schüler gefragt.

Ob der Analogversuch zum Verständnis beiträgt, oder ob eher lernhinderlich ist, soll mit der Aussage 13 („Nach dem Versuch draußen habe ich besser verstanden, wie GPS funktioniert.“) überprüft werden. Hier ergibt sich allerdings das Problem, dass eine überwiegende Ablehnung auch bedeuten kann, dass das Verständnis schon vor der Durchführung des Analogversuches vorhanden war und der Analogversuch aus diesem Grund nicht als hilfreich eingestuft worden ist. Es kann also nicht festgestellt werden, ob die Ablehnung daraus resultiert, dass hinterher kein Verständnis vorhanden war oder vorher schon in ausreichendem Maße.

Die beiden letzten Aussagen nehmen nochmal Facetten des Interesses in den Fokus: In Aussage 14 („Die Zusammenarbeit in meiner Gruppe hat mir gut gefallen.“) wird nach der Einbindung in ein soziales Gefüge und den damit verbundenen Emotionen gefragt, in Aussage 15 („Die Arbeitsanweisungen waren klar und verständlich.“) dagegen nach dem Kompetenzerleben der Schülerinnen und Schüler. Erhalten sie die Hilfe, die sie benötigen? Die letzte Aussage liefert eine Rückmeldung an die einzelnen Betreuenden und kann zu einer Verbesserung führen.

6. Durchführung des GPS-Moduls bei Light & Schools

Bezugnehmend auf den Abschnitt 5.1 werde ich nun den tatsächlichen Hergang an den beiden Versuchstagen beschreiben und auf Abweichungen vom geplanten Ablauf und Unterschiede an den beiden Tagen eingehen.

Zur Teilnahme an den Versuchstagen haben sich zwei 8.Klassen verschiedener Hamburger Gymnasien bereit erklärt. Die Hälfte der Klasse nahm an dem *GPS-Modul* teil, die andere an dem Versuch zum LC-Display. Am ersten Versuchstag waren in der GPS-Gruppe 14 Schülerinnen und Schüler, am zweiten Versuchstag waren es 12.

6.1. Versuchstag 1

Am ersten Versuchstag standen drei Stunden für das *GPS-Modul* zur Verfügung. Die Schülerinnen und Schüler haben im Vorwege selber gewählt, wer an welchem Modul (LC-Display oder GPS) teilnehmen möchte. Dies kann ein Hinweis darauf sein, dass sie sich schon selbstständig mit dem Thema auseinandergesetzt haben. Einige in der GPS-Gruppe konnten tatsächlich von ihrem Vorwissen berichten. Hier war die Aufgabe, es so zu bündeln und so nachzufragen, dass sie auch ihre Mitschülerinnen und -schüler an ihrem Wissen teilhaben lassen konnten. Im *Kurzvortrag* konnten, aufbauend auf dem vorhandenen Vorwissen, die Grundlage geklärt werden.

Für den anschließenden *Analogversuch* wurde die Gruppe in Tandems aufgeteilt. Drei Tandems gingen zur Messung auf den Parkplatz vor dem CFEL-Gebäude⁸, vier Tandems machten ihre Messungen auf der Rasenfläche zwischen den Gebäuden des ILP⁹ und des ZOQ¹⁰. Die Schülerinnen und Schüler bekamen die Karten, die Vermessungsstangen bzw. Kreide, das Verkehrshütchen und die Materialien zur Geschwindigkeits- sowie Zeitmessung ausgehändigt. Aufgrund der Karte entschieden sie gemeinsam in ihrer Kleingruppe, an welchem Ort sie die Vermessungsstangen bzw. Kreidemarkierungen am günstigsten platzieren könnten. Anschließend wurde das Verkehrshütchen positioniert. Um die Jugendlichen zu motivieren, wurde in der einen Gruppe ein Wettbewerb ausgerufen, wer die Position am genauesten bestimmen könnte. Die Datenaufnahme erforderte einige Geduld: Es musste geübt werden, mit einer konstanten Geschwindigkeit zu laufen. Außerdem gab es Tandems, die sich zwar die Daten notierten, aber hinterher den einzelnen Punkten nicht mehr zuordnen konnten und deswegen die Daten nochmal aufnehmen mussten.

Im Anhang A.5 auf Seite 61 sind zwei Schüler bei der Aufnahme der Messdaten zu sehen. Außerdem ist dort auch die Auswertung der Ergebnisse fotografisch festgehalten.

⁸Gebäude des ‚Center for Free-Electron Laser Science‘.

⁹Institut für Laserphysik.

¹⁰Zentrum für Optische Quantentechnologie.

6. Durchführung des GPS-Moduls bei Light & Schools

In dieser Phase gab es eine gute Möglichkeit, auf die Bedürfnisse der einzelnen Schülerinnen und Schüler eingehen zu können und etwas mehr Hilfestellung zu geben oder weiterreichendere Informationen mit ihnen im Gespräch zu entwickeln.

Einzelne Schülerinnen und Schüler entdeckten auf dem Tachometer die Möglichkeit, sich die Strecke direkt anzeigen zu lassen. Doch nach einem Gespräch über die erreichbare Genauigkeit (die Strecke wurde auf eine Genauigkeit von $\pm 10m$ angezeigt; die Gesamtstrecke betrug ca. $20m$), sahen sie ein, dass die Variante, die Strecke so zu ermitteln, nicht erfolgreich sein würde.

Im *Rechenteil*, also der anschließenden Auswertung mit Taschenrechner, Zirkel und Lineal, benötigten die Schülerinnen und Schüler wieder unterschiedlich viel Hilfestellung, die sie in den Kleingruppen bekamen.

Didaktische Einbindung der Messfehler

Schon im *Rechenteil* konnte mit einigen Tandems in der Kleingruppe über mögliche Fehlerquellen gesprochen werden. Dabei konnten die Schülerinnen und Schüler selber Einflüsse nennen. So konnte beispielsweise die Geschwindigkeit in vielen Fällen nicht konstant gehalten werden. Außerdem war auch die Zeitmessung nicht immer exakt. Mit etwas Hilfe konnten sie die resultierenden Fehler abschätzen und mit den Mittelwerten ihrer Werte vergleichen. Nachdem in diesem Sinne über die Fehler gesprochen worden war, wurden Ergebnisse, bei denen sich tatsächlich alle drei Kreise in einem Punkt schnitten, von den Schülerinnen und Schülern gegenseitig als unwahrscheinlich bezeichnet. Außerdem war interessant zu beobachten, dass es für sie einsichtig war, warum die Tandems den Mittelwert ihrer Ergebnisse bilden sollten, aber dass ihnen nicht deutlich war, was es für einen Mehrwert hätte, wenn auch noch über die Ergebnisse der gesamten Gruppe gemittelt würde. Insgesamt konnte aber eine Sensibilisierung der Schülerinnen und Schüler gegenüber dem Thema Messfehler erreicht und sie konnten zum eigenständigen Denken und Suchen nach möglichen Ursachen angeregt werden. Außerdem konnte der folgenden *Fehlerbesprechung* über die Ursachen und Möglichkeiten der Behebung in der Satellitennavigation eine andere Bedeutung beigegeben werden.

6.2. Versuchstag 2

Für die Gruppe, die am zweiten Versuchstag kam, stand etwas mehr Zeit als am ersten Versuchstag zur Verfügung (insgesamt 4 Stunden). Die Schülerinnen und Schüler dieser Gruppe wurden nach Losverfahren dem Versuch zum LC-Display oder dem *GPS-Modul* zugeordnet.

Aus der Rückmeldung auf den Evaluationsbögen und den eigenen Eindrücken zum ersten Versuchstag wurde die Struktur etwas umgestellt. Die Schülerinnen und Schüler sollten mehr zum

6. Durchführung des GPS-Moduls bei Light & Schools

eigenständige Arbeiten kommen. Der Beginn gestaltete sich ähnlich wie in der Gruppe am ersten Versuchstag, allerdings wurde im *Kurzvortrag* gemeinsam nur besprochen, wie aus bekannter Geschwindigkeit und Zeit eine Strecke bestimmt werden kann. Die Möglichkeit, von drei bekannten Positionen mit drei bekannten Strecken die gesuchte Position finden zu können, wurde nicht mehr angesprochen, darauf sollten die Schülerinnen und Schüler in dem *Analogversuch* selber kommen können. Das hatte zu Folge, das der *Analogversuch*¹¹ sich etwas verlängerte, da die Schülerinnen und Schüler selber überlegen mussten, wie sie die gesuchte Position am besten ermitteln könnten und kein vorgegebenes Muster hatten, dem sie folgen konnten. Nach einigem Überlegen und Beratschlagen untereinander kamen sie auf die Lösung und konnten ihre Messungen durchführen. Der *Rechenteil* gestaltete sich ähnlich wie am ersten Versuchstag. Aufgrund der Erfahrung hatte ich zusätzlich zu dem Laborbuch für die Schülerinnen und Schüler eine Hilfe für die Umrechnung der Geschwindigkeit und des Maßstabs erstellt (siehe Anhang A.3 auf Seite 58). In der *Fehlerbesprechung* wurde zu Beginn nach dem Lösungsweg der Schülerinnen und Schüler im *Analogversuch* gefragt, um sicher zu gehen, dass alle eine Vorstellung davon haben, wie die Ortung mithilfe der drei Satelliten funktionieren kann. Anschließend wurde auf den Empfängeruhrenfehler und die Lösung sowie auf die Fehler der Schülerinnen und Schüler im Analogversuch und die Einflussfaktoren bei der Satellitennavigation eingegangen.

Es folgte die *Schnitzeljagd*: Die Tandems sind innerhalb ihrer Gruppen mit einem GPS-Gerät zu ihrem Verkehrshütchen gegangen. Die Koordinaten dieser Position sollten vom GPS-Gerät abgelesen werden und mit denen auf der Karte verglichen werden. Die Schülerinnen und Schüler konnten sich in diesem Kontext mit der Genauigkeit der Satellitennavigation und den Geräten vertraut machen. Anschließend bekam jedes Tandem die Koordinaten zu seinem ‚Schatz‘ mitgeteilt und musste nur mithilfe des GPS-Gerätes selbstständig dorthin finden. Dies gelang den meisten Tandems sehr gut und stellte einen gelungenen Abschluss des Vormittages dar.

¹¹Der *Analogversuch* fand ebenfalls an den beiden oben genannten Plätzen statt, in jeder Kleingruppe waren je drei Tandems.

7. Auswertung der beiden Versuchstage des GPS-Moduls bei Light & Schools

Im Folgenden möchte ich auf die beiden Versuchstage zurückblicken und herausarbeiten, was positiv aufgenommen worden ist, welche Hauptkritikpunkte waren und wo Verbesserungen nötig sind. Ich werde mich dabei zum einen auf die Evaluationbögen der Teilnehmenden stützen, zum anderen aber auch meine persönlichen Eindrücke diskutieren.

7.1. Diskussion der Evaluationen

26 Schülerinnen und Schüler sind für eine statistische Auswertung nicht ausreichend, es lassen sich in den Antworten jedoch Tendenzen feststellen. Ich werde die einzelnen Antworten zu einer Frage summativ betrachten. In Lehr-Lern-Kontexten ist eine Vielzahl der Faktoren von allen Beteiligten abhängig, nicht zuletzt auch vom Auftreten und Charakter der Lehr- oder Betreuungsperson. Im gegebenen Rahmen war es nicht möglich, die einzelnen Abhängigkeiten zu betrachten.

Ich werde nun zunächst auf einige der Rückmeldungen des ersten Versuchstages eingehen, anschließend auf die des zweiten Tages. Im Anhang A.7 auf Seite 64 sind die Antworten der Schülerinnen und Schüler auf die geschlossenen Fragen in Histogrammen dargestellt.

7.1.1. Geschlossene Fragen Versuchstag 1

Die große Mehrheit der Schülerinnen und Schüler hat angegeben, an diesem Tag etwas Neues gelernt zu haben (Frage 1). Der Aussage nach dem Wissenszuwachs (Frage 2 und 3) hat auch ein Großteil zugestimmt, allerdings zeigt sich hier, wie zu erwarten, eine Stufung: Die Teilnehmenden trauen sich eher zu, das Thema selbst verstanden zu haben, als es jemand anderem zu erklären. Zum Interesse lässt sich folgendes festhalten: Es gab bei den Fragen danach, ob die Schülerinnen und Schüler selbst noch einmal wiederkommen wollen (Frage 5) oder einem anderen Menschen das Projekt empfehlen würden (Frage 6) ein breites Spektrum an Antworten. In Frage 4, in der direkt danach gefragt wird, ob die Veranstaltung als interessant wahrgenommen wurde, gibt es zwar keine Antwort im Bereich 5 oder 6, dafür sind hier die meisten Antworten bei 3 zu finden. Die Gesamtveranstaltung wurde also als mäßig interessant bewertet, der Vortrag hingegen (Frage 7) wurde als interessanter empfunden.

Auf große Zustimmung der Schülerinnen und Schüler traf die Versuchsgestaltung im Freien (Frage 12) und die Unterstützung des Analogversuches durch das Wissen des Anfangsvortrags

7. Auswertung der beiden Versuchstage des GPS-Moduls bei Light & Schools

(Frage 10). Zum Verständnis selber hat der Analogversuch hingegen nicht viel beigetragen (Frage 13). Die Passung zwischen Analogversuch und Vortrag (Frage 11) wurde als mäßig gelungen bewertet. Die Zusammenarbeit in der Gruppe (Frage 14) wurde, wie auch die Verständlichkeit der Arbeitsanweisungen (Frage 15), überwiegend als positiv bewertet.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass die meisten Schülerinnen und Schüler an dem Tag etwas Neues gelernt haben, es also keine Wiederholung eines Schulstoffs war. Auch zeigten sie überwiegend ein Interesse am Vortrag und der Theorie. Der Analogversuch hat den meisten zwar Spaß gemacht, aber viel gelernt haben sie dabei nicht, da die Verknüpfung zwischen Analogversuch und Vortrag leider nicht deutlich genug war. Zukünftig gilt es also zu beachten, dass die Analogien deutlicher gemacht werden. Welches Versuchsobjekt entspricht welchem Objekt bei der Satellitennavigation? Möglicherweise ist es dabei wichtig, die einzelnen Geräte explizit immer mit den Begriffen aus der Satellitennavigation zu bezeichnen, also im Analogversuch konsequent nicht von Vermessungsstangen sondern von Satelliten zu sprechen.

