1. Voraussetzungen und Unterrichtshilfsmittel

1.1 Fachliche Grundlagen

1.1.1 Was ist GPS?[1]

GPS ist die Abkürzung für 'Global Positioning System' – ein von Menschenhand erschaffenes Satellitennavigationssystem.

Entwickelt wurde es vom US-Verteidigungsministerium, das dem System auch seinen offiziellen Namen »NAVSTAR« (Navigation Satellite Timing and Ranging) gab.

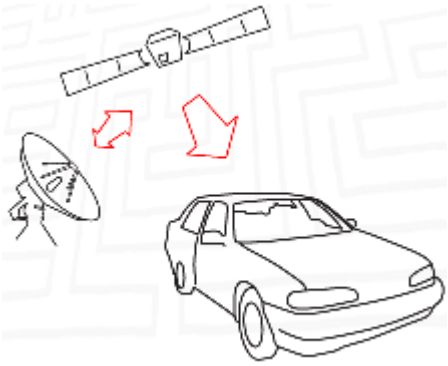


Bild: Satellit, Überwachungsstation, Empfänger[1]

GPS besteht aus 3 grundlegenden Elementen:

- Raumsegment (Satelliten im Weltraum)
- Kontrollsegment (Überwachungsstationen auf der Erde)
- Nutzersegment (Sie und Ihr GPS-Empfänger)

Die Satelliten
GPS verfügt über mindestens 24 funktionsfähige Satelliten (insgesamt sind im Moment 31 in der Umlaufbahn), die die Erde auf sechs Umlaufbahnen umkreisen und dadurch ständig Signale aus einer Entfernung von ca. 20'000 Kilometern bzw. 12'600 Meilen zur Erde senden. Aufgrund der grossen Höhe deckt jeder Satellit einen weiträumigen Bereich der Erde ab. Zudem sind die Umlaufbahnen so berechnet, dass jeder GPS-Empfänger jederzeit die Signale von mindestens 4 Satelliten empfängt (auf freier Fläche ohne Hindernisse), und das ist genau die Anzahl, die zur exakten Bestimmung der jeweiligen Position notwendig ist.

[1] Für das US-System: http://de.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System; allgemein: http://de.wikipedia.org/wiki/Global_Navigation_Satellite_SystemI

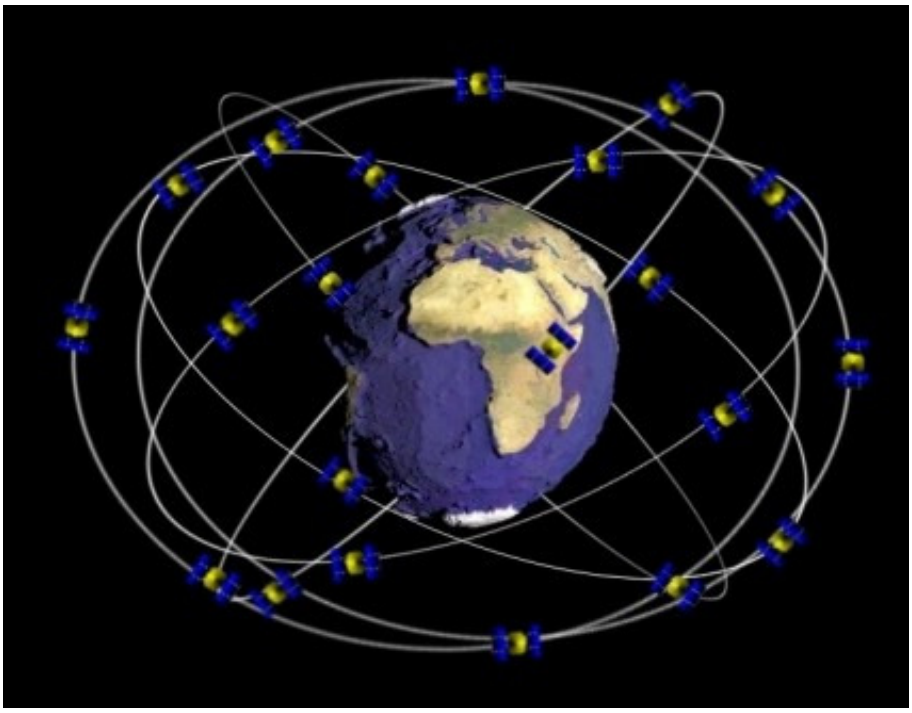


Bild: 24 Satelliten in Erdumlaufbahn[2]

Das Kontrollsegment
Es gibt 5 GPS-Überwachungsstationen: die bemannte Hauptstation in Colorado Springs (USA) und vier weitere, unbemannte Stationen. Diese befinden sich auf Hawaii und die anderen sind auf Inseln in der Nähe des Äquators längs über den Globus verstreut: auf Ascension im Atlantik, auf Kwajalein im Pazifik und auf Diego Garcia im Indischen Ozean.

