



# Das GLOBE-Programm ?

## „Global Positioning System“

GLOBE-Lehrerhandbuch





---

Übersetzung des Kapitels „Global Positioning System“ aus dem englischsprachigen Lehrerhandbuch „GLOBE Program? Teachers Guide“ (Ausgabe 2000).

Das DLR besitzt das „copyright“ für die deutsche Übersetzung. Vervielfältigungen durch Fotokopie oder andere Verfahren bedürfen der schriftlichen Zustimmung des DLR (Projektleitung GLOBE Germany). Vervielfältigungen für den schulinternen Gebrauch sind ohne weitere Zustimmung zulässig.



# Global Positioning System (GPS)

## Inhalt

### Willkommen beim Studienprogramm "GPS-Untersuchung"

Anschreiben des Wissenschaftlers an die Schüler	Willkommen	2
Dr. Whit Smith stellt sich vor	Willkommen	3

### Einführung

Allgemeine Übersicht	Einführung	1
Vorbereitung zur Feldarbeit	Einführung	3
Lernziele	Einführung	3
Leistungsbeurteilung	Einführung	4

### Protokolle

Hinweise zur Durchführung der GPS-Untersuchung	Protokolle	2
Protokoll "Einfache GPS-Messung"	Protokolle	5
Protokoll "Versetzte GPS-Messung"	Protokolle	11

### Lernschritte

Die richtige Antwort	Lernschritte	2
Relative und absolute Richtungsangaben	Lernschritte	12
Arbeit mit Winkeln	Lernschritte	24
Astronavigation	Lernschritte	33

### Anhang

Datenarbeitsblatt zur GPS-Untersuchung	Anhang	2
Datenarbeitsblatt zur versetzten GPS-Messung	Anhang	3
Begriffsverzeichnis	Anhang	4
GLOBE-Internet-Dateneingabeblatt	Anhang	7

**Wichtiger Hinweis: Längen- und Breitengrad werden nicht mehr in Grad mit Minuten und Sekunden angegeben. Vielmehr erfolgt jetzt die Eingabe in Dezimalform.**



## Studienprogramm "GPS-Untersuchung" im Überblick

### Protokoll

Uhrzeit der Erstmessung sowie gemittelte Breiten-, Längen- und Höhenkoordinaten der Standorte für die Atmosphären-, Hydrologie-, Landbedeckungs-, Biologie-, Boden- und Bodenfeuchtigkeitsuntersuchung sowie der Schule, die den Mittelpunkt des GLOBE-Untersuchungsstandortes bildet.

Diese Messungen werden nur einmal durchgeführt.

### Empfohlener Ablauf

- ?? Reservieren Sie sich möglichst schnell Ihren GPS-Empfänger aus dem GLOBE-Programm. Einzelheiten hierzu finden Sie im Abschnitt GPS-Protokolle unter Hinweise zur Durchführung der GPS-Untersuchung.
- ?? Lektüre des Abschnitts Willkommen zur GPS-Untersuchung
- ?? Kopieren und Verteilen des Anschreibens des Wissenschaftlers sowie des Interviews an die Schüler
- ?? Lektüre der Protokolle zwecks Gewinnung einer präzisen Übersicht über Umfang und Art der vorgesehenen Messungen
- ?? Ermittlung der Lage der einzelnen GLOBE-Untersuchungsstandorte - noch vor Eintreffen des GPS-Empfängers - anhand von Landsat-Bildern, kartographischen Quellen (Landkarten, Atlas usw.) und Feldbeobachtungen
- ?? Nach Erhalt des GPS-Empfängers: Fordern Sie die Schüler auf, einige Probemessungen in der Nähe der Schule unter Einsatz der im Abschnitt Protokolle beschriebenen Meßverfahren durchführen. Sobald Sie und die Schüler mit dem GPS-Gerät vertraut sind, suchen Sie die einzelnen GLOBE-Untersuchungsstandorte auf und ermitteln Sie mittels der Protokolle deren jeweilige Positionsdaten. Melden Sie Ihre Ergebnisse nach Abschluß Ihrer Messungen und Berechnungen schnellstmöglich an GLOBE.
- ?? Falls eine oder mehrere Meßstandorte unter einer Baumkronendecke verborgen sein sollten, bestimmen Sie deren Positionen anhand der Hinweise in der GPS-Übung Versetzte GPS-Messungen. Neben dem eigentlichen Protokoll handelt es sich hierbei um die einzige Maßnahme, für die Sie den GPS-Empfänger brauchen.
- ?? Sollte die Durchführung der Messungen den Schülern schwerfallen oder ein Interesse an einer weiteren Vertiefung des GPS-Themas bestehen, empfiehlt sich die Lektüre bzw. Durchführung einer oder mehrerer Begleitübungen (z.B. Relative und absolute Richtungsangaben, Arbeit mit Winkeln, Die richtige Antwort).
- ?? Senden Sie den GPS-Empfänger bitte möglichst schnell an GLOBE zurück. Hinweise zur Vorgehensweise finden Sie wiederum im Abschnitt Protokolle dieses GPS-Programms unter Hinweise zur Durchführung der GPS-Untersuchung.



Kopieren und an die Schüler verteilen

## **Anschreiben des Wissenschaftlers an die Schüler**

Liebe GLOBE-Schüler,

Die Menschheit hat die Ressourcen, die unser Planet zur Verfügung stellt, arg strapaziert. Um so mehr sind wir jetzt aufgefordert, die Schöpfung zu erhalten und zu bewahren. Das GLOBE-Programm bietet Euch die Möglichkeit, uns allen dabei zu helfen, mehr über unsere Welt in Erfahrung zu bringen.



Es ist ein gutes Gefühl, sich für die Erforschung unserer Umwelt zu engagieren, aber damit darf es nicht genug sein. Wissenschaftliche Messungen bietet die Möglichkeit, Sachverhalte in Zahlen auszudrücken und auf diesem Weg einen objektiven Beurteilungsmaßstab zu entwickeln. Nur so können wir zu begründeten Entscheidungen gelangen, auf deren Basis vernünftiges Handeln möglich ist.

Ich bin im Rahmen des GLOBE-Programms für die Lerninhalte zuständig, die mit dem als "Global Positioning System" (GPS) bezeichneten Satellitennavigationsverfahren zusammenhängen. Im Rahmen dieses Programms erhaltet Ihr ein tragbares Gerät, das Zeitsignale von Satelliten empfängt, die in einer Entfernung von 20200 km im Weltraum stehen. Anhand dieser Signale werdet Ihr den Breiten- und Längengrad des eigenen Standortes so genau ermitteln, daß Ihr anschließend die Position Eurer Schule bzw. Eures Wohnortes auf einem Satellitenbild angeben könnt. Durch die Übermittlung dieser Meßwerte helft Ihr den Wissenschaftlern und Studenten, die im Rahmen des GLOBE-Programm tätig sind, die von Euch gelieferten GLOBE-Messungen geographisch genau zuzuordnen.

Ich möchte Euch bitten, bei der Durchführung der GLOBE-Messungen sowie der anschließenden Datenübermittlung äußerst gewissenhaft vorzugehen. Vielleicht sagt der eine oder andere, er interessiere sich nicht für Wissenschaft und Qualität.

Ob er wohl noch dieser Meinung ist, wenn ein naher Verwandter oder Freund erkrankt und durch Antibiotika wieder gesund wird? Ob er wohl weiß, wieviel Naturwissenschaft allein in einer Toilettenspülung steckt?

Dieses Programm bietet Euch die Möglichkeit, durch den Einsatz eigener naturwissenschaftlicher, mathematischer und geographischer Fähigkeiten zur Erweiterung unseres Verständnisses der Abläufe auf unserer Erde beizutragen.

An diesem Programm sind zahlreiche Menschen beteiligt. Sie alle sind jedoch auf Eure Mitarbeit angewiesen, denn wenn es um Euren Wohnort geht, seid nun einmal Ihr die Experten. Ich freue mich auf unsere Zusammenarbeit - und auf Eure Ergebnisse.

Dr. Whit Smith

Leitender Forschungsingenieur

Fakultät für Elektrotechnik

Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia 30332, USA

Kopieren und an die Schüler verteilen



## Dr. Whit Smith stellt sich vor

Dr. Smith ist Forschungsingenieur und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Georgia Institute of Technology in Atlanta/Georgia (USA).

GLOBE: Welche Daten benötigen Sie, und wozu?

Dr. Smith: Ich benötige zu jedem GLOBE-Untersuchungsstandort den geographischen Längen- und Breitengrad sowie die Höhe über dem Meeresspiegel, damit wir die Lage der einzelnen Untersuchungsstandorte auf dem Satellitenbild feststellen können. Die übrigen Wissenschaftler brauchen diese Positionsangaben, um die in einem Gebiet gewonnenen Meßwerte mit den Ergebnissen aus anderen Gebieten vergleichen zu können.

GLOBE: Warum ist dies nicht anhand von Landkarten möglich?

Dr. Smith: Wir möchten die Position jedes einzelnen Untersuchungsstandortes auf dem Satellitenbild ermitteln. Ein Bildpunkt ("Pixel") eines Landsat-Satellitenbildes entspricht auf der Erde einem Quadrat von 30 m Seitenlänge. Mit topographischen Karten läßt sich eine auf 30 m genaue Darstellung nur schwer herstellen.

GLOBE: Wird das GPS-System den herkömmlichen Handkompaß früher oder später ersetzen?

Dr. Smith: Nein, denn das GPS-System liefert keine Richtungsangaben. Es gibt nur den jeweiligen Standort an. Ein Kompaß zeigt Himmelsrichtungen, nicht jedoch den Standort. Man braucht also beides.

GLOBE: Haben Schüler schon früher mit dem GPS-System gearbeitet?

Dr. Smith: Ja. Sogar Pfadfinder und Wanderer benutzen heute dieses System. Auch Schiffe und Flugzeuge verwenden es zur Navigation.

GLOBE: Erzählen Sie uns etwas über sich. Wo sind Sie aufgewachsen?

Dr. Smith: Ich stamme aus der kleinen Stadt Goldsboro in North Carolina, wo ich auch die Grund- und Oberschule besucht habe.

GLOBE: Haben Sie Familie? Kinder?

Dr. Smith: Nein, auch keine Haustiere - aber sehr viele Studenten.

GLOBE: Wann begannen Sie, sich für Naturwissenschaft zu interessieren?

Dr. Smith: Ich hatte stets ein Interesse an Naturwissenschaften und Technik, vielleicht weil die Wissenschaft nach der Wahrheit sucht. Vor allem Elektrik und Mechanik hatten es mir angetan. Als ich dann Elektrotechnik studierte, waren Funk- und Fernmeldetechnik meine Lieblingsgebiete.

GLOBE: Wenn Sie die Möglichkeit hätten, eine Antwort auf eine bestimmte naturwissen-



schaftliche Frage zu erhalten - welche würden Sie stellen?

Dr. Smith: Ich wüßte gern mehr über Elektromagnetismus - das Zusammenwirken elektrischer und magnetischer Felder -, aber auch über Wahrscheinlichkeiten. Auf beiden Gebieten habe ich mich stets schwergetan. Aber selbst Menschen, die in diesen Fächern nur Einsen schreiben, verstehen womöglich nicht alle Zusammenhänge.

GLOBE: Was würden Sie gerne über Elektrizität wissen?

Dr. Smith: Ich würde gern die Abläufe der Elektrizität so grundlegend begreifen, wie es nur geht. Wir wissen, daß sie funktioniert - aber nicht, wie.

GLOBE: Können wir dies überhaupt herausfinden?

Dr. Smith: Ich bezweifle es. Es gibt auf diesem Gebiet unzählige Mengen wahrhaft unendlicher Zusammenhänge zu klären, und wenn man nur einen Fingerhut voll Wissen gesammelt hat, ist das schon ein Erfolg.

GLOBE: Sie sind Forschungsingenieur. Wie verhält sich dies zum Wissenschaftler?

Dr. Smith: Kraft ist gleich Masse mal Beschleunigung. Die Gleichung geht auf, aber es hat lange gedauert, bis sie von jemandem aufgestellt wurde. Ingenieure wenden solche Gesetzmäßigkeiten an, um praktische Lösungen herbeizuführen. Das wissenschaftliche Verfahren, das übrigens auch von Ingenieuren angewandt wird, besteht in der Aufstellung von Hypothesen, die dann auf ihren Wahrheitsgehalt überprüft werden. Steht eine allgemeine Wahrheit erst einmal fest, läßt sie sich praktisch nutzen. Ingenieure setzen solche Wahrheiten in Gegenstände von praktischem Wert um.

GLOBE: Sie nutzen also dieses Wissen, um neue Techniken zu schaffen?

Dr. Smith: Ich suche danach, und ich wende dieses Wissen an. Solange ich danach suche, bin ich Wissenschaftler. Wenn ich es anwende, bin ich Ingenieur.

GLOBE: Welches war die größte Herausforderung, an die Sie sich erinnern können?

Dr. Smith: Vor einigen Jahren kam ich unverhofft zu ein paar riesengroßen Satellitenantennen - jede etwa zehn Stockwerke hoch und etwa 35 m im Durchmesser. Sie waren höher als die meisten Häuser. Eigentümer war die Telekommunikationsgesellschaft AT&T.

GLOBE: Und zu diesen Geräten gelangten Sie unverhofft?

Dr. Smith: Ja, sie stehen da draußen in einem Maisfeld etwa 100 km südlich von Atlanta. Das Georgia Institute of Technology erwarb sie, und man sagte mir: "Mach' was damit". Ich fragte: "Was denn?" Man antwortete mir: "Irgendwas." Ich fragte wieder: "Was denn, bitte?" Und man antwortete wieder: "Na, irgendwas". Schließlich sagte ich: "Also gut." Ich stellte eine Gruppe von Studenten zusammen, um gemeinsam mit ihnen herauszufinden, ob es möglich wäre, ein paar Funkgeräte an die Antennen anzuschließen und Sternengeräusche abzuhören oder mit Satelliten in Kommunikation zu treten. Zwei Jahre später gelang es uns, die Antennen auf den Jupiter zu richten, als dort im Sommer 1994 der Komet Shoemaker-Levy einschlug. Wir konnten die Funksignale vom Jupiter messen und hoffen noch immer, sie mit dem Aufprall des



Kometen in Beziehung setzen zu können. Meine Studenten und ich haben also eine Radioastronomie- und Satellitenkommunikationsanlage aus Schrott gebaut - ein recht ehrgeiziges Projekt also.



GLOBE: Wie sieht Ihr Tagesablauf aus?

Dr. Smith: Ich habe keinen typischen Tagesablauf. An Sonnabenden arbeite ich mit den Studenten an der Antennenanlage. Ein Student baut vielleicht einen Motor für die Antennendrehung ein, ein anderer arbeitet an einer Schnittstelle, mit der sich dieser Motor an einen Computer anschließen läßt.

GLOBE: Wenn Sie "Motor" sagen ...

Dr. Smith: ... dann meine ich einen Elektromotor, etwa so groß wie eine Mülltonne, der mit extrem hoher Untersetzung imstande ist, selbst ein zehnstöckiges Gebäude in Bewegung zu versetzen. Es handelt sich um überdimensionale Satellitenschüsseln. Ich kann sie nach oben oder unten bzw. nach links und rechts schwenken. Daraus bestehen meine Samstage. In der Woche halte ich Vorlesungen und Seminare sowie Sprechstunden für meine Studenten ab. Hinzu kommen zahlreiche Konferenzen im Rahmen von GLOBE und anderen Programmen. Zudem muß ich Computerprogramme und Berichte schreiben und Auswertungen durchführen.

GLOBE: Haben Sie ein Labor?

Dr. Smith: Die Antennenanlage ist mein Labor. Wir haben Labors hier an der Hochschule, wo wir die Geräte, die für die Antennenanlage bestimmt sind, konstruieren, bauen und erproben. Das eigentliche Labor ist jedoch die Anlage selbst.

GLOBE: Welche Vorbilder hatten Sie als Heranwachsender?

Dr. Smith: Astronauten.

GLOBE: Und haben Sie noch immer Vorbilder?





- Dr. Smith: Vielleicht Figuren aus der Bibel, die sich durch ihren unerschütterlichen Glauben auszeichneten.
- GLOBE: Der Glaube ist für Ihre Arbeit wichtig?
- Dr. Smith: Ja. Er ist für uns alle wichtig, egal bei welcher Tätigkeit. Um den Fuß auf den Boden zu setzen und zu hoffen, daß er einen trägt, muß man bereits glauben können.
- GLOBE: Was würden Sie als den Lohn der Wissenschaft bezeichnen?
- Dr. Smith: Wenn man etwas Interessantes selbst beobachten kann, ist das eine schöne Erfahrung. Mein Fall ist jedoch eher der, daß ich Meßgeräte baue, damit andere damit etwas beobachten können. Wo der Lohn der GLOBE-Daten liegt? Wissen Sie, allein die strahlenden, lächelnden Gesichter der Studenten und Schüler zu sehen, das ist für mich das Größte.
- GLOBE: Und welchen Nutzen ziehen die Schüler aus der Mitwirkung am GLOBE-Programm?
- Dr. Smith: Sie lernen, daß sie die Abläufe in unserer Welt sehr wohl mitgestalten können. Dies gilt sowohl für die Natur als auch für den Umgang mit Technik und Naturwissenschaften. Nach meiner Erfahrung betrachten die meisten Schüler die Naturwissenschaften als eine geheimnisvolle "Black Box", deren Funktion für sie nicht nachvollziehbar ist. Es gibt ja auch wirklich viele Geheimnisse da draußen, aber wir haben die Fähigkeit, über diese Abläufe nachzudenken, sie beobachten und strukturieren zu können.
- GLOBE: Wir stehen an der Schwelle zum 21. Jahrhundert. Glauben Sie, daß für junge Menschen heute gewisse Grundkenntnisse in Naturwissenschaft und Technik unverzichtbar geworden sind?
- Dr. Smith: Ja. Es gibt Menschen, die Angst vor Wissenschaft und Technik haben, aber auch solche, die sie uneingeschränkt bejahen. Diejenigen, die nicht bereit sind, sich auf Wissenschaft und Technik einzulassen, laufen meiner Meinung nach Gefahr, zu Bürgern zweiter Klasse zu werden. Wer heute noch sagt, er könne kein Videogerät programmieren und sei stolz darauf, hat im Grunde wesentlich weniger Möglichkeiten als andere. Dieser Trend ist bereits jetzt unübersehbar - die Spaltung in diejenigen, die mit Computern zu arbeiten bereit sind, und diejenigen, die sie ablehnen.
- GLOBE: Was würden Sie einem jungen Menschen sagen, der mit dem Gedanken spielt, Ihren Beruf zu ergreifen?
- Dr. Smith: Natur- und Ingenieurwissenschaften sind Gebiete, die viel Zeit und Mühe erfordern. Wer heute diesen Beruf wählt und erfährt, wieviel Spaß es macht, Neues zu entdecken, kann in der Arbeit viel Befriedigung finden.
- GLOBE: Und welchen Rat könnten Sie einem Schüler geben, der sich für eine naturwissenschaftliche Tätigkeit interessiert?
- Dr. Smith: Versuche, Erwachsene zu finden, die dich auf diesem Weg fördern und begleiten. Sprich mit ihnen, suche den Austausch, sei konstruktiv.



GLOBE: Hatten Sie in Ihrer Jugend solche Förderer?

Dr. Smith: Ein älterer Ingenieur hat mir seinerzeit sehr geholfen. Heute wünsche ich mir, ich hätte mich noch früher mit Amateurfunk befaßt, denn dann wäre ich eher mit Menschen zusammengekommen, die etwas von Wissenschaft und Technik verstehen.

GLOBE: Also tendierten Sie schon als Schüler in diese Richtung?

Dr. Smith: Jede Generation steht vor ihren eigenen großen Fragen. Während des zweiten Weltkrieges war es der Totalitarismus, später die Angst vor dem Atomkrieg. In den USA fand in den sechziger Jahren die Hinterfragung bestehender Autoritäten und die Rebellion der jungen Generation statt. In den '70er Jahren trat der Umweltschutz in den Mittelpunkt des Interesses. Wenn der Mensch wirklich seine Umwelt schützen will, kann er nur wirksam handeln, indem er sich mit den wissenschaftlichen Folgen ökologischer Probleme auseinandersetzt. In Wissenschaft und Technik lernt man, Ereignisse und Entwicklungen in Zahlen auszudrücken - man führt Messungen durch und weiß dann quantitativ und objektiv, was vorgeht. Einige Leute setzen sich z.B. für die Nutzung der Sonnenkraft ein, ohne jedoch im Grunde etwas davon zu verstehen. Wenn Sie jedoch ein Ingenieur oder Wissenschaftler sind und z.B. wissen, daß an einem bestimmten Ort pro Quadratmeter ein Kilowatt Sonnenlicht einfällt, dann können Sie aus dem Preis eines Quadratmeters Solarzellen, der elektrischen Leistung von z.B. 100 W pro Quadratmeter und dem Wirkungsgrad von z.B. 10% errechnen, wieviel Strom sich konkret aus Sonne erzeugen läßt. Sie können Zahlen liefern, Kosten berechnen und über einen Vorgang, der unsere Welt und unsere Biosphäre beeinflußt, intelligente Aussagen machen.

GLOBE: Wo liegt heute die "vorderste Front" Ihres Fachgebiets?

Dr. Smith: Die beiden größten Anwendungsbereiche der Elektrotechnik liegen momentan auf dem Gebiet der persönlichen Kommunikationssysteme (z.B. Funkrufgeräte, Mobilfunk-Telefone), aber auch bei den Lichtwellenleitern (z.B. Glasfaserkabel und Computer mit optischer Signalverarbeitung. Über eine einzige Glasfaser, die dünner als ein menschliches Haar ist, lassen sich heute Unmengen von Daten übertragen.

GLOBE: Gibt es Grenzen der wissenschaftlichen Entdeckung?

Dr. Smith: Viele Menschen betrachten Naturwissenschaft als den Versuch, Gott seine Geheimnisse zu entreißen. Die Wissenschaft wird nie alles wissen, und vielleicht ist auch gut so, daß immer ein Rest von Geheimnis bleibt. Bereits das wenige Wissen, das wir haben, verleiht uns unendliche Möglichkeiten. Ich glaube, daß wir die Pflicht haben, unsere Welt zu erhalten und zu bewahren. Dazu gehört, daß wir uns bemühen, sie zu verstehen und pfleglich zu behandeln. Und genau hier können die Schüler ihren Beitrag leisten. Ihre Daten werden uns helfen, mehr über die Funktionsweise unserer Welt in Erfahrung zu bringen, damit wir eben diese intelligenten Entscheidungen treffen können.



## Einführung

### Allgemeine Übersicht

#### Überblick

Ein GPS-Empfänger ist ein tragbares Gerät, das Daten direkt von Satelliten in der Erdumlaufbahn empfängt. Mit Hilfe dieses GPS-Empfängers können die Schüler praktisch an jedem Punkt der Erde ihren Standort (geographische Länge und Breite) bis auf 100 m genau bestimmen. Bildet man den Durchschnitt aus mehreren Messungen, so läßt sich diese Genauigkeit sogar bis auf 30 m erhöhen - dies entspricht genau der Größe eines Bildpunktes in der Landsat-Satellitenaufnahme. Die Schüler sind somit imstande, die Lage ihrer 30 m x 30 m großen GLOBE-Untersuchungsstandorte bis auf den einzelnen Bildpunkt der Landsat-Aufnahme genau zu bestimmen.

Die Schüler erhalten demnach Zugriff auf echte Satellitendaten. Das ursprünglich für militärische Zwecke entwickelte GPS-System wird heute vorwiegend zivil genutzt. Im Rahmen des GLOBE-Programms sollten die Schüler die Positionsangaben ihrer Schule sowie ihrer GLOBE-Untersuchungsstandorte ermitteln. Auf diese Weise werden die Standorte der Biosphären-Untersuchungen genau fixiert und für Wissenschaftler und Studenten in aller Welt nutzbar. Wer nicht über einen GPS-Empfänger verfügt, kann im Rahmen des GLOBE-Programms ein solches Gerät leihweise erhalten. GLOBE-Schulen in den USA bekommen ihren GPS-Empfänger direkt von der GLOBE-Programmleitung. Außerhalb der USA kann das Gerät von dem jeweiligen Landeskoordinator ausgeliehen werden. Einzelheiten hierzu finden Sie in Teil II der Dokumentation zum GPS-Untersuchungsprogramm.

#### Satelliten

Es gibt unterschiedliche Arten von Raumfahrzeugen. Unbemannte Flugkörper wie z.B. Magellan, Viking und Galileo wurden zu wissenschaftlichen Zwecken auf die Venus, den Mars und den Jupiter entsandt, um dort physikalische Messungen durchzuführen und ihre Daten zur Erde zurückzufunkeln. In den achtziger Jahren verließen Voyager 1 und 2 erstmals unser Sonnensystem, nachdem sie zuvor dessen äußere Planeten erkundet hatten. Im Jahre 1985 wurde von dem Raumschiff Galileo aus eine Sonde in die Jupiteratmosphäre geschossen. Auf ihrem Weg durch dessen Atmosphäre lieferte diese Sonde - wobei sie erfolgreich der extrem hohen Druck- und Temperaturbelastung standhielt - Meßdaten an das Raumschiff, das sie wiederum zurück zur Erde übertrug.

Bemannte Raumschiffe wie z.B. die Apollo-Serie, aber auch das Space Shuttle und die Raumstation Mir, haben Menschen an Bord. Im Gegensatz zu unbemannten Systemen müssen Sie deshalb Atemluft, Heiz- und Klimaanlage, Lebensmittel und andere lebenswichtige Ausstattung mitführen. Aus diesen Gründen - aber auch aus Sicherheitserwägungen - sind bemannte Raumschiffe wesentlich teurer und komplizierter als unbemannte. Andererseits bietet die Präsenz von Menschen im All die Möglichkeit, unvorhergesehene Ereignisse mit menschlichem Erfindungsreichtum zu lösen und auch einfach in den Genuß der besonderen Erfahrung des Lebens im All zu kommen.

Ein Raumschiff, das um einen größeren Himmelskörper kreist, wird als dessen Satellit bezeichnet. Als das Galileo-Raumfahrzeug den Jupiter erreichte und seine Fahrt verlangsamte, um in eine Umlaufbahn um diesen Planeten einzuschwenken, wurde es damit zu einem Satelliten des Jupiter. Wird ein Satellit in eine Umlaufbahn um die Erde geschossen, so wird er zu einem künstlichen Erdsatelliten - ebenso wie der Mond ein natürlicher Erdsatellit ist. Künstliche Satelliten in der



Erdumlaufbahn dienen zu unterschiedlichsten Zwecken, so z.B. zur Übertragung von Ferngesprächen, Fernsehsignalen und Daten, aber auch zur Wetter- und Ressourcenbeobachtung, militärischen Aufklärung und Erfassung grundlegender wissenschaftlicher Meßwerte.

Unser Mond ist 384.500 km von der Erde entfernt und benötigt etwa einen Monat, um die Erde einmal zu umkreisen. Die Umlaufbahn des Space Shuttle sowie einiger Beobachtungssatelliten verläuft dagegen - sei es zur Kraftstoffersparnis oder aufgrund spezieller Forschungszwecke - nur einige Hundert Kilometer über der Erdoberfläche. Diese "erdnahen" Satelliten brauchen zur Umrundung der Erde mindestens 90 Minuten.

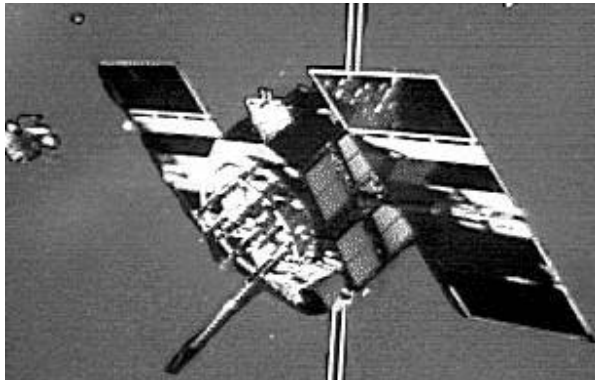


Abb. GPS-I-1 Global Positioning Satellite

Kommunikationssatelliten stehen in einer Höhe von 35.792 km über der Erde. In dieser Position benötigen sie zur Umrundung unseres Planeten genau einen Tag. Diese spezielle Umlaufbahn wird auch als "Synchronorbit" bzw. "geostationärer Orbit" bezeichnet. Ein Satellit, der sich auf einer solchen geostationären Umlaufbahn befindet, scheint von der Erde aus betrachtet immer an derselben Stelle zu stehen. Eine Antenne, die auf einen solchen Satelliten gerichtet ist, braucht daher nicht beweglich zu sein.

Ganz anders dagegen das Space Shuttle, das innerhalb weniger Minuten von einem Horizont zum anderen fliegt, oder unser Mond, der einen ganzen Monat braucht, um am Firmament vorbeizuziehen.

## GPS-Satelliten

Das "Global Positioning System" besteht aus einer Gruppe von Satelliten, ihren Bodenstationen sowie den mit GPS-Empfängern ausgestatteten Anwendern (siehe Abb. GPS-I-1). Die GPS-Satelliten sind grundsätzlich unbemannt und werden mit Einwegraketen in ihre Umlaufbahn geschossen. Insgesamt gibt es 24 GPS-Satelliten, die in einer Höhe von 20.200 km über der Erdoberfläche positioniert sind. In dieser Höhe benötigt ein Satellit etwa 12 Stunden, um die Erde einmal zu umkreisen. Die Abstände der Satelliten zueinander sind auf der Umlaufbahn so gewählt, daß sich mindestens vier von ihnen jederzeit im Sichtfeld eines Beobachters auf der Erde befinden - unabhängig von dessen Standort.

Die von Solarzellen versorgten GPS-Satelliten tragen einen Steuercomputer und stehen über Funk mit der Erde in Verbindung. In jeden Satelliten sind vier Atomuhren eingebaut, die so genau sind, daß sie in 150.000 Jahren nur jeweils eine Sekunde vor- oder nachgehen. Diese Uhren erzeugen die Zeitsignale, die von jedem Satelliten abgegeben werden. Spezielle Software im Computer des GPS-Empfängers erfaßt die Zeitsignale von mindestens vier Satelliten und errechnet daraus die Längen-, Breiten- und Höhenkoordinaten des Empfängers. Ob der Empfänger sich auf dem Festland, auf See, in der Luft oder im Weltraum befindet, spielt dabei keine Rolle.

Das GPS-System wird aufgrund seines hohen praktischen Nutzens immer populärer. Die US-Zeitschrift "Scientific American" widmete ihm im Februar 1996 sogar eine Titelgeschichte (Ausgabe 274, Heft 2, Seiten 44-50).



## Vorbereitung zur Feldarbeit

Der GPS-Empfänger dürfte das komplizierteste Gerät darstellen, das die Schüler im Rahmen ihrer GLOBE-Arbeit benutzen. Für einige Übungen in dieser GPS-Untersuchung stellt der GPS-Empfänger eine unbedingte Voraussetzung dar - er wird daher den Betreuungslehrern bzw. GLOBE-Schulen leihweise für die Dauer einer Woche zur Verfügung gestellt. Beste Voraussetzung für den Umgang mit diesem Gerät sind solide mathematisch-naturwissenschaftliche Grundkenntnisse und ein Gefühl für wissenschaftliche Methodik.

Nutzen Sie das GPS-Untersuchungsprogramm dazu, die im Rahmen des GLOBE-Programms erarbeiteten Kenntnisse mit anderen Fächern wie z.B. Sozialkunde (von der Geschichte der Erderforschung bis zu den dynamischen Unterschieden und Ähnlichkeiten verschiedener Kulturen), Mathematik und bildender Kunst zu verbinden. Hierbei empfiehlt es sich, den Schwerpunkt auf Beobachtungs- und Protokollierungsfähigkeiten zu legen.

## Lernziele

### Wissenschaftliche Begriffe

Die Grundfragen, die im Rahmen der GPS-Untersuchung gestellt werden, decken sich mit dem fundamentalen Wissensbedürfnis des Menschen. Sie lauten

1. "Wo befinde ich mich?" und
2. "Woher weiß ich das?"

Die systematische Beantwortung dieser Fragen führt u.a. in folgende Themenbereiche:

1. Relative bis absolute geographische Richtungsangaben - von der relativen Feststellung ("Ich bin in der Schule") über weniger relative Angaben (Nord, Süd, Ost, West) bis zum absoluten Bezugsrahmen (Längen- und Breitengrad).
2. Die Erde und ihre Satelliten - künstliche und natürliche Satelliten, Funktion des GPS-Navigationssystems.
3. Datenqualität und Meßtechnik - wie und warum verwenden wir Meßgeräte, und weshalb können wir diesen Daten "trauen".
4. Mathematik - von der Messung zur Geometrie und Trigonometrie.

### Wissenschaftliche Fertigkeiten

Im Rahmen der GPS-Untersuchung lernen die Schüler,

- ?? kritisch zu beobachten
- ?? aus Ähnlichkeiten und Unterschieden in den Beobachtungen Strukturen zu erkennen
- ?? auf der Grundlage ihrer Beobachtungen Fragen zu stellen
- ?? Beobachtungen systematisch zu formulieren und aufzuzeichnen
- ?? Beobachtungen und Daten zu verarbeiten, zu analysieren und zusammenzufügen
- ?? aus Beobachtungen und Daten Schlußfolgerungen zu ziehen
- ?? Beobachtungen, Fragen und Überlegungen zu äußern.