7.1.2. Offene Fragen Versuchstag 1

In den offenen Fragen wurde als Element, welches den Schülerinnen und Schülern besonders gut gefallen hat, das Öffnen der Analogversuch genannt. Auch wenn der Nutzen für das Verständnis verhalten ist, so ist derjenige für die Motivation und die Interessenssteigerung der Schülerinnen und Schüler nicht zu unterschätzen. Ebenfalls als gut gelungen wurde der Vortrag genannt und „dass ich verstanden habe wie GPS funktioniert.“¹² Das, was den Schülerinnen und Schülern nicht so gut gefallen hat, weist ein etwas weiteres Spektrum auf: „So viel rechnen“, „es wurde auch nicht interessant gestaltet da es viel zu viel schriftlich gab“, „warten auf die anderen“, „es war etwas zu lang“, „es war wenig Spannung drin“, „außerdem haben wir nichts am GPS Gerät selbst gemacht“, „es wurden viele unnötige Dinge erklärt die man auf dem Gymnasium wissen sollte“. Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass einerseits das schriftliche Rechnen abgelehnt wurde, dass die Zeiten in denen auf die anderen Gruppenmitglieder gewartet wurde, nicht sinnvoll gefüllt werden konnte, dass die Schülerinnen und Schüler sich gewünscht hätten ein GPS-Gerät zu nutzen und dass (zumindest) ein Schüler sich unterfordert gefühlt hat. Darauf wurde bei der Umgestaltung des Konzepts für den zweiten Versuchstag Rücksicht genommen. Einerseits wurde eine Umrechnungshilfe erstellt, so dass diejenigen, die sie benötigen, sie nutzen können, aber es nicht zu einer Wiederholung für alle kommen muss. Damit sollte auch dem Frust bei dem als langwierig empfundenen Rechnen vorgebeugt werden. Außerdem wurden

¹²Falls nicht anders angegeben, wurden dieses und die kommenden Zitate der Schülerinnen und Schüler so übernommen, wie sie gegeben worden sind.

7. Auswertung der beiden Versuchstage des GPS-Moduls bei Light & Schools

weitere GPS-Geräte besorgt und eine Einheit konzipiert, in der die Schülerinnen und Schüler diese selbstständig nutzen sollten. Der als zu wenig empfundenen Spannung sollte dadurch begegnet werden, dass die Schüler in dem Analogversuch selber die Lösung finden sollten und nicht nur nachstellen, was sie kurz vorher gehört hatten. Und für die Wartezeitüberbrückung sollten sich die Betreuenden vornehmen, den Schülerinnen und Schülern an Leerlaufstellen noch mehr Möglichkeiten zum Weiterdenken anzubieten.

7.1.3. Geschlossene Fragen Versuchstag 2

Die Rückmeldung des zweiten Versuchstages ist etwas ablehnender ausgefallen als die des ersten: Es gaben weniger Schülerinnen und Schüler an, etwas Neues gelernt zu haben (Frage 1), allerdings ist auch das Zutrauen in die eigene Fähigkeit und der Wissenszuwachs (Frage 2 und 3) insgesamt niedriger ausgefallen, aber auch breiter gestreut. Die Gesamtveranstaltung (Frage 3-6) und insbesondere die Vorträge (Frage 9) stießen nicht auf großes Interesse. Ein erwartbares Ergebnis liefert die Aussage 10, bei der nach der Hilfe des ersten Vortrags zur Versuchsdurchführung gefragt wurde. Da am zweiten Versuchstag explizit darauf verzichtet wurde, die Lösung vor dem Analogversuch zu nennen, überrascht es hier nicht, dass die Schülerinnen und Schüler hier eine eher negative Bewertung abgeben. Der Nutzen des zweiten Vortrags (Frage 11a) hingegen wurde von vielen als hoch eingestuft, der Nutzen des Analogversuches selber hingegen als mäßig (Frage 13). Die Arbeit im Freien (Frage 12) und in der Gruppe (Frage 14) wurde als positiv bewertet.

Für den zweiten Versuchstag lässt sich zusammenfassend also festhalten, dass die meisten Schülerinnen und Schüler mehr Interesse an dem Selber-Tätigsein zeigten, als an der Theorie. Da der theoretische Inhalt im *Kurzvortrag* und in der *Fehlerbesprechung* ähnlich gehalten wurde, wie am ersten Versuchstag und nur die Reihenfolge etwas umgestellt wurde, ist es bemerkenswert, dass dieses Ergebnis so anders ausfällt, als bei der Klasse des ersten Versuchstages.

Zum Vergleich der Klassen der beiden Versuchstage untereinander lässt sich noch Folgendes festhalten: In den halben Klassen, die jeweils zeitgleich an dem Versuch zum LC-Display teilgenommen haben, wurden ebenfalls Evaluationsbögen verteilt. Aufgrund dessen, dass die Veranstaltung einen anderen Inhalt hat und auf diesen in den Bögen jeweils speziell eingegangen wird, unterscheiden sich die beiden Bögen. Nichtsdestotrotz kann man eine Tendenz feststellen, wenn man die Antworten der Schülerinnen und Schüler auf den Bögen vergleicht. Da der Versuch zum LC-Display bei beiden Tagen gleich durchgeführt wurde, erlaube ich mir, diese Daten als Referenzwert zu nehmen und daraus eine Charakteristik für die Klasse ablesen zu können. So fällt auf, dass die Klasse des zweiten Versuchstages das LC-Display sehr viel zurückhaltender und

7. Auswertung der beiden Versuchstage des GPS-Moduls bei Light & Schools

kritischer beurteilt als die Klasse des ersten Versuchstages. Die Bewertung der zweiten Klasse war breiter gestreut und es wurden im Verhältnis öfter Bewertungen von 5 oder 6 abgegeben.

Ausgehend von diesen Informationen nehme ich an, dass der Grund für die negativere Bewertung des *GPS-Modul* der Klasse des zweiten Versuchstages zu einem gewissen Teil in der Klassenstruktur zu finden ist.

7.1.4. Offene Fragen Versuchstag 2

Am zweiten Versuchstag hat den meisten Schülerinnen und Schülern die ‚Schnitzeljagd‘ und auch ‚das wir selbst das GPS benutzen konnten‘¹³ besonders gut gefallen. Auch der Analogversuch und die ‚freie Arbeit‘ stießen auf Zustimmung. Folgendes hat ihnen nicht so gut gefallen: ‚die Vorträge waren etwas zu langatmig‘, ‚es wurde etwas zu viel ins kleinste detail geredet‘ und ‚das wir die Gruppen geteilt haben‘. Vermutlich bezieht sich die letzte Aussage darauf, dass die Hälfte der Klasse an dem Versuch zum LC-Display teilnahm und die Schülerinnen und Schüler nach Los zugeteilt worden sind.

7.2. Reflexion persönlicher Eindrücke der Versuchstage

Ergänzend zu den Antworten der Schülerinnen und Schüler sollen hier nun einige persönliche Eindrücke der beiden Versuchstage aufgeführt werden. Zu Beginn bleibt festzuhalten, dass die beiden Klassen sehr unterschiedlich wirkten. Die Klasse des zweiten Versuchstages war insgesamt auf mehr Hilfestellung angewiesen und wirkte etwas passiver.

Der *Kurzvortrag* zu Beginn konnte nach meinem Eindruck das Interesse der meisten Schülerinnen und Schüler erreichen. Am ersten Versuchstag hatten sie am Ende dieser Einheit einen Überblick darüber, wie das Prinzip der Satellitennavigation funktioniert. Dieser ‚Höhepunkt‘ fehlte am zweiten Tag und stattdessen wurden die Schülerinnen und Schüler mit der Frage nach der Funktionsweise in den *Analogversuch* entlassen. Sie sollten selbsttätig die Lösung herausfinden, was vermutlich dazu führte, dass die Spannung im *Kurzvortrag* fehlte.

Bei dem *Analogversuch* schienen die meisten Schülerinnen und Schüler mit Spaß dabei zu sein. Am ersten Versuchstag fehlte hier allerdings etwas der Spannungsbogen, da der Analogversuch nur eine Reproduktion des vorhergehend präsentierten Wissens war. Außerdem konnte den Teilnehmenden kein Autonomiegefühl bei der Versuchsgestaltung vermittelt werden, da sie schon wussten, welches die richtige Lösung zu sein hat. Am zweiten Versuchstag wiederum waren viele Schülerinnen und Schüler zu Beginn verunsichert und taten sich schwer damit.

¹³Dieses wie auch die folgenden Zitate sind, soweit nicht anders angegeben, so von den Schülerinnen und Schülern geäußert worden.

7. Auswertung der beiden Versuchstage des GPS-Moduls bei Light & Schools

Während der Durchführung und zum Ende des Versuches machten die meisten den Eindruck, dass sie das Prinzip verstanden hatten. Es fiel ihnen allerdings schwer, diese Erkenntnis auf die Satellitennavigation zu übertragen. Es ist also wichtig, hier vermehrt darauf zu achten, dass die Analogiebeziehungen deutlich werden.

Der *Rechenteil* wurde von vielen Schülerinnen und Schülern zu Beginn eher widerwillig bewältigt. Doch nachdem die ersten Kreise gezeichnet worden waren und sie tatsächlich die gesuchte Position auf der Karte ablesen konnten, stellte sich bei vielen ein Erfolgserlebnis ein. Der Ansatz, alle Schülerinnen und Schüler mitzunehmen, soll weiter bestehen bleiben. Für die Betreuenden der Kleingruppen bedeutet das, möglichst noch individueller auf die Bedürfnisse der Einzelnen einzugehen. Dieser Spagat ist nicht immer ganz einfach und sollte durch die Umrechnungshilfe am zweiten Versuchstag erleichtert werden. Die Hilfe wurde von vielen Schülerinnen und Schülern gerne angenommen. Nach einer anfänglichen Fehlerbesprechung am Tisch, wurden die Zeichnungen bei denen sich die drei Kreise in einem Punkt schnitten als unwahrscheinlich und realitätsfern abgetan. Vermutlich spielt es hier eine Rolle, dass das Finden der richtigen Position als Wettbewerb bezeichnet wurde und die Schülerinnen und Schüler deswegen an der vermeintlich besten Lösung einen Makel finden mussten. Auch dass ihnen nicht einsichtig war, welchen Vorteil eine Mittelwertbildung der gesamten Kleingruppe bringen würde, führe ich auf den Wettbewerbscharakter zurück.

Zu Beginn der *Fehlerbesprechung* wurde die Klasse des zweiten Versuchstages nach ihren Lösungswegen des Analogversuches gefragt. Diese konnten sie erläutern, doch es bedurfte der Hilfe, damit sie dieses Wissen mit der Satellitennavigation abgleichen und so das Prinzip der Positionsbestimmung verstehen konnten. An beiden Versuchstagen konnten die Schülerinnen und Schüler gut die Fehlerquellen der eigenen Messungen reflektieren. Auch die Fehler der Satellitennavigation konnten sie nachvollziehen. Allerdings merkte ich, dass bei vielen Schülerinnen und Schülern die Konzentration zu diesem Zeitpunkt sank. Vielleicht ist es daher von Vorteil, wenn etwas weniger Einflussfaktoren betrachtet werden, diese aber etwas intensiver mit den Schülerinnen und Schülern diskutiert werden.

Außerdem entschloss ich mich aufgrund der fehlenden Konzentration am zweiten Tag, den theoretischen Teil über die geographische Länge und Breite stark zu kürzen und lieber in den Kleingruppen gezielt auf Nachfragen einzugehen.

Auf einem GPS-Gerät sollten die Schülerinnen und Schüler zum Schluss und Abschluss des Tages selbst die verschiedenen Möglichkeiten ausprobieren können. Es war am ersten Versuchstag schnell klar, dass ein Gerät nicht für eine halbe Klasse ausreicht. Da an diesem Tag die Zeit begrenzt war, konnte nicht noch eine Einheit eingeführt werden, in der jede und jeder in Ruhe die Möglichkeit bekommen konnte, das Gerät auszuprobieren. Dem Anklang, den die

7. Auswertung der beiden Versuchstage des GPS-Moduls bei Light & Schools

Benutzung der GPS-Geräts fand, sollte am zweiten Versuchstag Rechnung getragen werden. Die Schülerinnen und Schüler zeigten sich von der *Schnitzeljagd* begeistert und fanden es gut, ein Gerät tatsächlich selber in die Hand zu nehmen.

Vom ersten zum zweiten Versuchstag habe ich zwei kleinere Veränderungen vorgenommen. Zum einen wurde die Positionsbestimmung im *Kurzvortrag* nicht thematisiert, sondern die Schülerinnen und Schüler sollten im *Analogversuch* selber die Lösung finden. Zum anderen wurde das Modul um die Einheit *Schnitzeljagd* erweitert. Beide Veränderungen würde ich persönlich als positiv einschätzen, auch wenn zumindest Ersteres aus den Antworten der Schülerinnen und Schüler nicht so eindeutig heraus kommt.

Was hier wichtig ist und ich auch an dem zweiten Versuchstag nicht stringent durchgezogen habe, ist, einen roten Faden zu haben, der die einzelnen Elemente verknüpft. Zukünftig böte es sich an, die GPS-Schnitzeljagd gleich zu Beginn in Aussicht zu stellen¹⁴. Man könnte das als Ausgangspunkt nehmen, um verstehen zu wollen, wie es das GPS-Gerät schafft, die Anwender zielsicher an die gewünschte Position zu lotsen. Darauf aufbauend könnte auch der Analogversuch und die Vorträge eine neue Bedeutung für die Schülerinnen und Schüler bekommen.

Für den *Analogversuch* bleibt zu bedenken, wie viel Hilfestellung hier nötig ist, da einige der Schülerinnen und Schüler unsicher waren und nicht genau wussten, was nun von ihnen erwartet würde. Allerdings bot das auch die Möglichkeit, dass sie sich untereinander helfen und unterstützen können. So kam es in der Gruppe von Dortje Schirok zu einer erzählenswerten Begebenheit: Eine Schülerin, welche vorher wohl nicht viel mit Physik anfangen konnte, war etwas überfordert mit dem Analogversuch. Sie wusste nicht was und wofür sie etwas tun sollte. Daraufhin bekam sie die einzelnen Grundlagen (Streckenermittlung über die Zeitmessung bei einer konstanten Geschwindigkeit und Auffinden der gesuchten Position durch den Schnittpunkt dreier Kreise) nochmal von einer Mitschülerin erklärt und kommentierte das dann mit den Worten: „Krass. Ich hab Physik verstanden. Abgefahrenes Gefühl, Physik zu verstehen“.¹⁵

¹⁴Ich hatte die Schnitzeljagd nicht zu Beginn angekündigt, aus Sorge, dass die Schülerinnen und Schüler dann im restlichen Teil nicht konzentriert mitarbeiten können.

¹⁵Diese Zitat wurde nach der Erinnerung von Dortje Schirok wiedergegeben.

8. Fazit und Ausblick

Ich möchte an dieser Stelle das Eingangszitat von Reinders Duit (siehe Kapitel 1) in Erinnerung rufen, in dem er äußert, dass für das Interesse der Schülerinnen und Schüler und ihr Selbstvertrauen das Erleben der eigenen physikalischen Kompetenz und der persönliche Zugang zu dem Thema eine entscheidende Rolle spielen. Daran anknüpfend lässt sich an dieser Stelle festhalten, dass das vorliegende GPS-Modul unter Bezug auf das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler zeigen konnte, dass die Physik verstehbar ist.

Die vom ersten zum zweiten Versuchstag vorgenommenen Änderungen bewerte ich als Verbesserung und würde sie auch bei künftigen Klassen beibehalten. Durch die ‚Schnitzeljagd‘ am Schluss haben die Schülerinnen und Schüler ein Ziel, auf welches sie zuarbeiten. Das erfolgreiche selbstständige Lösen einer Aufgabe wirkt sich positiv auf ihr Autonomieempfinden aus. Die Schülerinnen und Schüler werden emotional angesprochen. Zudem wird der Tag durch diese Einheit als Ganzes abgeschlossen. Auch die Umstellung von Vortrags- und Versuchselement fordert mehr Selbsttätigkeit der Schülerinnen und Schüler und bindet sie damit mehr ein. Dadurch können sie sich selbst als bestimmend und kompetent erleben. Allerdings kommt hier den Betreuenden eine entscheidende Rolle zu, damit die Schülerinnen und Schüler genau die Unterstützung erfahren können, die sie benötigen.