Die 4 unbemannten Stationen empfangen kontinuierlich Daten von den Satelliten und leiten diese an die Hauptkontrollstation weiter. Diese »korrigiert« die Daten und sendet sie anschliessend an die GPS-Satelliten zurück.

Die Aufgaben des Kontrollsegments lassen sich wie folgt zusammenfassen[3]:

- Kontrolle der Funktion des gesamten Systems
- Beobachtung der Satellitenbewegungen
- Beobachtung der Satellitenuhren
- Vorausberechnung der Satelliten-Ephemeriden[4] und -Uhrzeit

GPS-Signale
Jeder Satellit sendet Funksignale auf zwei verschiedenen Frequenzen. Diese Signale werden über eine so genannte »Sichtverbindung« übertragen. Dies bedeutet, dass die Signale zwar Wolken, Glas und Kunststoff durchqueren können, jedoch von anderen Objekten wie Gebäuden reflektiert werden.

Das GPS-Gerät empfängt die Signale der GPS-Satelliten und berechnet aus den Daten seine aktuelle Position mittels der Bestimmung der Signallaufzeit.

---

[2] de.wikipedia.org

[3] W. Mansfeld: Satellitenortung und Navigation

[4] Tabellen mit den Positionen der Satelliten

1.1.2 Die Geschichte des GPS

Wie alles begann

1957 brachte die Sowjetunion mit »Sputnik 1« den ersten künstlichen Satelliten in eine Erd-Umlaufbahn. Wissenschaftler fanden schnell heraus, dass sich anhand des Dopplereffekts der Orbit eines Satelliten bestimmen lässt. Und wenn man diese Berechnung umkehrt, kann man anhand der Satellitenumlaufbahn nach dem gleichen Prinzip die Position eines Empfängers auf der Erde bestimmen.

Die Grundlagen des modernen GPS wurden in den frühen 1960er Jahren durch das US-Militär gelegt. Navy, Air Force und Army hatten jeweils eigene Pläne und Ideen entwickelt, und im Jahr 1973 wurde schliesslich ein Konzept, das Elemente von allen drei Entwicklungen vereinte, von der US-Regierung genehmigt. Aus diesem Konzept entstand das spätere NAVSTAR-Projekt[5].

Bild: Navstar[4]

Der erste Satellit des neuen NAVSTAR-GPS-Systems wurde 1974 in den Orbit gebracht, und zwischen 1978 und 1985 wurden 11 weitere Satelliten für Testzwecke gestartet. Die vollständige Konstellation von 24 Satelliten, die den heutigen Navigationssystemen einen GPS-Empfang auf der ganzen Welt ermöglicht, wurde im Jahr 1993 erreicht.

GPS für alle

Ursprünglich war GPS nur für militärische Zwecke entwickelt worden. Aber das änderte sich nach einer folgenschweren Tragödie. Am 1. September 1983 kam Flug Nr. KAL007 der Korea Airlines auf dem Weg von Anchorage nach Seoul vom Kurs ab, drang dabei unbemerkt in den Luftraum der damaligen UdSSR ein und wurde deshalb von einem sowjetischen SU-15-Kampfjet abgeschossen. Alle Passagiere und die Besatzung, insgesamt 269 Personen, kamen dabei ums Leben.

Zwei Wochen nach diesem tragischen Vorfall schlug US-Präsident Reagan vor, GPS auch für die zivile Nutzung freizugeben, damit derartige Navigationsfehler niemals wieder zu einer solchen Katastrophe führen könnten. Die Tragödie von Flug Nr. KAL007 der Korean Airlines war zwar nicht der einzige Grund für die Freigabe von GPS zur zivilen Nutzung, hat jedoch wesentlich dazu beigetragen.

Selektive Verfügbarkeit (SA)

Nachdem die US-Regierung ca. 12 Milliarden Dollar in die Entwicklung des genauesten Navigationssystems der Welt investiert hatte, integrierte sie in NAVSTAR eine Funktion mit der Bezeichnung „Selektive Verfügbarkeit“ (Selective Availability, SA), die die Genauigkeit der Positionsbestimmung für zivile Nutzer verminderte und ausserdem sicherstellen sollte, dass Staatsfeinde oder Terroristen GPS nicht zur punktgenauen Steuerung von Waffen verwenden konnten.