## Leistungsbeurteilung

Die GLOBE-Untersuchung bietet den Schülern interessante Möglichkeiten, mathematisch-naturwissenschaftliche Tätigkeiten zu entfalten. Ihre Aufgabe als Lehrer besteht u.a. auch darin, den Entwicklungsprozeß zu beobachten, den der einzelne Schüler im Zuge dieser Arbeit durchläuft ("Wachstum" der Fähigkeiten) - die konkrete Leistung bei der Bearbeitung einzelner Protokolle ist demgegenüber eher sekundär. Zwar stellt aufgrund genereller Sicherheitserwägungen, der Gerätekosten sowie der Notwendigkeit einer präzisen Datengewinnung auch das Arbeits- und Leistungsverhalten der Schüler ein wichtiges Kriterium dar, doch liegt das eigentliche Lernziel in der Entwicklung einer systematischen und kritischen Vorgehensweise, die sich an den vorstehend unter Wissenschaftliche Fertigkeiten genannten Zielen orientiert. Die Leistungsbeurteilung kann demnach anhand von Kriterien erfolgen, die auf der vorstehenden Liste erscheinen, also z.B.

1. Beobachtung: Sind die Schüler imstande, Einzelheiten zu erkennen und zu protokollieren? Können sie ihre Beobachtungen beschreiben?
2. Vergleich und Gegenüberstellung: Gelingt es den Schülern, Unterschiede und Ähnlichkeiten zwischen jetzigen und früheren Beobachtungen herauszuarbeiten? In welchem Zusammenhang stehen die aktuellen Daten zu früheren Erfahrungen (d.h. wo wurden bereits früher einmal vergleichbare Beobachtungen gemacht)? Können die Schüler Unterschiede erklären, z.B. zwischen Breiten- und Längengraden, Himmelsrichtungen oder mathematischen Lösungsansätzen?
3. Fragen: Sind die Schüler imstande, Fragen zu formulieren (einander, dem Lehrer, Außenstehenden, auch außenstehenden Wissenschaftlern)? Lassen Sie die Schüler ihre Fragen schriftlich fixieren. Fordern Sie sie im Rahmen schriftlicher Arbeiten auf, spontan Fragen zu formulieren.
4. Aufzeichnung: Der einfachste Weg zur Beurteilung von Fertigkeiten und Verständnis dürfte wohl in der Benotung der Protokollierungsergebnisse aus der Feldarbeit liegen (wie wurden Beobachtungen, die im Laufe der einzelnen Übungen sowie nach Abschluß der Übung gemacht wurden, aufgezeichnet?). Bewerten Sie, wie die Schüler ihre Überlegungen, Erkenntnisse und Fragen vor und nach der Übung anhand ihrer GLOBE-Arbeitshefte, aber auch in schriftlichen Arbeiten und Referaten protokollieren. Jüngere Schüler können sich hierzu auch zeichnerischer Mittel bedienen. Aus der Besprechung dieser Zeichnungen läßt sich der gedankliche Prozeß des Schülers nachvollziehen. Auch elektronische Aufzeichnungsmittel sind hilfreich. Diese können von Ton- und Videoaufzeichnungen (für alle Alters- und Leistungsstufen) über Kopien der GLOBE-Mail-Mitteilungen bis hin zur Computergrafik reichen.
5. Begriffliches und kritisches Denken: Tritt der Schüler aus dem Rahmen vorgegebener Fragen und Protokollierungsaufgaben heraus, um eigene Modelle, Problemstellungen und Lösungen zu entwickeln? Zumeist sind rein mathematische Fragen zur Leistungsbeurteilung am einfachsten zu formulieren - aber auch Fragen des Typs "was wäre, wenn" und "warum" sind durchaus geeignet! Übungen wie die Satellitenmodellierung oder die versetzte GPS-Messung fördern das kritische Denkvermögen. Aus der Beobachtung und Beurteilung der Schüler bei diesem Prozeß - ihrer Schwerpunktwahl, Effizienz und nicht zuletzt ihrem Durchhaltevermögen - ergeben sich wertvolle Hinweise. Oft liefert auch die Frage, ob die Schüler imstande sind, eine Situationsbeurteilung anstelle des Lehrers vorzunehmen, wertvolle Anhaltspunkte.
6. Kommunikation: Diese Fähigkeit ist für das zukünftige Fortkommen des Schülers vielleicht die entscheidendste überhaupt - zugleich handelt es sich um diejenige, die wohl am schwierigsten zu beurteilen ist. Eine Bewertung des Ausdrucksvermögens ist in jedem Fall von zentraler



Bedeutung. Die Fähigkeit, sich über mathematische Sachverhalte mitzuteilen, aber auch das Sozialverhalten im Übungsverlauf stellen für alle Altersstufen einen ganz wesentlichen Faktor dar. Beurteilungen aus der "Peer Group" sind - obwohl schwierig - hier besonders wertvoll. Sind die Schüler in der Lage, einander zu beurteilen?

Der Einsatz hochwertiger Leistungsbeurteilungsverfahren durch den Lehrer kann die Motivation der Schüler stärken und sie in ihrer Entwicklung erheblich voran bringen.



## PROTOKOLLE



Einführung der Schüler in die Grundlagen des GPS-Systems

Ausleihen des GPS-Empfängers (aus GLOBE-Programm oder sonstiger Quelle)

Übung von GPS-Messungen in Schulnähe

Durchführung der GPS-Messungen an den vorgegebenen Standorten.

Meldung der GPS-Daten an GLOBE.

Rückgabe des GPS-Empfängers





## Hinweise zur Durchführung der GPS-Untersuchung

### Vorbereitung

#### Untersuchungsstandorte

Die Aufgabe der Schüler besteht darin, die Längen-, Breiten- und Höhenkoordinaten ihrer Schule (Mittelpunkt des GLOBE-Untersuchungsgebietes), der Standorte für die Atmosphäre/Klima-, Biologie-, Hydrologie- und Bodenfeuchtigkeitsmessungen sowie der einzelnen Untersuchungsgebiete für Landbedeckungs- und Bodenuntersuchungen anzugeben. Hierzu wird Ihnen im Rahmen des GLOBE-Programms ein tragbarer GPS-Empfänger leihweise zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung GPS-P-1). Stellen Sie - noch bevor Sie den Empfänger ausleihen - fest, wo die Schüler im kommenden Jahr Untersuchungen durchführen bzw. Proben entnehmen werden.

#### Standorte für die GPS-Messung

Standort	GPS-Meßpunkt
Schule	Haupteingang
Standort der Atmosphäre- und Klimauntersuchung	Wetterhäuschen
Meßort Hydrologie	Stelle der Probenentnahme
Untersuchungsgebiet Biologie	Mittelpunkt der 30 x 30 m großen Biometriegeländes
Untersuchungsgebiet für Landbedeckung	Mittelpunkte der einzelnen 90 m x 90 m großen Landbedeckungsareale
Standort der Bodenuntersuchungen	Stelle der Bodenprofilbestimmung
Stelle der Bodenfeuchtigkeitsuntersuchung	Stern- oder Transektenmittelpunkt

An den Standorten für die Atmosphäre/Klimauntersuchung sollte ungehinderte Sicht auf den Himmel bestehen und damit ein guter Satellitenempfang sicher sein. An den Untersuchungsstandorten des Hydrologie- und Biologieprogramms läßt sich das GPS-Signals dagegen aufgrund der Baumdecke möglicherweise nur schlecht empfangen. Als Standort der Schule ist deren Vorder- bzw. Haupteingang vorgesehen, so daß das GPS-Signal hier in der Regel eine gewisse Empfangsbeeinträchtigung durch das Gebäude erfährt. Lesen Sie zur Überwindung dieser Problematik die Hinweise im Abschnitt Versetzte GPS-Messung.

#### Häufigkeit



Breitengrad, Längengrad und Höhe ü.d.M. jedes Untersuchungsstandorts bzw. Probenentnahmepunkts müssen nur einmal mit dem GPS-Empfänger gemessen und übermittelt werden.

### Meßgeräte für die GPS-Messung

Das GLOBE-Programm besitzt eine Reihe von GPS-Empfängern, die aus Mitteln des University Navstar Consortium angeschafft wurden. GLOBE-Schulen in den USA sollten ihre Geräte bei der Navstar beantragen. Die Länderkoordinatoren erhalten hier auch GPS-Empfänger für die von ihnen betreuten GLOBE-Schulen außerhalb der USA.

Schulen in Deutschland können sich ein GPS-Gerät unter der folgenden Adresse ausleihen:

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
Projektbüro GLOBE-Germany für Wissenschaft  
und Technik  
Abt. RB-NT  
51170 Köln

Möglicherweise können Sie selbst einen GPS-Empfänger ausleihen, so z.B. von einem Sportler (Wanderer, Bergsteiger, Segler) oder Vermessungstechniker aus Ihrem Bekanntenkreis. Achten Sie dabei jedoch darauf, daß das Gerät die im "Werkzeugkasten" genannten Eigenschaften aufweist. Einige Schulen haben sogar Ihren eigenen GPS-Empfänger angeschafft, da die Preise dieser Geräte heute bereits merklich rückläufig sind. Da GLOBE nur über eine beschränkte Anzahl von Empfängern verfügt und wir daher froh über jedes selbst beschaffte Gerät sind, werden selbstverständlich auch Daten entgegengenommen, die mit GPS-Empfängern anderer Hersteller erfaßt wurden.

Geben Sie jedoch bitte in jedem Fall beim Ausfüllen der Internet-Dateneingabeblätter den Typ des verwendeten GPS-Empfängers an.

Das im Rahmen des GLOBE-Programms verwendete GPS-System erlaubt eine Standortbestimmung mit bis zu 100 m Genauigkeit. Nähere Einzelheiten hierzu finden sie an den GPS-Informationsstellen im Internet, die in unserer Liste zusammengestellt sind. Nach diesen Informationen läßt sich die Genauigkeitsabweichung durch Bildung des Durchschnittswerts aus 15 Messungen, die mit dem GPS-Empfänger in einminütigen Abschnitten durchgeführt werden, in der Regel bis auf 30 m erhöhen.

Der GPS-Empfänger ist so konstruiert und aufgebaut, daß er Ihren Standort anhand der Entfernung zu vier oder mehr Satelliten ermittelt, deren Positionen bekannt sind. Hierzu stellt er die Differenz (in Milliardstel einer Sekunde) zwischen den von diesen Satelliten abgegebenen Zeitsignalen fest. Auf Einzelheiten dieses Positionsmeßvorgangs wird an verschiedenen Stellen der Übungen detaillierter eingegangen.



Abb. GPS-P-1: Beispiel eines tragbaren GPS-Empfängers. Im Rahmen des GLOBE-Programms werden keine bestimmten Marken oder Modelle vorgeschrieben.





## Protokoll: Einfache GPS-Messung

<p><b>Zweck</b> Bestimmung des Längen- und Breitengrades sowie der Höhe ü.d.M. am Haupt- bzw. Vordereingang Ihrer Schule sowie an den GLOBE-Untersuchungsstandorten und Probeentnahmestellen - immer vorausgesetzt, daß der Satellitenempfang nicht durch Gebäude oder Bäume behindert ist.</p> <p><b>Übersicht</b> Längen-, Breiten- und Höhenkoordinaten werden mit Hilfe des GPS-Empfängers ermittelt.</p> <p><b>Zeitaufwand</b> 15 - 60 Minuten pro Untersuchungsstandort</p> <p><b>Niveau</b> Alle Schüler</p> <p><b>Häufigkeit</b> einmal</p>	<p><b>Wichtige Inhalte und Lernziele</b></p> <p><b>Inhalte</b> Längen- und Breitengrade als Mittel der Ortsangabe</p> <p><b>Lernziele</b> Kartenlesen Umgang mit dem GPS-Empfänger Umgang mit Längen- und Breitengraden zur Ortsangabe</p> <p><b>Hilfsmittel</b> 1 GPS-Empfänger 1 Exemplar des Arbeitsblattes zum GPS-Protokoll Kugelschreiber oder Bleistift</p> <p><b>Vorbereitung</b> Wählen Sie die Standorte aus und transportieren Sie das GPS-Gerät sowie die Datenprotokollblätter dorthin.</p> <p><b>Voraussetzung</b> keine</p>
---	--

### Vorgehensweise

Jede Messung dürfte ab dem Zeitpunkt der Ankunft am Meßstandort etwa 25 Minuten in Anspruch nehmen.

### Vor der Messung

Überlegen Sie, wo Sie Ihre Messungen durchführen möchten. Beachten Sie, daß Behinderungen wie z.B. Baumkronen die Qualität des Satellitensignals beeinträchtigen können.

### Während der Messung

1. Mindestens zwei Schüler begeben sich mit dem GPS-Empfänger sowie dem Arbeitsblatt zum GPS-Standort. Während der eine Schüler das Gerät bedient, protokolliert der andere die Daten.
2. Drücken Sie die EIN/AUS-Taste einmal, um das Gerät einzuschalten. Schwenken Sie die Antenne in eine senkrechte Stellung. Nach einer kurzen Bildschirmmeldung zeigt der Empfänger den zuletzt gemessenen Breiten-, Längen- und Höhenwert an, während er zugleich die neuen Satellitensignale zu erfassen beginnt. Ob das Gerät bei der Messung festgehalten oder auf dem Boden gelegt wird, ist unwichtig - es kommt nur darauf an, daß sich kein Hindernis zwischen



Antenne und Himmel befindet. Siehe die Zeichnung des GPS-Empfängers in Abb. GPS-P-2.

3. Warten Sie, bis der Empfänger meldet, daß er mindestens vier Satellitensignale erfaßt hat und ein einwandfreies Meßergebnis vorliegt (dies ist daran erkennbar, daß die "2-D"- und Gerätestatus-Symbole vom Bildschirm verschwinden). Eine Übersicht über diese Symbole enthält Abb. GPS-P-3. Beachten Sie bitte, daß es sich bei dem in Abb. GPS-P-3 dargestellten Gerät um das Produkt eines bestimmten Herstellers handelt - andere Empfänger können anders aufgebaut sein.
4. Führen Sie in einminütigen Abständen 15 Messungen durch, ohne den Empfänger dabei um mehr als 1 m zu bewegen. Protokollieren Sie auf einem Exemplar des Standortdaten-Arbeitsblattes sämtliche Zahlen (alle Stellen!) und Symbole zu folgenden Anzeigehalten:
  - a) Breite
  - b) Länge
  - c) Uhrzeit
  - d) Höhe ü.d.M.
  - e) Gerätestatus-Symbole
5. Schalten Sie den Empfänger ab.

### Nach der Messung

6. Errechnen Sie jeweils den Durchschnitt der 15 Breiten-, Längen- und Höhenwerte.

In der GPS-Übung Arbeit mit Winkeln wird dargestellt, wie sich Winkelmessungen mitteln lassen. Auf der GPS-Dateneingabeseite im Internet finden Sie zudem einen Verweis zu einer weiteren Website, an der diese Durchschnittsberechnung für Sie durchgeführt wird.

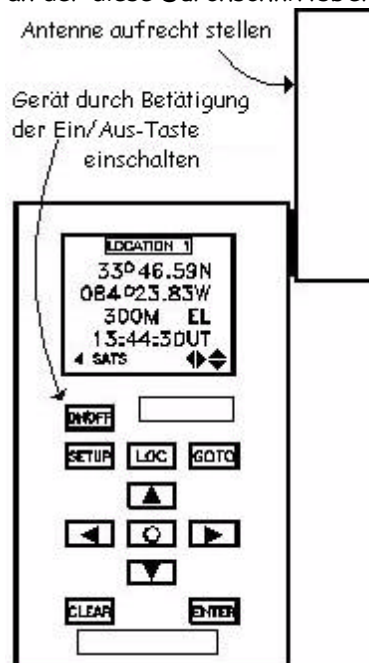


Abb. GPS-P-2: Skizze eines typischen GPS-Empfängers

7. Überprüfen Sie Ihre Ergebnisse auf Plausibilität.
  8. Vergewissern Sie sich durch einen Blick auf einen Globus bzw. in eine örtliche Landkarte, wie das Ergebnis ungefähr aussehen sollte. Die Wahrscheinlichkeit, daß der GPS-Empfänger falsche Werte liefert, ist sehr gering. Wenn Sie glauben, daß das Gerät defekt ist, wenden Sie sich an das DLR, damit man Ihnen das Gerät austauscht. Uns liegt daran, daß Sie diese Messungen problemlos und effizient durchführen können und Ihre Arbeit nicht durch fehlerhafte Ausrüstung erschwert wird.
- Bei Empfang von nur 4 oder weniger Satelliten kommt es häufig zu falschen oder gar keinen Höhenangaben. Die Höhe sollte dann aus einem Meßtischblatt entnommen werden.



9. Übertragen und melden Sie alle Ihre GPS-Meßwerte als Ihre Standortdaten an das GLOBE-Schülerdatenarchiv.

10. Führen Sie dieses Protokollverfahren an jedem einzelnen Standort durch. Die vorstehende Anleitung bezieht sich recht konkret auf die derzeit von GLOBE erhältlichen Meßgeräte. Für andere GPS-Empfänger gelten u.U. andere Bedienungshinweise. Da die GLOBE-Schulen in verschiedenen Zeitzonen liegen, ist die Uhrzeit des Empfängers bei Anlieferung auf Weltzeit (UT) eingestellt - diese ist mit der Mittleren Greenwicher Zeit (GMT) bzw. der zum nullten Längengrad gehörigen Zeit identisch. Unabhängig davon, welchen Empfänger Sie benutzen, empfehlen wir Ihnen die Lektüre der dazugehörigen Bedienungsanleitung - evtl. finden Sie dort Hinweise auf spezielle Funktionen oder Problemlösungen, auf die hier nicht eingegangen werden kann.

Falls Sie einen anderen Empfänger verwenden, halten Sie sich so eng an die vorstehende Anleitung, wie es das Gerät erlaubt. Wichtig ist vor allem, daß das Meßverfahren stets dasselbe ist. Empfänger, die nicht über DLR ausgeliehen wurde, müssen zumindest folgende Leistungsmerkmale aufweisen:

- ?? Anzeige der geographischen Breiten und Länge in ganzen Winkelgraden, Minuten und 1/100 Minuten (auf 0,01 Minuten genau)
- ?? Anzeige der UT-Uhrzeit in Stunden, Minuten und Sekunden
- ?? Verwendung des kartographischen Bezugspunkts WGS-84
- ?? Anzeige der Höhe ü.d.M. in Metern

## Hilfe bei Problemen

### Zeitintervall zur Erfassung ausreichender Satellitendaten

Der GPS-Empfänger benötigt nach dem Einschalten in der Regel etwa 3 Minuten, um genügend Satellitensignale für die Messung zu erfassen. Im ungünstigsten Fall kann dieses Intervall bis zu 20 Minuten betragen. Sollte das Gerät nach Betätigung der EIN/AUS -Taste nicht funktionieren, empfiehlt es sich dennoch, zunächst die Batterien zu wechseln.

### Empfänger zeigt keine Breiten- und Längendaten an

Neben dem Anzeigebildschirm "Standort 1", der beim Einschalten des Geräts normalerweise erscheint, bietet der Empfänger noch zahlreiche weitere Funktionen und Bildschirmmeldungen. Lesen Sie sich die beiliegende Bedienungsanleitung durch und probieren Sie auch diese anderen Funktionen ruhig einmal aus, nachdem Sie ihre Standortmessungen durchgeführt haben.



Abb. GPS-P-3: Gerätestatus-Symbole im Display des GPS-Empfängers

Für Ihre Positionsbestimmung benötigen Sie jedoch nur den Bildschirm "Standort 1". Wenn Sie die weiteren Funktionen verwendet haben, drücken Sie abschließend bitte die LOC-Taste, um zu dem Bildschirm "Standort 1" zurückzugelangen.



## Gerätstatus- oder Empfangssignalsymbole erscheinen

Führen Sie bitte keine Messungen durch, wenn im Display die in Abb. GPS-P-3 dargestellten Symbole erscheinen. Sofern der Himmel nicht bedeckt ist, verschwinden diese Symbole normalerweise wieder, wenn man einen Moment wartet oder seine Haltung leicht verändert. Wenn der Empfänger zu nahe am Körper gehalten wird oder zu viele Neugierige um das Gerät herumstehen, kann der Satellitenempfang beeinträchtigt werden - es tritt ein diskontinuierlicher Signalverlust ein, der das Gerät veranlaßt, diese Symbole einzublenden. Lassen Sie in diesem Fall die Zuschauer zurücktreten bzw. halten Sie das Gerät hoch in die Luft. Unter dichtem Laub oder Baumkronen gelingt es dem Empfänger möglicherweise nicht, die erforderlichen vier Satelliten anzupeilen. Da sich die Satelliten am Himmel bewegen, hilft es mitunter, die Messung zu einem späteren Zeitpunkt durchzuführen. Wenn die Stell so abgeschirmt ist, daß keine korrekte Messung möglich ist, befolgen Sie die Hinweise im Abschnitt "Versetzte GPS-Messung".

Wenn Sie auf das Schulstandort-Dateneingabeblatt bzw. das Standortwahl-Dateneingabeblatt auf dem GLOBE Student Data Server keinen Zugriff haben, senden Sie bitte ein Exemplar des ausgefüllten Arbeitsblattes zu jeder Standortmessung an die vorstehend genannte DLR-Anschrift. Behalten Sie sich bitte in jedem Fall eine Kopie Ihrer Daten in der Akte mit den übrigen GLOBE-Messungen ihrer Schule.

Leider steht für die vielen Schulen in aller Welt nur eine beschränkte Anzahl Empfänger zur Verfügung. Probieren Sie diese Geräte während er Leihzeit ruhig gründlich aus - aber denken Sie daran, sie rechtzeitig zurückzusenden, damit wir sie der nächsten Schule zur Verfügung stellen können.

## Übermittlung der GPS Meßdaten

Nach Durchführung Ihrer GPS-Messungen und Errechnung der Durchschnittswerte müssen Ihre Ergebnisse anhand der Dateneingabeblätter an GLOBE gemeldet werden. Kopien dieser Arbeitsblätter enthalten die Anhänge zu den entsprechenden Übungen dieses Leitfadens. Im Anhang zu dieser Übung finden Sie den Anhang "Schulstandort-Dateneingabeblatt". Runden Sie bitte die Breiten- und Längenanzeige des Empfängers auf 1/100 Winkelminuten auf. Zu jedem Standort sind u.a. folgende Daten zu übermitteln:

Meßwert	Einheiten
Breite (Durchschnittswert)	[Grade und Minuten, z.B. 35 Grad 20.27 Minuten nördlicher Breite]
Länge (Durchschnittswert)	[Grade und Minuten]
Möhe ü.d.M. (Durchschnittswert)	[m]
Zeitpunkt der ersten Messung	[Jahr, Monat, Tag, UT-Uhrzeit in Stunden und Minuten]
Empfänger-Typ	DLR-Zahlen oder Hersteller, Modell-Nr. und Seriennummer
Sonstiges	erbetene Angaben



# GPS Datenblatt

Protokollführer: Ludwig Lux

Datum: Jahr 1997 Monat 6 Tag 20

Standort: Wetterstation Schulhof

Meßstelle für: Atmosphäre

Schule: Werner-von-Siemens Gymnasium

Schuladresse: Baumschulenweg 2, 64378 Schmallorf

Bitte jeweils eine Minute warten, bevor ein neuer Wert protokolliert wird. Übertragen Sie folgende vom Gerät angezeigte Daten (hier Magellan Traiblazer XL)

MIN	BREITE			LÄNGE			ZEIT HH:MM:SS (UT)	# Sat Satelliten	SYMBOLE bitte ankreuzen
	Grad	Minuten	N/S	Grad	Minuten	W/O			
1	33	46.55	N	84	23.84	W	14 : 33 : 00	4	
1	35	20.25	N	77	58.01	W	100	4	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2D <input type="checkbox"/>
2	35	20.26	N	77	58.02	W	105	4	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2D <input type="checkbox"/>
3	35	20.25	N	77	58.01	W	111	5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2D <input type="checkbox"/>
4	35	20.25	N	77	58.00	W	108	5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2D <input type="checkbox"/>
5	35	20.27	N	77	59.99	W	107	5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2D <input type="checkbox"/>
6	35	20.28	N	77	58.01	W	103	5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2D <input type="checkbox"/>
7	35	20.29	N	77	58.03	W	105	5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2D <input type="checkbox"/>
8	35	20.30	N	77	58.04	W	110	4	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2D <input type="checkbox"/>
9	35	20.31	N	77	58.02	W	107	5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2D <input type="checkbox"/>
10	35	20.29	N	77	58.01	W	112	5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2D <input type="checkbox"/>
11	35	20.25	N	77	58.01	W	102	6	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2D <input type="checkbox"/>
12	35	20.25	N	77	58.01	W	103	6	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2D <input type="checkbox"/>
13	35	20.25	N	77	58.02	W	100	6	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2D <input type="checkbox"/>
14	35	20.25	N	77	58.01	W	99	6	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2D <input type="checkbox"/>
15	35	20.26	N	77	58.01	W	100	7	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2D <input type="checkbox"/>
	35	20.27	N	77	58.01	W	100		

☞ Mittelwerte

Breite

Länge

Höhe

Angaben zum GPS-Gerät:

Hersteller: Magellan

Modell: XL

Seriennummer: G0036





## Versetztes GPS-Protokoll

<p><b>Zweck</b> Bestimmung der Breiten- und Längenposition eines Standortes, an dem der GPS-Empfänger keine genauen Meßwerte liefern kann.</p> <p><b>Übersicht</b> Wenn an einem Standort, dessen Position ermittelt werden soll, keine direkte GPS-Messung der geographischen Länge und Breite möglich ist, muß die Messung an einem entsprechend weit nördlich oder südlich versetzten Punkt durchgeführt werden. Es wird die Position dieses versetzten Punktes protokolliert und der Abstand zu dem ursprünglich anvisierten Standort gemessen. Danach wird die Lage des Sollstandortes rechnerisch ermittelt.</p> <p><b>Zeitaufwand</b> Eine Unterrichtsstunde</p> <p><b>Niveau</b> Anfänger und Fortgeschrittene</p> <p><b>Häufigkeit</b> einmal</p> <p><b>Wichtige Inhalte und Lernziele</b> <b>Inhalte</b> Rechnerische Ermittlung der Breite und Länge eines Standortes aus dessen Abstand zu einer bekannten Position Magnetische Deklination</p>	<p><b>Lernziele</b> Bestimmung der örtlichen magnetischen Deklination Verwendung eines Kompasses zur Bestimmung des geographischen Nord- und Südpols Messung von Abständen mit dem Bandmaß Positionsbestimmung anhand einer bekannten versetzten Position Addition und Subtraktion von Winkelgraden und -minuten</p> <p><b>Hilfsmittel</b> GPS-Empfänger Magnetkompaß Bandmaß Kugelschreiber/Bleistift Datenblatt "Versetzte GPS-Messung" zur Protokollierung von Meßwerten und Rechenergebnissen</p> <p><b>Vorbereitung</b> Ermittlung der Standorte, an denen eine GPS-Messung erfolgen soll, jedoch aufgrund von Signalbeeinträchtigungen nicht möglich ist. Bestimmung der magnetischen Deklination am Untersuchungsort.</p> <p><b>Voraussetzung</b> Verständnis des GPS-Protokolls Geometrie</p>
---	---

### Hintergrund

Was ist zu tun, wenn die GPS-Längen- und Breitenmessung an einem Untersuchungsstandort bzw. Probenentnahmepunkt nicht möglich ist, weil die GPS-Satellitensignale von dichtem Laub oder einem Gebäude abgeschirmt werden (siehe Abb. GPS-P-5)?

Eine Möglichkeit besteht darin, die Messung an einem nahegelegenen anderen Standort durchzuführen, an dem das GPS-Signal einwandfreie Signale empfängt. Anschließend müssen Himmelsrichtung und Entfernung zum ursprünglichen Standort bestimmt werden, damit dessen Position dann rechnerisch ermittelt werden kann. Hierzu sind in der Regel trigonometrische Kenntnisse erforderlich. Wenn Sie sich jedoch von dem ursprünglichen Standort in genau nördlicher oder südlicher Richtung fortbewegt



haben, sind zur Bestimmung seiner Längen- und Breitenkoordinaten lediglich arithmetische Verfahren sowie einige geographische Grundkenntnisse nötig.

Unsere Erde ist nahezu kugelförmig. Die Umfangskreise, die sich mit dem Äquator und beiden Polen schneiden, werden als "Meridiane" bezeichnet. Unterteilt man den Erdumfang von 40.074 km durch 360 Grad, so stellt sich heraus, daß jedem Winkelgrad des Umfangs eine Strecke von 111,32 km entspricht. Teilt man diesen Wert wiederum durch 60, so ergibt sich die Anzahl der Kilometer (bzw. Meter) pro Winkelminute des Erdumfangs (1,855 km bzw. 1855 m pro Minute).



GPS-Empfänger zeigen Standorte im allgemeinen mit einer Genauigkeit von 0,01 Minuten (entsprechend 18,55 m Länge) an. (Warum zeigt der GPS-Empfänger das Ergebnis bis auf 0,01 Winkelminuten genau? Siehe die GPS-Übung Arbeiten mit Winkeln).

Aus der Entfernung (in nördlicher oder südlicher Richtung) zwischen dem ursprünglichen Standort und der gemessenen Position läßt sich ihre Breitendifferenz errechnen. Bei typischen Laufentfernungen wird sich dieser Unterschied nur auf Bruchteile einer Winkelminute belaufen.

Abb. GPS-P-5: Freie und behinderte Sicht auf den GPS-Satelliten

### Magnetische Deklination

Die magnetischen Nord- bzw. Südpole der Erde fallen nicht genau mit den geographischen Nord- und Südpolen (Punkte auf der Erddrehungsachse) zusammen. Der magnetische Nordpol der Erde verschiebt sich langsam und liegt derzeit in den kanadischen Northwest Territories, etwa 11 Grad vom Nordpol entfernt. Da zudem die magnetischen Eigenschaften der Erdzusammensetzung örtlich variieren können, ergibt sich an jedem Punkt der Erde eine einzigartige Verzerrung des Erdmagnetfeldes.

Infolgedessen muß zu jeder Magnetkompaßanzeige ein ortsspezifischer Wert von einigen wenigen Grad hinzugefügt oder subtrahiert werden. Diese "magnetische Deklination" (man spricht auch von „Mißweisung“) richtet sich jeweils nach dem Standort. So zeigt z.B. an der Atlantikküste des US-Bundesstaates North Carolina der Kompaßzeiger zu einem Punkt, der gegenüber dem geographischen Nordpol um 8,5 Grad versetzt liegt. In Wisconsin/USA veränderte sich die Deklination unlängst während eines einzigen Jahres um 1/10 Grad. Dies beweist, daß selbst im Laufe eines Menschenlebens erhebliche Verlagerungen der magnetischen Bedingungen eintreten können und auch moderne Tabellen und Karten der magnetischen Deklination schnell veralten.

Wie wichtig ist die Korrektur dieser möglichen Fehlerquelle? Würde man in dem obigen Beispiel an der Küste von North Carolina 100 m nach Norden gehen, ohne die örtliche Kompaßmißweisung von 8,5 Grad auszugleichen, befände man sich schließlich bereits 15 m westlich von der genauen Nordrichtung. Für die Identifikation eines 30 m x 30 m großen Bildpunktes einer Landsat-Aufnahme bedeutet dies eine Abweichung bis in die Mitte des nächsten Bildpunktes.

Sie können den Wert und die Richtung ihrer örtlichen magnetischen Deklination bei ortsansässigen Landvermessern oder anderen Personen erfragen, die mit topographischen, nautischen oder



aeronautischen Tabellen umgehen. Alternativ bietet sich die Möglichkeit, solche Tabellen selbst einzusehen.