Das entwickelte Modul ist also in der vorliegenden Form prinzipiell im Schullabor Light & Schools nutzbar. Für zukünftige Klassen sollte der rote Faden, der durch die Veranstaltung führt und die einzelnen Elemente miteinander verbindet, klarer gezeichnet werden. Außerdem ist es wichtig, den Schülerinnen und Schülern jederzeit den Zweck der einzelnen Einheiten transparent zu machen.

Eine Überlegung, die in der derzeitigen Konzeption noch keine Beachtung gefunden hat, ist die eines Alternativversuchs bei schlechtem Wetter. Da gerade der Analogversuch und die ‚Schnitzeljagd‘ bei den Schülerinnen und Schülern großen Anklang fanden und sie emotional ansprachen, sollten diese Elemente nicht wegfallen. Diese Einheiten sind in der derzeitigen Konzeption diejenigen, in denen die Schülerinnen und Schüler selber Entscheidungen fällen und ein Autonomie- und Kompetenzerleben entwickeln können. Allerdings führt ein solcher Versuch bei strömendem Regen sicher nicht dazu, dass sie Spaß entwickeln können. Also muss eine Alternative überlegt werden, die sich auch innerhalb der Gebäude durchführen lässt. Man könnte im Prinzip den derzeitigen Analogversuch im Gebäude durchführen. Dazu wäre es allerdings vonnöten, dass ausreichend Platz vorhanden ist. Eine Möglichkeit im vorgegebenen Rahmen böte dafür das Foyer des CFEL-Gebäudes¹⁶, wobei die Nutzung auch von Konferenzen etc. abhängt.

¹⁶Gebäude des ‚Center for Free-Electron Laser Science‘.

8. Fazit und Ausblick

Die Flure im ILP¹⁷ zu nutzen (die auch ausreichend Länge böten) halte ich nicht für geschickt, da dort das Ergebnis zu vorraussehbar ist, dass sich die gesuchte Position nämlich genau in einer Kreuzung der einzelnen Flure befindet. Das würde möglicherweise die Motivation mindern.

Ein anderes Problem, mit dem ich an den Versuchstagen konfrontiert war, ist die häufig auftretende Heterogenität der Klasse. Um darauf reagieren zu können, bietet die Arbeit in den Kleingruppen einen guten Rahmen. So kann auf die Bedürfnisse der Einzelnen eingegangen werden. Ich denke, an einem Ort, an dem das Interesse der Mittelstufenschülerinnen und -schüler geweckt werden soll, ist es wichtig, gerade diejenigen einzubeziehen, die bisher weniger Interesse an der Physik gezeigt haben. Denjenigen, die bereits über viel Wissen verfügen und über den gegebenen Rahmen hinaus Interesse zeigen, ist in einem Gespräch zu begegnen. Außerdem können sie auf die Möglichkeit aufmerksam gemacht werden, dass sie auch Schulpraktika bei Light & Schools absolvieren können.

Enden möchte ich gerne mit einem Satz, der in der Klasse des zweiten Versuchstages in der nachbereitenden Unterrichtsstunde geäußert wurde: „Diese Studenten waren ja richtig begeistert von dem, was sie da tun. Da bekommt man den Eindruck, Physik ist was, was auch jungen Leuten Spaß machen kann ...“

¹⁷Institut für Laserphysik.

Literatur

- Bauer, Manfred (2003): Vermessung und Ortung mit Satelliten. GPS und andere satellitengestützte Navigationssysteme. Heidelberg.
- Becker, Matthias / Hehl, Klaus (2012): Geodäsie. Darmstadt.
- Berger, Roland / Schecker, Horst (2011): Interessen im Physikunterricht. In: Wiesner, Hartmut / Schecker, Horst / Hopf, Martin (Hrsg.): *Physikdidaktik kompakt*. Hallbergmoos. S.99-105.
- Bleichroth, Wolfgang (1991): Elementarisierung, das Kernstück der Unterrichtsvorbereitung. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik. Jg. 2, Nr. 6*. S.4-11.
- Duit, Reinders (1992): Analogien und Lernen physikalischer Begriffe und Prinzipien. Was zum Lernen mit Analogien aus der Literatur bekannt ist. In: *Physik in der Schule. Jg. 30, Nr. 7-8*. S.259-261.
- Duit, Reinders (2009): Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In: Kirchner, Ernst / Girwidz, Raimund / Häußler, Peter (Hrsg.): *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Heidelberg. S.605-630.
- Engeln, Katrin / Euler, Manfred (2004): Forschen statt Pauken. Aktives Lernen im Schülerlabor. In: *Physik Journal. Jg. 3, Nr. 11*. S.45-48.
- Euler, Manfred (2009): Schülerlabore: Lernen durch Forschen und Entwickeln. In: Kirchner, Ernst / Girwidz, Raimund / Häußler, Peter (Hrsg.): *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Heidelberg. S.799-817.
- Haupt, Olaf et al. (2013): Schülerlabore - Begriffsschärfung und Kategorisierung. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht. Jg. 66, Nr. 6*. S.324-330.
- Häußler, Peter / Hoffmann, Lore / Langeheine, Rolf / Rost, Jürgen / Sievers, Knud (1996): Qualitative Unterschiede im Interesse an Physik und Konsequenzen für den Physikunterricht. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. Jg. 2, Nr. 3*. S.57-69.
- Hoffmann, Lore / Lehrke, Manfred (1986): Eine Untersuchung über Schülerinteressen an Physik und Technik. In: *Zeitschrift für Pädagogik. Jg. 32, Nr. 2*. S.189-204.
- Hofmann-Wellenhof, Bernhard / Lichtenegger, Herbert / Wasle, Elmar (2008): GNSS - Global Navigation Satellite Systems. GPS, GLONASS, Galileo and more. Wien.
- Kattmann, Ulrich / Duit, Reinders / Gropengießer, Harald / Komorek, Michael (1997): Das Modell der didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. Jg. 3, Nr. 3*. S.3-18.

Literatur

- Kirchner, Ernst (2009): Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion. In: Kirchner, Ernst / Girwidz, Raimund / Häußler, Peter (Hrsg.): *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Heidelberg. S.115-148.
- Lechte, Mari-Annikka (2008): Sinnbezüge, Interesse und Physik. Eine empirische Untersuchung zum Erleben von Physik aus Sicht von Schülerinnen und Schülern. Wuppertal. Dissertation an der Universität Hamburg im Jahr 2007.
- Manthei, Wolfgang(1992): Das Analogische im Physikunterricht. Analoga, Analogien, Analogisches stärker in den Mittelpunkt des Unterrichts rücken. In: *Physik in der Schule*. Jg. 30, Nr. 7-8. S.250-258.
- Pawek, Christoph (2009): Schülerlabore als interesselördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe. Dissertation an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Prenzel, Manfred / Krapp, Andreas / Schiefele, Hans (1986): Grundzüge einer pädagogischen Interessentheorie. In: *Zeitschrift für Pädagogik*. Jg. 32, Nr. 2. S.163-173.
- Schiefele, Hans (1986): Interesse - Neue Antworten auf ein altes Problem. In: *Zeitschrift für Pädagogik*. Jg. 32, Nr. 2. S.153-162.
- Todt, Eberhard (1987): Elemente einer Theorie naturwissenschaftlicher Interessen. In: Lehrke, Manfred / Hoffmann, Lore (Hrsg.): *Schülerinteresse am naturwissenschaftlichen Unterricht. Untersuchungen und Erklärungen*. Köln.
- Willer, Jörg (2003): Didaktik des Physikunterrichts. Frankfurt am Main.

Internetquellen

Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Schule und Berufsbildung (2011): Bildungsplan Gymnasium Sekundarstufe I, Physik. Online abrufbar unter: <http://www.hamburg.de/contentblob/2373266/data/physik-gym-seki.pdf> (21.07.2014).

Haupt, Olaf (2014): LernortLabor – Bundesverband der Schülerlabore e. V. Online abrufbar unter: <http://www.lernort-labor.de/> (25.07.2014).

Light & Schools (2014): Internetauftritt des Schullabors. Online abrufbar unter: <http://photon.physnet.uni-hamburg.de/de/lexi/lightandschools/> (16.07.2014).

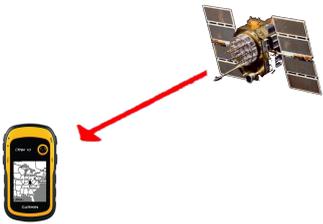
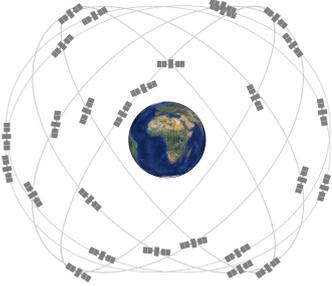
United States Government (2014):
<http://www.gps.gov/multimedia/images/constellation.jpg> (19.05.2014).

Abbildungsverzeichnis

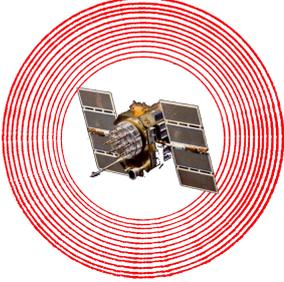
1.	Konstellation der GPS-Satelliten	8
2.	Positionsbestimmung ohne Empfängeruhrenfehler	9
3.	Positionsbestimmung bei Empfängeruhrenfehler	10
4.	Fachdidaktisches Triplet	16
5.	Geschwindigkeitsmesser für den Analogversuch	22

A. Anhang

A.1. Folien der Präsentation

<p>Herzlich Willkommen bei Light & Schools</p>   <p>1</p>	<p>Was ist GPS?</p>   <p>2</p>
<p>Was ist GPS?</p> <p><i>Global Positioning System</i></p>   <p>3</p>	    <p>4</p>
   <p>5</p>	   <p>6</p> <p><small>Bildquelle: http://www.gps.gov/multimedia/images/constellation.jpg</small></p>

A. Anhang



UHH
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

LIGHT
SCHOOLS

7

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

Geschwindigkeit v:
Lichtgeschwindigkeit c

Strecke: Entfernung s

Zeit: Laufzeit t

UHH
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

LIGHT
SCHOOLS

8

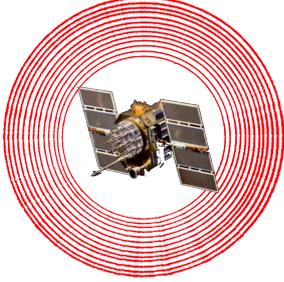
$$s = c \cdot t$$

Lichtgeschwindigkeit c
Entfernung s
Laufzeit t

UHH
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

LIGHT
SCHOOLS

9



UHH
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

LIGHT
SCHOOLS

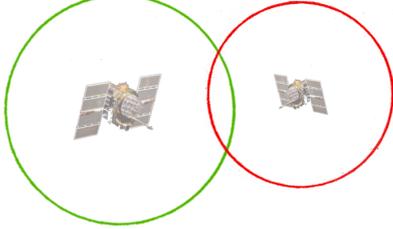
10



UHH
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

LIGHT
SCHOOLS

11



UHH
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

LIGHT
SCHOOLS

12

A. Anhang

UHH
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

GHT
SCHÖOLS

13

2D

Genauere
Uhren

UHH
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

LIGHT
SCHÖOLS

14

2D

Genauere
Uhren

UHH
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

LIGHT
SCHÖOLS

15

2D

Genauere
Uhren

UHH
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

GHT
SCHÖOLS

16

2D

Genauere
Uhren

UHH
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

GHT
SCHÖOLS

17

Probleme bei GPS

Der Weg durch die Atmosphäre:
Das Signal wird „gebremst“.

UHH
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

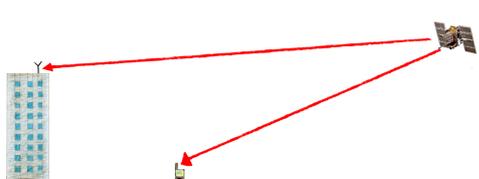
LIGHT
SCHÖOLS

18

A. Anhang

Probleme bei GPS

Der Weg durch die Atmosphäre:



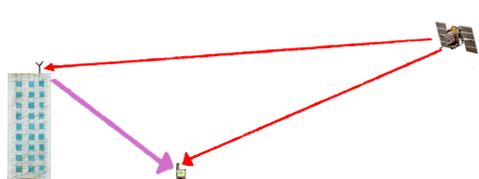
UHH Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

LIGHT SCHOOLS

19

Probleme bei GPS

Der Weg durch die Atmosphäre:



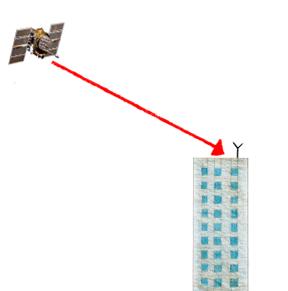
UHH Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

LIGHT SCHOOLS

20

Probleme bei GPS

Die genaue Position der Satelliten:



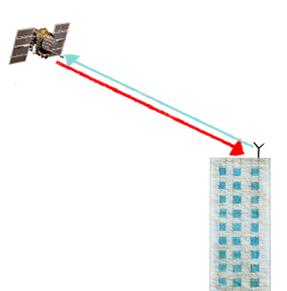
UHH Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

LIGHT SCHOOLS

21

Probleme bei GPS

Die genaue Position der Satelliten:



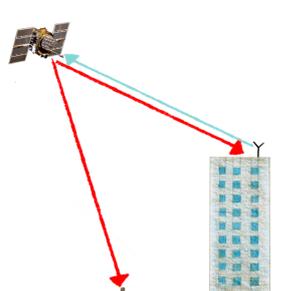
UHH Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

LIGHT SCHOOLS

22

Probleme bei GPS

Die genaue Position der Satelliten:



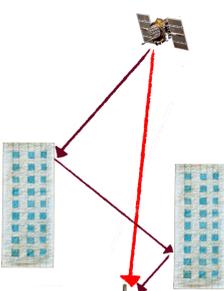
UHH Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

LIGHT SCHOOLS

23

Probleme bei GPS

Die Reflexion an Hauswänden:



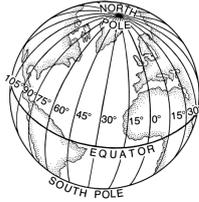
UHH Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

LIGHT SCHOOLS

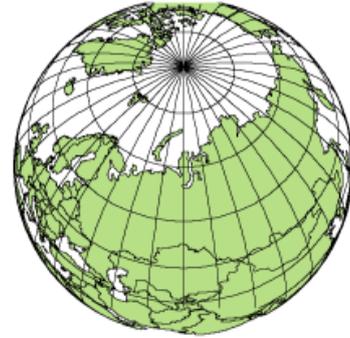
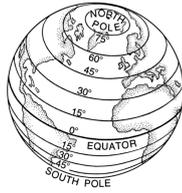
24