Zu diesem Zweck wurden alle Satellitensignale absichtlich fehlerhaft ausgestrahlt. In militärischen Anwendungen konnte jedoch nach wie vor die volle Genauigkeit des Systems durch die Entschlüsselung einer parallel ausgestrahlten, verschlüsselten Frequenz genutzt werden. Während des Golfkriegs benötigten die US-Streitkräfte jedoch plötzlich wesentlich mehr GPS-Empfänger, als ihnen zur Verfügung standen. Das Problem wurde durch den zusätzlichen Einsatz ziviler GPS-Empfänger gelöst.

---

[5] www.tomtom.com/howdoesitwork

Um die Genauigkeit dieser Geräte zu erhöhen, musste die SA-Funktion vorübergehend deaktiviert werden.

Schliesslich verkündete Präsident Clinton im Jahr 2000, dass die SA-Funktion nunmehr endgültig abgeschaltet würde, da die »Bedrohungsanalysen« der US-Regierung ergeben hätten, dass die Deaktivierung der SA-Funktion nur eine minimale Auswirkung auf die nationale Sicherheit haben würde. Allerdings betonte der US-Präsident in derselben Rede auch, dass bei einer Gefährdung der nationalen Sicherheit die GPS-Signale in einigen Regionen jederzeit »selektiv abgeschaltet« werden könnten.

1.1.3 Wer verwendet GPS?

GPS hat sich weit über die ursprüngliche Zielsetzung hinaus entwickelt und ist für viele Menschen und Anwendungen unverzichtbar geworden, angefangen von der Logistikbranche bis hin zu Wettseglern, von der stressfreien Urlaubsreise bis hin zum Kraftstoff sparenden Weg, um von A nach B zu gelangen.

Und da die Positionsinformationen der Satelliten immer komplexer und fortschrittlicher werden, erschliessen sich dem GPS-System ständig neue Einsatzgebiete. Dies gilt nicht nur in der Verkehrstechnik (Fahrzeugortung, Routenplanung, Geschwindigkeitskontrolle usw.), sondern auch bei weniger nahe liegenden Anwendungen wie der See- und Gebirgsrettung.

Der einfache Zugang zu diesen Informationen ist ebenfalls von hoher Bedeutung. Für Teilnehmer eines gut ausgestatteten militärischen oder wissenschaftlichen Projekts ist die Nutzung von GPS schon längst selbstverständlich. Heute kann jedoch jeder einfach in ein Geschäft gehen, ein GPS-Gerät kaufen und ohne besondere Vorbereitung das fortschrittlichste Navigationssystem in der Geschichte der Menschheit nutzen.

Die neuesten Einsatzgebiete der zivilen Satellitennavigation, z. B. die Suche nach einem günstig gelegenen Restaurant oder Hotel, dürften den ursprünglichen Wegbereitern der Satellitennavigation heute recht extravagant erscheinen. Die zunehmende Nutzung von GPS legt den Schluss nahe, dass die kürzlich eingeführten privaten Nutzungsmöglichkeiten von GPS das Leben vieler Menschen produktiver, sicherer und leichter machen.

1.1.4 Wie funktioniert GPS?

Das GPS-System (Global Positioning System) verfügt über mindestens 24 künstliche Satelliten, die die Erde in einer Höhe von ca. 20’000 Kilometern bzw. 12’600 Meilen umkreisen und dabei ständig Funksignale ausstrahlen.

Durch die ausgeklügelte »Choreografie« der Umlaufbahnen wird sichergestellt, dass ein GPS-Empfänger überall auf der Erdoberfläche zu jeder Zeit eine freie Sichtverbindung zu mindestens 4 Satelliten haben sollte (Behinderung durch Gebäude, Bäume, …) und so die Signale dieser Satelliten empfangen kann.

Aus den Signalen dieser 4 Satelliten kann ein GPS-Gerät mit Hilfe eines Verfahrens namens »Trilateration« die aktuelle Position berechnen. Die Trilateration entspricht im Wesentlichen der Triangulation[6], mit dem Unterschied, dass dafür keine Winkel verwendet werden.

3D-Triateration

Bei der 3D-Triateration muss man sich drei Kugeln vorstellen.

Nehmen wir an, man weiss, dass die Entfernung zum Satelliten »A« 10 Kilometer beträgt. Dies bedeutet, dass man sich an einem beliebigen Punkt auf der Oberfläche einer riesigen imaginären Kugel mit einem Radius von 10 Kilometern befindet.

Wenn man zudem noch weiss, dass man sich 15 Kilometer entfernt vom Satelliten »B« befindet, kann man die Schnittmenge der beiden Kugeln bilden.
Die beiden Kugeln schneiden sich in einem perfekten Kreis.