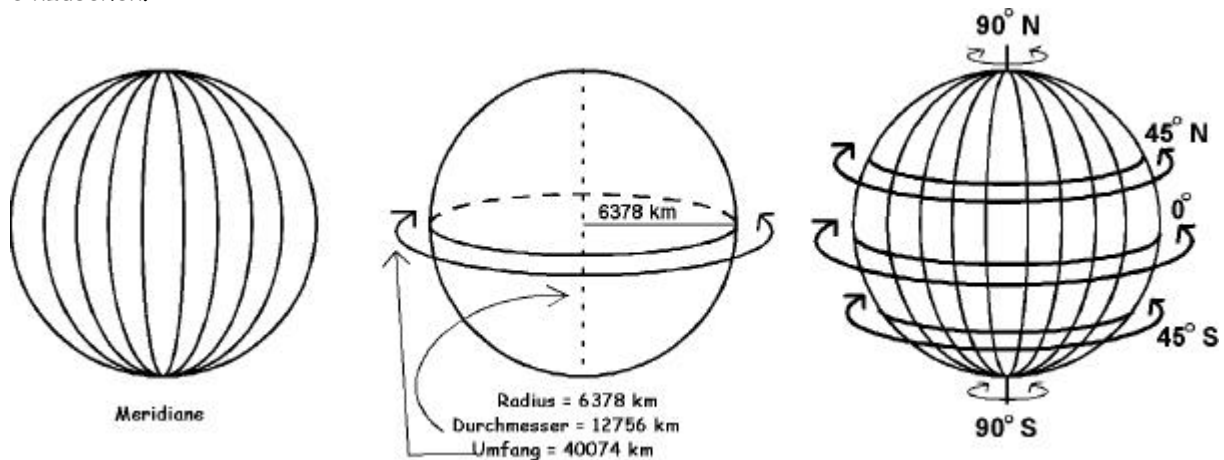
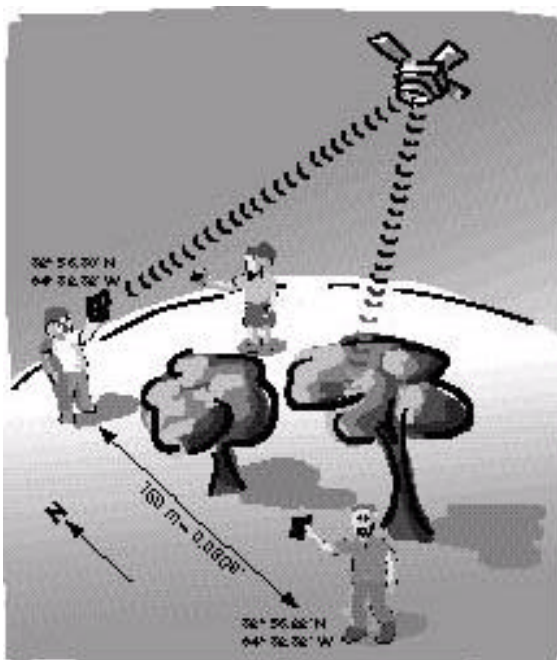


Abb. GPS-P-6: Meridiane, Maße, Linien gleicher Breite



### Positionsbestimmung per GPS-Messung an einem versetzten Standort

1. Ermitteln Sie den Wert der örtlichen magnetischen Deklination.
2. Begeben Sie sich an ihren Standort und markieren Sie diesen. Versuchen Sie, die GPS-Messung gemäß dem Protokoll durchzuführen, um sich noch einmal zu vergewissern, daß eine einwandfreie GPS-Messung nur schwer möglich ist.
3. Ermitteln Sie anhand des Kompasses die Richtung des magnetischen Nordpols. Korrigieren Sie das Ergebnis um die örtliche magnetische Deklination, um die "echte" geographische Nordrichtung festzustellen.
4. Gehen Sie genau nach Süden bis zu der nächsten offenen Fläche, an der sich die GPS-Messung ungehindert durchführen läßt. Dies ist Ihr "versetzter" Standort.

Abb. GPS-P-7: Schüler bei der Durchführung versetzter GPS-Messungen

5. Führen Sie die GPS-Messung protokollgemäß durch und protokollieren Sie den Längen- und Breitenwert. Kennzeichnen Sie diese Angaben als "versetzte" Position.
6. Stellen Sie fest, ob der versetzte Standort nördlich oder südlich des ursprünglichen Standortes liegt.
7. Messen und protokollieren Sie die Entfernung zwischen der versetzten Position und dem ursprünglichen Standort. Eine per Bandmaß durchgeführte Messung läßt sich durch Abschreiten (bekannte Schrittlänge) aus dem Untersuchungsprogramm Bodenbedeckung/Biologie ("Entfernungsmessung durch Abschreiten") bestätigen.



8. Teilen Sie diese Entfernung durch 1855 m/Minute, um die Breitendifferenz (in Minuten) zwischen der versetzten Position und dem ursprünglichen Standort zu ermitteln.

Addieren bzw. subtrahieren Sie diesen Wert zu/von dem gemessenen Breitenwert, um die Breitenposition Ihres Standortes zu erhalten. Siehe die Übung Arbeiten mit Winkeln. Die Längenposition ist dieselbe wie diejenige des versetzten Standortes.



# Mustearbeitsblatt

Abb. GPS-P-8

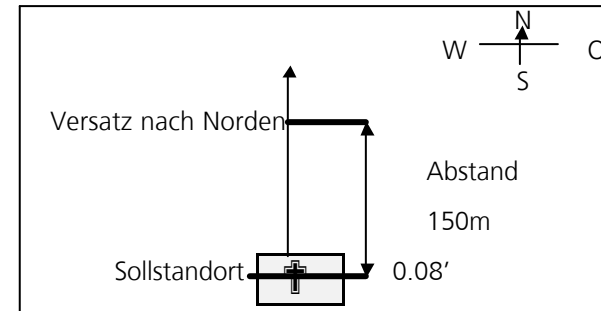
## Messungen

### versetzter Standort

Meßwert Breite =	32	Grad
Meßwert Länge =	84	Grad
Richtung zum Sollstandort	Süd	
Entfernung =	150	Meter

Zutreffendes ankreuzen

56.30	Minuten N oder S
32.32	Minuten W oder O



## Berechnungen

### Längenänderung

$$\frac{150 \text{ Meter}}{1885 \text{ Meter/Minute}} = 0.0809 \text{ Minuten}$$

$$\text{Breitenminuten des Sollstandortes} = 56.30 - 0.0809 = 56.2191$$

(aufgerundet auf 0.01 min) = 56.22 Minuten

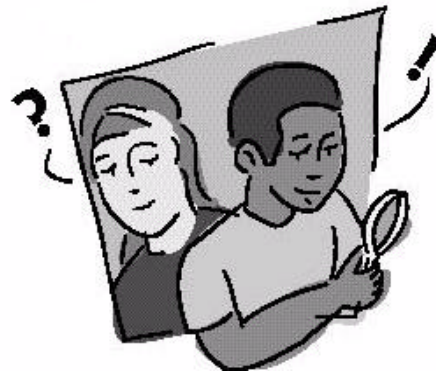
Zusammenführung mit Breitengraden

Breite des Sollstandortes =	32	Grad	56.22	Minuten N oder S
Länge des Sollstandortes =	84	Grad	32.32	Minuten W oder O

(identisch mit der Länge des versetzten Standortes)



## Lernschritte



### **Die richtige Antwort**

Im Verlauf mehrerer Übungen lernen die Schüler, daß es auf einige Fragen keine "richtigen" Antworten gibt. Der GPS-Empfänger kann verwendet werden, ist jedoch nicht unbedingt erforderlich.

### **Relative und absolute Richtungsangaben**

Anhand dieser Übungen werden die Schüler an die Begriffe "Länge", "Breite", "Koordinaten" und "absolute/relative Position" herangeführt. Der GPS-Empfänger wird hierzu nicht benötigt.

### **Arbeit mit Winkeln**

In diesen Übungen erlernen die Schüler den Umgang mit Winkeln und die Durchführung elementarer Winkelberechnungen. Sie erfahren, was Grade, Minuten und Sekunden sind und wie sich diese in Dezimalgrade umrechnen lassen. Der GPS-Empfänger ist hierfür nicht erforderlich.

### **Astronavigation**

Bei dieser Übung arbeiten Schüler aus zwei GLOBE-Schulen zusammen. Ziel ist die Ermittlung der relativen Breite und Länge ihres Standortes anhand von Messungen des Sonnenstandes.



## Die richtige Antwort

<p><b>Zweck</b> Den Schülern soll deutlich gemacht werden, daß es zu bestimmten Fragen und Meßaufgaben nicht immer eine "richtige" Antwort gibt.</p> <p><b>Übersicht</b> Durch Vergleich verschiedener Uhrzeitangaben lernen die Schüler, daß sich manche Fragen (z.B. "Wie spät ist es?") nur relativ "richtig" beantworten lassen. So entwickeln sie einen intuitiven Sinn für die Merkmale fehlerbehafteter Messungen. Anhand mehrerer Uhren protokollieren die Schüler gleichzeitig die jeweilige Uhrzeit. Das Ergebnis wird von Minuten und Sekunden in Sekunden umgerechnet. Die Messungen werden in Kurvenform dargestellt, um die mathematischen Verfahren der Durchschnittsbildung und Abweichung vom Durchschnitt einzuführen.</p> <p><b>Zeitaufwand</b> ca. 1 Unterrichtsstunde</p> <p><b>Niveau</b> Anfänger: nur Uhrzeitvergleich Mittelgruppe und Fortgeschrittene: komplette Übung</p> <p><b>Wichtige Inhalte und Lernziele</b> <b>Inhalte</b> Genauigkeit von Messungen Mathematische Verfahren zur Handhabung unterschiedlicher Genauigkeitsniveaus</p>	<p><b>Lernziele</b> Vergleich mehrerer Zeitmessungen Kurven- und Grafikdarstellung sowie Durchschnittsbildung von Daten</p> <p><b>Hilfsmittel</b> Mindestens 1 Uhr pro Schüler (beliebige Art, jedoch mit Sekundenanzeige) Papier und Stift pro Schüler zur Zeitprotokollierung Ausreichend Exemplare des Zeitmessungs-Arbeitsblatts zur GPS-Untersuchung sowie Kurvenzeichnungsvordrucke Zusätzlich hilfreich: Taschenrechner mit Additions-, Subtraktions-, Multiplikations- und Divisionsfunktion GPS-Empfänger (als Normalzeitgeber). Das Gerät ist nicht unbedingt erforderlich, falls vorhanden, sollte seine Funktion als hochpräzise Uhr genutzt werden.</p> <p><b>Vorbereitung</b> Der Lehrer sollte dafür sorgen, daß der Klasse mindestens 10 Uhren zur Verfügung stehen. Es dürfen auch Schuluhren verwendet bzw. Uhren von zu Hause mitgebracht werden.</p> <p><b>Voraussetzung</b> Anfänger: Die Schüler sollten imstande sein, die Uhr zu lesen. Mittel- und Fortgeschrittenengruppe: Fähigkeit zur Darstellung von Zusammenhängen in graphischer Form.</p>
--	--

### Hintergrund

Im Rahmen unseres GPS-Untersuchungsprogramms werden Messungen mit verschiedensten Geräten in geographisch weit auseinanderliegenden Regionen und über lange Zeiträume durchgeführt. Hierzu werden Geräte empfohlen, die für den vorliegenden wissenschaftlichen Zweck von ausreichender Genauigkeit und Auflösung sind. Dennoch werden sich aufgrund der unterschiedlichen Gerätebedingungen sowie der Handhabung durch die Schüler Meßfehler nicht ausschließen lassen.



## Die richtige Antwort

Wenn jemand eine Messung durchführt, möchte sie/er in der Regel auch ein Feedback über die Qualität der Messergebnisse haben. Oft sind Fragen zu hören wie "Wie nahe lag ich an der richtigen Antwort?" oder "Stimmt's?" Dabei wird die Annahme zugrunde gelegt, daß es eine richtige Antwort gibt, mit der sich der Meßwert vergleichen läßt.

Manchmal gibt es tatsächlich eine "richtige" Antwort. Wenn Wissenschaftler mit der Messung einer Größe beginnen, fehlt jedoch u.U. zunächst ein Meßstandard, mit dem sich die Ergebnisse vergleichen lassen. Verfügt ein Wissenschaftler für eine bestimmte Messung nur über ein einziges Meßinstrument, an dessen Genauigkeit kein Zweifel besteht, kann er sich mit gutem Recht selbst als Meßstandard bezeichnen.

Eine Schwierigkeit ergibt sich jedoch, wenn entweder mehrere Meßgeräte vorhanden sind oder ein Kollege für sich beansprucht, "richtige" oder bessere Ergebnisse zu erzielen. Ein Sprichwort sagt: "Wer zwei Uhren hat, weiß nicht, wie spät es ist." In diesem Fall muß der Wissenschaftler entscheiden, wie er mit potentiell unterschiedlichen Meßergebnissen umgeht, bzw. welche Messungen und Standards er verwenden soll.

## Auflösung und Genauigkeit am Beispiel einer Uhr

Die Anzahl der Stellen bzw. die kleinste Zeiteinheit, die sich auf einer Uhr zuverlässig ablesen läßt, wird als "Auflösung" bezeichnet. Eine Digitaluhr, die z.B. die Anzeige "12:30:21" (12 Uhr, 30 Minuten, 21 Sekunden) liefert, weist eine Auflösung von ca. 1 Sekunde auf, da ihr Besitzer die Uhrzeit nur bis auf eine Sekunde genau feststellen kann. Auch eine Analoguhr (Uhr mit Stunden-, Minuten- und Sekundenzeiger) hat eine Auflösung von ca. 1 Sekunde, da der Sekundenzeiger dieses Intervall noch darstellt. Die Auflösung einer Analoguhr ohne Sekundenzeiger beträgt dagegen nur etwa 1 Minute, es sei denn, die Lage des Minutenzeigers ließe sich zwischen den einzelnen Minutenstrichen erkennbar unterteilen.

Die Uhr, die eine Auflösung von 1 Sekunde aufweist, kann jedoch trotzdem "falsch gehen", d.h., um einen bestimmten Zeitraum (von einem Bruchteil einer Sekunde bis zu mehreren Stunden) von einem gegebenen Zeitnormal abweichen. Die Fähigkeit der Uhr, die Zeit "richtig" anzuzeigen, wird als ihre Genauigkeit bezeichnet. Wenn man demnach eine Uhr hat, die pro Tag um 10 Minuten vorgeht, ist sie zwar immer noch mit einer Auflösung von 1 Sekunde ablesbar, geht jedoch nur auf 10 Minuten pro Tag genau. Man sagt, die Uhr weist einen Meßfehler von 10 Minuten pro Tag auf.



Uhren sind Geräte, die eine im Zeitverlauf verstreichende Größe messen. Die ersten Uhren basierten auf dem Prinzip der Zählung fallender Wassertropfen oder Sandkörner. Sie waren nicht sonderlich präzise, da die Größe von Wassertropfen bzw. Sandkörnern kaum steuerbar ist. Spätere Uhren arbeiteten mit Pendeln, vibrierenden Stimmgabeln, den mechanischen Schwingungen elektrisch angeregter Kristalle oder auch Atomresonanzen. Jede dieser Uhren war genauer als der Vorgängertyp - sie alle hängen jedoch von der Stabilität und Wiederholgenauigkeit eines zyklischen physikalischen Vorgangs ab (siehe Abb. GPS-L-1).

Abb. GPS-L-1: Mehrere Uhren mit unterschiedlichen Genauigkeiten und Auflösungen  
Damit alle Uhren dieselbe Zeit anzeigen, müßten sie theoretisch gleichzeitig auf dieselbe Zeit gestellt werden und dann unter identischen Umgebungseinflüssen und mechanischen Bedingungen





arbeiten. Dies ist jedoch nur selten der Fall. In aller Regel werden Uhren zu unterschiedlichen Zeiten nach verschiedenen Zeitnormalen gestellt, unterscheiden sich in ihrer Ganggenauigkeit und Bauweise und werden unter verschiedenen Bedingungen eingesetzt. Stellt man mehrere Uhren nebeneinander, zeigen sie normalerweise alle verschiedene Zeiten. Diese Abweichung findet sich auch bei den meisten anderen Meßinstrumenten, die im Zuge der Temperatur- und Entfernungsmessungen usw. des GLOBE-Programms verwendet werden (Thermometer, Bandmaße usw.).

Wenn es darum geht, die Fütterungszeit eines Haustiers zu bestimmen, ist eine Gangabweichung von einigen Minuten pro Tag noch hinnehmbar. Die GPS-Standortmessung ist jedoch darauf angewiesen, daß die Uhren an Bord der GPS-Satelliten hochpräzise funktionieren. Bereits eine Abweichung von einer einzigen Mikrosekunde (1/1,000,000 Sekunde) kann bewirken, daß die gemessene GPS-Position um 300 m von dem tatsächlichen Standort abweicht. Die gewünschte Auflösung und Genauigkeit hängt daher immer vom Benutzer und seinem Verständnis der jeweiligen Anwendung ab.

## **Zeitnormale**

In den USA gab es bis zum Aufkommen der Eisenbahn gegen Ende des 18. Jahrhunderts kaum allgemein anerkannte Zeitnormale. Die einzelnen Städte hatten ihre eigenen Uhren, die nach dem täglichen Sonnenhöchststand oder sonstigen Himmelsphänomenen gestellt wurden. Die Zeit des Sonnenhöchststandes verschiebt sich jedoch alle 15 Längengrade (etwa 1600 km entlang dem Äquator) um 1 Stunde. Um in Gebieten von der Größe eines Kontinents beständige Zeit- und Fahrplanangaben zu ermöglichen, wurden daher sogenannte Zeitzonen eingerichtet. Auf diese Weise erzwang und bot die Eisenbahn einen gemeinsamen zeitlichen Bezugsrahmen.

Heute sind alle Zeitzonen der Erde auf den nullten Längengrad bezogen, der durch die englische Stadt Greenwich führt. In Greenwich befindet sich eines der größten astronomischen Observatorien, das zur Schaffung eines Zeitnormals für die Navigationszwecke der britischen Seefahrt eingerichtet wurde. Noch heute wird die Zeit von Greenwich in England als Bezugsstandard verwendet und als "Mittlere Greenwicher Zeit" (GMT), Weltzeit (UT) oder Zulu-Zeit bezeichnet (Zulu ist das Kürzel für "Z" wie engl. "zero", d.h. den nullten Längenmeridian betreffend). Auch in den GLOBE-GPS-Protokollen müssen alle Zeitangaben in UT-Zeit eingetragen werden.

In den USA werden von der Marine, dem Nationalen Ausschuß für Normung und Technik (NIST) sowie mehreren Fernsprechgesellschaften Normalzeiten anhand hochpräziser Atomuhren ermittelt, die die Schwingungen bestimmter Atome unter genau definierten Bedingungen zählen. Der US-Rundfunksender mit dem Rufzeichen WWV sendet aus Boulder/Colorado auf den Kurzwellenfrequenzen 5, 10, 15, 20 und 25 MHz ununterbrochen die Tageszeit in englischer Sprache. Auch diese Frequenzen basieren auf einem Atomzeit-Standard. Die kanadische Regierung unterhält einen ähnlichen Dienst in englischer und französischer Sprache auf dem Kurzwellen-Rundfunksender CHU (7,335 und 15,670 MHz) an. In aller Welt gibt es zahlreiche weitere Dienste dieser Art.



## Das GPS-System

Das "Global Positioning System" (GPS) umfaßt mehrere Satelliten, die an Bord extrem genaue Atomuhren mitführen und deren Zeitsignale aussenden. Die Genauigkeit der GPS-Zeitmessung entspricht daher der Präzision dieser Atomuhren. Dabei kann der GPS-Empfänger sogar die Verzögerung kompensieren, die durch den Weg des Signals vom Satelliten zum Empfänger entsteht, weil der Empfänger sowohl den Standort des Satelliten als auch seine eigene Position kennt. GPS-Empfänger sind somit die präziseste Alternative zur eigenen Atomuhr.

## Telekommunikation

Bei der Übertragung von Computerdaten müssen Zeitmessungen zugrunde gelegt werden, die wesentlich genauer als der eigentliche Datenstrom sind. Überträgt man mit einem 14,4-kB-Modem Daten über das Internet, so liegt an dem Modem alle  $1/14400$  Sekunde (d.h. alle 70 Millisekunden) ein neues Datenbit an. Die Uhren in der Computer-Hardware müssen daher über eine ausreichend hohe Auflösung verfügen, um Zeitintervalle von  $70 \mu\text{s}$  zuverlässig trennen zu können, und überdies so genau sein, daß sich die Synchronisation zwischen Sende und Empfangscomputer nie um mehr als einen Bruchteil dieser 70 ms verschiebt. Dies läßt sich problemlos mit Hilfe von Quarzkristallen gewährleisten, die in mechanische Schwingungen zwischen 10.000 und 100 Millionen Herz versetzt werden. Die Schwingungen werden von einem digitalen Schaltkreis elektronisch gezählt, um die verstrichene Zeit zu ermitteln.

## Inhalt und Vorgehensweise

### Schritt 1: An die Uhren!

Benötigt werden mindestens zehn (besser mehr!) funktionstüchtige Uhren, welche die Zeit mit einer Auflösung von 1 Sekunde anzeigen. Teilen Sie zu jeder Uhr einen Schüler zu. Ein Schüler ist der Zeitnahmeleiter. Wenn in der Klasse viele Schüler eine Armbanduhr mit Sekundenanzeige tragen, dürfen diese verwendet werden - aber auch Wanduhren mit Sekundenanzeige, die in verschiedenen Räumen hängen, sind geeignet. Wichtig ist, daß jeder Schüler imstande ist, die Zeit zu protokollieren, und daß sich alle Schüler in Sicht- bzw. Hörweite des Zeitnahmeleiters befinden.

### Schritt 2: Durchführung der Messungen

Der Zeitnahmeleiter stellt sich an einem möglichst zentralen Punkt auf. Genau 30 Minuten und 0 Sekunden nach der vollen Stunde fordert er die übrigen Schüler auf, die Anzeige "ihrer" Uhr bis auf 1 Sekunde genau zu protokollieren. Dabei kann es sich empfehlen, den Zeitnahmeleiter etwa 10 Sekunden vorher mit einem "Countdown" beginnen zu lassen, damit kein Schüler den Meßzeitpunkt verpaßt.

Obwohl im Grunde jede beliebige Uhrzeit geeignet ist, hat die Durchführung des Versuchs zur "halben Stunde" den Vorteil, daß keine Uhr während des Meßintervalls in die nächste Stunde weiter schaltet, wodurch sich die späteren Berechnungen verkomplizieren würden.

Fortgeschrittene Schüler: Lassen Sie die Schüler die Berechnungen und Kurvenzeichnungen selbst durchführen.

Übrige Schüler: Der Lehrer erstellt die Berechnungen und Kurven außerhalb des Unterrichts. In der Klasse werden lediglich die Ergebnisse vorgestellt und besprochen. Selbst wenn die Berechnungen



für jüngere Schüler nicht verständlich sein sollten, verstehen Sie doch den Verlauf der Histogrammkurve für die Ganggenauigkeiten der einzelnen Uhren.

### **Schritt 3: Wie spät war es?**

Einzelheiten hierzu enthält das Zeitmessungs-Arbeitsblatt zur GPS-Untersuchung mit den dazugehörigen Hinweisen.

Hilfestellung zur Umrechnung von Minuten und Sekunden in Gesamtsekunden bietet die GPS-Übung Arbeit mit Winkeln.

Berechnen Sie abschließend den Durchschnitt aller Uhrzeitmessungen. Hierzu ist wie folgt vorzugehen:

?? Berechnen Sie die Anzahl der Sekunden, um welche die protokollierte Zeit jedes Schülers die volle Stunde überschritten hat.

?? Addieren Sie diese Sekunden.

?? Teilen Sie das Ergebnis durch die Anzahl der Mitwirkenden, um die Durchschnittszeit zu erhalten.

?? Rechnen Sie diesen Durchschnittswert wieder in Minuten und Sekunden um und protokollieren Sie das Ergebnis.

### **Schritt 4: Was taugen die Uhren?**

Bestimmen Sie die Abweichung jeder Uhr vom Durchschnittswert.

Rechnen Sie für jeden Mitwirkenden die Abweichung seines Zeitwerts von der Durchschnittszeit aus. Streichen Sie das Vorzeichen - alle Ergebnisse sind positiv.

Addieren Sie die Ergebnisse zu einer Summe. Teilen Sie diese Summe durch die Anzahl der Mitwirkenden, um die durchschnittliche Abweichung zu erhalten. Die durchschnittliche Abweichung gibt an, wie weit jede Messung von der Durchschnittszeit abweicht.

Tragen Sie die Abweichungen vom Durchschnittswert der protokollierten Zeiten in einer Grafik auf. Siehe hierzu das Arbeitsblatt Ereignisse und Differenzen.

Jedes Feld ist 10 Sekunden breit und 10 Sekunden weiter von der durchschnittlichen Sekundenzahl entfernt. Tragen Sie die durchschnittliche Sekundenzahl im mittleren Feld ein. Tragen Sie ferner pro Sekunde, um welche die Uhrzeit des einzelnen Mitwirkenden die volle Stunde überschreitet, ein "X" ein. Diese Art der grafischen Darstellung wird als Histogramm bezeichnet.

Inwieweit würde das Histogramm anders aussehen, wenn die verwendeten Uhren mehr oder weniger genau wären?

### **Weitergehende Untersuchung**



Wenn Sie Zugriff auf einen GPS-Empfänger haben, stellen Sie anhand dieses Empfängers eine (beliebige) Uhr, die dann als "Normaluhr" für die Messungen dient. Die Anzeige des GPS-Empfängers stellt vermutlich die genaueste Zeitangabe dar, die es auf der Welt gibt.

Wie verändert sich unsere berechnete Durchschnittsabweichung, wenn genauere Uhren verwendet werden?

Schüler, die über ein PC-Tabellenkalkulationsprogramm verfügen, können die Arbeitsblatt-Berechnungen u.U. mit dem Computer durchführen.

Mit fortgeschrittenen Schülern kann in diesem Zusammenhang auf die statistischen Begriffe der Standardabweichung und Streuung eingegangen werden.

## **Leistungsbeurteilung**

### **Quantitativ**

Fragen Sie die Schüler, ob das Histogramm anders aussähe, wenn die Uhren genauer bzw. ungenauer gingen (genauer: X-Symbole stünden enger zusammen, ungenauer: X-Symbole stünden weiter auseinander). Waren die Schüler imstande, die Uhrzeiten zu protokollieren? Konnten Sie die Berechnung nachvollziehen? Sollten bestimmte Daten verworfen werden? (Ja, wenn der festgestellte Wert offensichtlich grob falsch ist, z.B. bei stehengebliebener Uhr).

### **Qualitativ**

Die Schüler sollten Situationen nennen können, in denen eine "richtige" Antwort verlangt bzw. nicht verlangt werden kann.

Sie sollten Beispiele für Messungen, die sie in ihrem Alltag durchführen, angeben und die tatsächlichen und wünschenswerten Auflösungen und Genauigkeiten dieser Messungen gegenüberstellen können.

Sie sollten bereit und imstande sein, die Verantwortung für die Bestimmung der Genauigkeit und Auflösung von Messungen zu übernehmen, die im Rahmen einer Untersuchung durchgeführt werden müssen.



# Musterarbeitsblatt: Zeitmessung

Name: Klaus Meier

Datum: 25.3.1996

Teilnehmer Nr.	Protokollierte Zeiten			Sekunden nach voller Stunde (Sekunden)	Mittelwert (Sekunden)	Abweichung vom Mittelwert (Sekunden)	Mittelwert d. Abweichungen (Sekunden)
	(Std.)	(Min)	(Sek)				
1	12	30	0	1800		6.9	
2	12	29	54	1794		12.9	
3	12	30	1	1801		5.9	
4	12	30	15	1815		8.1	
5	12	31	1	1861		54.1	
6	12	30	25	1825		18.1	
7	12	30	3	1803		3.9	
8	12	30	7	1807		0.1	
9	12	29	22	1762		44.9	
10	12	30	1	1801		5.9	
11	Beteiligung: 10 Schüler				1806.9		16.08
12					durchschn. Anzahl Sekunden nach voller Stunde		durchschnittliche Abweichung
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
10 = Teilnehmerzahl				18069 = Summe	160.8 = Summe d. Abweichungen		
				durchschnittliche Zeit (Minuten)	(Sekunden)		
				30	6.9		

### Hinweise:

#### Uhrzeiten protokollieren.

Berechnungen:

?? Ermitteln Sie zu jeder protokollierten Uhrzeit, um wieviel Sekunden diese die volle Stunde überschreitet. (Gesamtzahl Sekunden: Minuten x 60 + Sekunden)

?? Berechnen Sie die Durchschnittszeit (Durchschnittszeit: Summe der Sekunden : Teilnehmerzahl)

?? Berechnen Sie die Abweichung der Uhrzeit jedes Teilnehmers von der Durchschnittszeit (Abweichung: Sekunden über volle Stunde - durchschnittliche Sekunden)

(Vorzeichen streichen - alle Ergebnisse stellen positive Zahlen dar).

Durchschnitt der Abweichungen berechnen.

#### Histogramm zeichnen

Durchschnittliche Anzahl Sekunden im mittleren Kästchen eintragen. Jedes Feld ist 10 Sekunden vom Durchschnittswert entfernt und 10 Sekunden breit. Bestimmen Sie die Zeit zu jedem Feld durch Addition oder Subtraktion zum/vom Durchschnittswert.

Tragen Sie für jede Sekunde, um welche die volle Stunde überschritten wird, ein "X" in das nächstgelegene Feld.

(Die Anzahl der "X" muß gleich der Anzahl der Teilnehmer sein).



# Arbeitsblatt: Zeitmessung

Name: \_\_\_\_\_  
Datum: \_\_\_\_\_

Teilnehmer Nr.	Protokollierte Zeiten			Sekunden nach voller Stunde (Sekunden)	Mittelwert (Sekunden)	Abweichung vom Mittelwert (Sekunden)	Mittelwert d. Abweichungen (Sekunden)
	(Std.)	(Min.)	(Sek.)				
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
					<input type="text"/>		<input type="text"/>
				durchschnittl. Anzahl Sekunden nach voller Stunde			durchschn. Abweichung
				Summe dividiert durch Teilnehmerzahl			Summe der Abweichungen dividiert durch Teilnehmerzahl
	<input type="text"/>						
	= Teilnehmerzahl			= Summe			= Summe d. Abweichungen
				durchschnittliche Zeit (Minuten) (Sekunden)			
				<input type="text"/>	<input type="text"/>		

## Hinweise:

### Uhrzeiten protokollieren.

Berechnungen:

?? Ermitteln Sie zu jeder protokollierten Uhrzeit, um wieviel Sekunden diese die volle Stunde überschreitet. (Gesamtzahl Sekunden: Minuten x 60 + Sekunden)

?? Berechnen Sie die Durchschnittszeit (Durchschnittszeit: Summe der Sekunden : Teilnehmerzahl)

?? Berechnen Sie die Abweichung der Uhrzeit jedes Teilnehmers von der Durchschnittszeit (Abweichung: Sekunden über volle Stunde - durchschnittliche Sekunden)(Vorzeichen streichen - alle Ergebnisse stellen positive Zahlen dar)

Durchschnitt der Abweichungen berechnen.

### Histogramm zeichnen

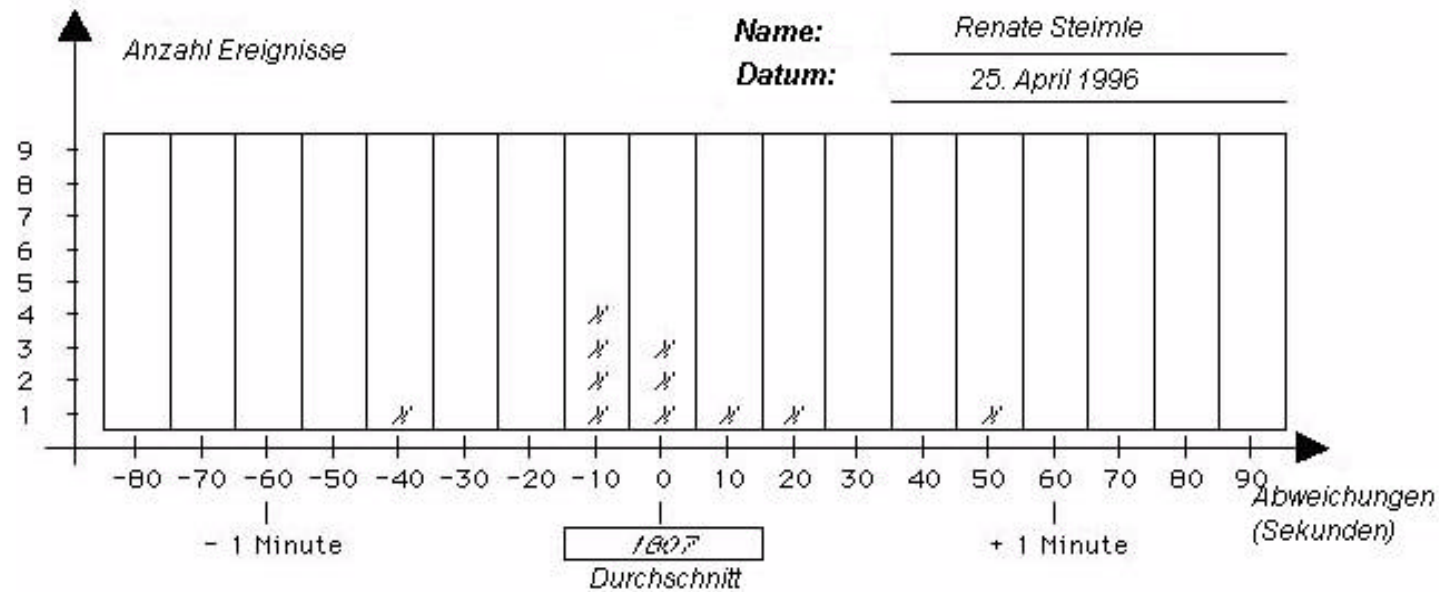
Durchschnittliche Anzahl Sekunden im mittleren Kästchen eintragen. Jedes Feld ist 10 Sekunden vom Durchschnittswert entfernt und 10 Sekunden breit. Bestimmen Sie die Zeit zu jedem Feld durch Addition oder Subtraktion zum/vom Durchschnittswert. Tragen Sie für jede Sekunde, um die die volle Stunde überschritten wird, ein "X" in das nächst gelegene Feld.

(Die Anzahl der "X" muß gleich der Anzahl der Teilnehmer sein).