A. Anhang

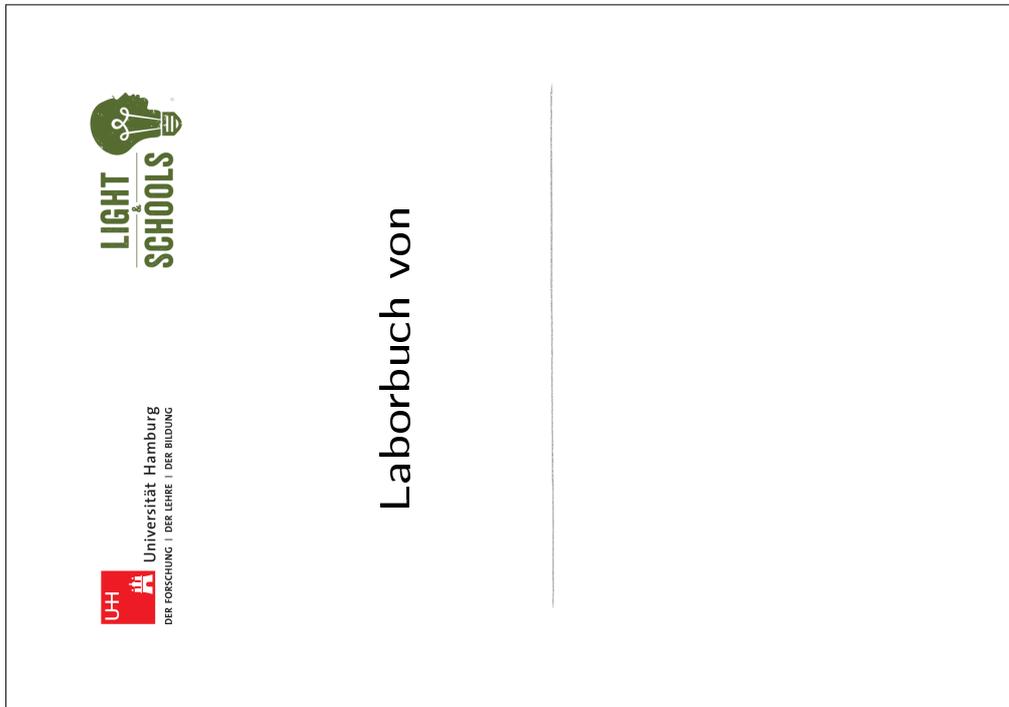
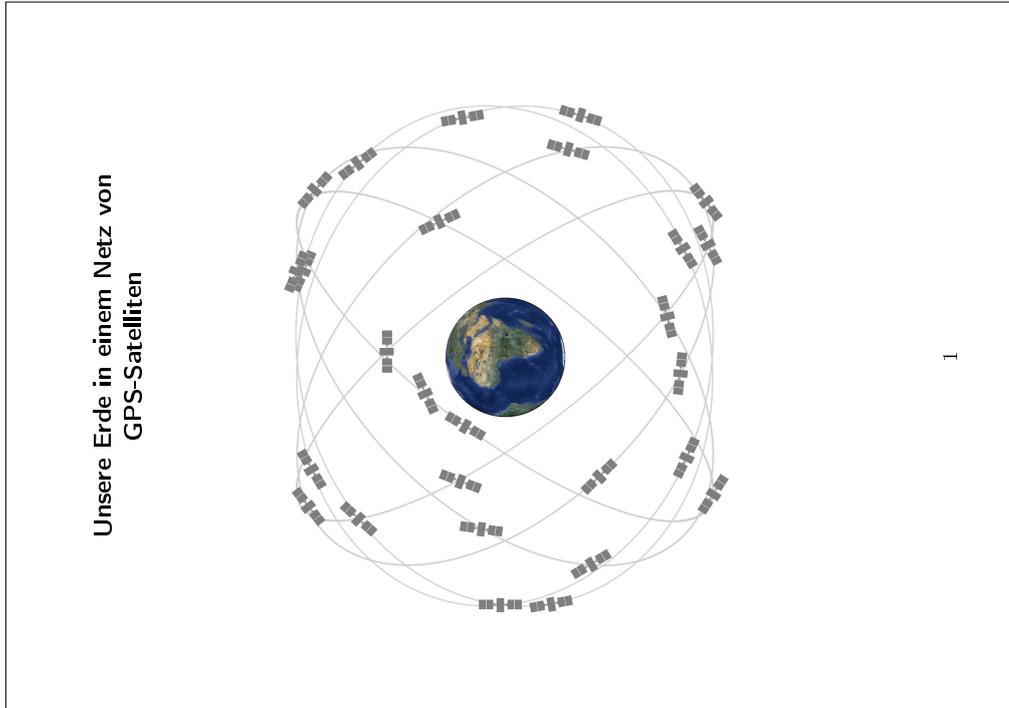
Östliche oder westliche Länge



Nördliche oder südliche Breite



A.2. Laborbuch GPS-Modul



1 GPS - Was ist das?

Bestimmt habt ihr den Begriff GPS schon mal gehört. Man kann GPS-Geräte im Auto nutzen, im Flugzeug, am Fahrrad, und auch in den meisten Smartphones ist es zu finden. Geldtransporte oder die Busse des HVV werden mit GPS überwacht und viele Landwirte nutzen es mittlerweile, um auf ihren Feldern sehr präzise Säen, düngen und ernten zu können.

Aber was genau ist das? Der Begriff kommt aus dem Englischen und ist die Abkürzung für *Global Positioning System*, also ein weltweites Ortungs- oder Positionsbestimmungssystem. Es ist ein Satellitennavigationssystem, d.h. eine Methode, bei der man mithilfe von Satelliten seine eigene Position bestimmen kann.

1.1 Wo kommt es her?

Heute ist das GPS kaum noch aus unserem Alltag wegzudenken. Die ersten Entwicklungen dazu gab es schon 1972 vom US-amerikanischen Militär. Zu dieser Zeit war es so, dass sich ein Großteil der Staaten der Welt in zwei Lager spaltete: in den Westen und den Osten. Zum Westen gehörten die USA und Westeuropa, zum Osten zählten die Sowjetunion, Osteuropa und China. Die beiden Lager hingen unterschiedlichen Lebensphilosophien und Gesellschaftskonzepten an und stauden sich sehr feindlich gegenüber. Diese Epoche nennt man die Zeit des Kalten Krieges. Von beiden Seiten gab es ein Wettrüsten, jede wollte die bessere militärische Ausstattung haben als die andere. In diesem Zusammenhang wurde das GPS vom US-amerikanischen Militär entwickelt um dem Feind überlegen zu

sein. Man erhoffte sich einen erheblichen Vorteil durch bessere Orientierung in fremdem und eigenem Gelände. Zu Beginn nutzte tatsächlich nur das US-amerikanische Militär das GPS, später wurde es öffentlich zugänglich gemacht. Trotz allem hat das Militär aber bis heute das Oberkommando darüber und könnte die öffentliche Nutzung jederzeit wieder einschränken. Deswegen gab es Bemühungen, Satellitennavigationssysteme zu entwickeln, die unabhängig davon sind. Dazu zählen GALILEO in Europa, GLONASS in Russland und BEIDOU in China.

Bei diesen verschiedenen Systemen ist das Funktionsprinzip ein sehr ähnliches. Wir werden uns trotzdem mit dem GPS beschäftigen, da es das bekannteste ist.

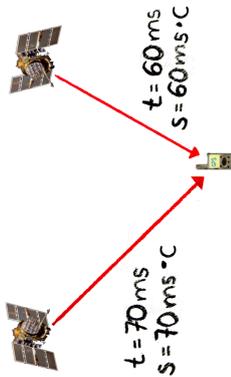
1.2 Wie funktioniert es?

Wenn wir GPS benutzen ist unsere Hauptfrage an das GPS-Gerät: Wo sind wir? Damit dieses Gerät „weiß“, wo es selber ist, braucht es Informationen von außen, aus denen es dann bestimmen kann, wo es gerade ist. Die Informationen kann das GPS-Gerät in Form eines Signals empfangen. Es ist also ein Empfänger. Ein Signal ist etwas, das eine Bedeutung bzw. Informationen enthält und diese vom Sender zum Empfänger transportiert. Doch wer oder was sendet das Signal?

Als Sender nutzen wir beim GPS Satelliten im Weltraum. Die Satelliten wissen nur, wo sie selber sind und nicht, wo der Empfänger ist. Sie können also nur Informationen über sich selber senden, aus denen das GPS-Gerät seine Position errechnen muss.

Um aus diesem Grundaufbau (Satelliten im Weltraum, GPS-Geräte auf der Erde und dazwischen ein Signal) die eigene Position bestimmen zu können, bedient man sich eines kleinen

Tricks: Das Signal hat eine bestimmte Geschwindigkeit, mit der es sich vom Satelliten zu uns bewegt. In dem Signal sind Informationen darüber, wo sich der Satellit gerade befindet und zu welchem Zeitpunkt er das Signal abgesendet hat. Wenn wir dann



die Zeit messen, zu der das Signal beim GPS-Gerät ankommt, dann wissen wir, wie lange es vom Satelliten zum GPS-Gerät gebraucht hat. Wir kennen die „Laufzeit“ und die Geschwindigkeit und können daraus eine Strecke ermitteln. Das ist die Strecke, die zwischen dem Empfänger und dem Satelliten liegt.

Wenn wir dann Signale von mehreren Satelliten empfangen, können wir die Entfernungen zu den einzelnen Satelliten berechnen. Daraus können wir konstruieren, wo wir selber sind.

So einfach ist das Prinzip. Jetzt werden wir uns die Einzelheiten nochmal genauer anschauen.

2 Die Satelliten

Wir brauchen also die Signale von mehreren Satelliten, mindestens aber von dreien. Und diese drei müssen wir gleichzeitig von unserem Punkt auf der Erde „sehen“ können. Insgesamt befinden sich etwa 24 Satelliten in einer Umlaufbahn um die Erde in etwa 20.000 km Höhe. (Das ist so viel wie die Entfernung zwischen Nord- und Südpol.) Für diese Strecke braucht das Signal ungefähr 70 Millisekunden. Eine Millisekunde ist eine hundertstel Sekunde, das Signal braucht also etwa 70 hun-

dertstel Sekunden.

Damit es dort oben kein Chaos gibt und die Satelliten uns auch die Information senden können, wo sie gerade sind, hat jeder Satellit seinen festen Weg (seine Bahn), auf der er die Erde umrundet. Insgesamt gibt es 6 Bahnen, auf die die Satelliten aufgeteilt sind. Dieses „Gesamtbild“ (ihr könnt es auch auf der Seite 1 sehen) nennt man Satellitenkonstellation.

3 Das Signal und die Lichtgeschwindigkeit

Das Signal selbst ist ein Funksignal. Es hat die Eigenschaft, dass es sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet. Diese Geschwindigkeit kennt man exakt. Zum auswendig merken reicht es, wenn man weiß, dass sie im Vakuum etwa dreihunderttausend Meter pro Sekunde ist. Exakt und in etwas anderer Schreibweise ist die Lichtgeschwindigkeit: $c = 2,997\,924\,58 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.¹ In der Physik nutzt man geme Formelzeichen (meistens sind es Buchstaben) um Dinge abzukürzen. Hier könnt ihr zum Beispiel sehen, dass c für die Lichtgeschwindigkeit genommen wird. Die wird in Metern pro Sekunde angegeben, also in m/s .

Könn ihr ausrechnen, wie schnell die Lichtgeschwindigkeit in Kilometer pro Stunde ist? Also in km/h ?

Unser Signal braucht mit dieser Geschwindigkeit etwa eine Zeit von 70 Millisekunden, also in der Physikschreibweise $t = 70 \text{ ms}$ von dem Satelliten bis zu unserem Empfänger auf der Erde.

Eine andere Eigenschaft des Signals ist, dass wir es mit un-

¹ 10^8 ist eine andere Schreibweise für $10 \cdot 10 \cdot 10$ also für 100.000.000. Die Lichtgeschwindigkeit beträgt also $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$.

serem Auge nicht sehen können. Trotzdem muss immer eine „Sichtverbindung“ zwischen dem Sender (dem Satelliten) und dem Empfänger (unserem GPS-Gerät) bestehen. Deswegen funktionieren GPS-Geräte innerhalb von Gebäuden oder in Tunneln nicht.

4 Was die Lichtgeschwindigkeit mit einer Strecke zu tun hat

Der Satellit sendet nicht nur die Informationen über die eigene Position, sondern auch immer eine Information über seine genaue Uhrzeit mit, also der Zeit, zu der er das Signal abgibt. Wenn wir diese Uhrzeit kennen und wissen, wann es bei uns angekommen ist, so wissen wir, wie lange es unterwegs war. Diesen Zeitunterschied nennen wir die *Laufzeit*. Weil wir die Geschwindigkeit des Signals (die Lichtgeschwindigkeit) und diese Laufzeit kennen, können wir ausrechnen, wie groß die Strecke vom Satellit zu unserem Empfänger ist.

5 Geschwindigkeitsberechnungen

Wir kennen Geschwindigkeiten z. B. vom Autofahren. Wenn das Auto mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h fährt, so kommt es in einer Stunde 80 km weit, in einer halben Stunde kann es mit derselben Geschwindigkeit 40 km fahren. Wir können also Geschwindigkeit als Strecke ausdrücken, die in einer gewissen Zeit, der Laufzeit, zurückgelegt wird. Wenn wir für die Strecke das Zeichen s , für die Zeit das Zeichen t und die Geschwindigkeit das Zeichen v nehmen, dann können wir Geschwindigkeit auch in dieser Formel ausdrücken: $v = s/t$, also ist die Geschwindigkeit Zeit pro Strecke.

Bei dem GPS ist so, dass wir nicht die Geschwindigkeit bestimmen wollen, denn die kennen wir schon, es ist die Lichtgeschwindigkeit. Außerdem kennen wir die Laufzeit. Damit können wir die Strecke zwischen dem Satelliten und dem Empfänger ausrechnen. Dazu stellen wir die Gleichung um:

$$v = s/t \quad | \cdot t$$

$$s = v \cdot t$$

Wenn wir die Geschwindigkeit mit der Zeit multiplizieren, kommen wir also auf unsere Strecke. Schaut Euch dazu am besten auch nochmal das Bild auf der Seite 4 an.

Bei unserem GPS kennen wir die Laufzeit $t = 70 \text{ ms} = 0,07 \text{ s}$ und die Geschwindigkeit $c = 300.000.000 \text{ m/s}$. Also ist der Abstand zwischen dem Satelliten und unserem GPS-Gerät:

$$s = v \cdot t$$

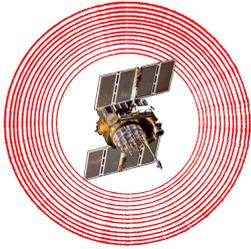
$$= 299.792.458 \text{ m/s} \cdot 0,07 \text{ s}$$

$$= 20.985.472 \text{ m}$$

$$= 20.985,472 \text{ km.}$$

Die Entfernung zwischen dem Satelliten und unserem GPS-Gerät ist in diesem Fall also etwa 20.985 km . Das ist ungefähr die Entfernung, die auch in Kapitel 2 über die Satelliten genannt wird, also ungefähr 20.000 km . Dass die Zahlen nicht genau gleich sind, hängt damit zusammen, dass das Signal eigentlich nicht $t = 70 \text{ ms}$ braucht sondern eher $t = 66,6 \text{ ms}$ braucht. Außerdem kommt es auf die konkrete Position des Satelliten an: mal ist er etwas weiter von unserem GPS-Gerät entfernt (dann braucht das Signal länger), mal ist er etwas näher (dann braucht das Signal kürzer).