Und wenn man nun auch noch weiss, dass der dritte Satellit 8 Kilometer entfernt ist, wird man feststellen, dass die dritte imaginäre Kugel den vorhin erhaltenen Kreis in genau zwei Punkten schneidet (s. Experiment „Die Position der vier Satelliten“).

Im Unterschied zu diesem Beispiel verlassen sich GPS-Empfänger übrigens in der Regel auf die Signale von mindestens 4 Satelliten, um die Genauigkeit der Positionsbestimmung zu erhöhen.

GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System) ist das Satellitensystem Russlands, das im Dezember 1995 seinen Regelbetrieb aufnahm. Wie GPS verwendete auch GLONASS mindestens 24 Satelliten. Im Vergleich zu GPS bot GLONASS zwar eine geringfügig höhere Präzision, hatte jedoch den grossen Nachteil, dass die Lebensdauer der Satelliten nur ca. 3 Jahre betrug.

Nach der Wirtschaftskrise Russlands Ende der 90er Jahre wurden die Satelliten nicht mehr regelmässig ausgetauscht, und das System verlor zunehmend an Effektivität. Im Jahr 2000 waren nur noch 8 der 24 Satelliten in Betrieb. In den vergangenen Jahren hat Russland jedoch mit grossem Einsatz am Comeback des GLONASS-Systems gearbeitet und hofft, den uneingeschränkten Betrieb des Systems bis zum Jahr 2012 wieder aufnehmen zu können.

GPS BLOCK **III** ist die neue Version des GPS-Systems. Als grösste Verbesserung gegenüber dem aktuellen GPS-System wird GPS III ein stärkeres Signal ausstrahlen. Die Satelliten werden zudem einer anderen Umlaufbahn folgen, um auch höhere Breitengrade wie die skandinavischen Länder besser abzudecken. Ein weiterer grosser Vorteil von GPS III ist die reibungslose Zusammenarbeit mit GALILEO, dem neuen europäischen Satellitensystem.

---

[6] „Winkel lassen sich im Gelände wesentlich einfacher (berührungslos) und genauer messen als Längen, besonders wenn die Längen sehr gross sind. Daher wurde für die großräumige Vermessung der Erdoberfläche das Verfahren der Triangulation verwendet. Sind die Winkel zwischen den Seiten eines Dreiecks und die Länge einer seiner Seiten bekannt, so lassen sich die Längen der anderen Seiten mittels trigonometrischer Formeln berechnen. Damit ergeben sich auch die Lagebeziehungen der Dreieckspunkte in einem Koordinatensystem.“ (http://de.wikipedia.org/wiki/Triangulation)

GALILEO ist das neue Satellitensystem der Europäischen Union. Einer der wichtigsten Gründe für die Entwicklung eines eigenen Satellitensystems war der Wunsch der EU, die Abhängigkeit vom GPS-System zu beenden.
GALILEO wird eine höhere Genauigkeit und eine bessere Abdeckung als GPS bieten und ist vornehmlich für die zivile Nutzung vorgesehen. Das System soll bis 2008/9 fertig gestellt werden; der erste Satellit wurde im Dezember 2005 in die Umlaufbahn gebracht. Insgesamt sollen 30 Satelliten die Erde in einer Höhe von 23'600 km umkreisen.

WAAS/EGNOS
Trotz der eindrucksvollen Präzision von GPS und GLONASS wurden zwei weitere Systeme entwickelt, um deren Genauigkeit noch weiter zu erhöhen. WAAS (Wide Area Augmentation System) wird dabei auf dem amerikanischen Kontinent und EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) in Europa verwendet. Beide Systeme bestehen aus drei Satelliten, die Signale an Empfänger ausstrahlen. Messstationen errechnen daraus, ob das Satellitensignal eine Abweichung aufweist, und senden die notwendigen Korrekturen an zwei der drei ›geostationären‹ Satelliten. Diese geostationären Satelliten senden das Korrektursignal zurück zur Erde, wo die mit WAAS/EGNOS kompatiblen GPS-Empfänger ihre zuvor berechnete GPS-Position entsprechend korrigieren können.

Die beiden neuen Systeme GPS III und GALILEO werden WAAS und EGNOS jedoch nicht verwenden, da sie ihre etwaigen Abweichungen eigenständig messen und korrigieren können.

Obwohl wir die Vorteile eines Navigationsgeräts nutzen können, ohne etwas über die Entstehung von GPS zu wissen, zeigt uns die Entwicklungsgeschichte dieses Systems, dass die genialen Erkenntnisse der ersten Navigatoren auch in der heutigen Wissenschaft ihren festen Platz haben.