# Musterarbeitsblatt "Ereignisse und Abweichungen"

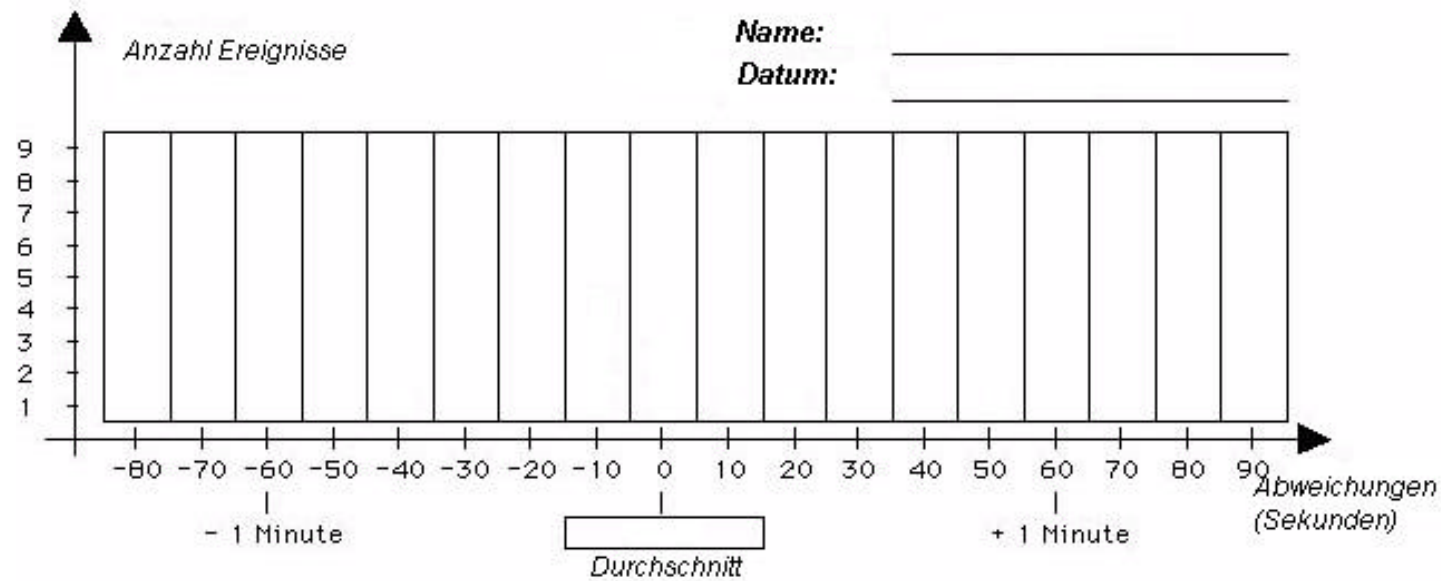
Grafik 1: Histogramm der Ereignisse und Abweichungen





# Arbeitsblatt "Ereignisse und Abweichungen"

Grafik 1: Histogramm der Ereignisse und Abweichungen







## Relative und absolute Positionsangaben

<p><b>Zweck</b> Vermittlung des Konzepts von geographischer Länge und Breite Entwicklung mathematischer Fähigkeiten</p> <p><b>Übersicht</b> Zu Beginn der Übung stellen die Schüler die einfache Frage "Wo bin ich?". Hierauf aufbauend werden sie mit dem Erdmagnetismus und der Arbeit mit Kompaß und Winkeln vertraut gemacht. Zudem lernen sie den Unterschied zwischen relativen und absoluten Richtungsangaben. Im Verlaufe der Übung werden unterschiedliche mathematische Fertigkeiten entwickelt.</p> <p><b>Zeitaufwand</b> 1 - 5 Unterrichtsstunden (je nachdem, welche Schritte durchgeführt werden)</p> <p><b>Niveau</b> alle (sofern nicht anders angegeben)</p> <p><b>Wichtige Inhalte und Lernziele</b></p> <p><b>Inhalte</b> Relative und absolute Richtungsangaben Geographische Länge und Breite Winkel Arbeit mit dem Magnetkompaß Elementare Kartographie</p> <p><b>Lernziele</b> Unterscheiden und Beschreiben relativer und absoluter Richtungsangaben Meldung von Positionsdaten an andere Positionsbeschreibung anhand von Gitternetzen</p>	<p>Einsatz eines Magnetkompasses zur präzisen Ermittlung der Winkelrichtung Entwicklung elementarer kartographischer Techniken</p> <p><b>Hilfsmittel</b> Papier und Bleistift Millimeterpapier Magnetkompass Zirkel Globusse Lineale und Zollstöcke mit metrischer Unterteilung Stabmagnet</p> <p><b>Vorbereitung</b> keine</p> <p><b>Voraussetzung</b> Anfängerniveau: Die Schüler sollten soweit entwickelt sein, daß sie die Angabe von Positionen anhand der geographischen Länge und Breite mitvollziehen können. Mittel- und Fortgeschrittenengruppe: Geometrisches Grundwissen (Grade, Winkel, Koordinatensysteme)</p> <p><b>Hinweis</b> Wenn die Schüler mit den Begriffen der geographischen Länge und Breite bereits vertraut sind, besteht die Möglichkeit, entweder gleich mit der nächsten Übung Arbeit mit Winkeln fortzuführen, oder die nachfolgenden Übungen dennoch (ganz oder teilweise) durchzuarbeiten, um das mathematische Verständnis relativer und absoluter Richtungsangaben zu vertiefen.</p>
---	--

### Hintergrund

Im Rahmen unseres Programms werden die Standorte der GLOBE-Schulen mit Hilfe von GPS-Empfängern ermittelt. Die Begriffe der geographischen Breite und Länge, der Umgang mit Positionskoordinaten in absoluten Bezugssystemen und die Angabe von Richtungen anhand von Winkelgraden (bezogen auf den Nordpol) werden jedoch vielen Schülern neu sein. In dieser Übungsserie werden diese Begriffe eingeführt.



Fragt man die Schüler, wo sie sich befinden, antworten Sie in der Regel "zu Hause" oder "in der Schule". Diesen Antworten liegt ein individueller Bezugsrahmen zugrunde.

Bestimmt man die Richtung eines Baumes, der sich nördlich vom Betrachter befindet, mit Hilfe eines Magnetkompasses, so gelangt man wahrscheinlich zu dem Schluß, daß der Baum in nördlicher Richtung liegt. Bewegt sich der Betrachter daraufhin eine erhebliche Strecke nach Osten oder Westen und bestimmt die Richtung des Baumes erneut mit demselben Kompaß, so liegt der Baum nunmehr in nordöstlicher oder nordwestlicher Richtung. Weder der Baum noch die Magnetpole der Erde haben sich bewegt - dennoch liegt der Baum jetzt in einer anderen Himmelsrichtung. Die Positionen von Baum und Polen sind in gewisser Weise absolut, wogegen dem Meßverfahren ein unverkennbar relatives Element anhaftet. Der Ausgangspunkt hat sich verlagert.

Überzieht man ein bestimmtes geographisches Gebiet (oder auch die ganze Welt) mit einem Gitternetz-Koordinatensystem und ordnet jeder Netzlinie eine Zahl zu, so erhält man einen Bezugsrahmen, anhand dessen sich jeder Ort - unabhängig von den relativen Standorten zweier gedachter Personen - eindeutig bestimmen läßt. Dimensionen dieses Koordinatensystems sind die geographische Länge und Breite. Sie stellen den Bezugsrahmen für unsere Standortbestimmung mit dem GPS-Empfänger dar.

## **Inhalt und Vorgehensweise**

### **Schritt 1: Relative Richtungsangaben: Wo bin ich? (alle Niveaus)**

Fordern Sie die Schüler auf, sich die Frage nach dem eigenen Standort zu stellen ("Wo bin ich?"). Die Beantwortung kann in Form einer Wortliste oder einer groben Skizze erfolgen. Erörtern Sie mit der ganzen Klasse, wodurch der eigene Standort definiert ist.

Ermuntern Sie die Schüler, Fragen zu stellen. Lassen Sie sie in Ruhe überlegen, was den Standort eines Menschen ausmacht, und wie man einem anderen erklären kann, wo man sich befindet. Hilfreich ist z.B. die Frage, wie man dies einem Schüler beschreiben kann, der sich (a) in demselben Klassenzimmer, (b) in einem anderen Klassenzimmer, (c) einer anderen Schule derselben Stadt, (d) in einer anderen Stadt oder (e) in einem anderen Land aufhält. Haben sich die Schüler bei ihrer Standortbeschreibung eines relativen oder absoluten Bezugsrahmens bedient? Arbeiten Sie den verwendeten Bezugsrahmen heraus.

### **Schritt 2: Versuch der Einführung eines Bezugsrahmens: das Erdmagnetfeld (alle Niveaus)**

Unser Planet strahlt ein gewaltiges Magnetfeld ab, so als enthielte er einen überdimensionalen Stabmagneten (siehe Abb. GPS-L-4).

Ein anderer Magnet (z.B. eine magnetisierte Nadel) wird von den Magnetpolen der Erde angezogen. Ein Magnetkompaß enthält eine solche Magnetnadel, die frei drehbar gelagert und für den Betrachter sichtbar ist. Magnetkompassse stellen daher hilfreiche Navigationsinstrumente dar, weil sie uns die Richtung des Erdmagnetfeldes anzeigen, das sich mit dem Nord- und Südpol der Erde nahezu deckt.

Hängen Sie einen Stabmagnet an einer Schnur auf (der Ort muß so gewählt sein, daß sich keine größeren magnetischen Gegenstände in der Nähe befinden) und lassen Sie ihn auspendeln. Die Befestigung der Schnur an dem Magneten ist gemäß Abb. GPS-L-5 vorzunehmen.

Fragen Sie die Schüler, was passieren wird. Der Magnet hört früher oder später auf, sich zu drehen. Seine Pole fluchten dann mit der Nord-Süd-Richtung. Die Schüler können dies durch Vergleich mit einem Magnetkompaß überprüfen.

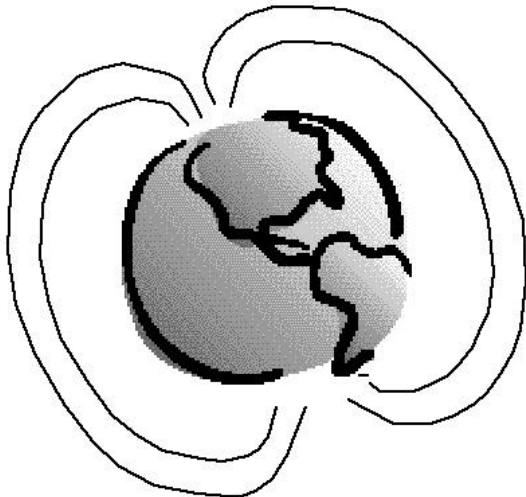


Abb. GPS-L-4: Die Erde als riesengroßer Magnet



Abb. GPS-L-5: Aufgehänger Stabmagnet

Zur Richtungsmessung mit dem Kompaß wird dieser bei gestrecktem Arm auf die Finger der ebenfalls ausgestreckten Hand gelegt. Der Kompaß muß flach (parallel zum Boden) liegen, damit sich die Nadel frei drehen kann, und darf sich nicht in der Nähe metallischer Objekte befinden. Die Stellung des Betrachters muß so gewählt sein, daß er nach Norden blickt, während die Kompaßnadel auspendelt. Der Kompaß darf nicht in die Nähe des Magneten kommen - das Ergebnis könnte sonst verfälscht werden.

### **Schritt 3: Himmelsrichtung in Kompaßgraden - Einführung (Anfängerniveau)**

Protokollieren Sie auf einem leeren Blatt Papier die folgenden Beobachtungen. Nehmen Sie zur Richtungsbestimmung einen Magnetkompaß zur Hilfe.

- ?? Vermerken Sie Ihren konkreten Standort (z.B. "auf dem großen Stein vor dem Klassenfenster").
- ?? Erstellen Sie eine Liste aller Dinge, die in nördlicher, östlicher, südlicher und westlicher Richtung von Ihnen liegen (ermitteln Sie diese Himmelsrichtungen mit dem Kompaß) und fügen Sie zu jeder Richtung einen beschreibenden Absatz hinzu.

Wahrscheinlich wird Ihnen die Vielfalt der Umgebung auf den ersten Blick nur schwer strukturierbar erscheinen - bei sorgfältiger Beobachtung dürften dann jedoch konkrete Unterschiede zwischen den einzelnen Himmelsrichtungen deutlich werden.



Abb. GPS-L-6 Panorama-Ansicht

Tip: Protokollieren Sie ganz konkret, was Sie sehen, und in welcher Richtung es von Ihnen aus betrachtet liegt. Führen Sie nur Dinge auf, die im Vorder- bzw. Hintergrund bleibend vorhanden sind. Wenn in einem Bereich viele Dinge zum Verwechseln ähnlich sind, versuchen Sie, sich auf Besonderheiten zu konzentrieren. Halten Sie sich stets vor Augen, daß man den guten



Wissenschaftler u.a. an der Konkrettheit seiner Beschreibungen bzw. Zeichnungen erkennt. Er stellt seine Beobachtungen vergleichend gegenüber.

Nachfolgend zwei Beispiele für Ortsbeschreibungen an zwei verschiedenen Schulen (siehe Abb. GPS-L-6, GPS-L7a und GPS-L-7b):

1. Das rotbraune Ziegelgebäude mit den grünen Fensterrahmen liegt genau westlich. Nördlich von diesem Gebäude steht die Fabrik mit dem hohen Schornstein.
2. In östlicher Richtung steht eine einzelne Eiche. Ein Zaun erstreckt sich vom Betrachter in Richtung auf den Horizont.

Stellen Sie Fragen zu den einzelnen Beobachtungen, um die Schüler zur vergleichenden Gegenüberstellung anzuregen.



Abb. GPS-L-7a und GPS-L-7b: Blick von einem Schulstandort nach Westen bzw. Osten

#### **Schritt 4: Himmelsrichtungen in Kompaßgraden - Vertiefung (Mittel- und Fortgeschrittenengruppe)**

Ein Kreis, in dessen Mittelpunkt der Betrachter steht, läßt sich in 360 Winkelgrade (geschrieben 360°) unterteilen. Siehe die GPS-Übung Arbeit mit Winkeln. Navigationsanweisungen werden in Winkeln eines solchen Kreises ausgedrückt, wobei 0° Norden (Ausgangspunkt), Osten 90°, Süden 180° und Westen 270° entspricht.

#### **Winkelmessungen**

Grobe Winkelmessungen lassen sich mit der Hand durchführen. Wenn man am gestreckten Arm die Faust ballt und dann den Daumen ausstreckt, wie in Abb. GPS-L-8 gezeigt, entspricht die Breite der Hand (mit ausgestrecktem Daumen) etwa 15° (evtl. muß zusätzlich der kleine Finger gespreizt werden).

Anders ausgedrückt - sechs Fäuste mit ausgestrecktem Daumen entsprechen dem Abstand zwischen Norden und Osten (dieser beträgt 90°, d.h. sechs Handbreit à 15°).

Da keine zwei Hände völlig gleich sind, kann es erforderlich werden, auch den kleinen Finger abzuspreizen, damit 90° genau einer Distanz von sechs Fäusten entsprechen. Es empfiehlt sich, mehrere Versuchsmessungen auf diese Art durchzuführen, bis man sicher sein kann, daß der Abstand zwischen Norden und Osten genau sechs Fäusten entspricht und man ein Ergebnis von hinreichender Wiederholbarkeit erzielt. Achten Sie darauf, die Hand so ruhig wie möglich zu



Abb. GPS-L-8: Abmessung von 15°-Schritten mit der Hand

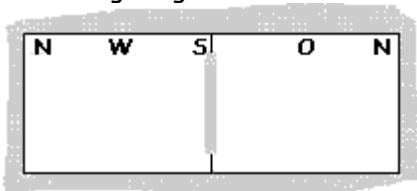


halten. Merken Sie sich den Punkt, an dem die Daumenspitze endet, und bewegen Sie die Hand dann nach rechts, bis der Handrücken mit diesem Punkt abschließt. Prägen Sie sich die verwendete Arm- und Handhaltung für etwaige spätere Winkelmessungen ein.

Üben Sie diese Winkelmessung mit "Hand und Daumen" immer wieder, bis Sie zwischen Norden und Osten bzw. Norden und Westen stets dieselbe Anzahl Fäuste erhalten. Vermerken Sie, was Sie am Ende jeder Handbreit sehen. Wenn Sie sicher sind, sich auf Ihre Messungen verlassen zu können, fahren Sie mit den nachstehenden Panoramabeobachtungen fort.

### **Schritt 5: Panoramabeobachtungen (alle Niveaus)**

Falten Sie ein Blatt Papier der Länge nach in zwei gleiche Hälften. Schneiden Sie das Blatt entlang der Falzlinie in zwei lange Stücke. Kleben Sie diese an ihrer Schmalseite mit einem Stück Klebestreifen zusammen und markieren Sie am oberen Rand die Himmelsrichtungen, wie in Abb. GPS-L-9 gezeigt.



Am linken und rechten Blattende muß jeweils Norden, in der Mitte Süden erscheinen. Protokollieren Sie Ihre Beobachtungen in Form von Zeichnungen auf diesem langen Papierstreifen.

Abb. GPS-L-9: Vorbereitung des Papierstreifens für eine Panoramazeichnung



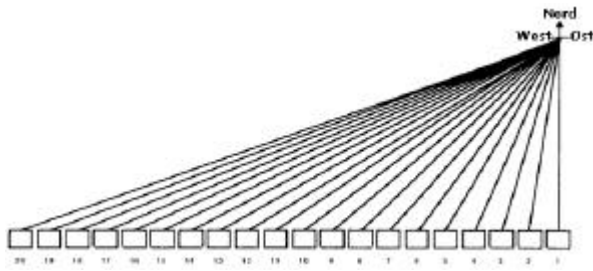
In Weiterführung dieses Schritts lassen sich mit der Faust auch Zeitmessungen durchführen. Da die Sonne am Himmel stündlich um 15° weiter wandert, läßt sich die Anzahl der Stunden bis zum Sonnenuntergang in Handbreiten vom derzeitigen Sonnenstand bis zum westlichen Horizont messen. Wenn man die örtliche Zeit des Sonnenuntergangs kennt, weiß man so auch ohne Uhr, wie spät es ist.

Abb. GPS-L10: Eine Schülerkette blickt auf einen nördlichen Fixpunkt

### **Schritt 6: Sind Himmelsrichtungen absolut oder relativ? (alle Niveaus)**

Markieren Sie im Freien einen Fixpunkt in etwa 2 m Höhe über dem Boden (z.B. ein Klebeband-Kreuz auf einem Schulfenster), und zwar so, daß sich die Schüler in einer von Osten nach Westen verlaufenden Linie südlich dieses Fixpunkts aufstellen können. Lassen Sie die Schüler eine Kette bilden, wobei der Schüler am östlichen Ende dieser Kette genau südlich des Fixpunkts steht. Der Abstand zwischen den Schülern soll eine Armlänge betragen. Siehe Abb. GPS-L-10.

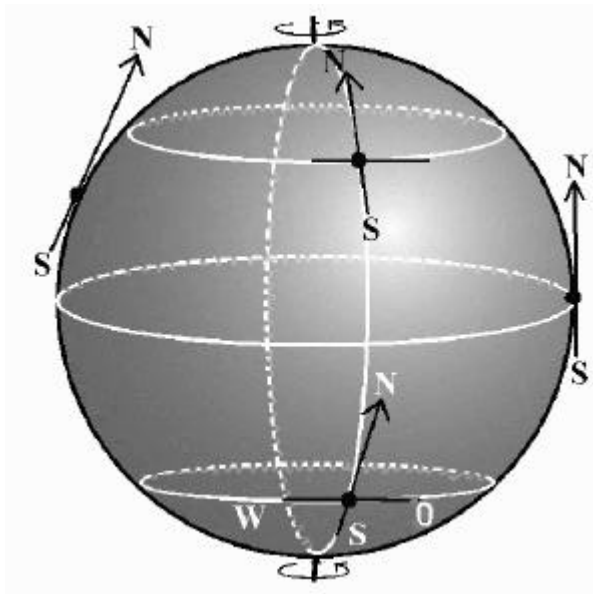
Die Kästchen in Abb. GPS-L-11 entsprechen jeweils einem Schüler. Der erste Schüler nimmt einen Kompaß in die Hand und richtet ihn auf den Fixpunkt. Er wird feststellen, daß der Fixpunkt genau nördlich von ihm liegt (Winkel: 0°). Die Schüler protokollieren daraufhin in dem 1. Kästchen den Wert "0°". Nun wird die Kompaßmessung nacheinander von allen Schülern wiederholt. Da bei der beschriebenen Anordnung alle Ergebnisse zwangsläufig zwischen "Norden" und "Osten" liegen, müssen die Meßergebnisse einen Wert zwischen 0° (Norden) und 90° (Osten) annehmen.



Warum erhält jeder Schüler einen geringfügig anderen Meßwert? Hatten nicht alle Schüler denselben Fixpunkt im Blick? Ihre Kompaßwinkel sind relativ - sie variieren je nach Stellung des einzelnen Beobachters.

Abb. GPS-P-11: Foliendiagramm der Fixpunktmessung durch eine Schülerreihe

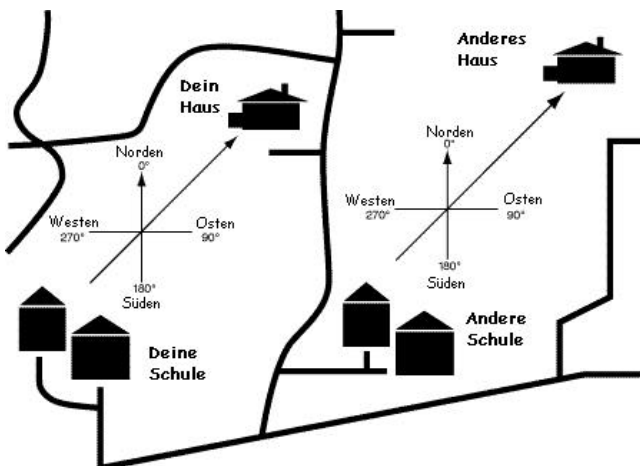
### Schritt 7: Himmelsrichtungen sind relativ - sie variieren je nach der Position des Betrachters



Der magnetische Nord- und Südpol der Erde liegen - praktisch ausgedrückt - nahe dem nördlichen bzw. südlichen Ende der Drehungsachse unseres Planeten. Sofern die Kompaßnadel nicht von einem anderen starken Magneten abgelenkt wird, stellt sie sich so ein, daß sie mit dem Magnetfeld der Erde fluchtet, d.h. sie weist auf die magnetischen Pole der Erde. (Die Magnetpole der Erde ändern ihre Lage während eines Menschenlebens nicht). Die magnetischen Pole der Erde erscheinen ortsfest. Für einen Beobachter am Äquator liegt die Nordrichtung jedoch auf einer Linie, die eine Tangente zum Äquator darstellt.

Abb. GPS-L-12: Verschiedene Wahrnehmung der Richtung "Nord" an unterschiedlichen Punkten der Erde

Für einen anderen Beobachter, der auf halber Höhe zwischen Nordpol und Äquator steht, stellt sie eine Tangente zur Erdkugel an seinem Standort dar.



Diese beiden Tangenten verlaufen nicht parallel zueinander (siehe Abb. GPS-L-12) und können daher auch nicht in dieselbe Richtung weisen. Demonstrieren Sie dies an einem Globus für verschiedene Punkte der Erde. Es wird deutlich, daß die Richtung, die wir als "Norden" bezeichnen, von unserem Standort abhängt. Aus diesem Grund stellen unsere Himmelsrichtungen nur relative Angaben dar. Es handelt sich um Winkelmessungen in Richtung auf den magnetischen Nordpol, bezogen auf den Standort des Betrachters, der die Messung



Standort des Betrachters, der die Messung  
GPS-L-13: Die Richtung vom Wohnort zur Schule ist durchführt.  
für jeden Schüler anders

**Zur Vertiefung:** Richtungsangaben sind nicht zwangsläufig eindeutig. Welche Probleme können sich daraus ergeben? Um einen Kurs zwischen zwei gegebenen Punkten zu steuern, muß ein bekannter, fester Bezugspunkt vorhanden sein. Wer zwei Zuhörern, die sich an verschiedenen Orten aufhalten, einen Weg beschreiben will, muß sich mit Ihnen zunächst auf einen gemeinsamen Punkt einigen. Eindeutig festgelegte Start- und Endpunkte liefern (wie Handelsstraßen) einen absoluten bzw. unveränderlichen Bezugsrahmen - wie ein Koordinatensystem, das man auf eine Karte projiziert. Für unseren kugelförmigen Planeten stellen die geographische Breite und Länge einen ähnlichen Bezugsrahmen dar.

Verdeutlichen Sie den Schülern anhand der Zeichnungen und der Karte in Abb. GPS-L-13 den Unterschied zwischen relativen und absoluten Richtungs- und Ortsangaben (siehe Begriffsverzeichnis am Ende dieses Programmabschnitts). Im Anhang zu diesem Untersuchungsprogramm finden Sie eine ganzseitige Version der Abb. GPS-L-13, die Sie für die Schüler als Arbeitsunterlage kopieren können.

Beschreiben Sie den Weg von Ihrer Schule zu einem Wohnort. Geben Sie dann eine Beschreibung des Wegs von einer anderen Schule zu einem anderen Wohnort. Fragen Sie die Schüler, worin der Unterschied liegt.

**Rätsel zum Thema "absolute Richtungsangaben":** Ein Mann baut ein Haus. Alle Außenwände dieses Hauses weisen nach Süden. Ein Bär nähert sich dem Haus. Welche Farbe hat der Bär? (Antwort: weiß. Wenn alle Wände des Hauses nach Süden weisen, muß das Haus am Nordpol stehen. In der Arktis leben nur Eisbären).

### **Schritt 8: Ortsbeschreibung (alle Niveaus)**

An dieser Stelle sollen absolute Bezugsrahmen zur Standortbeschreibung eingeführt werden. Die Schüler vertiefen dabei die Inhalte früherer Übungen, in denen gefragt wurde "Wo bin ich?" bzw. "Wo befindet sich ein Gegenstand?", indem Sie nun lernen, daß das "Wo?" klar genug definiert werden muß, um ihren Standort einer anderen Person eindeutig anzugeben. Die Schüler werden aufgefordert, Richtungsangaben nicht unter Bezugnahme auf den eigenen Standort, sondern unter Bezugnahme auf einen vereinbarten Fixpunkt oder ein Koordinatensystem zu machen. Die kartesischen Koordinaten (x- und y-Achse des aus der Geometrie und Algebra bekannten Koordinatensystems), aber auch die Breiten- und Längengrade der Erdkugel stellen ein solches System dar.

Setzen Sie zwei Schüler mit dem Rücken zueinander. Jeder Schüler hat ein Schachbrett vor sich. Händigen Sie jedem Schüler zwei Spielsteine (z.B. Münzen, Damesteine) aus und fordern Sie den ersten Schüler auf, diese auf beliebige Felder des Brettes zu legen.



Bitten Sie diesen Schüler nun, ohne irgendwelche weiteren Regeln vorzugeben, dem anderen Schüler die Standorte seiner Spielsteine so zu beschreiben, daß dieser seine eigenen Spielsteine auf genau dieselben Felder setzen kann. Wiederholen Sie die Übung anschließend, indem Sie den anderen Schüler beginnen lassen.

Abb. GPS-L-14: Beschreibung des Standortes von



### Spielsteinen

Diskutieren Sie den Kommunikationsprozeß, der zwischen diesen beiden Schülern stattgefunden hat, mit der Klasse. Welche Technik haben die beiden gewählt, um die Standorte ihrer Spielsteine zu beschreiben? Inwieweit haben Sie sich klar bzw. weniger klar verständigt? Warum?

### Schritt 9: Numerische Standortbeschreibung (Mittel- und Fortgeschrittenengruppe)

Nehmen Sie einen Bogen Millimeterpapier oder ein Blatt mit einem gezeichneten Gitternetz und markieren Sie die senkrechten und waagerechten Linien so, wie in Abb. GPS-L-15 gezeigt. Lassen Sie die Schüler Punkte finden, die Ihnen in der Form (1,2) angegeben werden, wobei die erste Zahl den Abstand von Null nach rechts auf der waagerechten Achse und die zweite Zahl den Abstand von Null nach oben auf der senkrechten Achse angibt.

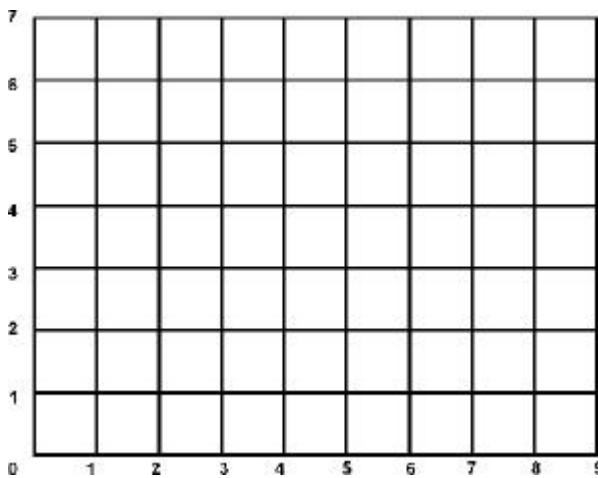


Abb. GPS-L-15: Millimeterpapier mit markierten Linien

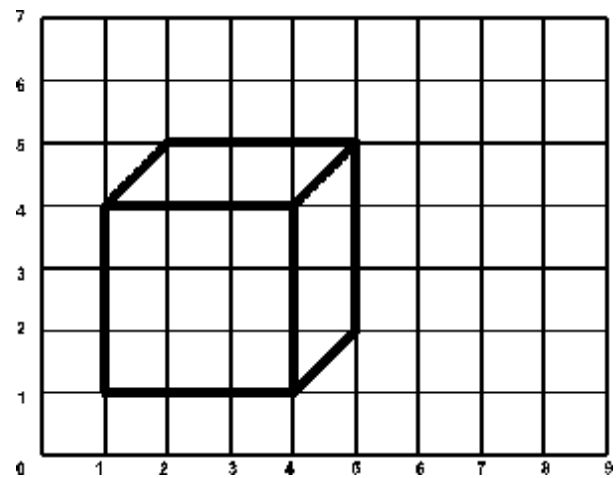


Abb. GPS-L-16: Einfache Zeichnung

Lassen Sie die Schüler nun ein einfaches Bild zeichnen, das aus den folgenden Verbindungslinien zwischen vorgegebenen Punkten besteht (siehe Abb. GPS-L-16).

(4,1) nach (4,4)  
(1,4) nach (1,1)  
(1,4) nach (2,5)

(4,1) nach (5,2)  
(1,1) nach (4,1)  
(2,5) nach (5,5)

(5,2) nach (5,5)  
(1,4) nach (4,4)  
(4,4) nach (5,5)

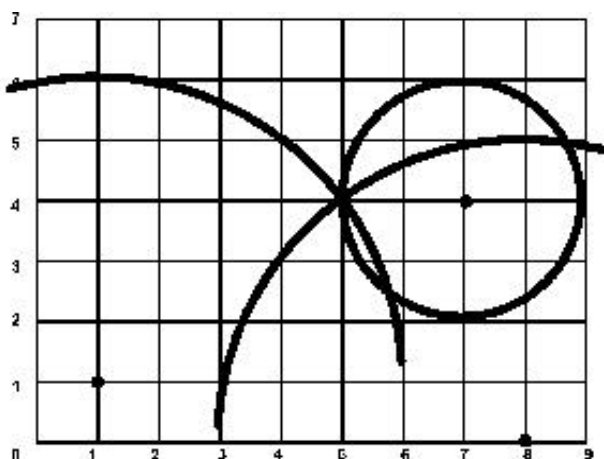


Abb. GPS-L-17: Definition von Kreisbögen anhand

Besprechen Sie mit den Schülern, welche Informationen benötigt werden, um Punkte und Zeichnungen in dem Gitternetz zu beschreiben. (So gehörte z.B. zu jeder Linie die Angabe eines Anfangs- und Endpunktes). Zeichnen Sie auf einem neuen Blatt Gitternetzpapier mit einem Zirkel um den Punkt (7,4) einen Kreis, dessen Radius genau zwei Einheiten beträgt. Zeichnen Sie nun um den Punkt (1,1) einen Kreisbogen mit einem Radius von 5 Einheiten, der sich mit dem ersten Kreis schneidet.





### kartesischer Koordinaten

Zeichnen Sie abschließend einen Kreisbogen mit einem Radius von ebenfalls 5 Einheiten um den Punkt (8,0). In welchem Punkt schneiden sich die drei Figuren? Wie viele Kreisbögen sind nötig, um einen Punkt eindeutig festzulegen?

Nehmen Sie an, die kartesischen Koordinaten in Abb. GPS-L-18 stellen eine kartographische Aufnahme eines Meeresausschnitts dar, wobei die Seite jedes Quadrats die Entfernung wiedergibt, die ein Funksignal in einer Millisekunde zurücklegt.