Der Satellit sendet das Signal aber nicht nur zu unserem Empfänger, sondern so, dass auch andere Menschen es nutzen können. Der Satellit gibt sein Signal in alle Richtungen ab; so, dass sich das Signal wie eine Kugel ausbreiten kann. Wie genau kann man sich das vorstellen? Schaut Euch dazu am besten mal das Bild nebenan an.² Könnten wir das Signal direkt mit unserem Auge sehen, so würden wir also eine gewisse Zeit nachdem der Satellit das Signal ausgesendet hat, eine Kugeloberfläche in einer gewissen Entfernung von dem Satelliten sehen. In der Mitte dieser Kugel ist unser Satellit. Wenn wir nur dieses eine Signal von diesem einen Satelliten empfangen, so wissen wir, dass wir irgendwo auf einer bestimmten Kugeloberfläche sind.

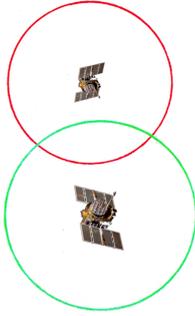


6 Und wo sind wir jetzt genau?

Um genauer festzustellen, wo wir sind, brauchen wir noch mehr Informationen als die von nur einem Satelliten. Das einfachste ist, wenn wir auch noch von einem anderen Satelliten ein Signal bekommen und wieder die Entfernung zu dem Satelliten berechnen. Dann wissen wir, dass wir uns an einem Ort befinden, der eine bestimmte Entfernung zu dem einen und eine bestimmte Entfernung zu dem anderen Satelliten hat.

²Das ist so ähnlich wie bei Wasser: Bestimmt habt ihr schon mal einen Stein in einen See oder eine Pfütze geworfen. Habt ihr die Ringe beobachtet, die dabei entstehen? Mit der Zeit, sehen wir immer mehr Ringe in immer größerer Entfernung. So ähnlich ist es auch bei unserem Signal.

Am einfachsten kann man diese Punkte finden, wenn wir mit einem Zirkel Kreise um den Satelliten zeichnen und dann schauen, wo sich beide Kreise schneiden. Wie ihr in der Abbildung seht, ist immer noch nicht eindeutig klar, wo wir genau sind, es gibt zwei Schnittpunkte, also auch zwei mögliche Punkte an denen wir sein könnten. Wir brauchen also noch einen dritten Satelliten und müssen auch zu diesem wieder die Entfernung berechnen.



Dann haben wir es geschafft: Wir haben unsere eigene Position auf der Erde mit Hilfe der Information von drei Satelliten bestimmt!

7 Nochmal alles im Überblick

Nachdem wir so viele Einzelheiten betrachtet haben, möchte ich jetzt das Wichtigste zusammenfassen: Für die Satellitennavigation brauchen wir Satelliten in Umlaufbahnen um die Erde, die Signale aussenden. Die GPS-Geräte empfangen diese Signale. Weil die Geschwindigkeit der Signale bekannt ist und auch die Zeit, die sie brauchen, kann die Entfernung zwischen Satellit und Empfänger berechnet werden. Mit dem Signal und der Information von mindestens drei Satelliten kann das GPS-Gerät dann seine Position bestimmen und wir wissen, wo wir sind!

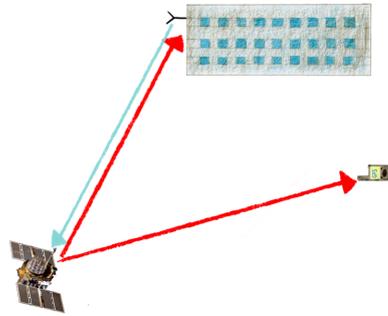
8 Zusatzinformationen: Noch einige Details für die technische Umsetzung

Das, was wir bis jetzt gesehen haben, ist das Grundprinzip zum GPS. Wenn wir ein GPS tatsächlich selber bauen wollen, dann tauchen noch ein paar Fragen auf, die geklärt werden müssen: Woher kennen die Satelliten ihre genaue Position? Woher ist so genau bekannt, wie groß die Laufzeit des Signals ist? Was könnte einen Einfluss auf die Signale haben und sie stören?

Woher kennen die Satelliten ihre genaue Position? – Die Kontrollstationen

Das Signal, das der Satellit aussendet, enthält immer Informationen darüber, wo er sich gerade befindet. Jeder Satellit hat seine fest zugewiesene Bahn, auf der er die Erde umrundet. Diese kennt er genau. Außerdem weiß er, dass er die gesamte Erde zweimal an einem Tag umrundet. Daher kann er sich errechnen, wo er sich befinden müsste. Leider ist diese Information aber nicht immer so genau, wie wir es für eine präzise Navigation auf der Erde bräuchten.

Deswegen sind auf der Erde feste Kontrollstationen installiert, deren Position genau bekannt ist. Sie empfangen von den Satelliten Signale, berechnen damit ihre eigene Position und



vergleichen diese mit der Position, an der sie sich wirklich befinden. Dann wissen sie, wie groß der Unterschied dazwischen ist. Außerdem berechnen die Kontrollstationen, die künftigen Bahndaten des Satelliten. Diese Daten senden sie an die Satelliten aus. Jetzt sind die Satelliten also auch Empfänger, können die neue Information aufnehmen und dann als Korrekturdaten an die GPS-Empfänger auf der Erde zurücksenden.

Signallänge

In einem Satellitensignal sind also noch mehr Informationen enthalten als nur die über die Position und Uhrzeit des Satelliten und welcher Satellit der Sender ist: Informationen darüber, welche Korrekturen vorgenommen werden müssen und wann der Satellit das letzte Mal ein Signal von der Kontrollstation bekommen hat. Dieses ganze Signal ist etwa 13 Minuten lang. Deswegen braucht ein GPS-Gerät, wenn es komplett ausgeschaltet war, auch so lange, bis es seine Position anzeigen kann. Damit man, wenn man nun zum Beispiel mit dem Auto fährt, nicht immer 13 Minuten warten muss, bis man seine neue Position kennt, werden die wichtigsten Informationen (die über die Uhrzeit und über die Bahndaten) etwa alle 30 Sekunden gesendet. Die anderen Daten muss sich der GPS-Empfänger so lange merken.

Wie groß ist die Laufzeit des Signals? – Genaue Uhren

Wir haben gesehen, dass wir die Laufzeit der Signale brauchen, um damit die Strecke zwischen den Satelliten und unserem GPS-Empfänger bestimmen zu können. Wir haben auch gesehen, dass die Zeit, die das Signal bis zur Erde braucht, sehr kurz ist.

Wenn bei dieser kurzen Laufzeit ein kleiner Fehler passiert, so kann das ziemlich große Auswirkungen auf die ermittelte Länge der Strecke und damit auf die Bestimmung unserer Position haben. Deswegen ist es wichtig, sehr genaue Uhren zu haben. Dafür sind an Bord der Satelliten Atomuhren untergebracht. Doch wie genau sind die?

Dazu wollen wir erstmal sehen, wie man überhaupt Zeit messen kann.

Wenn wir messen wollen, wie viel Zeit vergangen ist, so ist es am einfachsten, wenn wir uns an einem Ereignis orientieren, dass sich in gleichem zeitlichen Abstand immer wieder wiederholt. In der Physik sagt man dazu periodisches Ereignis. Schon sehr früh hat man für dieses periodische Ereignis den Höchststand der Sonne an einem Ort genommen und die Zeit dazwischen in 24 gleich große Einheiten geteilt. Eine solche Einheit wurde dann Stunde genannt. Ein Tag hat 24 Stunden, nach diesen 24 Stunden hat die Sonne also wieder ihren Höchststand erreicht. Doch diese Zeiteinteilung ist für die Satellitennavigation viel zu ungenau, weil es auch bei der Drehung der Erde um sich selbst und um die Sonne verschiedene Einflüsse gibt, die das Ergebnis immer wieder ein bisschen verändern. So ist es beispielsweise wichtig, wie die anderen Planeten stehen. Je nachdem ist der Tag ein bisschen länger oder kürzer.

Heute nutzt man deswegen statt der periodischen Wiederkehr des Sonnenhöchststandes ein anderes periodisches Ereignis, dass präziser und unabhängiger von äußeren Faktoren ist. Diese Zeitmessung hängt mit einem Vorgang im Atom zusammen und daher heißen Uhren, die damit arbeiten Atomuhren. Dieser periodische Vorgang, von dem wir hier sprechen, wiederholt sich ungefähr neun Milliarden Mal in einer Sekunde und die Zeit dazwischen ist gleich lang, so dass wir die Zeit mit dieser Genauigkeit messen können. Das würden wir mit

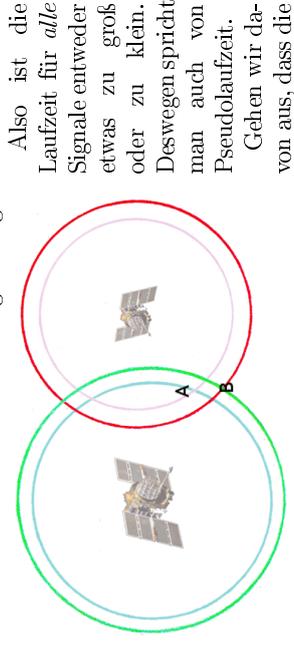
A. Anhang

der Sonne nicht schaffen!

Zurück zur Satellitennavigation: Nur wenn wir auf allen Satelliten diese exakten Uhren und damit diese genaue Zeitmessung haben, können wir auch die Strecke zwischen den Satelliten und dem GPS-Empfänger genau bestimmen. Und erst dadurch können wir genau bestimmen, wo sich der Empfänger befindet. Momentan kann man mit den üblichen GPS-Geräten eine Genauigkeit von ungefähr 10 m erreichen. Das ist schon ziemlich gut, wenn man sich vorstellt, dass die Satelliten etwa 20000 km von dem GPS-Empfänger entfernt sind.

Einen kleinen Haken hat die Sache allerdings noch: Genaue Atomuhren sind leider sehr groß und schwierig zu betreiben. Deswegen sind sie nur in den Satelliten eingebaut, aber nicht in den Empfangsgeräten. Aber wenn der Empfänger keine genaue Uhr hat, woher kennt er dann die genaue Laufzeit?

Wir haben oben gesehen, dass das GPS-Gerät seine Position dadurch bestimmt, dass es die Signalgeschwindigkeit und die Laufzeit der einzelnen Signale, also von den einzelnen Satelliten, kennt. Daraus errechnet es die Strecke zu den einzelnen Satelliten und kann den eigenen Standpunkt als Schnittpunkt bestimmen. Dabei gehen die Uhren der Satelliten genau gleich und nur die Uhr im GPS-Gerät geht möglicherweise anders.



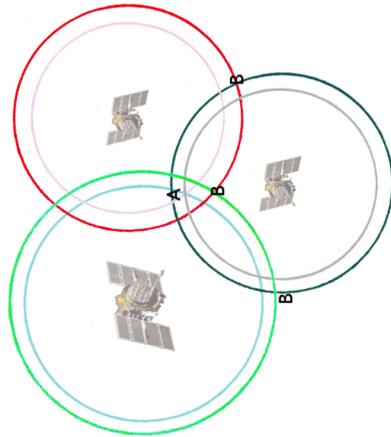
Uhr im GPS-Empfänger vorgeht, so ist die Pseudolaufzeit, also die Laufzeit, die das GPS-Gerät ausrechnet, länger als die tatsächliche Laufzeit.

In dem Bild auf der Seite 13 ist der Punkt **A** also unsere tatsächliche Position. Das GPS-Gerät berechnet aber, dass es in Punkt **B** sein müsste, da es ja nichts davon weiß, dass die eigene Uhr vorgeht.

Eigentlich müssten wir hier drei Kreise zeichnen (oben haben wir schon gesehen, dass wir die drei brauchen, um festzustellen, an welchem der Schnittpunkte wir sind). Damit es aber nicht zu unübersichtlich wird, sind es hier zwei anstatt drei und in der nächsten Zeichnung drei anstatt vier Kreise.

Wir haben jetzt also das Problem, dass unser GPS-Gerät mit der Pseudolaufzeit eine Pseudostrecke zu den Satelliten ermittelt hat und deswegen einen falschen Standpunkt für sich selber gefunden hat.

Wie es aussieht, wenn das GPS-Gerät nun das Signal von noch einem Satelliten empfängt, könnt ihr Euch in der Zeichnung nebenan ansehen. Hier sind jetzt nur drei Satelliten gezeichnet. Würden die Uhren der Satelliten und des GPS-Geräts genau übereinstimmen, so bekämen wir gleich den richtigen Standort, nämlich den Punkt **A** her-



aus. Sie geht aber vor und das fällt nun sofort auf: Es gibt keinen Punkt, an dem sich die Signale aller drei Satelliten gleichzeitig treffen. Es gibt drei verschiedene Punkte **B**, an denen sich aber jeweils nur zwei der Satellitensignale gleichzeitig treffen. Nun kann man die Uhrzeit im GPS-Gerät solange „verschieben“, bis sich alle Satellitensignale gleichzeitig treffen.

Diese neue, verschobene Zeit im GPS-Gerät stimmt dann mit der Zeit der Satelliten überein und das Gerät kann jetzt die richtige Laufzeit und damit die richtigen Strecken zu den Satelliten berechnen. Schlussendlich kann es so auch die richtige Position bestimmen.

Das ist der Grund, warum man bei der Satellitennavigation immer vier sichtbare Satelliten braucht und warum die Uhren der Satelliten untereinander exakt gleich gehen müssen.

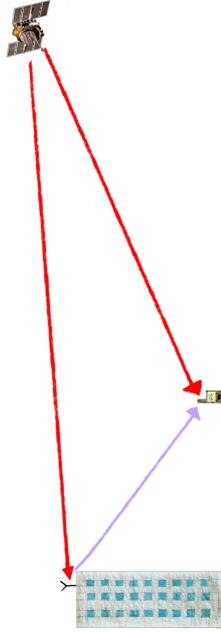
Was könnte einen Einfluss auf die Signale haben und sie stören? – Die Atmosphäre

Zusätzlich zu der falschen Position der Satelliten und den ungenauen Uhren gibt es leider aber noch andere Fehlerquellen, die unser Ergebnis, also unsere Positionsbestimmung, verschlechtern.

Eine Fehlerquelle hängt mit der Lichtgeschwindigkeit und unserer Atmosphäre zusammen. Die Atmosphäre ist eine Gas-hülle aus verschiedenen Schichten, die unsere Erde umgibt. Auf Seite 5 ist erwähnt, dass die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum exakt bekannt ist. Wenn das Signal aber durch etwas hindurch muss, so wird es in seiner Geschwindigkeit „gebremst“, es wird also langsamer. Dieses „Etwas“ kann unsere Luft, Glas, Wasser, aber auch die Schichten der Atmosphäre sein. Leider wissen wir bei den Gasschichten nicht immer, wie sie konkret zusammengesetzt sind, d.h. wir wissen auch nicht, wie sehr das

Signal „gebremst“ wird. Vielleicht ahnt die eine oder der andere schon, was das Problem sein könnte: Wir haben unsere Position genau dadurch bestimmt, dass wir die Laufzeit des Signals kennen und seine Geschwindigkeit. Wenn die Geschwindigkeit nicht überall gleich ist, müssen wir das bei unserer Rechnung berücksichtigen.

Um dieses Problem zu lösen, gibt es zusätzlich zu den Kontrollstationen noch weitere feste GPS-Stationen auf der Erde.