Tabelle GPS-L-1: Schiffsstandorte und Dauer der Funksignalübermittlung von der "Bainbridge"

Signalübertragungszeit		
Schiff	Standort	Millisekunden
Alexandria	(0,0)	4,0
Corsica	(1,5)	2,0
Hsuchou	(6,3)	3,5

Es befinden sich drei Schiffe auf See - die "Alexandria" am Standort (0,0), die "Corsica" am Standort (1,5) und die Hsuchou am Standort (6,3). Alle diese Schiffe empfangen einen Notruf von einem vierten Signal, der "Bainbridge". Aus der Dauer der Signallaufzeit können die drei Schiffe die Position der "Bainbridge" ermitteln. Können Sie Ihnen helfen, den Standort des in Not geratenen Schiffs festzustellen? (Die Messung der Signallaufzeit stellt die Basis für Radar- und GPS-Messungen dar).

### **Schritt 10: Beschreibung geographischer Orte (Mittel- und Fortgeschrittenengruppe)**

Auf einer Kugel stellen die in Ost-West-Richtung verlaufenden Linien Linien gleicher Breite und die in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Linien Linien gleicher Länge dar. Lassen Sie die Schüler diskutieren, inwieweit diese Linien denjenigen des kartesischen Koordinatensystems ähneln bzw. sich von ihnen unterscheiden. Ermitteln Sie die in Tabelle GPS-L-2 beschriebenen Orte.

Breite	Länge	Name
36°N	139°O	_____
60°N	30°W	_____
27°S	109°W	_____
90°S	0°O	Eigener Standort _____
90°S	180°W	Gegenüberliegender Standort _____

Nehmen Sie einen Globus zur Hand und ermitteln Sie Ihren Standort. Geben Sie die Lage in geographischer Breite und Länge an. Finden Sie dann auf dem Globus den Punkt, der Ihrem Standort genau gegenüberliegt, und berechnen Sie dessen Breite und Länge. Welcher Zusammenhänge bestehen zwischen den Breiten- und Längenkoordinaten dieser beiden gegenüberliegenden Punkte?

**Hinweis:**

In den Schritten 8, 9 und 10 werden Konzepte vorgestellt, auf die in ähnlicher Form bereits in der Übung *Odyssee der Augen* des Untersuchungsprogramms *Bodenbedeckung/Biologie* eingegangen wurde.

**Abwandlungen für jüngere und ältere Schüler**

Für jüngere Schüler kann es sich empfehlen, die Messungen qualitativ zu beschreiben. Sie können sich unter der Himmelsrichtung "Nordost" möglicherweise mehr vorstellen als "45?". Für ältere Schüler dürften dagegen quantitative, analytische Verfahren geeigneter sein. Sie können z.B. die Entfernungen zwischen Orten in einem zweidimensionalen Koordinatensystem mit Hilfe des pythagoräischen Lehrsatzes berechnen.

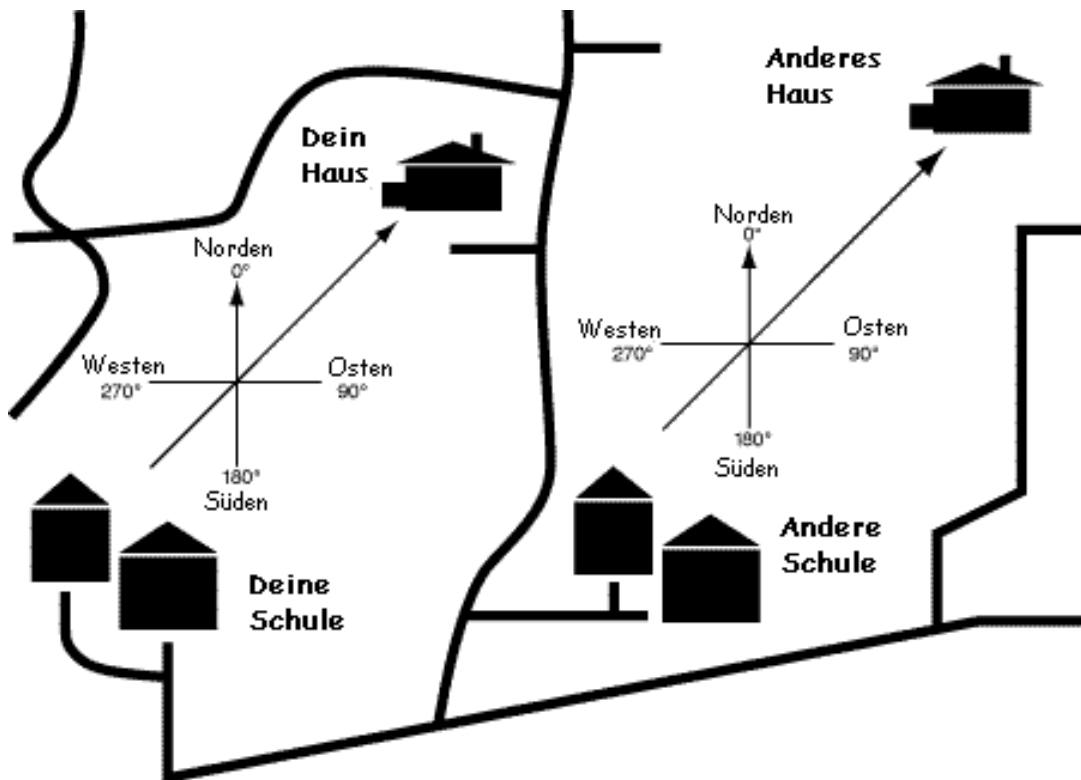
**Leistungsbeurteilung**

Lassen Sie die Schüler mehrere Städte und geographische Punkte anhand der geographischer Längen- und Breitendaten ermitteln. Geben Sie Ihnen eine Liste von Städten und fordern Sie sie auf, zu jeder Stadt die geographische Länge und Breite festzustellen. Lassen Sie sie auch Abstände zwischen geographischen Orten berechnen.



# GPS-Untersuchung

Grafik: Schulstandortkarte





## **GPS-Untersuchung: Standortdaten-Arbeitsblatt**

Zu jedem GLOBE-Standort wird mindestens ein Exemplar des GLOBE-GPS-Datenblattes benötigt. Nachdem Sie Ihre GPS-Felddatenmessungen durchgeführt und den Durchschnitt der Positionsdaten errechnet haben, tragen Sie Ihre Ergebnisse bitte auf dem GPS-Datenübermittlungsblatt ein und melden Sie sie an GLOBE. Dies kann durch Zugriff auf die GPS-Dateneingabeseite an der GLOBE-Internet-Adresse (<http://mirror.globe-germany.de>) erfolgen. Es müssen die ermittelten Durchschnittskordinaten jedes Untersuchungsstandorts (Atmosphäre/Klima, Landbedeckung, Biologie, Hydrologie, Bodenbeschreibung, Bodenfeuchtigkeitsuntersuchung) sowie der eigenen Schule angegeben werden. Die übermittelten Daten sind entsprechend der Anzeige auf dem GPS-Empfänger auf 0,01 Minuten zu runden.

### **Art des Standorts**

(Atmosphäre/Klima, Hydrologie usw.)

### **Standortbeschreibung**

(max. 25 Zeichen)

### **Durchschnittliche Breite**

(Grade und Dezimalminuten N/S)

### **Durchschnittliche Länge**

(Grade und Dezimalminuten O/W)

### **Zeitpunkt der 1. Messung**

Stunden/Minuten/Sekunden UT

### **Typ des verwendeten Empfängers**

Magellan Trailblazer XL

oder Hersteller, Modell, Seriennummer



## Arbeit mit Winkeln

<p><b>Zweck</b> Die Schüler sollen mit dem Begriff des Winkels vertraut gemacht werden. Sie lernen, daß die Linien geographischer Breite und Länge auf einer Winkelmessung der Erde beruhen, und üben im Rahmen der GLOBE-Messungen den Umgang mit Winkeln, die kleiner als 1 Grad sind. Zugleich werden ihnen Methoden der Protokollierung und des Rechnens mit verschiedenen Winkeleinheiten vermittelt.</p> <p><b>Übersicht</b> Die Schüler lernen, Rechen- und Durchschnittsbildungsverfahren auf eine gegebene Menge von Winkeldaten anzuwenden. Dabei werden sie mit den Einheiten der Winkelmessung (Grade, Minuten, Sekunden) vertraut, üben die Umwandlung von Grad, Minuten, Sekunden und Dezimalgraden und erfahren den Zweck dieser Umwandlung.</p> <p><b>Zeitaufwand</b> 1 - 3 Unterrichtsstunden, je nach durchgeführten Übungen</p> <p><b>Niveau</b> Mittel- und Fortgeschrittenengruppe</p>	<p><b>Wichtige Inhalte und Lernziele</b> Messung von Winkeln in Grad, Minuten, Sekunden und Dezimalgraden Winkelmessung in Grad und Minuten durch den GPS-Empfänger</p> <p><b>Lernziele</b> Umwandlung von Winkelangaben in Grad/Minuten/Sekunden in Dezimalgrade Addition und Subtraktion von in Grad und Minuten ausgedrückten Winkeln. Bildung des Durchschnittswerts von in Grad und Minuten angegebenen Winkeln</p> <p><b>Hilfsmittel</b> keine (ein Taschenrechner mit Additions- und Divisionsfunktion beschleunigt jedoch den Rechengang)</p> <p><b>Vorbereitung</b> keine</p> <p><b>Voraussetzung</b> keine</p>
---	--

### Einheiten der Winkelmessung: Grade, Minuten, Sekunden

#### Hintergrund

Ein Winkel ist das Maß einer Strecke auf einem Kreisbogen. Er wird von zwei Geraden gebildet, die sich in einem gemeinsamen Punkt schneiden.

Winkel sind meßbar. Die Maßeinheit für Winkel lautet "Grad". Ein vollständiger Kreis wird in 360 Grad (360°) unterteilt.

Einige besondere Winkel sind in den Abb. GPS-L-18 und GPS-L-19 zusammengestellt.

#### Inhalt und Vorgehensweise

Lassen Sie die Schüler eine Torte zeichnen und sie in acht gleiche Stücke schneiden. Fragen Sie sie, wie groß der Winkel an der Spitze jedes Stückes ist (Antwort:  $360^\circ : 8 = 45^\circ$ ).



Vielleicht haben einige Schüler nicht symmetrisch durch den Mittelpunkt geteilt, quadratische Stücke geschnitten, oder sind generell von anderen Voraussetzungen ausgegangen. Sprechen Sie die einzelnen Ergebnisse mit den Schülern durch. Wiederholen Sie die Aufgabe mit 4, 10 und 12 Stücken - bei präziser Teilung durch den Tortenmittelpunkt beträgt der Winkel entsprechend  $90^\circ$ ,  $36^\circ$  bzw.  $30^\circ$ .

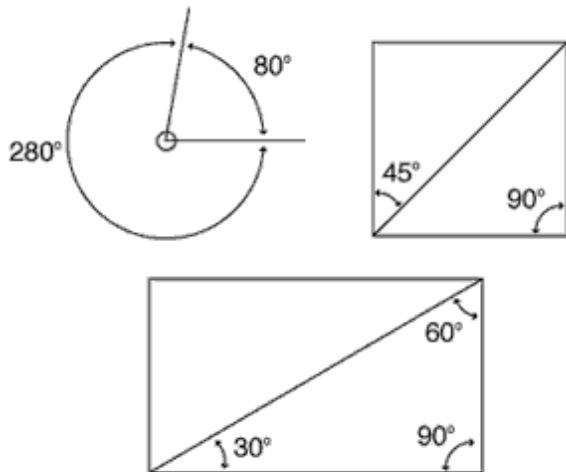


Abb. GPS-L-18: Verschiedene Winkel

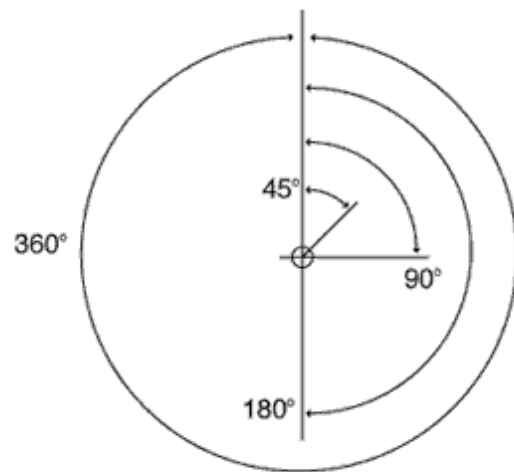


Abb. GPS-L-19: Ausgewählte spezielle Winkel

## Mehr über Winkel

### Hintergrund

Länge und Breite sind Winkel, die um die Drehungsachse unseres Planeten bzw. zwischen dem Äquator und den Polen gemessen werden. Entfernungen in der Größenordnung eines Kontinents können sich über Dutzende von Breiten- und Längengraden erstrecken. Bei kleineren Entfernungen, wie sie z.B. innerhalb des 30 m x 30 m großen GLOBE-Untersuchungsareal zurückgelegt werden, dürften die Unterschiede in der geographischen Länge und Breite dagegen nur einige Bruchteile eines Grades bzw. einige wenige Bogensekunden ausmachen.

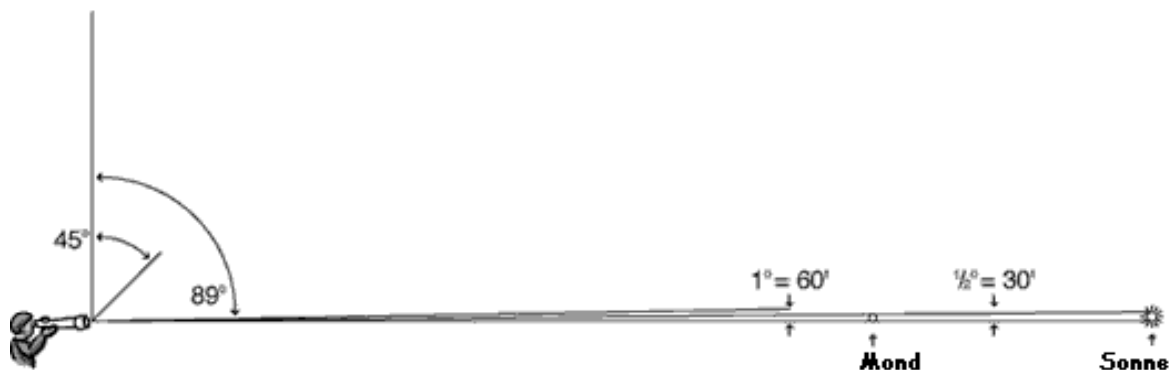


Abb. GPS-L-20:  $1/2^\circ = 30$  Minuten: Sonne und Mond

Kleine Winkel: Manchmal müssen Winkel gemessen werden, die kleiner als 1 Grad sind. Ein Winkelgrad ist in sechzig Minuten unterteilt. Man sagt daher, daß z.B. ein Drittel eines Grades " $20$



Minuten" entspricht. Einige Leute sprechen allerdings lieber von "20 Bogenminuten", um Verwirrungen zwischen Winkel- und Zeitmessung zu vermeiden.

Obwohl der Mond 384.500 km von uns entfernt ist und 3200 km im Durchmesser mißt, scheint er einem Beobachter auf der Erde einen Durchmesser von  $1/2^\circ$  (= 30 Bogenminuten) aufzuweisen (siehe Abb. GPS-L-20). Derselbe Winkel entspricht zufälligerweise unserer Sonne, obwohl diese 148 Mio. km entfernt ist und einen Durchmesser von 1,3 Mio. km hat. (Aus diesem Grund kann der Mond sie bei Sonnenfinsternis vollständig verdecken).

Zur Messung noch kleinerer Winkel ist jede Minute in 60 Sekunden (auch als "Bogensekunden" bezeichnet) unterteilt.

Astronomen verwenden Grade, Minuten und Sekunden zur Beschreibung von Winkeln am Himmel. Der Planet Jupiter scheint an seinem erdnächsten Punkt einen Winkeldurchmesser von etwa 47 Bogensekunden aufzuweisen. Dieser Winkel ist so klein, daß der Jupiter mit dem bloßen Auge zumeist nur als Punkt am Firmament erscheint. Betrachtet man ihn dagegen durch ein kleines Teleskop oder auch nur ein Fernglas, so erscheint er deutlich als Scheibe. Derselbe Effekt ergibt sich, wenn man eine Münze am gegenüberliegenden Ende eines Fußballfeldes aufstellt.

Die Winkelentfernung zwischen zwei Sternen, die um den dreifachen Monddurchmesser voneinander entfernt sind, könnte z.B. 1 Grad, 30 Minuten und 0 Sekunden betragen - man schreibt auch  $1^\circ 30' 0''$ .

### **Hintergrund der Verwendung von Graden, Minuten und Sekunden - und das zugrunde liegende Problem**

Die Erde braucht etwa 365,25 Tage, um die Sonne einmal zu umrunden. Dies war den frühen Astronomen nicht bekannt - sie erstellten daher ihre Kalender anhand von Beobachtungen der Himmelskörper. Dabei legten sie die Feststellung zugrunde, daß Sterne und Sternbilder im Laufe der Jahreszeiten am Firmament vorbeiziehen, und daß etwa 360 Tage vergehen, bevor sie wieder dieselbe Stellung am nächtlichen Himmel einnehmen.

### **Inhalt und Vorgehensweise**

Mit der Zahl "360" läßt sich bequem rechnen, da sie durch viele Zahlen teilbar ist. Lassen Sie die Schüler eine Liste ganzer Zahlen zusammenstellen, durch die die Zahl 360 teilbar ist, und bitten Sie sie dabei, besonders auf Zahlen mit besonderer kultureller, historischer oder physikalischer Bedeutung zu achten.

Beispiele:

2

3

4 (Jahreszeiten)

5 (Hälfte von 10)

6

8

9

10 (Finger)

12

15

18

20 (Finger und Zehen)

24

30 (ca. Anzahl Tage zwischen Vollmonden)



90 (Tage pro Jahreszeit)

Da sich ein Kreis ebenso schließt wie das Jahr, wurde er analog zum Jahr in 360 Grad unterteilt. Entsprechend rechnete man lange mit 360 Tagen pro Jahr.

## Winkelmessungen auf der Erde

### Hintergrund

Da unser Planet rund ist, können wir Entfernungen auf seiner Oberfläche als Winkeldifferenzen - bezogen auf den Erdmittelpunkt - ausdrücken. Ein Grad auf der Erdoberfläche entspricht ungefähr einer Entfernung von 111 km. In der Regel werden von Menschen jedoch kürzere Entfernungen zurückgelegt, so daß eine Unterteilung des Grades in sechzig Minuten vorgenommen wurde. Jede dieser Bogenminuten entspricht auf der Erdoberfläche genau einer nautischen Meile (ca. 1,8 km). In der Seefahrt wird seit Jahrhunderten in nautischen Meilen gerechnet. Eine Geschwindigkeit von einer nautischen Meile pro Stunde wird als "1 Knoten" bezeichnet. Obwohl sich heute metrische Einheiten weltweit durchgesetzt haben, werden in bestimmten Bereichen des See- und Flugverkehrs nach wie vor nautische Meilen und Knoten verwendet.

Auch wir rechnen im Umgang mit Winkeln nach wie vor in Graden, Minuten und Sekunden. Dabei gelten z.B. folgende Entsprechungen:

Viertelkreis = 90°

Monddurchmesser = 0,5° = 30'

Durchmesser des Jupiters = 0,013° = 0,79' = 47"

Obwohl sich der Durchmesser des Jupiters - von der Erde aus betrachtet - auch als "Null Komma Null Eins Drei Grad" oder "Dreizehn Tausendstel Grad" angeben ließe, sagt man in der Wissenschaft zumeist nur "47 Bogensekunden". Die meisten Menschen rechnen offenbar lieber mit ganzen Zahlen als mit Brüchen, und bei kleinen Winkeln liefern Minuten und Sekunden eher ein ganzzahliges Ergebnis. Analog würde man einen Winkel von 30 Bogenminuten wohl kaum mit "1800 Bogensekunden" und einen 90°-Winkel wohl kaum mit "5400 Bogenminuten," "324.000" Bogensekunden o.ä. angeben.

Das Problem besteht darin, daß wir nun über mehrere Einheiten (Grad, Minuten, Sekunden) zur Beschreibung desselben Winkels verfügen. Einige dieser Einheiten mögen uns zur Handhabung extrem unterschiedlicher Winkel intuitiv geeigneter erscheinen als andere - in jedem Fall kann jedoch die Vielfalt der Einheiten das Rechnen mit Winkeln erschweren.

### Umrechnung zwischen Grad, Minuten, Sekunden und Dezimalgraden

Die Verwendung von Graden, Minuten und Sekunden kann sich als problematisch erweisen, wenn mit Winkeln gerechnet werden muß, die in verschiedenen Kombinationen dieser Einheiten ausgedrückt sind.

5° 45' 0" = 5,75°

0° 30' 0" = 0,5°

Angenommen, wir möchten den ersten dieser Winkel um einen halben Grad (= 30 Minuten) vergrößern. In diesem Fall müßten die beiden Winkel addiert werden. Dies läßt sich natürlich dadurch bewerkstelligen, daß man die Grade zu den Graden und die Minuten zu den Minuten addiert. Wie würde dies jedoch im vorliegenden Fall aussehen? Aus der Addition von 45 + 30 Minuten ergeben sich 75 Minuten, d.h. mehr als ein ganzer Grad. Der neue Winkel ließe sich demnach als 5 Grad, 75 Minuten und 0 Sekunden schreiben.





Dabei ist jedoch die Zahl der Minuten größer als ein ganzer Grad. In diesem Fall wird konventionellerweise die Zahl der Grade um 1 erhöht und dafür die Zahl der Minuten um 60 verringert. Hieraus ergibt sich ein Winkel von  $6^{\circ} 15' 0''$ , d.h. die Zahl der Minuten stellt nur noch einen Bruchteil eines Grades dar.

Einige Menschen (z.B. Landvermesser, Schreiner, technische Zeichner, Astronomen) müssen viel mit Winkeln rechnen. Diese arithmetischen Operationen können recht beschwerlich werden, zumal wenn die Zahl der Sekunden ungleich Null ist. Aus diesem Grund kann es erstrebenswert sein, eine Umrechnung von Grad, Minuten und Sekunden in sogenannte "Dezimalgrade" vorzunehmen (siehe Tabelle GPS-L-3).

	Rechnung	Ergebnis in Dezimalgrad
Sekunden	$9'' : 60 : 60$	0,0025?
Minuten	$15' : 60$	0,2500?
Ganze Grade	$25^{\circ}$	25,0000?
Dezimalgrade		25,2525?

Tabelle GPS-L-3: Umwandlung von 25 Grad, 15 Minuten, 9 Sekunden in Dezimalgrade

### Umrechnung von Grad, Minuten und Sekunden in Dezimalgrade

Zur Umrechnung von Sekunden in Dezimalgrade müssen diese zweimal durch 60 dividiert werden. Die Umrechnung der Minuten in Dezimalgrade erfolgt durch einmalige Division durch 60. Die Grade bleiben unverändert. Durch Addition aller drei Zahlen ergibt sich die Summe der Dezimalgrade.

### Umrechnung von Dezimalgraden in Grad, Minuten und Sekunden

Die ganze Gradzahl bleibt unberücksichtigt, gerechnet wird nur mit den Stellen hinter dem Komma. Multiplizieren Sie diesen Dezimalteil mit 60, um Dezimalminuten zu erhalten. Ignorieren Sie die ganze Minutenzahl und multiplizieren Sie nun lediglich die Stellen hinter dem Komma mit 60, um Dezimalsekunden zu erhalten.

Stellen Sie nun die ganzzahligen Grad- und Minutenwerte mit den verbleibenden Sekunden zu einer Winkelangabe in Grad, Minuten, Sekunden zusammen.



## Warum der GPS-Empfänger mit Graden und Minuten arbeitet

Der GPS-Empfänger, den Sie von GLOBE leihweise erhalten können, gibt seine Meßwerte der geographischen Breite und Länge in ganzen Graden und Dezimalminuten aus. Diese Dezimalminuten werden mit einer Auflösung von zwei Stellen nach dem Minutenkomma angezeigt. Ein typischer Breitenmeßwert würde demnach  $35^{\circ} 15,01''$  lauten. Der Grund, weshalb das Gerät mit Dezimalminuten anstelle von Sekunden arbeitet, liegt darin, daß ein auf 0,01 Bogenminuten genauer Wert wesentlich präziser als eine auf 1 Bogensekunde genaue Anzeige ist.

0,01' sind gleich  $1/100$  Minute. Dieser Wert ist kleiner als  $1/60$  Minute. Würde man eine zweistellige Sekundenanzeige wählen, dann entspräche die rechte der beiden Sekundenstellen einem größeren Winkel als die rechte Stelle des dezimalen Anzeigeformats (15,01 Minuten). Die Konstrukteure des GPS-Systems haben sich daher für eine Form der Winkelanzeige entschieden, die mit derselben Anzahl Stellen einen kleineren Winkel darstellen kann. So ergibt sich eine höhere Winkelauflösung mit weniger Stellen, d.h. der vom Gerät intern berechnete Längen- bzw. Breitenwert kann genauer wiedergegeben werden. Um dieselbe Auflösung mit Bogensekunden zu erreichen, müßte das Display eine zusätzliche Stelle zur Angabe von Sekundenbruchteilen erhalten ( $35^{\circ} 15' 00,6''$ ), womit sich das Gerät zusätzlich verteuern würde.

Viele GPS-Empfänger lassen sich so programmieren, daß sie den gemessenen Winkel in verschiedenen Einheiten und Formaten anzeigen. Welche Angabe Ihren Anforderungen am ehesten entspricht, bleibt Ihnen als Versuchsleiter überlassen. Auf jeden Fall gilt jedoch, daß sich eine erhöhte Auflösung - ohne Notwendigkeit der Anzeige und Protokollierung zusätzlicher Stellen - mit Dezimalgraden eher als mit Minuten und Sekunden erzielen läßt.

## Rechnen mit Graden und Minuten

Winkel, die in Grad und Minuten ausgedrückt sind, lassen sich nur schwer addieren. Mit Winkelangaben in Grad, Minuten und Sekunden kann man zwar rechnen, doch ist es bequemer, alle Winkel zunächst in Dezimalgrade umzuwandeln, die Rechnung auszuführen und das Ergebnis dann wieder in die gewünschten Einheiten zurück zu konvertieren.

## Inhalt und Vorgehensweise

### Addieren von Winkeln mit gemischten Einheiten

Stellen Sie mehrere erfundene Winkelangaben in Grad, Grad und Minuten sowie Grad, Minuten und Sekunden zusammen. Lassen Sie die Schüler diese Winkel addieren. Einige Schüler werden merken, daß beim Überschreiten von 60 Minuten bzw. Sekunden eine ähnliche Operation durchgeführt wird wie beim Übertragen der "Eins im Sinn" beim Addieren von Zahlenspalten.

## Bildung des Durchschnitts von in Grad und Minuten ausgedrückten Winkeln

### Hintergrund

Das GPS-Protokoll sieht die Bildung des Durchschnitts aus 15 Breiten- und 15 Längenmeßwerten vor. Durch diese Mittelung sollen die Auswirkungen geringfügiger Abweichungen der Meßwerte im Zeitverlauf kompensiert werden. Den Durchschnitt von Zahlen bildet man, indem man sie addiert und das Ergebnis dann durch die Zahl der addierten Werte teilt, d.h. zur Durchschnittsbildung muß sowohl addiert als auch dividiert werden. Eine Aufstellung von 15 Winkeln, die in Graden und



Minuten ausgedrückt sind, läßt sich leichter handhaben, wenn man sie zunächst in Dezimalgrade umrechnet. Ihre Aufgabe besteht demnach darin, alle 15 Werte zunächst in Dezimalgrade umzuwandeln, die Addition und Teilung vorzunehmen und das Ergebnis dann wieder in Grade und Minuten zurückzurechnen.

Behalten Sie beim Rechnen mit den Breiten- und Längenwerten in ihren Zwischenergebnissen stets fünf Stellen hinter dem Komma bei, damit die Auflösung der Messung von 0,01 Bogenminuten gewahrt bleibt.

### Beispiel einer Mittelwertbildung

In der Stadt Boulder im US-Bundesstaat Colorado gibt es eine genau von Osten nach Westen verlaufende Straße, die den Namen Baseline Road trägt. Diese Straße verläuft exakt auf dem 40. Grad nördlicher Breite. Würde ein an dieser Straße stehender Beobachter insgesamt 15 GPS-Messungen durchführen, so erhielte er ungefähr die in der nachstehenden Abbildung zusammengestellten Ergebnisse.

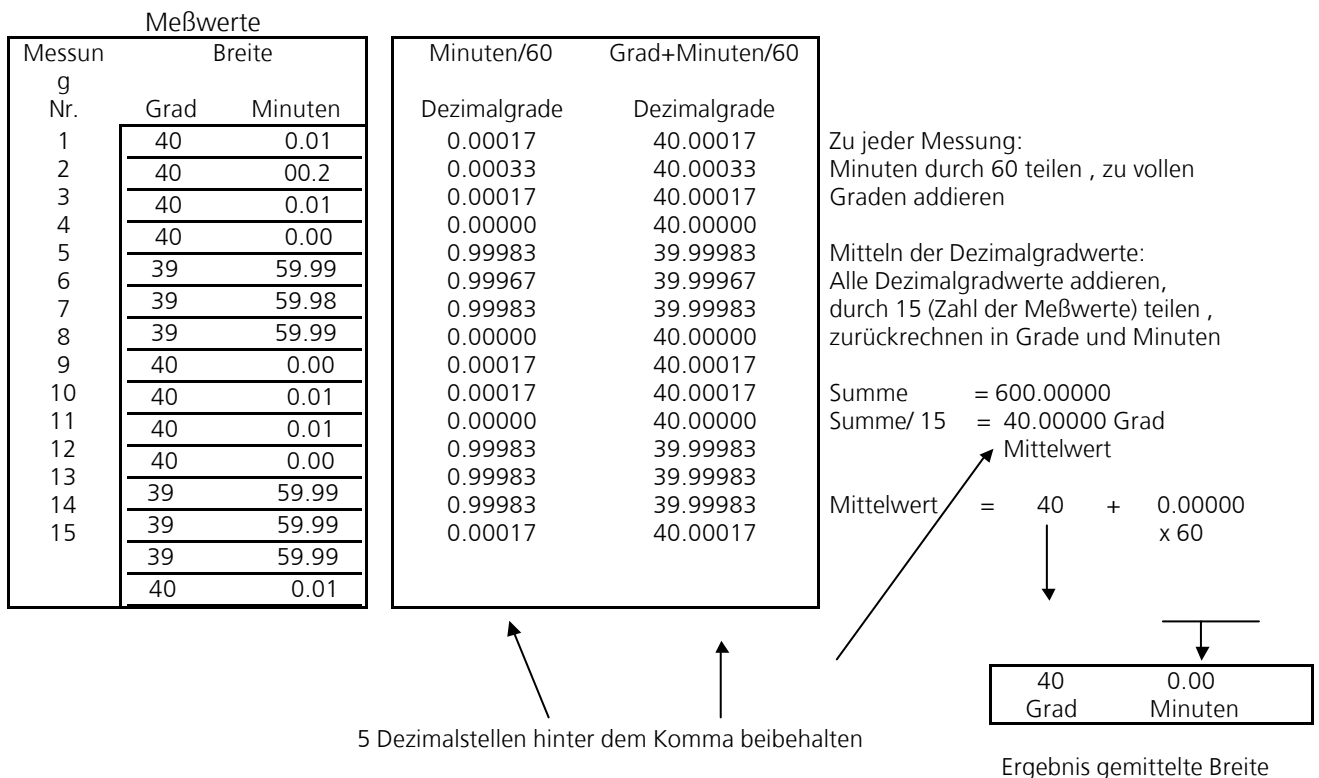


Abb. GPS-L-21

Um den Durchschnitt dieser Messungen zu errechnen, wandeln wir zunächst jeden Meßwert von Grad und Minuten in Dezimalgrade um. Danach addieren wir diese Dezimalzahlen und teilen das Ergebnis durch 15, um den durchschnittlichen Längenwert in Dezimalgraden zu erhalten. Der so erhaltene Durchschnittswert wird anschließend wieder in eine Winkelangabe in Grad und Minuten umgerechnet.



## Inhalt und Vorgehensweise

Stellen Sie noch einmal 15 erfundene Winkelwerte - ausgedrückt in Grad und Dezimalminuten - zusammen. Die Dezimalminuten sollten dabei bis auf 0,01 Bogenminuten genau angegeben werden, um den Anzeigewerten des GPS-Empfängers zu entsprechen. Lassen Sie die Schüler den Durchschnitt dieser Winkel bilden, indem sie sie in Dezimalgrade umrechnen, addieren, teilen und dann wieder in Grade und Dezimalminuten zurück verwandeln.

## Zeitmessung mit der Sonne

### Hintergrund

Da sich die Erde innerhalb eines Tages (24 Std.) einmal um ihre Achse (360°) dreht, hat es den Anschein, als veränderten die Himmelskörper (Sonne, Mond, Sterne) ihre Lage pro Stunde um 15° (=  $360^\circ : 24 \text{ Stunden}$ ). Bei den meisten Menschen entspricht die Faust mit ausgestrecktem Daumen, in Armeslänge vor dem Auge gehalten, etwa einer Strecke von 15°. Nähere Einzelheiten zu dieser manuellen Winkelmessung sowie eine Abbildung finden Sie in der GLOBE-Übung Relative und Absolute Richtungsangaben des vorliegenden GPS-Untersuchungsprogramms. An dieser Stelle soll nur darauf hingewiesen werden, daß sich mit dieser "Faustmessung" die Strecke ermitteln läßt, die die Sonne (bzw. der Mond) innerhalb einer Stunde zurücklegt. Durch Messung der Anzahl "Fäuste" vom derzeitigen Sonnenstand bis zum westlichen Horizont können Sie daher ermitteln, wie viele Stunden es noch bis zum Sonnenuntergang sind. Ist die Zeit des Sonnenuntergangs bekannt, kann man auf diese Weise die Uhrzeit völlig ohne Uhr bestimmen.

### Inhalt und Vorgehensweise

Ermitteln Sie die Zeit des örtlichen Sonnenaufgangs und Sonnenuntergangs (z.B. aus der Zeitung). Bestimmen Sie die Orte, an denen die Sonne - vom Schulgelände aus betrachtet - im Osten aufgeht bzw. im Westen untergeht.

Gehen Sie mit den Schülern ins Freie und lassen Sie sie die Anzahl "Fäuste" vom derzeitigen Sonnenstand bis zum nächstgelegenen Punkt des Sonnenauf- bzw. -untergangs zählen. Dies funktioniert am besten in den frühen Morgenstunden oder gegen Abend, wenn die Sonne näher am Horizont steht. Fordern Sie die Schüler auf, nicht direkt in die Sonne zu schauen, und protokollieren Sie, zu welcher Zeit die Klasse die Messungen durchgeführt hat.

Die Anzahl der Fäuste dürfte ungefähr der Anzahl der Stunden entsprechen, die seit Sonnenaufgang vergangen sind bzw. bis Sonnenuntergang noch vergehen werden. Durch Addition dieser Stundenzahl zur Zeit des Sonnenaufgangs bzw. Subtraktion von der Zeit des Sonnenuntergangs soll jeder Schüler die aktuelle Uhrzeit schätzen. Um einen genaueren Wert zu erhalten, empfiehlt es sich, erst den Durchschnittswert, der von den einzelnen Schülern ermittelten Anzahl der "Fäuste" zu bilden und erst das Ergebnis zum Sonnenaufgang hinzuzurechnen bzw. vom Sonnenuntergang abzuziehen. Nachdem alle Einzel- und Gruppenergebnisse vorliegen, geben Sie die tatsächliche Uhrzeit bekannt und besprechen Sie das Ergebnis mit den Schülern. Siehe GLOBE-GPS-Übung Die richtige Antwort.



## **Abwandlungen für jüngere bzw. ältere Schüler**

Jüngere Schüler dürfen die Uhrzeit sowie die Anzahl der Fäuste auf die nächste volle Stunde abrunden, damit sie nur mit ganzen Zahlen zu rechnen brauchen. Ältere Schüler möchten die Genauigkeit des Ergebnisses vielleicht dadurch optimieren, daß Sie den Punkt des Sonnenaufgangs bzw. Sonnenuntergangs besonders präzise ermitteln, die genaue Winkellänge der eigenen Hand (einschließlich Bruchteilen der Faustlänge) berechnen und die gefundenen Werte in Minuten und Stunden (Uhrzeit!) umrechnen. Mit dieser Technik lassen sich überraschend gute Ergebnisse erzielen.



## Astronavigation

<p><b>Zweck</b> Bestimmung der Breiten- und Längenkoordinaten eines entfernten Standorts durch gegenseitige Messung der Sonnenwinkel bei Sonnenhöchststand</p> <p><b>Übersicht</b> Die Schüler nehmen Kontakt zu den Schülern einer mindestens 500 km weit entfernt gelegenen anderen Schule auf. Gemeinsam vereinbaren Sie, an demselben Tag zum Zeitpunkt des jeweiligen lokalen Sonnenhöchststandes Winkelmessungen an einem Standort von bekannter geographischen Längen- und Breitenposition durchzuführen. Uhrzeiten und Meßwerte werden anteilig genutzt. Jede Schule berechnet die Längen- und Breitenkoordinaten der anderen Schule. Die Ergebnisse werden ausgetauscht und verglichen.</p> <p><b>Zeitaufwand</b> 4 Unterrichtsstunden</p> <p><b>Niveau</b> Mittel- und Fortgeschrittenengruppe</p> <p><b>Wichtige Inhalte und Lernziele</b></p> <p><b>Inhalte</b> Uhrzeit- und Sonnenwinkelmessung als Mittel zur Bestimmung der Breiten- und Längendifferenz zwischen zwei Standorten</p> <p><b>Lernziele</b> Messung von Winkeln mit dem Neigungsmesser (Mittelgruppe) mittels Trigonometrie (Fortgeschrittene) Genaueres Einstellen einer Uhr Umrechnung zwischen Lokal- und Weltzeit (UT) Verwendung eines Kompasses zur Ermittlung von Norden und Süden</p>	<p>Addieren und Subtrahieren von Winkeln Multiplizieren und teilen (Fortgeschrittene) Anwendung der trigonometrischen Tangens-Funktion</p> <p><b>Hilfsmittel</b> Ebener Ort im Freien mit gutem Sonneneinfall bei Sonnenhöchststand Stange (geeignet zur vertikalen Errichtung auf einer ebenen Fläche) Bandmaß oder Zollstock, geeignet zur Messung der Stangenhöhe sowie der Länge des kürzesten Schattens der Stange mit 1 mm Auflösung Uhr, eingestellt auf Lokalzeit Magnetkompaß oder ungefähre Kenntnis der Nord/Süd-Richtung Neigungsmesser (Mittelgruppe) Trigonometrie-Tabelle mit Tangens-Angaben oder wissenschaftlicher Taschenrechner (Fortgeschrittene) Globus oder Weltkarte Arbeitsblätter Computer mit Zugriff auf den GLOBE Student Server</p> <p><b>Vorbereitung</b> Ermittlung der geographischen Längen- und Breitenposition Ihres Standorts Verabredung mit der anderen Schule bzgl. Messungen am selben Tag Bau und Prüfung des Neigungsmessers aus dem Studienprogramm Landbedeckung/Biologie Einstellung einer Uhr auf Lokalzeit Schätzung der ungefähren Uhrzeit des lokalen Sonnenhöchststandes</p> <p><b>Voraussetzung</b> Arbeit mit Winkeln</p>
--	--



## Hintergrund

Schon im Altertum wies der Wissenschaftler Eratosthenes nach, daß sich der Umfang unserer Erde berechnen läßt, ohne den Planeten zu Fuß zu umrunden. Er stützte sich rein auf Geometrie sowie eine Reihe von Winkelmessungen unserer Sonne, die er zu diesem Zweck in den beiden ägyptischen Städten Syene und Alexandria (sie liegen etwa 900 km auseinander) angestellt hatte. Er kam auf einen Erdumfang von ca. 44.500 km. Dieses Ergebnis überschreitet zwar den tatsächlichen Erdumfang (40.074 km) um etwa 15%, stellt jedoch angesichts der verfügbaren Meßmethoden einen erstaunlichen Leistungsbeweis der Geometrie und Logik dar.

Die Abmessungen unserer Erde sind uns heute sehr genau bekannt. Mit Hilfe eines GPS-Empfängers oder einer Landkarte kann praktisch jeder seine eigene Breiten- und Längenposition bestimmen. Sind wir aber auch imstande, die Breiten- und Längenkoordinaten einer anderen Schule mit Hilfe von Verfahren zu ermitteln, wie sie ähnlich von Eratosthenes eingesetzt wurden?

Die Antwort lautet: ja. Durch Messung des Sonnenwinkels an unserer eigenen sowie einer entfernt liegenden zweiten Schule läßt sich die Breitendifferenz zwischen diesen beiden Standorten errechnen. Der Unterschied zwischen den Zeiten des Sonnenhöchststands an beiden Schulen gibt uns zudem Aufschluß über die Längendifferenz. Der lokale Sonnenhöchststand wird auch im Rahmen des GLOBE-Programms Atmosphäre und Klima als Meßzeitpunkt ermittelt.

Schüler aus der Mittelgruppe können Winkelmessungen direkt mit Hilfe eines selbst gebauten Neigungsmessers durchführen, wie er in dem GLOBE-Programm Bodenbedeckung/Biologie beschrieben wird. Fortgeschrittene Schüler können Winkel durch Messung der Länge einer Stange sowie der Länge ihres Schattens mittels trigonometrischer Verfahren bestimmen, die in der Regel genauere Ergebnisse liefern als unser Experiment mit dem Neigungsmesser.

Bevor Sie überhaupt Messungen durchführen, müssen Sie zunächst eine Partnerschaft mit einer anderen GLOBE-Schule eingehen, die mindestens 500 km von Ihrem Standort entfernt liegt, und sich auf ein gemeinsames Datum für die Durchführung der gleichzeitigen Messungen im Freien einigen. Hierzu können Sie sich auch des GLOBE-Mail-Systems bedienen. Zudem müssen Sie anhand des GPS-Protokolls die Breite und Länge des eigenen Schulstandortes bestimmt haben, die Winkel zur Beschreibung von Breiten- und Längengraden kennen und imstande sein, eine Uhr genau auf die lokale Ortszeit zu stellen.

## Inhalt und Vorgehensweise

Sie und Ihre Partnerschule werden

- ?? ein Datum festlegen, an dem Sie beide die Messungen im Freien durchführen
- ?? den Zeitpunkt Ihres lokalen Sonnenhöchststandes für diesen Meßtag ermitteln
- ?? eine Uhr genau stellen
- ?? Messungen des Sonnenschattens im Freien durchführen
- ?? die Meßwerte untereinander austauschen
- ?? die Breiten- und Längenposition der anderen Schule berechnen
- ?? die Ergebnisse vergleichen



## Messungen im Freien

An demselben Kalenderdatum protokolliert jede Schule zum Zeitpunkt des lokalen Sonnenhöchststandes an einem Punkt bekannter geographischer Länge und Breite auf dem Meßprotokoll-Arbeitsblatt zur GPS-Übung "Astronavigation" (im Anhang zu dieser Übung) folgende Daten:

- ?? Höhe der senkrechten Stange
- ?? Richtung (Norden oder Süden) des Schattens, den diese Stange wirft

Über einen Zeitraum von zwanzig Minuten vor und nach dem geschätzten Zeitpunkt des Sonnenhöchststandes zeichnet jede Schule zudem in Abständen von jeweils 4 Minuten folgende Meßwerte auf:

- ?? Länge des Schattens, den die Stange auf ebenem Boden wirft
- ?? Winkel zwischen ebenem Boden und einer Linie zur Sonne (nur Mittelgruppe)

Die Zeit des lokalen Sonnenhöchststandes kann anhand des im GLOBE-Programm Atmosphäre und Klima beschriebenen Verfahrens berechnet werden. Alternativ besteht die Möglichkeit, eine Woche zuvor einen "Testlauf" des hier beschriebenen Experiments durchzuführen.

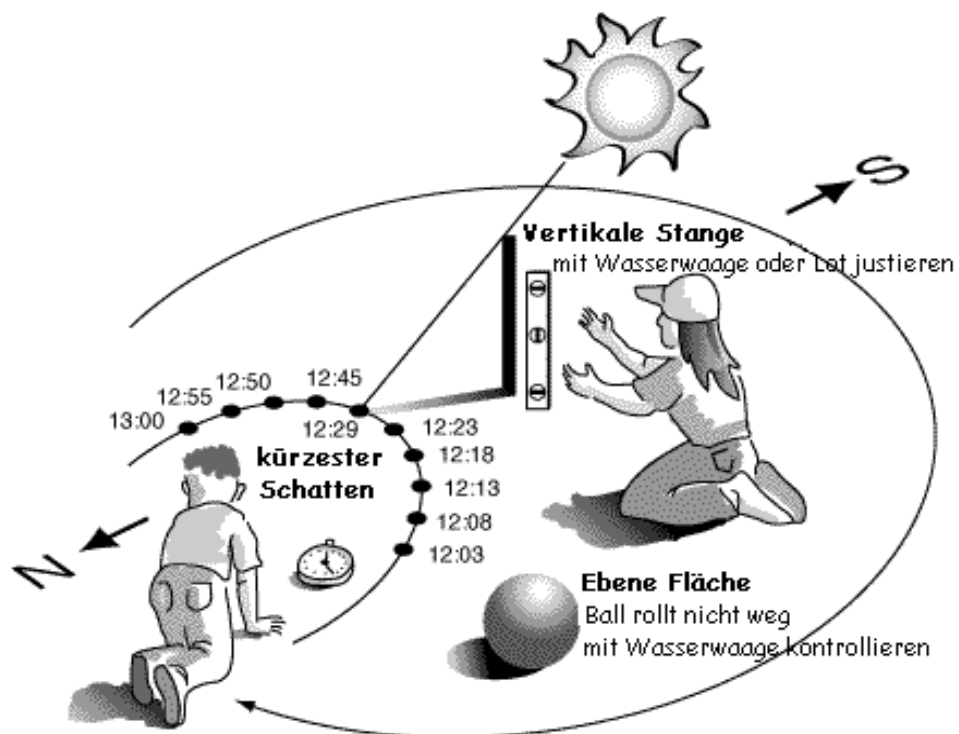


Abb. GPS-L-22: Schüler bei der Messung



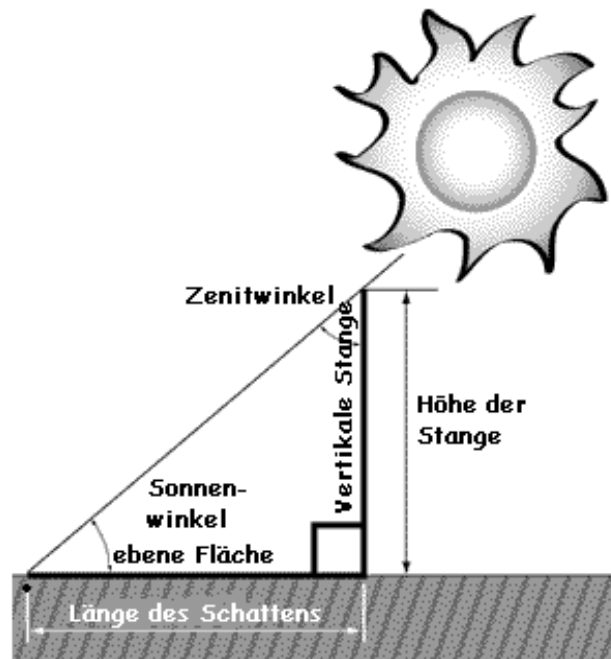


Abb. GPS-L-23: Sonnenwinkel, senkrechte Stange, ebene Fläche

Zu messen sind die horizontale Länge (in mm) sowie der Sonnenwinkel (in Grad) des von einer senkrechten Stange geworfenen Schattens. Diese Messung ist über einen Zeitraum von zwanzig Minuten vor und nach dem lokalen Sonnenhöchststand in Abständen von jeweils 4 Minuten durchzuführen. Zur Durchführung werden mehrere Personen benötigt:

(Nur Mittelgruppe:) Eine Person hält den Neigungsmesser und sorgt für dessen permanent optimale Ausrichtung (durch Beobachtung des durch den Strohhalm fallenden Lichtpunktes auf der Hand)

(Nur Mittelgruppe:) Eine andere Person achtet auf die Winkelanzeige des Neigungsmessers. Es kommt darauf an, den Winkel zwischen der Horizontalen und der Sonne möglichst auf ein Grad genau zu ermitteln. **ACHTUNG:** Nie direkt in die Sonne schauen, dies kann Sehschäden hervorrufen.

Eine Person mißt und protokolliert die Längen des Schattens, den die vertikale Stange auf den Boden wirft.

Ein Zeitnehmer, der das Datenaufzeichnungs-Arbeitsblatt bei sich hat, kontrolliert die Uhrzeit. Während der Dauer des Experiments fragt er in jeweils vierminütigen Abständen den Neigungsmesser-Beobachter nach dem Winkelmeßwert und den Schatten-Beobachter nach der gemessenen Schattenlänge und zeichnet beide Meßwerte auf.

Der im Abschnitt Bodenbedeckung/Biologie beschriebene Neigungsmesser verwendet einen Strohhalm zur optischen Justierung. Es darf nicht versucht werden, direkt durch den Strohhalm in die Sonne zu blicken - dies kann irreversible Sehschäden zur Folge haben. Halten Sie den Neigungsmesser statt dessen mit einer Hand fest und richten Sie ihn so aus, daß durch den Strohhalm ein sichtbarer Lichtpunkt auf die andere Hand fällt, wie in der Abbildung gezeigt.

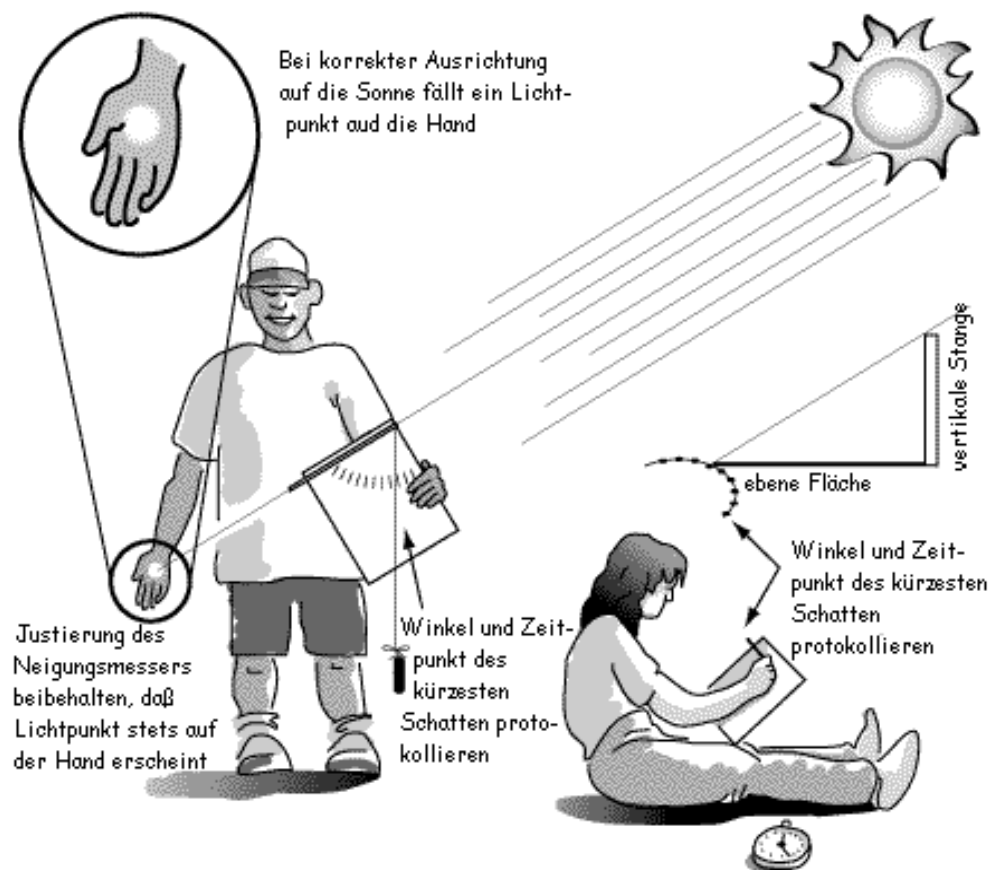


Abb. GPS-L-24: Schüler beim Umgang mit dem Neigungsmesser

### Austausch von Meßwerten mit der Partnerschule

Vergewissern Sie sich, daß Ihre Partnerschule die Messungen tatsächlich an demselben Kalendertag durchführen konnte. Falls die Messungen an einer der beiden Schulen aufgrund schlechten Wetters oder sonstiger Umstände am vereinbarten Tag ausfallen mußten, ist es erforderlich, beide Messungen an einem anderen Tag zu wiederholen. Weshalb? Weil sich der Sonnenwinkel im Laufe der Jahreszeiten täglich verändert.

Es steht Ihnen selbstverständlich frei, sämtliche Daten mit Ihrer Partnerschule auszutauschen. Folgende Meßergebnisse müssen jedoch in jedem Fall ausgetauscht werden:

- ?? Zeitpunkt des kürzesten Schattens in Weltzeit (UT)
- ?? Länge des kürzesten Schattens
- ?? (nur Mittelgruppe:) Sonnenwinkel zur Zeit des kürzesten Schattens
- ?? Höhe der Stange
- ?? Richtung des Schattens der Stange (Norden oder Süden)

Daraufhin berechnet jede Schule die Längen- und Breitenkoordinaten der anderen Schule.

### Ermittlung der Breitenposition der Partnerschule

Unsere Sonne ist etwa 150 Millionen km von uns entfernt und erscheint uns als Scheibe von 0,5° Durchmesser. Wir dürfen daher im Rahmen dieser Übung so tun, als verliefen die Lichtstrahlen der



Sonne zueinander parallel. Betrachten Sie bitte noch einmal Abb. GPS-L-4. Der Winkel, in dem diese Sonnenstrahlen bei Sonnenhöchststand an einem gegebenen Tag einfallen, hängt allein von der geographischen Breite ab. Vergleicht man Meßwerte dieses Winkels, die am selben Tag an zwei verschiedenen Orten aufgezeichnet wurden, so läßt sich daraus die geographische Breitendifferenz zwischen diesen beiden Orten ableiten.

Im Zuge der Erdrotation verändert sich der Winkel, mit dem das Sonnenlicht auf die Erdoberfläche einfällt. Es ist daher wichtig, daß die zu vergleichenden Messungen an den beiden Standorten zu derselben lokalen Sonnenzeit stattfinden. Zum Zeitpunkt des lokalen Sonnenhöchststandes steht die Sonne entweder direkt über unseren Köpfen, oder ihr Licht fällt unmittelbar in Nord/Süd-Richtung ein, d.h. der einzige Unterschied zwischen den beiden Standorten ist durch ihre unterschiedliche geographische Breite bedingt. Da sich der Winkel, in dem das Sonnenlicht auf die Erdoberfläche fällt, auch mit dem Erdumlauf um die Sonne verändert, müssen die beiden Messungen an demselben Tag vorgenommen werden.

Um die geographische Breite der Partnerschule zu berechnen, kopieren Sie bitte deren Messungen zum Zeitpunkt des lokalen Höchststandes in das Breitenberechnungs-Arbeitsblatt zur GPS-Übung "Astronavigation". Führen Sie analog zu dem Musterarbeitsblatt auf dem leeren Arbeitsblatt die Berechnungen für die eigene Schule sowie für die Partnerschule aus, die nachstehend noch einmal zusammengefaßt sind.

Anhand der Daten jeder Schule sind durchzuführen:

- ?? (Fortgeschrittene) Berechnung des Sonnenwinkels
- ?? (Mittelgruppe) Verwendung des gemessenen Sonnenwinkels
- ?? Berechnung des Zenitwinkels ( $90 - \text{Sonnenwinkel}$ )?
- ?? Berechnung der Breitendifferenz (Subtraktion der Zenitwinkel)
- ?? Berechnung der Breitendifferenz
- ?? Berechnung der Breitenposition Ihrer Partnerschule

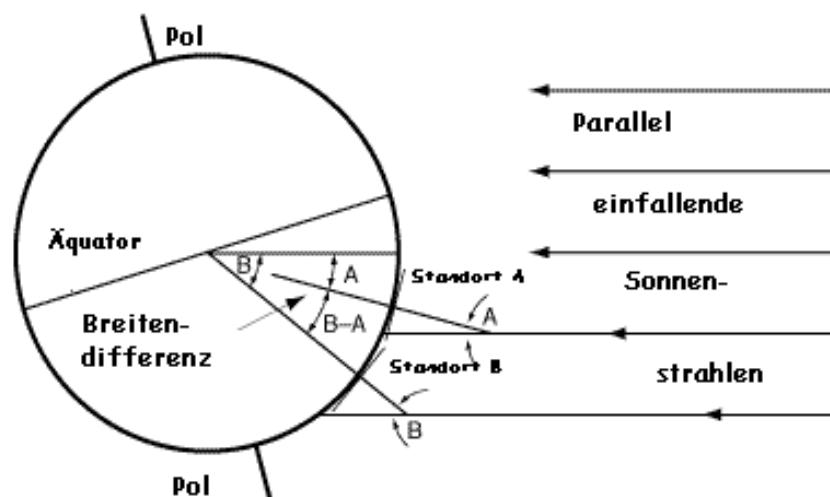


Abb. GPS-L-25: Zusammenhang zwischen Breite und Sonnenwinkel

Bestimmen Sie die Zeit Ihres lokalen Sonnenhöchststandes aus Ihren Messungen. Die Sonne steht am höchsten, wenn die Schatten am kürzesten sind. Da Sie evtl. mehrere Längenmeßwerte innerhalb derselben kurzen Länge erhalten, empfiehlt es sich, die Zeit zu wählen, die dem Mittelpunkt der (idealerweise identischen) Längenmessungen am nächsten liegt. Rechnen Sie diese Zeit in Weltzeit



(UT) um und protokollieren Sie sie zusammen mit den anderen Meßdaten Ihrer eigenen sowie Ihrer Partnerschule auf Ihrem Berechnungs-Arbeitsblatt.

Führen Sie die auf dem Arbeitsblatt vorgegebenen Berechnungen aus. Die Schüler aus der Fortgeschrittenengruppe können den Sonnenwinkel mittels trigonometrischer Berechnungen ermitteln, wogegen die übrigen Gruppen die Winkelmessungen mit dem Neigungsmesser ausführen.

Ein Wert, den wir unbedingt benötigen, ist der Zenitwinkel. Es handelt sich hierbei um den Winkel zwischen einer zur Sonne weisenden Geraden und der Vertikalen, d.h. die Differenz zwischen unserem Winkel zur Sonne und unserem Winkel zum Zenit. Als Zenit bezeichnen wir den Punkt, der sich unmittelbar über unseren Köpfen befindet - ganz unabhängig davon, wo wir uns gerade aufhalten. Die vertikale Stange weist zu unserem Zenit. Da die Summe aller Innenwinkel eines Dreiecks stets  $180^\circ$  beträgt und wir zudem wissen, daß einer unserer Winkel  $90^\circ$  beträgt (vorausgesetzt, die Stange ist gerade und der Boden verläuft eben), können wir den Zenitwinkel durch Berechnung von  $180$  minus  $90$  minus Sonnenwinkel ermitteln.

Wofür wird der Zenitwinkel benötigt? Stünde die Sonne direkt über dem Äquator, wie dies zum Zeitpunkt der beiden Tagundnachtgleichen (im Frühjahr am 21. März, im Herbst am 21. September) der Fall ist, würden die Sonnenstrahlen parallel zum Äquator verlaufen. Der Zenitwinkel wäre damit gleich unserer Breitenposition. Aus dem Sonnenwinkel der anderen Schule könnten wir damit sofort ihre geographische Breite errechnen. Außerhalb der Tagundnachtgleichen steht unsere Sonne jedoch nie direkt über dem Äquator, d.h. ihre Strahlen fallen in verschiedenen Winkeln ein. Die Parallelität der Sonnenstrahlen ist jedoch am selben Tag unabhängig vom Standort an beiden Schulen dieselbe. Wenn wir daher unsere theoretischen Breitenpositionen an den Tagen der Tagundnachtgleiche subtrahieren, so neutralisieren wir auch die durch die saisonalen Bewegungen der Sonne bedingte Verschiebung, da diese Verschiebung ebenfalls an beiden Schulen dieselbe ist. Dies erlaubt uns, an einem gegebenen Tag die Differenz der Breitenpositionen beider Schule zu bestimmen. Aus der Kenntnis dieser Differenz und der Kenntnis unserer eigenen Breitenposition (aus einer Karte oder evtl. der Messung mit dem GPS-Empfänger) können wir somit die Breite der anderen Schule berechnen.

### **Korrekturen**

Möglicherweise betrachtet jede der beiden Schulen die Sonne aus verschiedenen Nord-Süd-Richtungen. Dies kann sich im Jahresverlauf ändern, während die Sonne ihren jahreszeitlichen Bewegungszyklus ausführt. In diesem Fall wären die Zenitwinkel der beiden Schulen zu addieren anstatt zu subtrahieren. Das Verhältnis zwischen den Richtungen der Schatten unserer Stangen gibt darüber Auskunft, ob wir nach einer Summe oder einer Differenz der Zenitwinkel suchen müssen. Das Arbeitsblatt enthält eine Tabelle, in der die Voraussetzungen für die Subtraktion bzw. Addition zusammengestellt sind.

Denkbar ist auch der Fall, daß Ihre Partnerschule auf der anderen Erdhalbkugel liegt. In diesem Fall erhalten Sie aus den abschließenden Subtraktionen einen negativen Breitenwert. Es muß dann lediglich die Halbkugel "gewechselt" und das Ergebnis mit einem positiven Vorzeichen versehen werden.

### **Ermittlung der Längenposition der Partnerschule**

Da sich der Planet, auf dem wir leben, alle vier Minuten um  $1$  Grad weiter dreht, können wir aus der Differenz der Sonnenhöchststände an unserer Schule und der Partnerschule die Differenz unserer geographischen Längenposition errechnen. Wichtig ist lediglich, daß beide Schulen in Weltzeit (UT) rechnen, damit sich ein gemeinsamer Bezugsrahmen ergibt. Führen Sie analog zu dem



Musterarbeitsblatt auf dem leeren Arbeitsblatt die Berechnungen für die eigene Schule sowie für die Partnerschule aus, die nachstehend noch einmal zusammengefaßt sind.

Anhand der Daten jeder Schule sind durchzuführen:

- ?? Ermittlung der Zeit des lokalen Sonnenhöchststandes (in UT)
- ?? Umrechnung der Uhrzeiten in Minuten (UT)
- ?? Ermittlung des Zeitunterschiedes (in Minuten) zwischen dem Zeitpunkt des lokalen Sonnenhöchststandes Ihrer eigenen Schule sowie der Partnerschule
- ?? Umwandlung des Zeitunterschiedes in einen Längenunterschied (ein Grad pro 4 Minuten)
- ?? Addition bzw. Subtraktion des Ergebnisses von der gemessenen Länge Ihrer eigenen Schule
- ?? Korrektur wegen etwaigen Hemisphärenwechsels
- ?? Berechnung der geographischen Länge der Partnerschule.

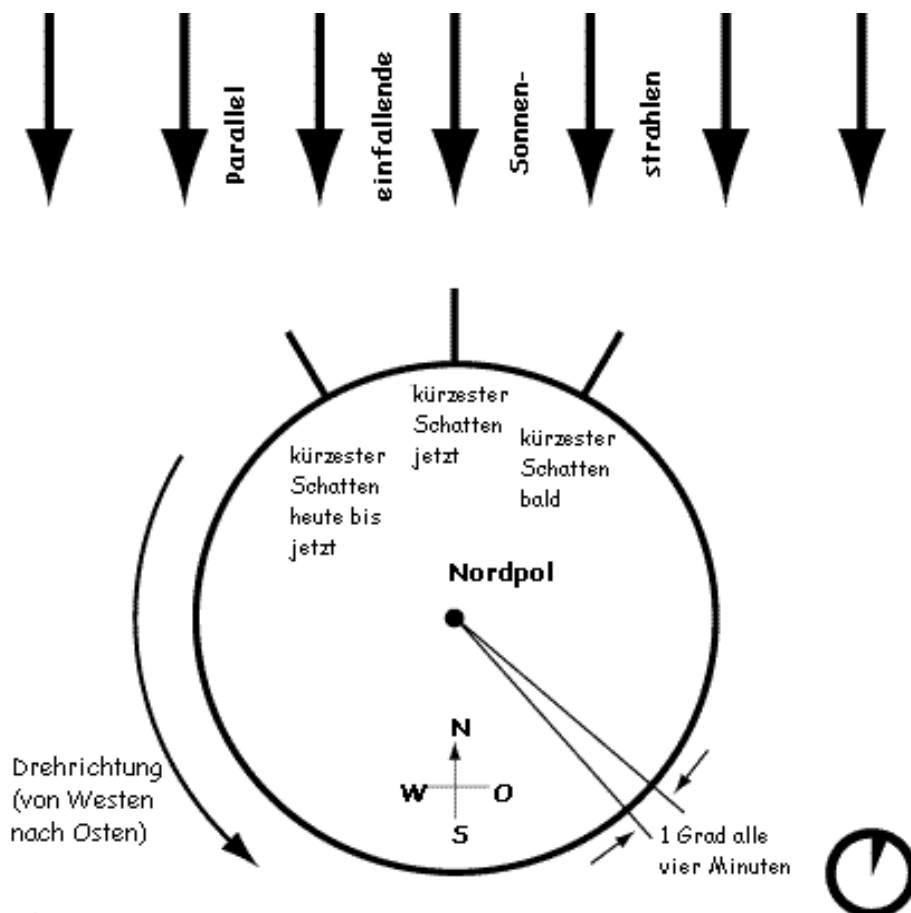


Abb. GPS-L-26: Zusammenhang zwischen Länge und Sonnenwinkel

Alle im Folgenden genannten Sätze beschreiben denselben Sachverhalt:

- ?? 24 Stunden pro Tag
- ?? 24 Stunden pro Erddrehung relativ zur Sonne
- ?? 24 Stunden pro 360°-Drehung der Erde
- ?? 1440 Minuten pro 360°-Drehung der Erde
- ?? 4 Minuten pro 1 Grad Erddrehung
- ?? 4 Minuten pro 1 Grad Ost-West-Bewegung der Sonne
- ?? alle 4 Minuten eine Drehung der Erde um 1 Grad Länge



Mit anderen Worten, unsere Sonne bewegt sich alle vier Minuten um 1 Grad weiter.