Ihre Positionen sind bekannt. Die Stationen empfangen genau wie die Kontrollstationen von den Satelliten Signale, berechnen damit ihre Position und vergleichen diese mit der Position, an der sie sich wirklich befinden. Die Korrekturdaten senden sie dann aus, allerdings nicht an den Satelliten, sondern so, dass unser GPS-Gerät es empfangen kann. Unser GPS-Gerät empfängt dann einerseits die Signale von den Satelliten und andererseits die Korrekturdaten der GPS-Station (siehe auch in dem Bild oben). Mit beiden zusammen kann der GPS-Empfänger dann seine eigene genaue Position bestimmen.

Was beeinflusst die Signale noch? – Die Reflexion

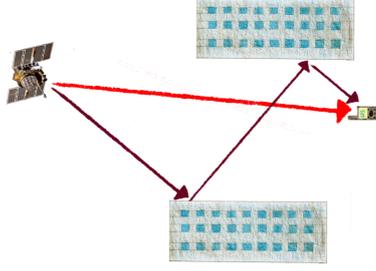
Eine andere Fehlerquelle ist die, dass das Signal den GPS-Empfänger nicht unbedingt auf direktem Weg erreicht. Die

GPS-Signale können nämlich reflektiert, also von einer Oberfläche zurückgestrahlt werden.

Diese Reflexion kann an Gebäuden, dem Boden, Felswänden usw. geschehen. Anschließend empfängt das GPS-Gerät dieses Signal. Man nennt das dann Mehrwegeausbreitung. Gerade in Städten mit vielen Hochhäusern passiert das oft.

Mit der Information über die Laufzeit berechnet das GPS-Gerät die Entfernung zum Satelliten, und „weiß“ aber nicht, dass das Signal gar nicht auf direktem Wege gekommen ist. Daher wird es eine zu große Entfernung berechnen und auch die Position auf der Erde nicht genau bestimmen können.

Wir haben oben schon gesehen, dass das komplette Satellitensignal ungefähr 13 Minuten dauert und sich in dem gesamten Signal verschiedenen Einheiten wiederholen. Empfängt das GPS-Gerät nun kurz hintereinander Signale, die zur gleichen Uhrzeit abgesendet worden sind, so kann es diese miteinander vergleichen und dadurch bestimmen, welche Signale reflektiert worden sind, und welche es „direkt sieht“. Dadurch kann es herausfinden, welches das „direkte“ Signal war und kann damit die richtige Laufzeit ermitteln.



9 Fazit

Wir haben gesehen, wie die Positionsbestimmung mit dem GPS funktionieren kann: Die Satelliten senden Signale aus. In diesen Signalen sind Informationen über die Position der Satelliten und die Uhrzeit, zu der das Signal abgesendet wurde, enthalten. Dafür sind sehr genaue Uhren notwendig. Aus der Laufzeit kann die Entfernung zwischen Satellit und GPS-Empfänger berechnet werden. Sind die Entfernungen zu vier Satelliten bekannt, so kann die Position des Empfängers genau bestimmt werden. Einen Einfluss auf die Genauigkeit der Signalgeschwindigkeit und damit die Positionsbestimmung haben dabei die Atmosphäre und die Reflexion an Häuserwänden oder Felsen. Wenn wir das berücksichtigen, so können wir unsere Position auf der Erde auf etwa 10 m genau bestimmen.

18

Zum Weiter- und Nachlesen

Um noch einmal nachzulesen, was auch in in diesem Laborbuch steht, ist der Artikel von Rainer Scharf ganz gut. Für einen etwas umfassenderen Einblick ist der Internetlink geeignet. Und um noch tiefer in die Materie einzusteigen, würde ich die anderen beiden Bücher empfehlen.

Manfred Bauer: Vermessung und Ortung mit Satelliten. GPS und andere satellitengestützte Navigationssysteme. Heidelberg. 2003: 5.Auflage.

Matthias Becker, Klaus Hehl: Geodäsie. Darmstadt. 2012.

Rainer Scharf: Zeit ist Ort. In: *maßstäbe. Heft 6. September 2005*. S. 36-38. Auch online unter: [http : //www.ptb.de/cms/publikationen/zeitschriften/masstaebe/download - masstaebe.html](http://www.ptb.de/cms/publikationen/zeitschriften/masstaebe/download-masstaebe.html)
Stand: 12.06.2014

[http : //www.kovoma.de/gps/Positionsbestimmung.htm](http://www.kovoma.de/gps/Positionsbestimmung.htm)
Stand:12.06.2014

19

A. Anhang

A.3. Umrechnungshilfe

Umrechnungshilfe GPS

Geschwindigkeiten umrechnen: $\frac{km}{h} \longrightarrow \frac{m}{s}$

$$1 km = 1000 m$$

$$1 h = 60 min = 60 \cdot 1 min = 60 \cdot 60 s = 3600 s$$

$$\text{Also: } \frac{1 km}{1 h} = \frac{1000 m}{3600 s}$$

Maßstäbe umrechnen

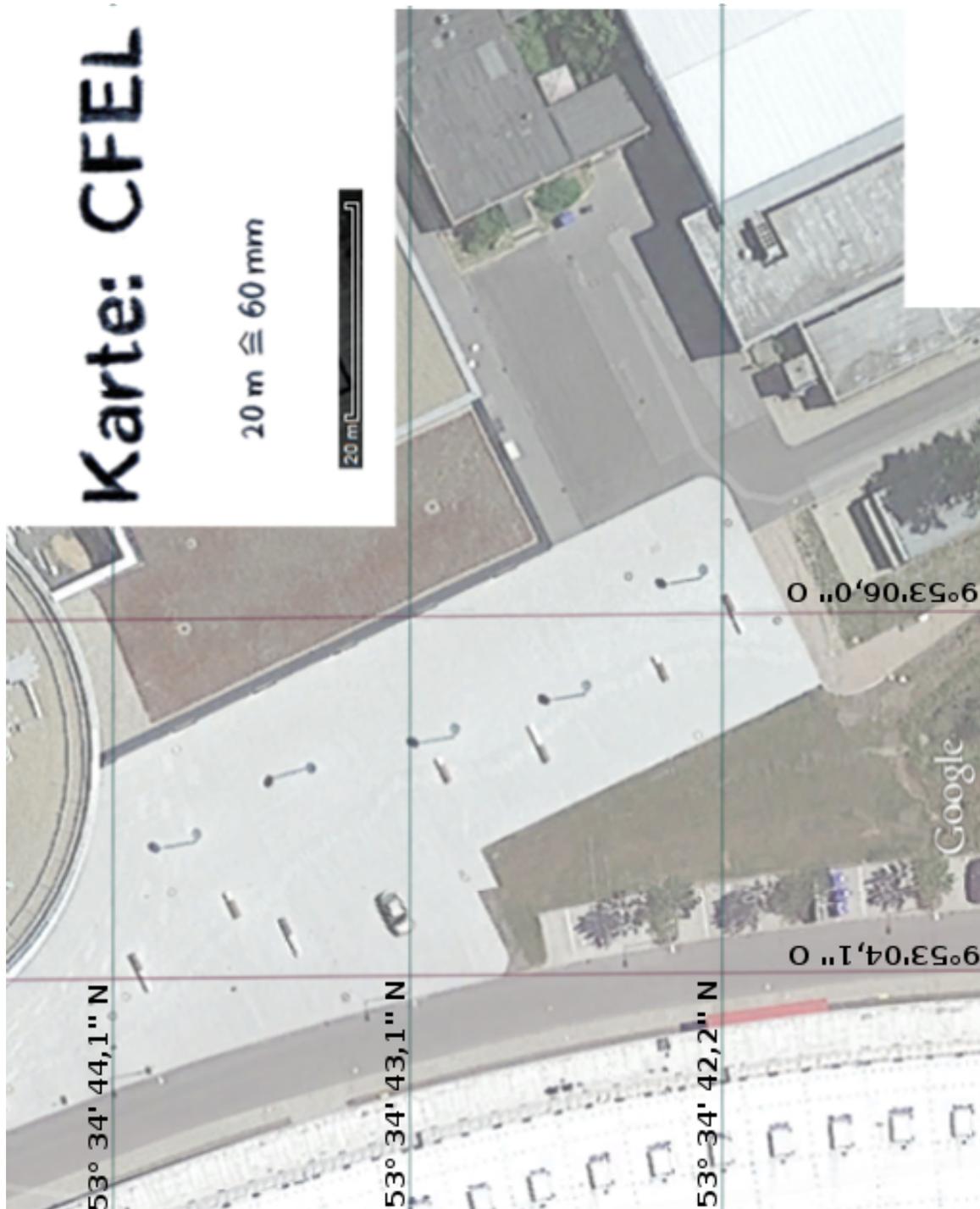
Unser Maßstab ist z. B. $2 m \hat{=} 8 mm$.

Wieviele mm entsprechen dann $5 m$?

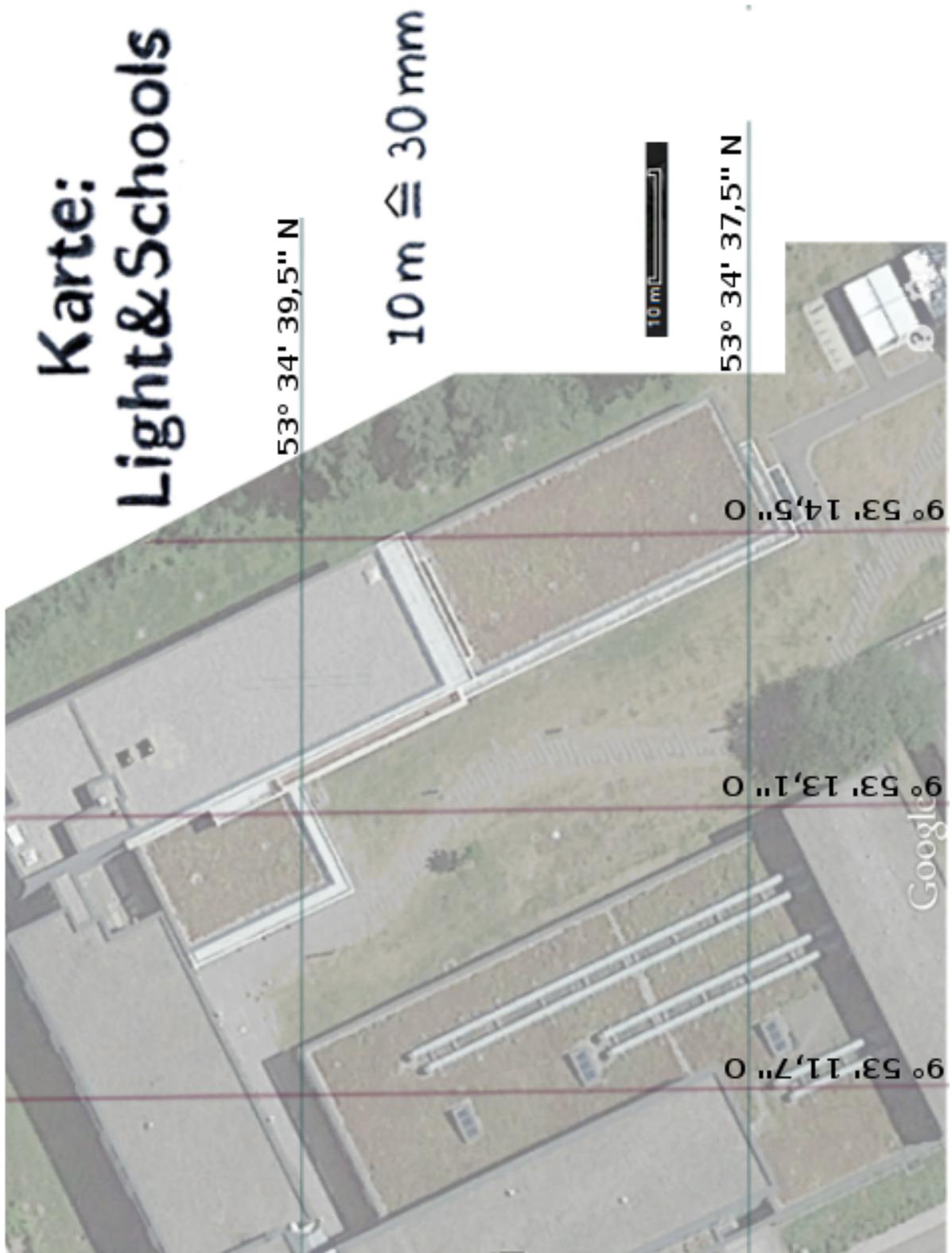
$$\begin{array}{r} m \hat{=} mm \\ \hline 2 \hat{=} 8 \\ :2 \quad \left(\qquad \qquad \right) :2 \\ 1 \hat{=} 4 \\ \cdot 5 \quad \left(\qquad \qquad \right) \cdot 5 \\ 5 \hat{=} 20 \end{array}$$

Also: $5 m \hat{=} 20 m$. Den $5 m$ entsprechen $20 mm$ auf der Karte.

A.4. Karten¹⁸



¹⁸Der Maßstab der Karten stimmt in der vorliegenden Version nicht. Im Original wurden die Karten auf DIN A3-Papier gedruckt. Die Karten sind eine eigene Bearbeitung und auf der Grundlage von Satellitenbildern von Googlemaps entstanden.



A. Anhang

A.5. Fotos des ersten Versuchstags¹⁹



¹⁹Fotos: Alexander Grote

A. Anhang

A.6. Evaluationsbögen

Versuchstag 1



Projekt GPS



Bitte gib an, wie sehr die folgenden Aussagen für dich zutreffen:

von 1 (stimmt voll und ganz) bis 6 (stimmt gar nicht)

- | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 Ich habe heute etwas Neues gelernt. | <input type="checkbox"/> |
| 2 Ich glaube, ich habe verstanden, wie GPS funktioniert. | <input type="checkbox"/> |
| 3 Ich denke, ich kann jemand anderem erklären, wie GPS funktioniert. | <input type="checkbox"/> |
| 4 Ich fand die Veranstaltung interessant. | <input type="checkbox"/> |
| 5 Ich würde gerne zu einem anderen Versuch von Light&Schools kommen. | <input type="checkbox"/> |
| 6 Ich würde einer Freundin oder einem Freund das GPS-Projekt empfehlen. | <input type="checkbox"/> |

Mir hat heute besonders gut gefallen:

Mir hat heute nicht so gut gefallen:

- | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 9 Den Vortrag fand ich interessant. | <input type="checkbox"/> |
| 10 Der Vortrag zu Beginn hat mir geholfen, GPS im Gelände nachzustellen. | <input type="checkbox"/> |
| 11 Der Anfangsvortrag und der Versuch im Freien haben gut zusammengepasst. | <input type="checkbox"/> |
| 12 Mir hat es gefallen, das wir im Freien gearbeitet haben. | <input type="checkbox"/> |
| 13 Nach dem Versuch draußen habe ich besser verstanden, wie GPS funktioniert. | <input type="checkbox"/> |
| 14 Die Zusammenarbeit in meiner Gruppe hat mir gut gefallen. | <input type="checkbox"/> |
| 15 Die Arbeitsanweisungen waren klar und verständlich. | <input type="checkbox"/> |

Ich bin männlich weiblich is mir egal/keine Angabe

Vielen Dank für deine Hilfe!!!