Da sich der Planet, auf dem wir leben, alle vier Minuten um 1 Grad weiter dreht, können wir aus der Differenz der Sonnenhöchststände an unserer Schule und der Partnerschule die Differenz unserer geographischen Längenposition errechnen. Wichtig ist lediglich, daß beide Schulen in Weltzeit (UT) rechnen, damit sich ein gemeinsamer Bezugsrahmen ergibt. Führen Sie die Berechnungen analog zu dem Musterarbeitsblatt aus.

Anders als bei den Breitenberechnungen, wo es vor allem auf Winkelmessungen ankam, spielt für die Berechnung geographischer Länge die Zeit eine wichtige Rolle. Pendeluhren wurden lange vor der Erfindung selbst regulierender Uhren mit Federantrieb eingesetzt. Auf fahrenden Schiffen, die von den Wellen hin- und hergeworfen werden, sind sie jedoch nur beschränkt einsetzbar. Bis zum Aufkommen pendelloser Uhren konnten Schiffe lediglich ihre Breitenposition, nicht jedoch ihre geographische Länge ermitteln. Der heroische Kampf um die Entwicklung einer Technologie, die dieses Problem überwand, ist in dem Buch *Longitude* von Dava Sobel, 1995, Walker Publishing Company, New York, fesselnd beschrieben.

Um nicht mit Stundenbruchteilen rechnen zu müssen, muß die UT-Tageszeit jeder Schule von Stunden und Minuten in reine Minuten umgerechnet werden. Aus der Differenz der beiden Zeiten ist dann der Unterschied zwischen den Zeiten der lokalen Sonnenhöchststände zu berechnen. Da sich die Erde alle vier Minuten um gleichbleibend 1 Grad weiter dreht, ergibt sich durch Teilung der Zeitdifferenz durch vier die Längendifferenz (in Grad) zwischen beiden Schulen.

Unser Planet dreht sich von Westen nach Osten. Man kann sich dies leicht merken, indem man sich vor Augen führt, daß die Sonne im Osten aufgeht - wir bewegen uns demnach auf die Sonne zu, d.h., nach Osten. Die Schule, an der der lokale Sonnenhöchststand zuerst eintritt, liegt daher weiter östlich als die andere Schule. So können Sie ermitteln, ob Sie die Längendifferenzen zwischen den beiden Schulen zu der eigenen Länge addieren oder von ihr subtrahieren müssen, um die Längenposition der anderen Schule zu berechnen.

### **Korrekturen**

Wenn der Längenwert der anderen Schule negativ ist, bedeutet dies, daß diese Schule von Ihnen aus gesehen auf der anderen Seite des Nullmeridians liegt. Vertauschen Sie in diesem Fall die Ost/West- Hemisphären und rechnen Sie mit einem positiven Längenwert. Beträgt die Längenposition der Partnerschule mehr als 180°, so liegt diese Schule jenseits der internationalen Datumsgrenze. In diesem Fall muß abermals ein Wechsel der Hemisphären vorgenommen, ein Winkel von 360° subtrahiert und der positive Wert der endgültigen Länge verwendet werden.

### **Vergleich mit der Partnerschule**

Tauschen Sie Daten und Ergebnisse mit Ihrer Partnerschule aus. Wie weit ist man dort? Haben Sie den Standort richtig berechnet? Falls nicht, wie groß war Ihr Meß- bzw. Rechenfehler? Wie erklären Sie sich dies? Ist Ihr Fehler mit demjenigen des Eratosthenes vergleichbar? Weshalb?

### **Fragen und Vertiefung**

Seit Jahrhunderten nutzt die Menschheit die Himmelskörper (Sterne, Sonne, Mond) zur Bestimmung ihrer Position auf der Erde. Inwieweit unterscheidet sich diese Tätigkeit von unseren Übungen? Stellen Sie sich vor, unsere Partnerschule läge auf 0° geographischer Breite und 0° geographischer Länge und wir verfügten über eine Tabelle, die die Sonnenwinkel für die Zeit des Sonnenhöchststandes an Ihrem Standort über das gesamte Jahr zeigt. Dies würde uns erlauben, mittels Sonnenwinkelmessungen und Bestimmung der Zeit des Sonnenhöchststandes an einem



beliebigen Standort die vorstehende Übung gewissermaßen "rückwärts" zu lösen, indem wir an jedem Punkt der Erde unseren eigenen Standort berechnen könnten. Dies wird seit vielen hundert Jahren so gemacht, wobei die Messung mit der Weiterentwicklung des Uhrenbaus und der stetigen Verbesserung der Winkelmeßverfahren immer genauer geworden ist. Mathematiker und Astronomen erstellen die benötigten Tabellen aus ihrer Kenntnis der räumlichen Beziehungen zwischen der Erde und verschiedenen Himmelskörpern. Das GPS-System basiert auf ähnlichen Prinzipien, allerdings mit der Ausnahme, daß sichtbare natürliche Himmelskörper hierbei durch künstliche Satelliten und Funksignale ersetzt sind.

### **Genaueres Stellen der Uhren - so wird's gemacht**

Wie können wir die genaue Uhrzeit ermitteln? Zeitangaben mit einer Genauigkeit von besser als 1 Sekunde erhalten Sie u.a. über

- ?? Rundfunk- und Fernsehstationen ("Zeitzeichen")
- ?? diverse Kurzwellen-Funksender
- ?? Internet-Uhrzeitsoftware für PC
- ?? den GPS-Empfänger

### **Sendestationen**

Lokale Fernseh- und Rundfunkstationen müssen ihre Sendungen mit anderen Anstalten sowie mit ihren Nachrichtenlieferanten koordinieren. Sie haben daher ein großes Interesse daran, die Uhrzeit mit mehr als 1 Sekunde Genauigkeit feststellen zu können. Viele kommerzielle Rundfunksender senden ein Zeitzeichen zur vollen Stunde (null Minuten, null Sekunden), nach dem wir unsere Uhr stellen können. Daneben gibt es zahlreiche internationale Kurzwellensender, die nur die Uhrzeit senden.

Wie lange braucht dieses Zeitsignal jedoch vom Sender bis zu uns? Wenn Sie im Moment des Zeitzeichens 100 km von dem Rundfunksender entfernt sind, erreicht das Signal, das sich mit Lichtgeschwindigkeit ( $3,0 \times 10^8$  m/s) fortbewegt, Ihren Rundfunkempfänger 1/3 Millisekunde nach dem Verlassen des Senders (1 Millisekunde = 1/1000 Sekunde). Wenn Sie sich in 1 m Abstand vom Empfänger aufhalten, benötigt der Schall aus dem Lautsprecher weitere 3 Millisekunden, um mit Schallgeschwindigkeit (331 m/s) Ihr Ohr zu erreichen. Ein etwaiger Fehler, der Ihnen beim Stellen der Uhr unterläuft, wird also in jedem Fall größer als die Laufzeit des Signals vom Sender zu Ihnen sein.

### **Computernetze**

Über das Internet läßt sich die genaue Zeit von verschiedenen Anbietern wie z.B. von der US-Marine (<http://tycho.usno.navy.mil>) beziehen. Allerdings teilt die Kommunikationssoftware Ihres Rechners den digitalen Datenstrom in sog. "Pakete" auf, die sich möglicherweise auf verschiedenen Wegen und mit unbekanntem bzw. verschiedenen Verzögerungen durch das Netz bewegen. Auch die eigentliche Übermittlung dieser Pakete nimmt einige Zeit in Anspruch. Aus diesem Grund ist oft nur schwer feststellbar, wieviel Zeit zwischen der Absendung der Zeitinformation durch den entfernten Computer und ihrem Erscheinen auf Ihrem Bildschirm vergangen ist.

Es gibt spezielle Software für den Uhrzeit-Abruf über das Internet. Einige dieser Programme sind so intelligent, daß sie zunächst Probemeldungen zwischen den beiden Computern hin- und herschicken, um deren Laufzeit zu ermitteln, und daraus den Durchschnitt der Verzögerungszeit errechnen. Dieser Wert wird dann der Übermittlungszeit hinzuaddiert, um die diversen Verzögerungen auf dem Übertragungswege zu kompensieren.



Astronomen rechnen gelegentlich mit der sog. "Sternzeit", die sich von unserer irdischen Zeit unterscheidet. Die Differenz zwischen Sternzeit und der von unseren Armbanduhren angezeigten "mittleren Sonnenzeit" beträgt etwa 4 Minuten pro Tag. Weitere Zeitanbieter im Internet finden Sie unter

<http://www.greenwich2000.com/time.htm>

[http://www.blrdoc.gov/doc-tour/atomic\\_clock.htm](http://www.blrdoc.gov/doc-tour/atomic_clock.htm)

### **GPS-Empfänger**

Das GPS-System basiert rein auf Zeitangaben. Da es seine Positionsmeldungen aus Satelliten mit eingebauten hochpräzisen Atomuhren bezieht, kann Ihr GPS-Empfänger auch die Uhrzeit anzeigen. Besonders leistungsfähige GPS-Geräte kompensieren sogar die Signallaufzeit vom Satelliten bis zum Empfänger, da sie die Entfernung zum Satelliten kennen und die Signalverzögerung aus dieser Entfernung berechnen können (sie beträgt etwa 67 Millisekunden).

### **Ortszeit und Weltzeit**

In dieser Übung ermitteln Sie und Ihre Partnerschule(n) die Zeit des lokalen Sonnenhöchststandes, indem Sie die Uhrzeit protokollieren, wenn der Schatten am kürzesten ist. Hierauf aufbauend berechnen Sie die Zeitdifferenz zwischen den Zeitpunkten des lokalen Sonnenhöchststandes an beiden Schulen.

Da die Sonne zu verschiedenen Zeiten in verschiedener geographischer Länge am Himmel steht, haben sich amtliche Stellen darauf geeinigt, unseren Planeten in 24 Zeitzonen aufzuteilen, die im Durchschnitt um 15° geographischer Länge voneinander entfernt liegen - diese Entfernung entspricht der Strecke, um die sich die Erde in 1 Stunde dreht. Es ist daher gut möglich, daß zu dem Zeitpunkt, an dem die Sonne an Ihrem eigenen Standort ihren Höchststand erreicht hat, an Ihrer Partnerschule eine völlig andere Zeit herrscht, weil diese in einer anderen Zeitzone liegt, d.h. ihre Uhren gehen um einen ganzzahligen Stundenbetrag vor oder nach. Trotzdem lassen sich diese verschiedenen Zeiten auf einen gemeinsamen Zeitrahmen beziehen, so daß die beiden Uhrzeiten zur Ermittlung der Differenz voneinander subtrahierbar werden.

Aus historischen Gründen wird die Zeit an dem durch Greenwich/England verlaufenden Meridian als Weltzeit (UT, Universal Time) bezeichnet. Zur Umwandlung in diese Weltzeit müssen wir eine ganzzahlige Stundenzahl von unserer Ortszeit abziehen bzw. hinzu addieren.

Um wie viele Stunden wir auf diese Weise unsere Ortszeit erhöhen bzw. reduzieren müssen, läßt sich anhand einer Karte oder eines Globusses mit Zeitzonenangabe feststellen - alternativ können wir jemanden fragen, der sich auskennt. Durch die Umstellung auf Sommerzeit kann sich eine weitere Zeitverschiebung ergeben. Flug- und Wetterämter wissen in der Regel alles über die Normalzeit. Die meisten GPS-Empfänger können wahlweise Orts- oder Weltzeit angeben.

Siehe hierzu auch die vorstehenden Internet-Links zu UT-Zeitanbietern.

### **Genauigkeit unserer Ergebnisse**

Wie genau (ausgedrückt in Grad) ist Ihre berechnete Längen- und Breitenposition gegenüber den Ergebnissen der Partnerschule? Wodurch ist diese Differenz bedingt? Wenn die Berechnungen korrekt ausgeführt wurden und die verwendeten Formeln stimmen, können Unstimmigkeiten auf Meßdatenfehler zurückzuführen sein, die sich aus folgenden Umständen ergeben:

?? Unscharfes Schattenbild

?? Justierung des Neigungsmessers





- ?? Unebener Boden bzw. schräger Sitz der Meßstange
- ?? Falsche Bestimmung des lokalen Sonnenhöchststandes

Wie können wir bestimmen, welcher dieser Fehler das Meßergebnis am stärksten verfälscht? Führen Sie ein simuliertes Experiment durch. Verwenden Sie dazu erfundene Meßdaten, von denen Sie annehmen, daß Sie diese unter idealen Bedingungen erhalten würden. Führen Sie die Berechnungen mit diesen idealen Zahlen durch und vergewissern Sie sich, daß Sie damit ein ideales Ergebnis erhalten. Führen Sie nun in den idealen Zahlensatz einen einzigen Fehler ein. Dieser sollte im Bereich des tatsächlich möglichen Meßfehlers liegen - erhöhen Sie also z.B. die Schattenlänge um einige wenige Millimeter und nicht gleich um einen absurd hohen Betrag. Führen Sie Ihre Berechnungen mit diesen Zahlen erneut durch und stellen Sie die Ergebnisse gegenüber.

Sie führen damit eine Simulation durch, mit dem Sie die Empfindlichkeit Ihres Experiments gegenüber den einzelnen Fehlerquellen überprüfen. Bei komplexen Versuchen mit großen Meßdatensätzen und zahlreichen Gleichungen lassen sich Computerprogramme dazu verwenden, die identifizierten Fehlerquellen zu variieren, um Informationen über die extremen Ergebnisveränderungen zu erhalten.

### **Was macht es, wenn die Stange schräg steht? Wie läßt sich die kontrollieren, daß die Stange senkrecht steht?**

Ob die Stange senkrecht steht, läßt sich am besten mit einer Wasserwaage überprüfen. Möglicherweise verläuft sie nur in Nord-Süd-Richtung vertikal, nicht jedoch in Ost-West-Richtung. Legen Sie die Wasserwaage daher unbedingt an mehreren Seiten der Stange an, um sicherzugehen daß diese in allen Richtungen senkrecht steht.

Der vertikale Stand der Stange läßt sich auch mit einem Gewicht an einer Schnur ("Lot") kontrollieren. Wenn es sich bei Ihrer Stange um ein Rohr handelt, können Sie dessen Vertikalität überprüfen, indem Sie das Lot in das Innere des Rohres absenken. Verläuft die Schnur mittig durch das ganze Rohr, steht das Rohr genau senkrecht. Ein solches Lot wird mitunter auch als "Senkblei" bezeichnet, weil die Gewichte früher aus Blei waren.

Alternativ besteht die Möglichkeit, anstelle der Stange nur eine Schnur mit einem Gewicht zu verwenden, die in entsprechender Höhe an einem geeigneten Objekt befestigt wird. Wichtig ist, daß die Schnur einen Knoten oder ähnlichen Gegenstand trägt, der einen sichtbaren Schatten wirft. Die Befestigung sollte in etwa 0,5 - 1 m Abstand über dem ebenen Boden erfolgen. Als vertikale Distanz wird der Abstand vom Boden zu dem Knoten gemessen und sorgfältig protokolliert. Dieses Verfahren kann sich jedoch als problematisch erweisen, wenn die Schnur vom Wind erfaßt und mitsamt dem Gewicht aus der Vertikalen gedrückt wird.

Eine schräg stehende Stange und ein unebener Boden können bei dem trigonometrischen Winkelmeßverfahren zu Fehlern führen. Die Messung des Sonnenwinkels mit dem Neigungsmesser wird hiervon nicht betroffen - nur die Bestimmung der Mindestlänge des Schattens wird erschwert.

### **Was macht es, wenn der Boden uneben ist? Wie läßt sich die kontrollieren, ob der Boden eben ist?**

Wenn ein Fußball oder ein sonstiger Ball auf der gewählten Fläche rollt, ist diese nicht eben. Empfindlichere Kontrollverfahren basieren auf der Tatsache, daß Flüssigkeiten die Tendenz haben, stets zum tiefstmöglichen Punkt zu strömen. Die Ebenheit des Geländes im Bereich der Stange läßt



sich auch mit einer Wasserwaage überprüfen. Achten Sie darauf, daß die Libelle (Röhrchen mit der Meßflüssigkeit) parallel zum Boden verläuft.

Ein Wassertropfen, der auf eine Oberfläche fällt, bildet dort eine Kugel und haftet an der Oberfläche, selbst wenn diese nicht genau waagrecht verläuft. Detergenzien sind chemische Verbindungen, welche die Oberflächenspannung von Flüssigkeiten verringern. Lösen Sie ein bißchen Waschpulver in Wasser und tropfen Sie eine geringe Menge dieser Lösung auf den Boden. Die Oberflächenspannung des Wassers sollte damit soweit reduziert sein, daß der Tropfen bergab läuft, wenn die Oberfläche uneben ist. Auf diese Weise können Sie prüfen, ob das Gelände eben ist, und die Oberfläche ggf. ausgleichen, falls sich diese bewegen läßt.

Ein eleganteres Verfahren zur Bestimmung der Ebenheit von Flächen basiert auf einem langen transparenten Schlauch, der ganz mit einer Flüssigkeit gefüllt ist. Zwei Schüler halten je ein Ende des Schlauchs und entfernen sich dann voneinander, wobei sie die Enden des Schlauchs sorgfältig erhoben halten, damit die Flüssigkeit nicht verschüttet wird. Bei ebenem Gelände muß der Flüssigkeitsstand an beiden Enden des Schlauchs - unabhängig von der Entfernung - stets derselbe sein.

Geologen verwenden eine Variante dieses Verfahrens, um Bodenbewegungen an der Erdoberfläche festzustellen. Ein horizontales Rohr, das mehrere Hundert Meter lang sein kann, wird in die Erde bzw. auf der Oberfläche verlegt. Das Rohr wird zur Hälfte mit Wasser befüllt und so justiert, daß der Füllstand an beiden Enden genau bis zur Hälfte des Querschnitts reicht. Verlagert sich der Boden auch nur um den Bruchteil eines Grades, strömt das Wasser an einem Ende des Rohres zusammen. Dies ist ein Beispiel für ein sehr empfindliches Instrument, daß selbst auf geringe Veränderungen deutlich erkennbar reagiert. Mit einem nicht zu dicken, durchsichtigen Schlauch von geeigneter Länge lassen sich ähnliche Ergebnisse erzielen.

Eine schräg stehende Stange und ein unebener Boden können bei dem trigonometrischen Winkelmeßverfahren zu Fehlern führen. Die Messung des Sonnenwinkels mit dem Neigungsmesser wird hiervon nicht betroffen - nur die Bestimmung der Mindestlänge des Schattens wird erschwert.

### **Was tun bei unscharfem Schattenbild?**

Der von der Sonne auf der Erdoberfläche erzeugte Schatten weist immer eine gewisse Unschärfe auf. Bei Verwendung einer sehr kurzen Stange sind die weichen Übergänge am Rand des Schattens womöglich nicht erkennbar - es gilt jedoch die Regel, daß der Schatten der Sonne auf unserer Erde niemals scharfkantig ist.

Der Grund hierfür liegt in der Tatsache, daß das Sonnenlicht keine punktförmige Strahlenquelle darstellt, sondern nahezu gleichförmig von einer Scheibe abgegeben wird, die eine Breite von etwa  $1/2$  Grad hat. (Da dies etwa der Breite des Mondes entspricht, ergibt sich der interessante Effekt der Sonnenfinsternis).

Betrachten Sie einmal in einer Vollmondnacht den Mond (da der direkte Blick in die Sonne zu Sehschäden führen kann, läßt sich diese Beobachtung nicht mit der Sonne durchführen). Das Licht strahlt aus der Mitte, aber auch vom oberen, unteren, rechten und linken Rand des Mondes auf die Erde - d.h. es fällt auf uns (oder andere Gegenstände, die einen Schatten werfen) aus verschiedenen Winkeln ein.

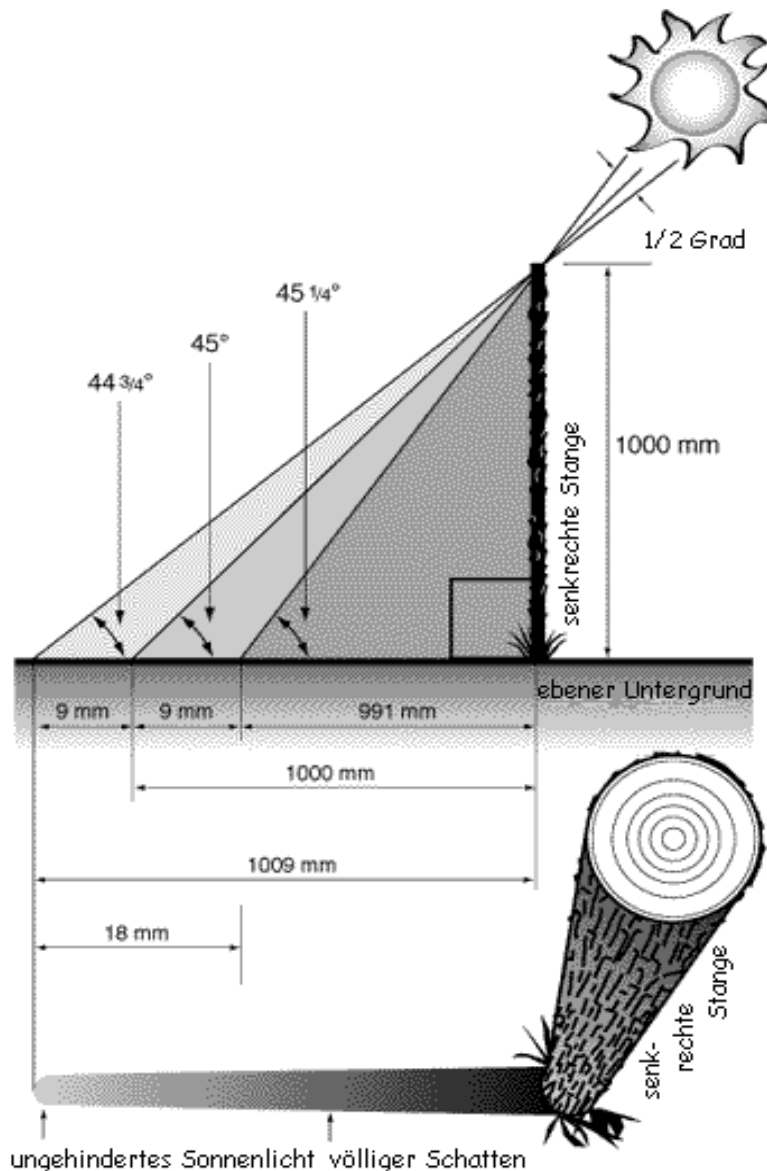


Abb. GPS-L-27: Unscharfe Schattenränder

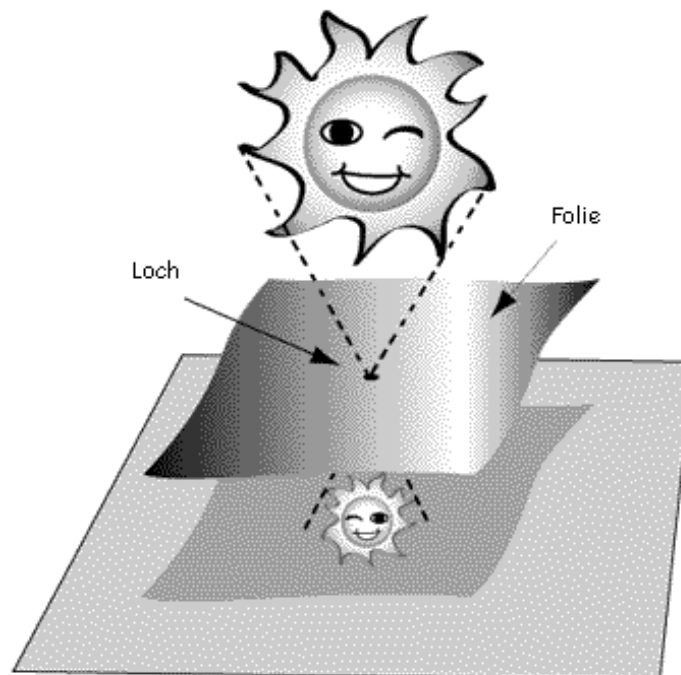
Angenommen, wir hätten eine vertikale Stange von 1 m Höhe an einem Ort errichtet, an dem die Sonne in einem Winkel von  $45^\circ$  am Himmel steht. Die Lichtstrahlen, welche die Spitze der Stange streifen, kommen von geringfügig verschiedenen Orten der Sonne. Während die Strahlen aus der Sonnenmitte vielleicht tatsächlich in einem Winkel von  $45^\circ$  einfallen, streifen Strahlen vom oberen Sonnenrand die Stange womöglich in einem Winkel, der  $1/4^\circ$  steiler ist ( $45 + 0,25 = 45,25^\circ$ ). Umgekehrt fallen die Strahlen vom unteren Sonnenrand in einem geringfügig flacheren Winkel ein ( $45 - 0,25 = 44,75^\circ$ ). Diese flacheren Sonnenstrahlen erreichen den Boden in größerer Entfernung von der Stange (1009 mm), während die steileren Strahlen näher an der Stange auftreffen (991 mm). Auf diese Weise ergibt sich zwischen dem Bereich ungehinderten Sonneneinfalls und dem Bereich völligen Schattens eine 18 mm tiefe "Grauzone".

Unsere Messung wird hierdurch erheblich erschwert. Theoretisch bestünde die Möglichkeit, entweder am Rand des ungehinderten Sonneneinfalls oder am Rand des vollständigen Schattens zu messen. Da der Übergang jedoch stufenlos erfolgt, hat der Schatten keinen eindeutig definierten Rand. Ein für unsere Zwecke optimales Ergebnis läßt sich dadurch erzielen, daß man die Länge des Schattens in der Mitte des Hell/Dunkel-Übergangsbereichs mißt.



Würde man in dem obigen Beispiel anstatt der Mitte des Übergangsbereichs den helleren oder dunkleren Schattenrand vermessen, könnte hierdurch ein Fehler von  $\approx 1/4$  Grad entstehen. Bei der Umrechnung in die geographische Breite ergäbe sich hieraus eine Abweichung von 26 km.

Bei Sternen tritt dieses Problem nicht auf. Diese sind zwar größer, jedoch so weit entfernt, daß Ihr Querschnitt - von der Erde betrachtet - nur etwa  $1/2$  Bogensekunde ausmacht. Zum Zwecke der Navigation erscheinen sie damit als bloße Punkte. Es besteht auch die Möglichkeit, nur mit dem oberen bzw. unteren Rand der Sonne zu messen. Die Geräte, mit denen sich diese Winkelmessungen an Himmelskörpern durchführen lassen, heißen Sextanten.



GPS-L-28: Camera obscura

Mit Hilfe einer Camera Obscura läßt sich ein Bild der Sonne erzeugen. Hierzu wird mit einer Nadel ein Loch in ein Stück Aluminiumfolie gestochen. Hält man die Folie nun waagrecht über eine ebene, helle Fläche, so wird auf diese Fläche ein umgekehrtes Bild der Sonne projiziert. Dies ist eine gute Methode, um Sonnenflecken oder Sonnenfinsternisse zu beobachten.

Oft bildet die Laubdecke hoher Bäume kleine Öffnungen, durch die das Sonnenlicht in Form von Lichtkreisen auf den Boden fällt. Bei Sonnenfinsternis werden Abbilder des Kreisbogens der unbedeckten Sonne auf die Erdoberfläche projiziert. Bei zunehmendem oder abnehmendem Mond kann man nachts im Wald, sobald sich die Augen an die Dunkelheit gewöhnt haben, oft deutlich die auf den Boden projizierten Mondsicheln erkennen.

### Weshalb nicht nur eine Sonnenwinkelmessung zur Breitenbestimmung?

Die Erde umrundet die Sonne von Westen nach Osten in einem Abstand von etwa 150 Millionen km. Dabei ist ihre Drehachse jedoch um etwa  $23,5^\circ$  aus der Umlaufebene geneigt. Aus diesem Grunde fällt in einer Hälfte der irdischen Umlaufbahn auf der nördlichen Erdhalbkugel das Sonnenlicht über große Bereiche rechtwinkliger als auf der Südhalbkugel ein. Während dieser Zeit herrscht auf der Nordhalbkugel Sommer, auf der Südhalbkugel dagegen Winter. Sobald die Erde die entgegengesetzte Seite der Sonne erreicht hat, vertauschen sich diese Jahreszeiten. Einem



Beobachter auf der Erde erscheint die Sonne während seines Sommers in einem höheren Winkel zu stehen.

Diese Neigung der Erdachse ist der Grund für eine Reihe geographischer und astronomischer Festlegungen. So sind z.B. die arktischen und antarktischen Polarkreise mit  $23,5^\circ$  vom Nord- bzw. Südpol definiert. Dies sind die niedrigsten Breiten, in denen im Winter das Polarnacht Phänomen auftritt, d.h. die Sonne nicht scheint.

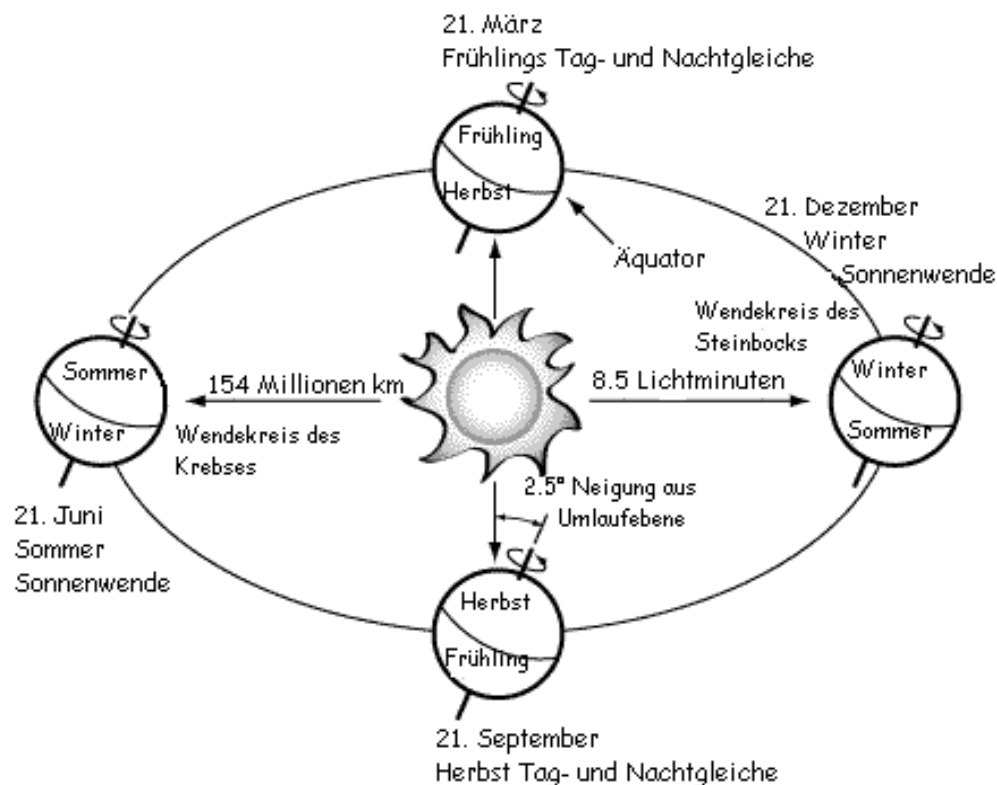


Abb. GPS-L-29: Jahreszeitliche Verhältnisse zwischen Sonne und Erde

Der Wendekreis des Krebses und des Steinbocks liegen definitionsgemäß  $23,5^\circ$  nördlich bzw. südlich des Äquators. Es handelt sich um die am weitesten vom Äquator gelegenen Punkte, an denen die Sonne senkrecht einfallen kann. Auf der nördlichen Erdhalbkugel tritt der höchste Sonnenstand in der Regel am 21. Juni, auf der südlichen Erdhalbkugel dagegen am 21. Dezember ein. Diese Tage werden auf der Nord- bzw. Südhalbkugel als Sommer- und Wintersonnenwende bezeichnet. Am 21. März und 21. September scheint die Sonne direkt über dem Äquator zu stehen. Diese Tage sind als Frühjahrs- und Herbst Tagundnachtgleiche definiert.

Am jedem Punkt der Erde scheint sich der Sonnenwinkel täglich zu verändern, wobei die Jahreszeiten einen jährlichen Zyklus durchlaufen. Würden Sie und Ihre Partnerschule daher die Sonnenwinkelmessung an aufeinanderfolgenden Tagen durchführen, ergäbe sich ein Winkelunterschied, der sowohl durch die verschiedenen Breiten als auch durch die unterschiedlichen Sonnenwinkel bedingt ist. Die jahreszeitliche Bewegung unserer Sonne beträgt jedoch innerhalb von 24 Stunden weniger als 1 Grad.



Wie hoch steht die Sonne an verschiedenen Orten der Erde (am Äquator, am Nordpol, an Ihrem Wohnort) im Sommer und Winter am Himmel? Die Astronomen haben Gleichungen entwickelt, die die Bewegungen der Himmelskörper modellhaft beschreiben. Es gibt Computerprogramme, die auf der Basis dieser Gleichungen die Standorte von Sonne, Mond und anderen Himmelskörpern über beliebigen Orten der Erde und zu beliebigen Zeiten ermitteln.