A. Anhang

Versuchstag 2



Projekt GPS



Bitte gib an, wie sehr die folgenden Aussagen für dich zutreffen:

von 1 (stimmt voll und ganz) bis 6 (stimmt gar nicht)

	1	2	3	4	5	6
1 Ich habe heute etwas Neues gelernt.	<input type="checkbox"/>					
2 Ich glaube, ich habe verstanden, wie GPS funktioniert.	<input type="checkbox"/>					
3 Ich denke, ich kann jemand anderem erklären, wie GPS funktioniert.	<input type="checkbox"/>					
4 Ich fand die Veranstaltung interessant.	<input type="checkbox"/>					
5 Ich würde gerne zu einem anderen Versuch von Light&Schools kommen.	<input type="checkbox"/>					
6 Ich würde einer Freundin oder einem Freund das GPS-Projekt empfehlen.	<input type="checkbox"/>					

7 Mir hat heute besonders gut gefallen:

8 Mir hat heute nicht so gut gefallen:

	1	2	3	4	5	6
9 Die Vorträge fand ich interessant.	<input type="checkbox"/>					
10 Der Vortrag zu Beginn hat mir geholfen, GPS im Gelände nachzustellen.	<input type="checkbox"/>					
11 Der Anfangsvortrag und der Versuch im Freien haben gut zusammengepasst.	<input type="checkbox"/>					
11a Der zweite Vortrag hat mir beim Verständnis von GPS geholfen.	<input type="checkbox"/>					
12 Mir hat es gefallen, das wir im Freien gearbeitet haben.	<input type="checkbox"/>					
13 Nach dem Versuch draußen habe ich besser verstanden, wie GPS funktioniert.	<input type="checkbox"/>					
14 Die Zusammenarbeit in meiner Gruppe hat mir gut gefallen.	<input type="checkbox"/>					
15 Die Arbeitsanweisungen waren klar und verständlich.	<input type="checkbox"/>					

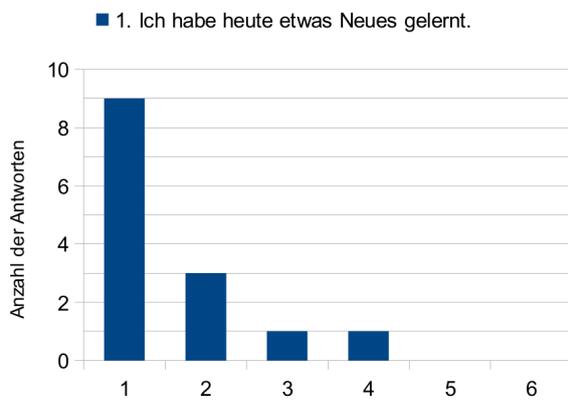
Ich bin männlich weiblich is mir egal/keine Angabe

Vielen Dank für deine Hilfe!!!

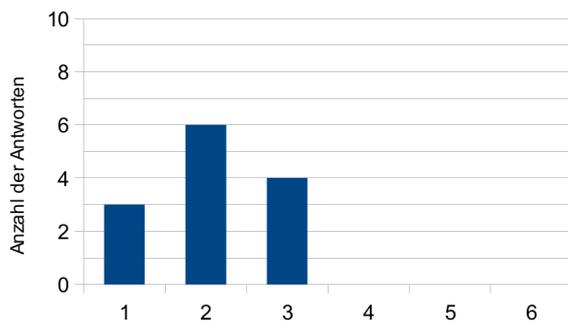
A. Anhang

A.7. Auswertung der Evaluationsbögen

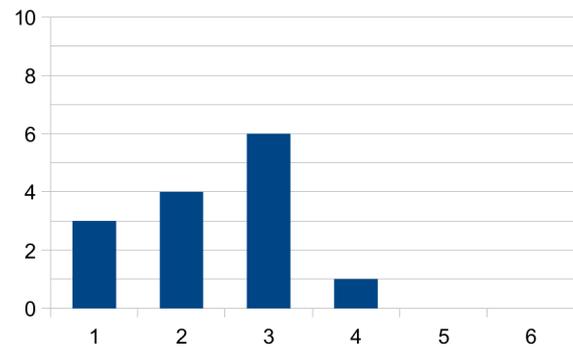
Auswertung Versuchstag 1 Block 1



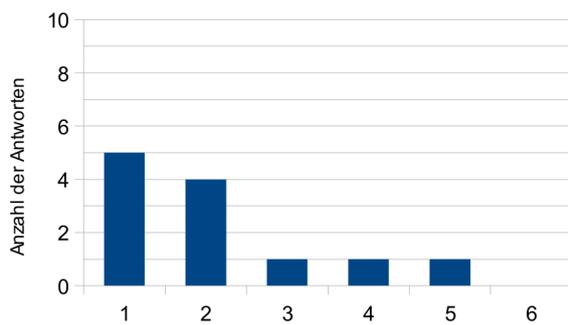
■ 3. Ich denke, ich kann jemand anderem erklären, wie GPS funktioniert.



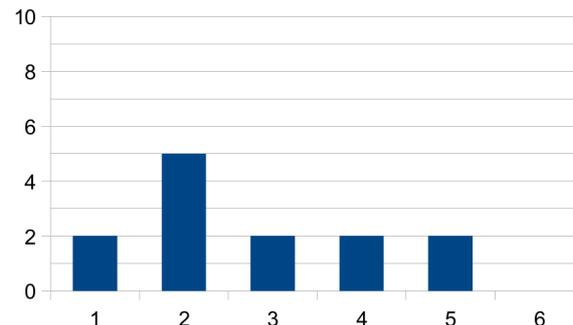
■ 4. Ich fand die Veranstaltung interessant.



■ 5. Ich würde gerne zu einem anderen Versuch von Light&Schools kommen.



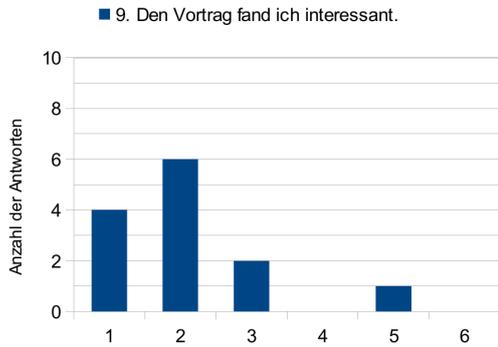
■ 6. Ich würde einer Freundin oder einem Freund das GPS-Projekt empfehlen.



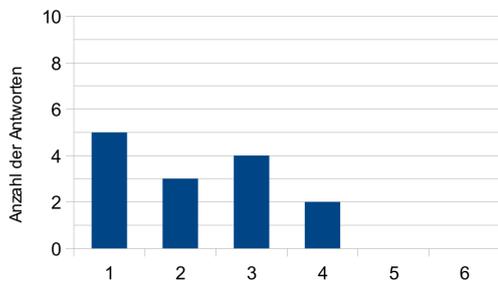
Maß der Zustimmung (1=stimmt voll und ganz, 6 stimmt gar nicht)

A. Anhang

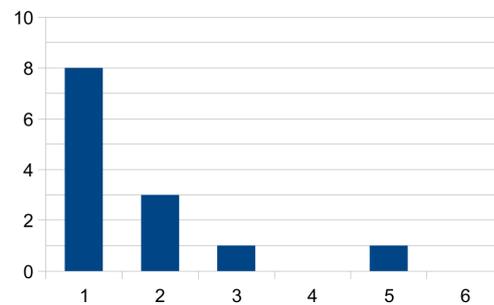
Auswertung Versuchstag 1 Block 2



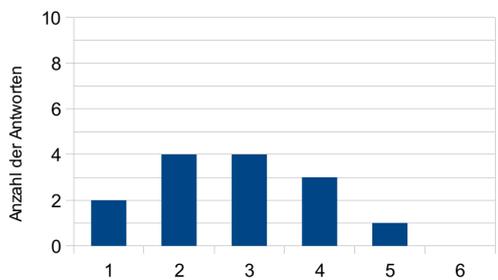
■ 11. Der Anfangsvortrag und der Versuch im Freien haben gut zusammengepasst.



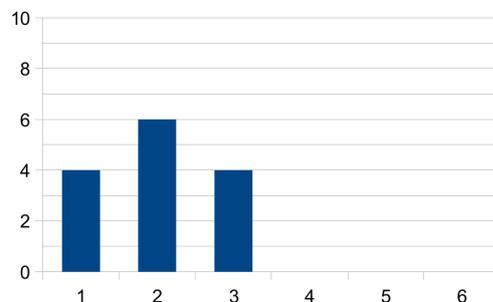
■ 12. Mir hat es gefallen, dass wir im Freien gearbeitet haben.



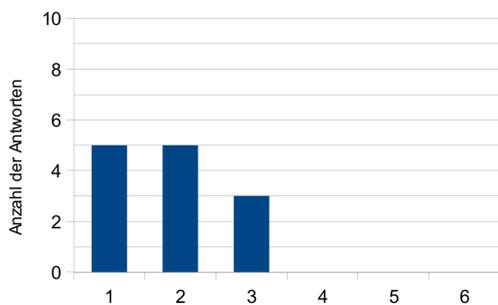
■ 13. Nach dem Versuch draußen habe ich besser verstanden, wie GPS funktioniert



■ 14. Die Zusammenarbeit in meiner Gruppe hat mir gut gefallen.



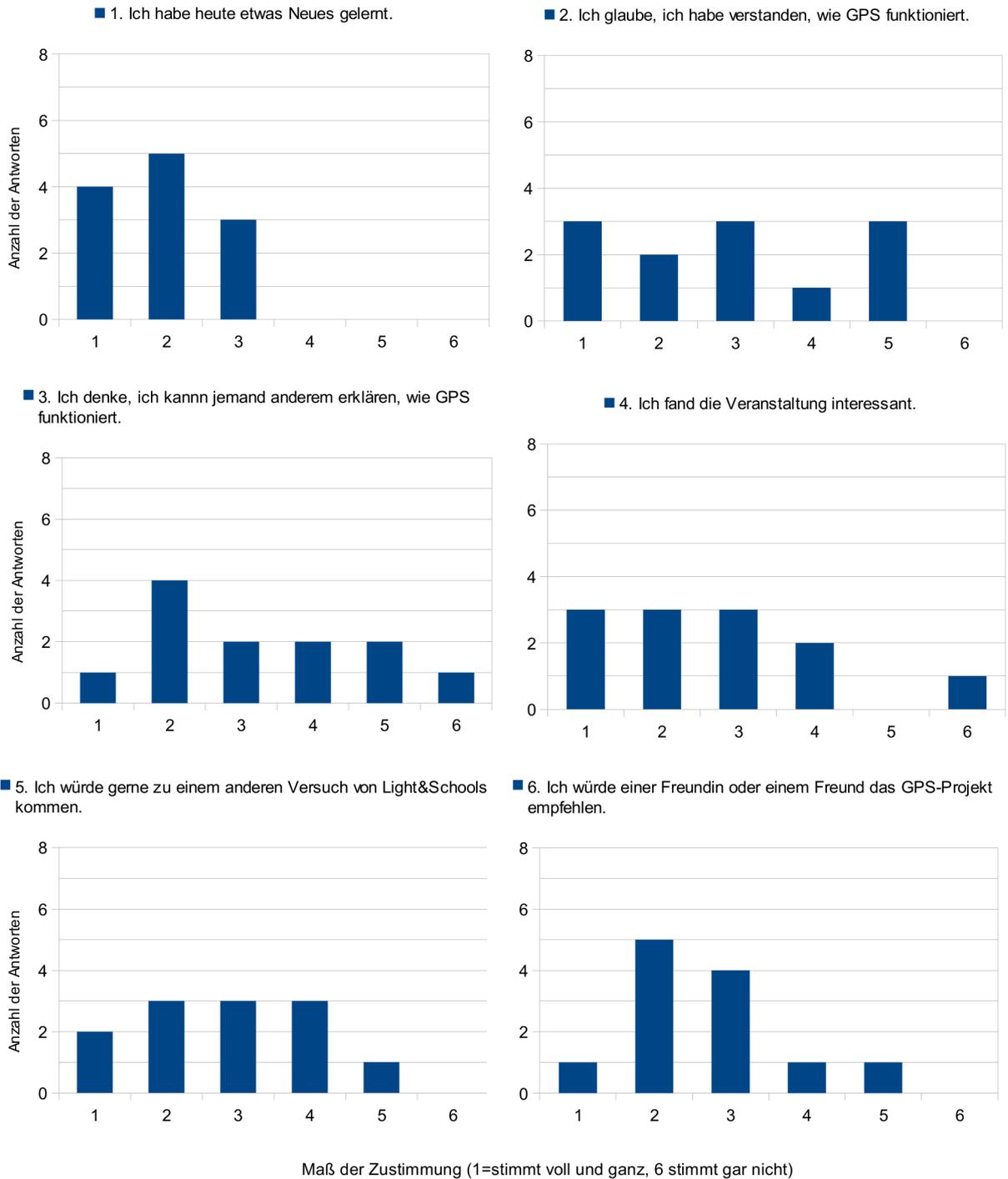
■ 15. Die Arbeitsanweisungen waren klar und verständlich.



Maß der Zustimmung (1=stimmt voll und ganz, 6 stimmt gar nicht)

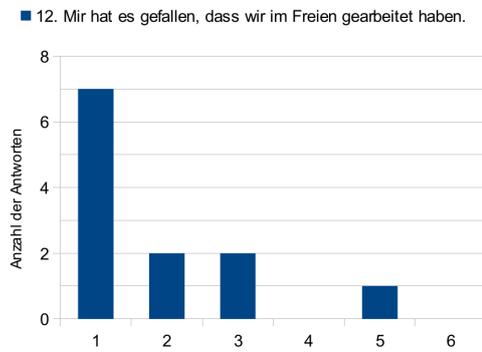
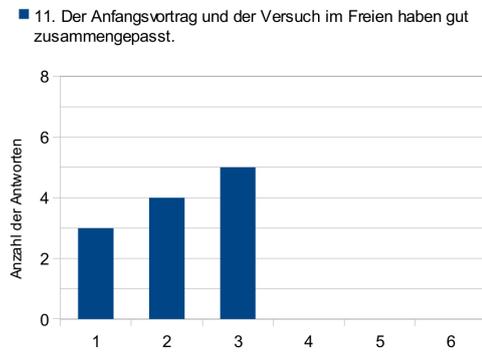
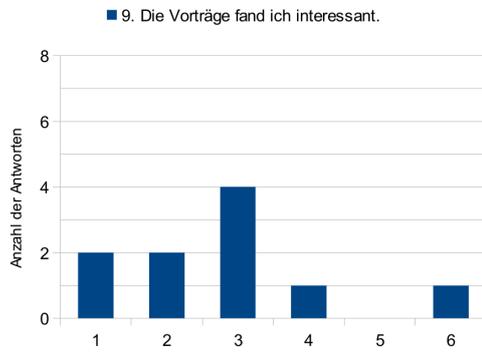
A. Anhang

Auswertung Versuchstag 2 Block 1



A. Anhang

Auswertung Versuchstag 2 Block 2



Maß der Zustimmung (1=stimmt voll und ganz, 6 stimmt gar nicht)

A.8. Auszüge der Internetquellen

LernortLabor - Bundesverband der Schülerlabore e.V. ¹

Sie suchen eine Ergänzung zu Ihrem Unterricht? Sie möchten sich mit anderen außerschulischen Schülerlaboren zum Beispiel des mathematisch-naturwissenschaftlich- technischen Bereichs oder der Geisteswissenschaften austauschen? Oder Sie sind einfach neugierig?



Was sind Schülerlabore?

Der Begriff "Schülerlabor" (Synonym: "Lernlabor", "Mitmachlabor") bezeichnet einen Lernort, in dem Schülerinnen und Schüler eigene Erfahrungen beim selbständigen Experimentieren und Forschen machen. Da sie im Allgemeinen keine Einrichtungen der Schulen sind, werden sie zu den außerschulischen Lernorten gezählt. Die oft vorhandene Anbindung an Forschungs- einrichtungen oder Industriebetriebe macht die Schülerlabore zu sehr authentischen Lernorten, die den Schülerinnen und Schüler auch Einblick in unterschiedliche Berufsfelder erlaubt.

Unterschiedliche inhaltliche, didaktische und organisatorische Konzepte und Ziele führen zu einem bunten Strauß unterschiedlicher Angebote, die unter dem Begriff "Schülerlabor" ein gemeinsames Dach finden. Es ist deshalb schwierig eine allgemein gültige Definition zu finde. Als Schülerlabor im engeren Sinn kann man jedoch solche außerschulischen Lernorte bezeichnen, die

- Schülerinnen und Schülern eine Auseinandersetzung mit moderner Wissenschaft erlauben
- modern ausgerüstete Labore zur Verfügung stellen
- Jugendliche selbstständig experimentieren lassen
- ein regelmäßiges Angebot haben

Die wichtigsten Arten von Schülerlaboren

Ein wichtiges Ziel aller Labore ist es, die Begeisterung und das Verständnis der Heranwachsenden zu steigern und auf diese Weise den fachlichen Nachwuchs zu fördern.

Viele der "klassischen Schülerlabore" richten sich an ganze Klassen oder Kurse aus der (Vor-)Schule, die häufig im Rahmen schulischer Veranstaltungen das Labor besuchen. Die dabei durchgeführten Experimente sind nah an das Curriculum angelehnt und werden von den Lehrkräften in der Regel vor- und nachbereitet.

Davon grenzen sich die "Schülerforschungszentren" ab. Ihr Schwerpunkt ist nicht ein Kursangebot, wie es in klassischen Schülerlaboren üblich ist, sondern das eigenverantwortliche Bearbeiten von Forschungsthemen durch kleine Teams oder einzelne Jugendliche bei weitgehend flexibler Zeiteinteilung. Oft stehen die Themen in Zusammenhang mit Wettbewerben wie "Jugend forscht".

Eine weitere Art von Schülerlaboren bezieht auch die Lehrerausbildung mit ein. Diese "Lehr-Lern-Labore" sind überwiegend an die didaktischen Institute von Universitäten angegliedert und sehen die Lehramtsausbildung als integralen Bestandteil des Laborbetriebes vor. Damit werden die angehenden Lehrkräfte von Beginn an in den Laborbetrieb integriert und bekommen einen Einblick in die Potentiale der Bildungsinnovation "Schülerlabor".

¹ <http://www.lernort-labor.de/LabCards.php?tl=2> (25.07.2014)

2 Kompetenzen und ihr Erwerb im Fach Physik

Beitrag des Fachs zur Bildung

Der Physikunterricht befasst sich mit solchen Dingen und Vorgängen der Welt, bei denen die Aussicht besteht, dass sie aufgrund weniger Prinzipien in Gedanken nachkonstruiert werden können. Wir finden solche Dinge in der Welt des sehr Kleinen (Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik), in unserer im Alltag erfahrbaren natürlichen und technischen Umwelt wie auch in der Welt des sehr Großen (Astrophysik, Kosmologie). Phänomene werden elementarisiert, kausale Abhängigkeiten werden formuliert, in ein zusammenhängendes Gedankenengebäude eingeordnet und in mathematischen Theorien formuliert und im umgekehrten Vorgehen simuliert und vorhergesagt.

Orientierungswissen

Der Physikunterricht leistet einen Beitrag zum Orientierungswissen der Schülerinnen und Schüler: Die Erkenntnisse der Physik haben Einfluss auf die Gesellschaft. Sie tragen zu unserem Weltbild bei und sie gehören zu den Grundlagen der technologischen Entwicklung. Die Anwendung physikalischer Erkenntnisse erlaubt Vorhersagen über die zukünftige Entwicklung von Systemen, insbesondere Technik-Folgen-Abschätzung. Insoweit wird die Mündigkeit der Bürgerinnen und Bürger herausgefordert. Gegenwärtig und auch zukünftig müssen Richtungsentscheidungen über Fragen technischer Nutzung physikalischer Erkenntnisse und über den Einsatz von Ressourcen für physikalische und technische Forschung getroffen werden.

Ein Ziel des Physikunterrichts ist es deshalb, den Schülerinnen und Schülern zu helfen, die Welt der Gegenwart zu ordnen, Zusammenhänge zu verstehen und sich einen eigenen Standpunkt zu erwerben. Physikalisches Grundwissen wird in vielen Berufen des naturwissenschaftlich-technischen Bereichs benötigt. Der Physikunterricht leistet damit auch einen wichtigen Beitrag zur Berufsorientierung.

Physik als Teil der Kultur

Die seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts (Industrialisierung) sich herausbildende enge Verbindung zwischen Technik und Physik macht deutlich, dass die Naturwissenschaft Physik ein grundlegender Bestandteil unserer Kultur ist.

Ebenso wie zur Entwicklung der Technik trägt sie zur Veränderung des Weltbildes bei. Zwar kann auch die Physik keine letzten Antworten geben, aber sie kann, unterstützt durch empirische Methoden (z.B. in der Teilchenphysik und der Kosmologie), zu einer Vertiefung der Diskussion beitragen.

Ziel des Physikunterrichts ist es, in allen seinen Themenbereichen die Beiträge zur Entwicklung unserer Kultur deutlich zu machen, insbesondere

- die enge Verbindung zwischen Technik und Physik (industrielle Revolutionen) sowie
- den Beitrag der Physik zu erkenntnistheoretischen Fragen und zu unserem Weltbild.

In der natürlichen und technischen Umwelt finden sich alltägliche oder auffällige Phänomene, welche durch naturgesetzliche Zusammenhänge erklärbar sind. Ebenso gibt es Dinge, die der „verborgenen“ Seite der Natur (z. B. elektrische Ladung, Atome) angehören.

Die technisch geprägte Umwelt zeichnet sich dabei häufig durch die Dominanz der technischen Anwendung und die Verborgenheit der natürlichen (oft physikalischen) Zusammenhänge aus. Ziele des Physikunterrichts sind deshalb,

- den Blick für diese Phänomene zu schärfen und die Neugier zu verstärken,
- das Fragen (und insbesondere das Hinterfragen von Vorwissen) anzuregen,
- durch eine physikalische Erklärung ausgewählter Naturerscheinungen ein vertieftes Verständnis der Natur und dadurch auch eine erweiterte emotionale Einstellung zu ihr zu ermöglichen.

Das Leben in einer Industriegesellschaft mit einer hoch entwickelten Informations- und Kommunikationstechnik wird durch eine Vielzahl technischer Geräte und Verfahren bestimmt. Sie

Physik in Alltag und Technik

gehören zum Handlungsbereich des Menschen (z. B. Telefon, PKW) oder sind nicht direkt zugänglicher Teil der Industriekultur (z. B. Kraftwerke, Halbleiterfertigung).

Ein Ziel des Physikunterrichts ist es deshalb, den Schülerinnen und Schülern zu helfen, sich in dieser von Technik geprägten Welt zurechtzufinden. Dafür sind erforderlich:

- Kenntnisse über die Funktion technischer Geräte und Verfahren, um Technik zu verstehen, sie in ihrem Nutzwert zu begreifen und in ihrer Wirkung auf Mensch und Umwelt beurteilen zu können,
 - Fähigkeiten zur sachgerechten Handhabung von Geräten und Systemen (auch von Messgeräten und Computerprogrammen) sowie zur Ausführung elementarer handwerklicher Tätigkeiten,
 - Wissen um Gefahren bei der Nutzung der Technik und um Möglichkeiten zur Planung und Durchführung geeigneter Schutzmaßnahmen auf der Basis physikalischer Erkenntnisse.
- Jede technische Entwicklung ist unter vielfältigen Aspekten zu betrachten (z. B. unter ethischen, ökologischen und ökonomischen Aspekten sowie der Frage nach den sozialen Auswirkungen). Bei vielen Fragen ist auch die genaue Sachkenntnis der physikalischen Zusammenhänge von Bedeutung wie auch das Wissen darum, inwieweit Auswirkungen physikalischer Erscheinungen ungeklärt sind.
- Ziel des Physikunterrichts ist es, einen Beitrag dazu zu leisten,

- dass die Schülerinnen und Schüler die Technik, die ihnen im Alltag begegnet, kritisch und kompetent hinterfragen können und zu einem eigenen Standpunkt finden.

2.1 Überfachliche Kompetenzen

In der Schule erwerben Schülerinnen und Schüler sowohl fachliche als auch überfachliche Kompetenzen. Während die fachlichen Kompetenzen vor allem im jeweiligen Unterrichtsfach, aber auch im fächerübergreifenden und fächerverbindenden Unterricht vermittelt werden, ist die Vermittlung von überfachlichen Kompetenzen gemeinsame Aufgabe und Ziel aller Unterrichtsfächer sowie des gesamten Schullebens. Die Schülerinnen und Schüler sollen überfachliche Kompetenzen in drei Bereichen erwerben:

- Im Bereich **Selbstkonzept und Motivation** stehen die Wahrnehmung der eigenen Person und die motivationale Einstellung im Mittelpunkt. So sollen Schülerinnen und Schüler insbesondere Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten entwickeln, aber auch lernen, selbstkritisch zu sein. Ebenso sollen sie lernen, eigene Meinungen zu vertreten sowie sich eigene Ziele zu setzen und zu verfolgen.

- Bei den **sozialen Kompetenzen** steht der angemessene Umgang mit anderen im Mittelpunkt, darunter die Fähigkeiten, zu kommunizieren, zu kooperieren, Rücksicht zu nehmen und Hilfe zu leisten sowie sich in Konflikten angemessen zu verhalten.

- Bei den **lernmethodischen Kompetenzen** stehen die Fähigkeit zum systematischen, zielgerichteten Lernen sowie die Nutzung von Strategien und Medien zur Beschaffung und Darstellung von Informationen im Mittelpunkt.

Die in der nachfolgenden Tabelle genannten überfachlichen Kompetenzen sind jahrgangsübergreifend zu verstehen, d. h. sie werden anders als die fachlichen Kompetenzen in den Rahmenplänen nicht für Jahrgangsstufen differenziert ausgewiesen. Die altersgemäße Entwicklung der Schülerinnen und Schüler in den drei genannten Bereichen wird von den Lehrkräften kontinuierlich begleitet und gefördert. Die überfachlichen Kompetenzen sind bei der Erarbeitung des schulinternen Curriculums zu berücksichtigen.

A. Anhang

Bewegung und Kraft

Mindestanforderungen am Ende der Jahrgangsstufe 8		Mindestanforderungen für den Übergang in die Studienstufe
Umgang mit Fachwissen	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> • geben die Definition der Geschwindigkeit als Quotient aus Weg und Zeit wieder, • unterscheiden gleichförmige und beschleunigte Bewegungen, • beschreiben Beschleunigung als Veränderung der Geschwindigkeit, • beschreiben Verformung und Beschleunigung als Kraftwirkungen, • beschreiben die Reibungskraft als bewegungshemmende Kraft in Alltagssituationen, • beschreiben den Zusammenhang zwischen Kraft und Weg bei einfachen mechanischen Maschinen, • beschreiben, dass die Verformung von Schraubenfedern zur Kraftmessung in Federkraftmessern genutzt wird, • verwenden das Newton als Einheit der Kraft und Kilogramm als Einheit der Masse, • unterscheiden Masse und Gewichtskraft. 	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> • stellen die Bewegungsgleichungen $s = \frac{1}{2} at^2$ und $v = at$ dar, • beschreiben den Zusammenhang zwischen Kraft und Beschleunigung $F = ma$, • erläutern den Begriff „freier Fall“.
Erkenntnisgewinnung	<ul style="list-style-type: none"> • planen Versuche zum Vergleich von Kräften an einfachen Maschinen, • wenden das Weg-Zeit-Gesetz: $s = v \cdot t$ auf gleichförmige Bewegungen an, • führen ein einfaches Experiment zur Bestimmung der Durchschnittsgeschwindigkeit eines Körpers durch, • messen Kräfte und Massen, • benennen das Wechselwirkungsprinzip bei einfachen Vorgängen. 	<ul style="list-style-type: none"> • ordnen einer einfachen vorgegebenen Bewegung begründet den Bewegungstyp zu, • werten die Bewegung quantitativ aus, • wenden die Bewegungsgesetze und die Energieformen auf den freien Fall an, • werten gewonnene Bewegungsdaten aus, ggf. auch durch einfache Mathematisierungen, • vergleichen die aristotelische und die galileische Vorstellung zum Trägheitsprinzip, • erkennen an alltäglichen Phänomenen die behandelten mechanischen Gesetze wieder • und beschreiben sie (z. B. Verkehr, Sport).
Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> • interpretieren Zeit-Weg-Diagramme und Zeit-Geschwindigkeits-Diagramme, • recherchieren Geschwindigkeiten in der Natur und Technik, • stellen Kräfte in Skizzen als Pfeile mit Angriffspunkt, Richtung und Betrag dar. 	<ul style="list-style-type: none"> • interpretieren und erstellen selbst einfache Zeit-Weg-Diagramme und Zeit-Geschwindigkeits-Diagramme.
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> • beurteilen Gefahren und Sicherheit im Straßenverkehr unter den Aspekten von Kraft und Trägheit, • beschreiben den Einsatz von einfachen Maschinen und kraftsparenden Werkzeugen in Alltag und Beruf. 	<ul style="list-style-type: none"> • beurteilen Gefahren und Sicherheit im Straßenverkehr unter kinematischen und dynamischen Gesichtspunkten, • beschreiben den Einsatz von Maschinen und kraftsparenden Werkzeugen in Alltag und Beruf.

Danksagung

Ich möchte mich bei allen, die mich bei der Durchführung und Ausarbeitung meiner Bachelorarbeit unterstützt haben, bedanken.

Besonders zu nennen sind meine Korrektoren Prof. Dr. Klaus Sengstock und Dr. Thomas Garl.

Auch Dortje Schirok, die mir immer mit einem guten Rat zur Seite stand, immer für mich ansprechbar und mir bei der Durchführung eine Hilfe war, gilt mein großer Dank.

Ich freue ich mich sehr, dass zwei Hamburger Gymnasialklassen sich für den Versuch bereit erklärt haben und dass diese Tage von Alexander Grote fotografisch festgehalten wurden. Auch ihnen gilt dafür mein Dank.

Für die kritischen Kommentare und die Hilfe beim Verstehen der physikalischen Grundlagen geht mein Dank an meinen Vater Prof. Dr. Harald Sternberg.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel — insbesondere keine im Quellenverzeichnis nicht benannten Internet-Quellen — benutzt habe, die Arbeit vorher nicht in einem anderen Prüfungsverfahren eingereicht habe und die eingereichte schriftliche Fassung der auf dem elektronischen Speichermedium entspricht.

Ich bin damit einverstanden, dass die Bachelorarbeit veröffentlicht wird.

Hamburg, 02.Septemberg.2014

Lena Sternberg