Senkrecht einfallendes Sonnenlicht enthält etwa 1000 W Solarenergie pro Quadratmeter hell erleuchteter Erdoberfläche. Dies entspricht - intuitiv betrachtet - etwa der Helligkeit von zehn mittelgroßen Glühbirnen pro Quadratmeter sonnenbeschienenen Bodens (und die Erdoberfläche umfaßt viele, viele Quadratmeter). Man vergleiche dies mit einem Sonnenstrahl, der im Winkel von 45° einfällt - derartige Strahlen liefern an einem ähnlich wolkenlosen Tag nur etwa 700 W pro Quadratmeter. Dieser Unterschied der einfallenden Sonnenenergie erklärt die gespeicherten Energiedifferenzen zwischen den jahreszeitlichen Extremen, die wir indirekt als Temperaturänderungen wahrnehmen.

### Wie führte Eratosthenes sein Experiment durch?

Eratosthenes war ein griechischer Mathematiker und Wissenschaftler, der im 3. Jahrhundert v.Chr. lebte. Er stellte fest, daß sich auf dem Wasser eines tiefen Brunnens in der ägyptischen Stadt Syene einmal pro Jahr die Sonne spiegelte.

Er schloß daraus, daß die Sonne an diesem Tag senkrecht über Syene stand. An demselben Tag wurde der Winkel des Sonnenschattens einer vertikalen Stange in der nordägyptischen Hafenstadt Alexandria sorgfältig gemessen. Es stellte sich heraus, daß dieser Winkel 1/50 eines Kreises, d.h. etwa 7.2 Grad betrug.

Eratosthenes beauftragte einen Mitarbeiter, von Syene zu Fuß geradewegs in nördlicher Richtung bis nach Alexandria zu gehen und die Entfernung zu messen. Das Ergebnis betrug 500 Stadien (1 Stadion = ca. 185 m). Da sich der Wanderer in genau nördlicher Richtung gehalten hatte, war er auf einer Linie gleicher geographischer Länge gelaufen, d.h. nur seine Breitenposition hatte sich verändert.

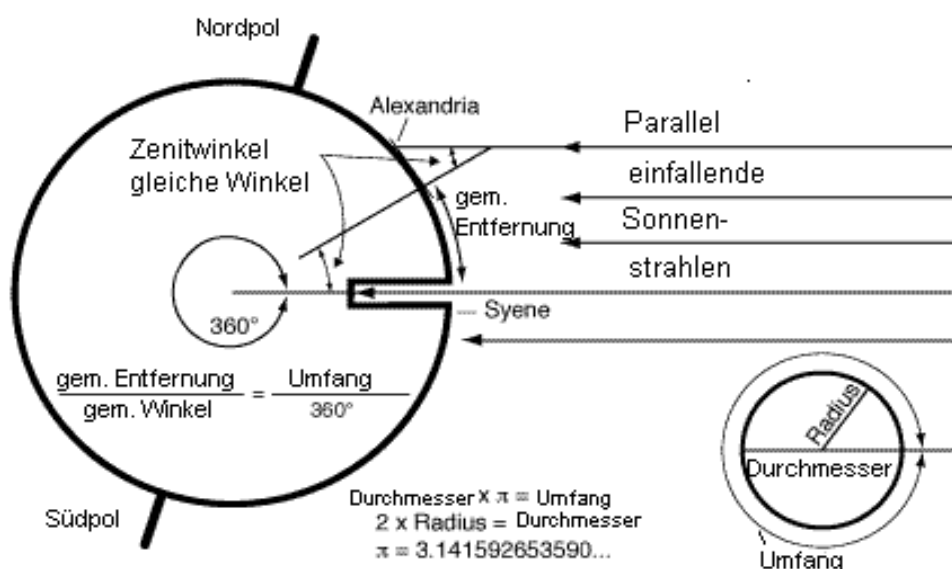


Abb. GPS-L-30: Experiment des Eratosthenes



Aus der Kenntnis der Umfangsentfernung und Winkeldifferenz zwischen zwei Punkten eines Kreises können wir den Umfang dieses Kreises berechnen. Gehen wir davon aus, daß die Erde rund ist, wie dies - entgegen der Legende - bereits im Altertum nicht selten getan wurde, so läßt sich aus den vorstehenden Ergebnissen der Umfang der Erde messen. Eratosthenes kam zu einem Resultat von 250.000 Stadien oder 44.055 km. Heute berechnen wir den Erdumfang auf durchschnittlich 40074 km. Eratosthenes hatte sich demnach um nur 15% geirrt - ein bemerkenswerter Erfolg angesichts der wissenschaftlichen Kenntnisse seiner Zeit.

Im Laufe der Jahrhunderte wurden ähnliche Techniken für die Land-, See-, Luft- und Raumfahrtnavigation entwickelt. Ein Sextant ist ein handgroßer Theodolit, mit dem sich Winkelmessungen von Himmelskörpern zu Navigationszwecken durchführen lassen. Im Grunde handelt es sich dabei nur um eine präzisere Variante unseres Neigungsmessers. Bei korrektem Vorgehen läßt sich mittels Sextant, Uhr und Berechnungstabellen jeder Standort der Welt mit etwa 2 km Genauigkeit ermitteln. Details enthält das jährlich aktualisierte Navigationshandbuch *The American Practical Navigator: An Epitome of Navigation*, Nathaniel Bowditch, US Defense Mapping Agency, Bethesda, Maryland, 1. Ausgabe 1802.

Informationen über Eratosthenes finden die Schüler auch im Internet.

### **Weitere Fragen**

Waren unsere Meßdaten schlüssig? Waren die Zwischen- und Endberechnungen und deren Ergebnisse plausibel? Falls nicht - können wir feststellen, warum?

Berechnen Sie den Standort der eigenen Schule aus der Sicht der Partnerschule.

Welche Länge hätte der Schatten einer Stange am Nord- oder Südpol (unveränderliche Länge während des gesamten Tages).

An welchen Tagen ist der Schatten am längsten bzw. kürzesten?

Darf sich der Schatten während des Meßintervalls von Osten nach Westen bewegen? Eine geringfügige Bewegung ist normal. Dürfen sich Schattenlänge bzw. Sonnenwinkel im Verlauf des vierzigminütigen Zeitraums um den Sonnenhöchststand verändern? Nur wenig. Aber messen und protokollieren Sie, falls die Zeit dies erlaubt, doch einmal den Verlauf über mehrere Stunden!



# GPS Astronavigation: Arbeitsblatt

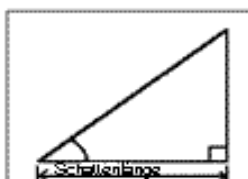
Name Christina Lehner  
Datum 11.1.1996

Protokollierungszeit: 20 min vor und nach berechnetem Sonnenhöchststand

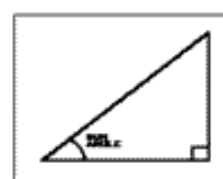
Richtung des Schattens  
(bitte ankreuzen)  
nach Norden/ nach Süden



Uhr



Bandmaß/Zollstock



Clinometer  
(nur Mittelgruppe)

Differenz zum Zeit-  
punkt des Sonnen-  
höchststands  
[minuten]

Lokale  
Tageszeit  
[HH:MM]

Schatten-  
länge  
[mm]

Sonnen-  
winkel  
[Grad]

vor lokalem Mittag

-20

11:52

454

65



-16

11:56

451

66

-12

12:00

448

66

-8

12:04

446

66

-4

12:08

446

66

geschätzter lokaler Mittag

0

12:12

445

66



4

12:16

446

66

8

12:20

447

66

12

12:24

449

66

16

12:28

451

66

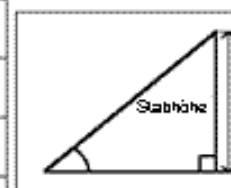
nach lokalem Mittag

20

12:32

455

65



(nur Fortgeschrittene)

Stabhöhe

[mm]

1000





# GPS Astronavigation: Arbeitsblatt

Name \_\_\_\_\_

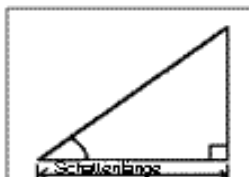
Datum \_\_\_\_\_

**Protokollierungszeit: 20 min vor und nach berechnetem Sonnenhöchststand**

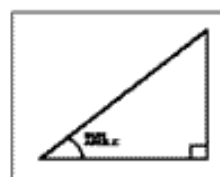
**Richtung des Schattens**  
(bitte ankreuzen)  
nach Norden/ nach Süden



Uhr



Bandmaß/Zollstock



Clinometer  
(nur Mittelgruppe)

**Differenz zum Zeit-  
punkt des Sonnen-  
höchststands**  
[minuten]

**Lokale  
Tageszeit**  
[HH:MM]

**Schatten-  
länge**  
[mm]

**Sonnen-  
winkel**  
[Grad]

vor lokalem Mittag

-20



-16

-12

-8

-4

geschätzter lokaler Mittag

0



4

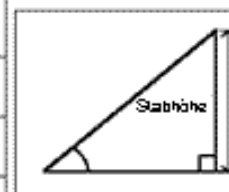
8

12

16

nach lokalem Mittag

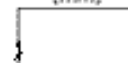
20



(nur Fortgeschrittene)

**Stabhöhe**

[mm]





# GPS-Astronavigation

## Musterarbeitsblatt zur Berechnung der Breite

Name Katja Lehner Datum 25.5.98

		Eigene Schule		Partnerschule	
<b>Meßdaten</b>	Eigene Breite	35.5	[Grad]	sollen	
	Eigene Länge	78	[Grad]	berechnet werden	
	Zeitpunkt (UT) des kürzesten Schattens	17:12	[HH:MM]	17:37	[HH:MM]
	Länge des Schattens zu diesem Zeitpunkt	445	[mm]	411	[mm]
	(Mittelgruppe) Sonnenwinkel zu diesem Zeitpunkt	66	[Grad]	nicht bekannt	[Grad]
	(Fortgeschrittene) Höhe der Stange	1000	[mm]	1000	[mm]
	Richtung des Stangenschattens	<u>Nord</u> od. Süd		<u>Nord</u> od. Süd	

**Berechnen des Sonnenwinkels** Berechneter Sonnenwinkel =  $\arctan(\text{Stangenhöhe[mm]}/\text{Schattenlänge[mm]})$

(nur Fortgeschrittene) Berechneter Sonnenwinkel =  [Grad]  [Grad]

Fortgeschrittene Schüler sollten den so berechneten Sonnenwinkel durch die gesamte Berechnung hindurch verwenden.

**Berechnung des Zenitwinkels** (Dies ist der Winkel oben am Dreieck)

Stünde die Sonne zum Zeitpunkt der Messung genau über dem Äquator, wäre der Zenitwinkel gleich der geographischen Breite Ihres Standortes.

Zenitwinkel =  $90 \text{ [Grad]} - \text{Sonnenwinkel [Grad]}$       Eigener Zenitwinkel  [Grad]      Zenitwinkel Partnerschule  [Grad]

**Berechnung der Breitendifferenz**

Da die beiden Sonnenwinkelmessungen am selben Tag erfolgen (unabhängig vom Stand der Sonne), gibt uns die Differenz der Zenitwinkel die Breitendifferenz zwischen den beiden Schulen an.

[Grad] = Breitendifferenz =  [Grad] +/-  [Grad]

(bei negativem Ergebnis nur positiven Wert verwenden)

Wenn Schatten in verschiedene Richtungen weisen +  
Wenn Schatten in dieselbe Richtung weisen -

**Berechnung der Breite der Partnerschule**

[Grad] = Breite Partnerschule =  [Grad] +/-  [Grad]

Gleiche Schattenrichtung und -      Verschiedene Schattenrichtungen -  
eigener Sonnenwinkel ist kleiner -  
eigener Sonnenwinkel ist größer +

**Korrigierte Breite**

Breite Partnerschule =  [Grad]      Nord oder Süd (eines ankreuzen)

Bei negativem Wert liegt die Partnerschule auf der anderen Erdhalbkugel



# GPS-Astronavigation

## Arbeitsblatt zur Berechnung der Breite

Name \_\_\_\_\_ Datum \_\_\_\_\_

		Eigene Schule		Partnerschule	
<b>Meßdaten</b>	Eigene Breite	<input type="text"/>	[Grad]	sollen	
	Eigene Länge	<input type="text"/>	[Grad]	berechnet werden	
	Zeitpunkt (UT) des kürzesten Schattens	<input type="text"/>	[HH:MM]	<input type="text"/>	[HH:MM]
	Länge des Schattens zu diesem Zeitpunkt	<input type="text"/>	[mm]	<input type="text"/>	[mm]
	(Mittelgruppe) Sonnenwinkel zu diesem Zeitpunkt	<input type="text"/>	[Grad]	<input type="text"/>	[Grad]
	(Fortgeschrittene) Höhe der Stange	<input type="text"/>	[mm]	<input type="text"/>	[mm]
	Richtung des Stangenschattens	Nord od.	Süd	Nord od.	Süd

**Berechnen des Sonnenwinkels** Berechneter Sonnenwinkel =  $\arctan(\text{Stangenhöhe[mm]}/\text{Schattenlänge[mm]})$

(nur Fortgeschrittene) Berechneter Sonnenwinkel =  [Grad]  [Grad]

Fortgeschrittene Schüler sollten den so berechneten Sonnenwinkel durch die gesamte Berechnung hindurch verwenden.

**Berechnung des Zenitwinkels** (Dies ist der Winkel oben am Dreieck)

Stünde die Sonne zum Zeitpunkt der Messung genau über dem Äquator, wäre der Zenitwinkel gleich der geographischen Breite Ihres Standortes.

Zenitwinkel =  $90 \text{ [Grad]} - \text{Sonnenwinkel [Grad]}$       Eigener Zenitwinkel  [Grad]      Zenitwinkel Partnerschule  [Grad]

**Berechnung der Breitendifferenz**

Da die beiden Sonnenwinkelmessungen am selben Tag erfolgen (unabhängig vom Stand der Sonne), gibt uns die Differenz der Zenitwinkel die Breitendifferenz zwischen den beiden Schulen an.

[Grad] = Breitendifferenz =  [Grad] +/-  [Grad]

(bei negativem Ergebnis nur positiven Wert verwenden)

Wenn Schatten in verschiedene Richtungen weisen +  
Wenn Schatten in dieselbe Richtung weisen -

**Berechnung der Breite der Partnerschule**

[Grad] = Breite Partnerschule =  [Grad] +/-  [Grad]

Gleiche Schattenrichtung und -  
Verschiedene Schattenrichtungen -  
eigener Sonnenwinkel ist kleiner -  
eigener Sonnenwinkel ist größer +

**Korrigierte Breite**

Breite Partnerschule =  [Grad] Nord oder Süd (eines ankreuzen)

Bei negativem Wert liegt die Partnerschule auf der anderen Erdhalbkugel



# GPS-Astronavigation

## Musterarbeitsblatt zur Berechnung der Länge

Name Angelika Thomas Datum 16.11.98

		Eigene Schule		Partnerschule	
<b>Meßdaten</b>	Eigene Breite	35.3	[Grad]	sollen	
	Eigene Länge	78	[Grad]	berechnet werden	
	Zeitpunkt (UT) des kürzesten Schattens	17:12	[HH:MM]	17:37	[HH:MM]
	Länge des Schattens zu diesem Zeitpunkt	445	[mm]	411	[mm]
	(Mittelgruppe) Sonnenwinkel zu diesem Zeitpunkt	66	[Grad]	nicht bekannt	[Grad]
	(Fortgeschrittene) Höhe der Stange	1000	[mm]	1000	[mm]
	Richtung des Stangenschattens	Nord od.	Süd	Nord od.	Süd

### Uhrzeit

Zeitpunkt (UT) des kürzesten Schattens	Eigene Schule	Partnerschule
	<input type="text" value="17:12"/> [HH:MM]	<input type="text" value="17:37"/> [HH:MM]
Umrechnen in Minuten = Std. x 60 + Min	<input type="text" value="1032"/> [min]	<input type="text" value="1057"/> [min]
<input type="text" value="25"/> [min] = Zeitdifferenz =	<input type="text" value="1032"/> [min] -	<input type="text" value="1057"/> [min]

(bei negativem Ergebnis nur positiven Wert verwenden)

### Berechnung der Länge der Partnerschule.

[Grad] = Längendifferenz =  $\frac{\text{Zeitdifferenz } \text{input type="text" value="25"/> [min]}{4 \text{ [Minuten pro Grad Erddrehung]}}$

[Grad] = Länge der Partnerschule =  $\text{Eigene Länge } \text{input type="text" value="78"/> [Grad] \pm \text{Längendifferenz } \text{input type="text" value="6.3"/> [Grad]$

Falls Sie sich auf der östliche Erdhalbkugel befinden und

- der Schatten am eigenen Standort früher kürzer wird -
- der Schatten am eigenen Standort später kürzer wird +

Falls Sie sich auf der westlichen Erdhalbkugel befinden und

- der Schatten am eigenen Standort früher kürzer wird +
- der Schatten am eigenen Standort später kürzer wird -

### Korrigierte Länge

Wenn die Länge der Partnerschule < 0 Grad beträgt, liegt diese auf der anderen Seite des nullten Meridians (Ergebnis positiv nehmen und in die andere Halbkugel übertragen).

Wenn die Länge der Partnerschule >180 Grad beträgt, liegt diese jenseits der internationalen Datumsgrenze (vom Ergebnis 360 Grad abziehen, positives Vorzeichen setzen und in die andere Halbkugel übertragen).

Länge Partnerschule =  [Grad] Ost oder West (eines ankreuzen)



# GPS-Astronavigation

## Arbeitsblatt zur Berechnung der Länge

Name \_\_\_\_\_ Datum \_\_\_\_\_

		Eigene Schule		Partnerschule	
<b>Meßdaten</b>	Eigene Breite	<input type="text"/>	[Grad]	sollen	
	Eigene Länge	<input type="text"/>	[Grad]	berechnet werden	
	Zeitpunkt (UT) des kürzesten Schattens	<input type="text"/>	[HH:MM]	<input type="text"/>	[HH:MM]
	Länge des Schattens zu diesem Zeitpunkt	<input type="text"/>	[mm]	<input type="text"/>	[mm]
	(Mittelgruppe) Sonnenwinkel zu diesem Zeitpunkt	<input type="text"/>	[Grad]	<input type="text"/>	[Grad]
	(Fortgeschrittene) Höhe der Stange	<input type="text"/>	[mm]	<input type="text"/>	[mm]
	Richtung des Stangenschattens	Nord od.	Süd	Nord od.	Süd

### Uhrzeit

Zeitpunkt (UT) des kürzesten Schattens

Eigene Schule	<input type="text"/>	[HH:MM]	Partnerschule	<input type="text"/>	[HH:MM]
---------------	----------------------	---------	---------------	----------------------	---------

Umrechnen in Minuten = Std. x 60 + Min

<input type="text"/>	[min]	=	<input type="text"/>	[min]
----------------------	-------	---	----------------------	-------

(bei negativem Ergebnis nur positiven Wert verwenden)

### Berechnung der Länge der Partnerschule

[Grad] = Längendifferenz =  $\frac{\text{Zeitdifferenz } \text{[min]}}{4 \text{ [Minuten pro Grad Erddrehung]}}$

[Grad] = Länge der Partnerschule =  $\text{Eigene Länge } \text{[Grad]} \pm \text{Längendifferenz } \text{[Grad]}$

- Falls Sie sich auf der östliche Erdhalbkugel befinden und
- der Schatten am eigenen Standort früher kürzer wird -
  - der Schatten am eigenen Standort später kürzer wird +
- Falls Sie sich auf der westlichen Erdhalbkugel befinden und
- der Schatten am eigenen Standort früher kürzer wird +
  - der Schatten am eigenen Standort später kürzer wird -

### Korrigierte Länge

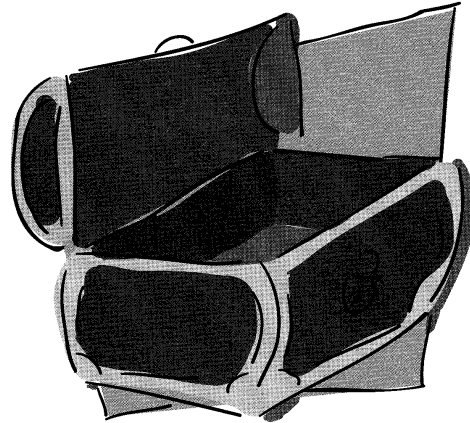
Wenn die Länge der Partnerschule < 0 Grad beträgt, liegt diese auf der anderen Seite des nullten Meridians (Ergebnis positiv nehmen und in die andere Halbkugel übertragen).

Wenn die Länge der Partnerschule >180 Grad beträgt, liegt diese jenseits der internationalen Datumsgrenze (vom Ergebnis 360 Grad abziehen, positives Vorzeichen setzen und in die andere Halbkugel übertragen).

Länge Partnerschule =  [Grad] Ost oder West (eines ankreuzen)



## Anhang



Datenarbeitsblatt "GPS-Untersuchung"

Datenarbeitsblatt "Versetzte GPS-Messung"

Begriffsverzeichnis

GLOBE-Internet-Dateneingabeblätter





### Messungen

#### versetzter Standort

Meßwert Breite =  Grad

Meßwert Länge =  Grad

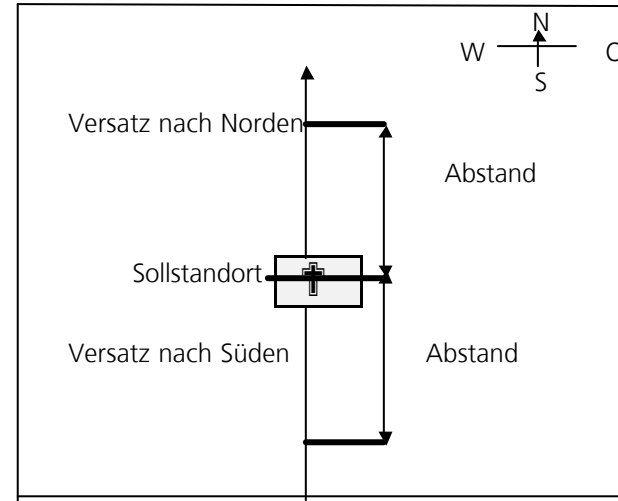
Richtung zum Sollstandort

Entfernung =  Meter

Zutreffendes ankreuzen

Minuten N oder S

Minuten W oder O



### Berechnungen

#### Längenänderung

$$\frac{\text{Meter}}{1885 \text{ Meter/Minute}} = \text{Minuten}$$

Breitenminuten des Sollstandortes =  +/-

(aufgerundet auf 0.01 min) =  Minuten

Zusammenführung mit Breitengraden

Breite des Sollstandortes =  Grad

Länge des Sollstandortes =  Grad

Minuten N oder S

Minuten W oder O

(identisch mit der Länge des versetzten Standortes)





## Begriffsverzeichnis

### **Auflösung**

Kleinste Veränderung, die ein Instrument anzeigen kann.

### **Breite**

Winkelmaß (in Grad) eines Planeten, das die Breitenposition südlich bzw. nördlich des Äquators angibt. Die geographische Breite wird auf der Erde ausgehend vom Äquator (0°) in Grad angegeben, wobei die Pole bei 90° nördlicher bzw. südlicher Breite liegen.

### **Durchschnitt**

Verfahren zur Charakterisierung einer Zahlengruppe anhand einer einzigen Zahl. Ein Durchschnittswert (Mittel) wird berechnet, in dem man die vorhandenen Zahlen addiert und die Summe dann durch die Zahl der addierten Werte teilt.

### **Genauigkeit**

Differenz zwischen dem angezeigten Meßwert und dem Istwert.

### **Global Positioning System (GPS)**

GPS ist ein Navigationssystem (System zur Standortbestimmung), das insgesamt 24 Satelliten in einer 20 200 km hohen Umlaufbahn um die Erde umfaßt. Anhand von Zeitsignalen, die diese Satelliten abgeben, kann der GPS-Empfänger die Längen-, Breiten- und Höhenposition des Benutzers ermitteln.

### **Histogramm**

Form der Häufigkeitsverteilungskurve, die angibt, wie oft eine bestimmte Zahl innerhalb einer Zahlengruppe erscheint.

### **Länge**

Winkelmaß (in Grad) eines Planeten, das die Längenposition östlich bzw. westlich um die Drehachse des Planeten angibt. Auf der Erde gilt die in Nord-Süd-Richtung verlaufende Linie durch die englische Stadt Greenwich als Nullmeridian (nullter Längengrad). Die internationale Datumsgrenze liegt 180° von diesem Nullmeridian versetzt.

### **Lot**

Einseitig mit einem Gewicht beschwerte Schnur zur Messung gerader senkrechter Linien, früher wegen des verwendeten Materials auch als "Senkblei" bezeichnet.

### **Magnetische Deklination**

Dieser auch als "Mißweisung" bezeichnete Effekt bezeichnet den Winkel zwischen dem Magnetpol und dem geographischen Pol (Endpunkt der Drehachse), der für jeden Punkt der Erde kennzeichnend ist. Die magnetische Deklination wird in Grad Ost oder West angegeben, um die Lage des geographischen Nordpols im Bezug auf den magnetischen Nordpol zu beschreiben. Der magnetische Nordpol der Erde verlagert sich ständig - wenn auch mit geringer Geschwindigkeit - und liegt derzeit in den kanadischen Northwest Territories, etwa 11° vom geographischen Nordpol entfernt. Ungleichmäßigkeiten der magnetischen Eigenschaften der Erdkruste tragen zusätzlich dazu bei, daß an jedem Ort der Erde eine kennzeichnende magnetische Deklination herrscht. Der jeweilige Wert kann aktuellen Navigationskarten entnommen werden.



## **Magnetkompaß**

Handgerät, das den Winkelausschlag eines schwenkbar gelagerten, leichten Magneten anzeigt. Da sich die Erde selbst wie ein großer Magnet verhält, zeigt die Magnetnadel des Kompasses auf die Magnetpole, die generell in Nord-Süd-Richtung liegen.

## **Navigation**

Wissenschaft und Technik von der Kurs-, Positions- und Streckenmessung.

## **Positionen**

absolute : von einem vereinbarten Fixpunkt aus gemessen

relative : von einem willkürlich festgelegten Punkt (z.B. Ihrem Standort) gemessen

## **Präzision**

Maß der Wiederholbarkeit einer Beobachtung. Gibt an, um wieviel die einzelnen Meßwerte bei mehrfacher Versuchsdurchführung vom Durchschnitt aller Messungen abweichen.

## **Satellit**

Himmelskörper, der um einen anderen, größeren Körper kreist.

## **Senkblei** - s. Lot

## **Sonnenwende**

Einer der beiden Tage im Jahr, an denen die Sonne an ihrem am weitesten vom Äquator entfernten Punkt senkrecht steht. In der Regel tritt diese Bedingung am 21. Juni und am 22. Dezember ein. Es handelt sich somit um den längsten bzw. kürzesten Tag des Jahres, je nachdem, ob Ihr Standort der senkrecht einfallenden Sonne näher oder weiter entfernt ist.

## **Sonnenwinkel**

Dieser Begriff gibt den Winkel zwischen der Waagerechten (dem Boden) und der Sonne an. Der Winkel wird auch als Höhenwinkel bezeichnet.

## **Tagundnachtgleiche**

Zweimal im Jahr steht die Sonne direkt über dem Äquator - in der Regel am 21. März (Frühlings-Tagundnachtgleiche) und am 23. September (Herbst-Tagundnachtgleiche). Die Bezeichnung stammt daher, daß Tag und Nacht an diesem Datum dieselbe Länge haben.

## **Trigonometrie**

Mathematische Lehre von den Dreiecken, trigonometrischen Funktionen und ihren Anwendungen. Die Trigonometrie erlaubt uns, den Längen der verschiedenen Seiten eines Dreiecks Winkelwerte zuzuordnen.

## **Versetzter Standort**

Punkt, der unmittelbar nördlich oder südlich eines Standortes liegt, und an dem wir eine erfolgreiche GPS-Messung durchführen können.

## **Zenitwinkel**

Bei unserer Messung des Sonnenwinkels ist dies der Winkel zwischen der Vertikalen und der Sonne. In der Navigation wird er mitunter auch als Zenitdistanz bezeichnet. An den Tagen der



Tagundnachtgleiche (im Frühling und Herbst) entspricht dieser Winkel unserer geographischen Breite. Der Zenit ist der über uns befindliche Himmelspunkt - ganz unabhängig davon, wo wir uns befinden. Sonnenwinkel und Zenitwinkel addieren sich zu  $90^\circ$ .

## Kreiseinheiten, Entfernungen und Beziehungen

### Grad

Ein Grad läßt sich in  $360^\circ$  (oder 400 Gradienten oder zweimal  $2^\circ$  Radianten) unterteilen. Bruchteile eines Grades lassen sich entweder als Dezimalzahl ( $25,2525^\circ$ ) oder in ganzen Graden, Minuten und Sekunden ausdrücken (z.B.  $25^\circ 15' 9''$ ).

### Minute (Bogenminute)

Ein Grad läßt sich in 60 Minuten unterteilen. Ein Kreis hat daher  $360 \times 60 = 21\,600$  Bogenminuten ( $21600'$ ).

### Radian

Winkelmaß entsprechend dem Winkel, der im Mittelpunkt eines Kreises von einem Kreisbogen umfaßt wird, dessen Länge dem Radius des Kreises entspricht. Ein vollständiger Kreis umfaßt  $2 \times \pi$  Radianten oder  $360^\circ$ . Ein Radian hat etwa  $57,3^\circ$ . So entspricht z.B. der Winkel  $25^\circ 15' 9'' = 25,2525^\circ =$  etwa  $0,447$  Radianten. Die Zahl " $\pi$ " ist eine irrationale Zahl, d.h. sie läßt sich nicht als Verhältnis zweier ganzer Zahlen ausdrücken und hat eine unendliche Anzahl Dezimalstellen. Ihr Wert beträgt ca.  $3,141592653590$ . Die Größe von " $\pi$ " wurde auf mehrere Millionen Stellen genau berechnet - der vorgenannte Wert würde jedoch selbst dann nur zu einem Fehler von  $< 1$  m führen, wenn man mit Entfernungen von der Größe unseres Sonnensystems rechnete.

### Sekunde (Bogensekunde)

Eine Bogenminute läßt sich in 60 Sekunden unterteilen. Deshalb hat ein Grad  $60 \times 60 = 3600$  Bogensekunden und ein Kreis  $1.296.000$  Bogensekunden ( $1296000''$ ).

## Zeitliche Bezugsrahmen

### Lokaler Sonnenhöchststand

Dies ist die Tageszeit, zu der der Sonnenwinkel an Ihrem Standort seinen größten Wert annimmt. Sie variiert von Ort zu Ort und kann auch an demselben Punkt im Jahresverlauf um ca. 1/2 Stunde schwanken.

### Mittlere Sonnenzeit

Dies ist die Uhrzeit, wie sie in der Regel auf unseren Uhren erscheint. Sie ist so definiert, daß die Sonne in der jeweiligen Zeitzone um 12.00 Uhr mittags im Jahresdurchschnitt stets dieselbe Position bei nahezu vertikalem Strahlungseinfall einnimmt. Die Zeitzonen liegen jeweils um 1 Stunde auseinander und belaufen sich jeweils auf  $15^\circ$  geographischer Länge (mit einigen amtlichen Ausnahmen zur Berücksichtigung besonderer lokaler oder geographischer Umstände). Sie können Ihre mittlere Sonnenzeit ermitteln, indem Sie von der Zeit des 0. Längengrads (Weltzeit) in Schritten von je  $15^\circ$  bis zu Ihrem Standort zählen bzw. die Zahl der Zeitzonen hinzu addieren. Neben Weltzeit und mittlerer Sonnenzeit gibt es noch die vorwiegend von Astronomen verwendete Sternzeit, die sich nach dem Zusammenfallen entfernter Himmelskörper jeweils nach genau einer



Erddrehung um die Sonne richtet. Ein Sternentag ist ca. 4 Minuten kürzer als der nach mittlerer Sonnenzeit berechnete Tag.

### **Weltzeit**

Diese auch als Universal Time (UT), Zulu-Zeit oder MGZ (mittlere Greenwicher Zeit) bezeichnete Zeit ist so definiert, daß die Sonne im Jahresdurchschnitt über dem 0. Längengrad um 12.00 Uhr Mittags senkrecht steht.

### **Folgen der 23,5°-Neigung der Erddrehungsachse aus der Ebene der Erdumlaufbahn um die Sonne**

#### **Arktischer und antarktischer Polarkreis**

Diese auch als Nord- und Südpolarkreis bezeichneten Regionen extremer geographischer Breite (66,5°) sind dadurch gekennzeichnet, daß während des lokalen Winters bzw. Sommers die Sonne nicht auf- oder untergehen kann.

#### **Wendekreis des Krebses und des Steinbocks**

Hierbei handelt es sich um die äußersten geographischen Breiten (23,5° nördlicher bzw. südlicher Breite), gemessen vom Äquator, an denen die Sonne im Jahresverlauf noch senkrecht über der Erde stehen kann.