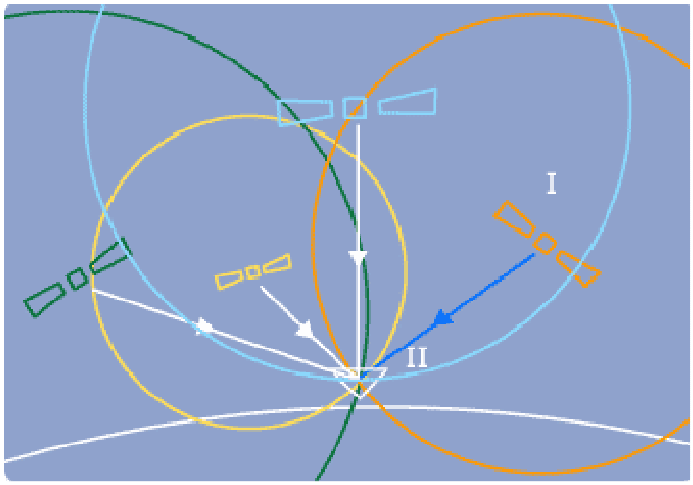
1. **Die Position der Satelliten**
   Um Ihre Position zu bestimmen, benötigt ein Navigationsgerät zweierlei Informationen: a. Die Position von mindestens vier Satelliten b. Die Entfernung von jedem dieser vier Satelliten.

2. **Die Entfernung der Satelliten**
   Navigationsgeräte berechnen ihre Entfernung von einem GPS-Satelliten mittels der Zeit, die ein Satellitensignal bis zum Empfang durch das Gerät unterwegs ist. Die GPS-Satelliten schweben in einer Höhe von über 19'000 km über der Erde. Interessanterweise wird die Bestimmung ihrer Position durch die grosse Entfernung erleichtert. Da sie sich weit ausserhalb der Atmosphäre der Erde befinden, folgt ihre Umlaufbahn relativ einfachen mathematischen Regeln.

3. **Der vierte Satellit**

   Bei der Satellitennavigation hängt alles von einer perfekten Zeitsynchronisierung ab. Mit Hilfe des vierten Satelliten wird die Zeitmessung der anderen drei Satelliten überprüft. Jeder Satellit verfügt über eine Atomuhr. Ihr Empfänger verwendet eine handelsübliche, wesentlich ungenauere Quarzuhr, kann jedoch die Ungenauigkeit dieser Uhr mit Hilfe eines vierten Satelliten ausgleichen. Wie funktioniert das?

Würde ein Navigationsgerät über eine perfekte Uhr verfügen, würden sich alle berechneten Satellitenentfernungen in einem Punkt schneiden: Der Position des Empfangsgerätes. Bei einer ungenauen Uhr ergibt jedoch eine Kontrollmessung mit Hilfe eines vierten Satelliten, ein Ergebnis, das von den anderen drei Satelliten abweicht.



I = Vierter Satellit: Überprüfung u. Korrektur der Satellitenmessungen

II = Schnittpunkt der Satellitensignale: Die Position des Empfangsgerätes

Bild: 4, Satelliten[7]

4. Atmosphäreninduzierte Fehler und Multipath-Effekte

Jetzt kennen wir also die genaue Uhrzeit und die genaue Position des Satelliten. Aber unsere bisherigen Berechnungen basieren auf der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, dem einzigen Medium, in dem die Geschwindigkeit des Lichts eine bekannte Konstante ist. Die durch die Atmosphäre und weitere Hindernisse entstehenden Fehler müssen zusätzlich reduziert werden.

[7] www.tomtom.com/howdoesitwork

1.1.5. Die Einstiegsfolie

Schlechter Tipp eines GPS-Geräts

Zizers. – Ein italienischer Autolenker ist am Montag auf der Autobahn A 13 im bündnerischen Zizers zum Geisterfahrer geworden, weil er blind seinem Navigationsgerät vertraute. Wie die Polizei mitteilte, konnte er aber nach wenigen Metern von einer zufällig anwesenden Patrouille gestoppt werden.

Der Mann war laut Polizei beim Autobahnanschluss Rappagugg auf die Autobahn in Richtung Zürich eingefahren, als das GPS-Gerät ihn aufforderte zu wenden. Er tat dies wie befohlen und fuhr auf der Nordspur in Richtung Süden. Es kam in der Folge zu mehreren knappen Ausweichmanövern, jedoch zu keiner Kollision. Der Lenker wurde verzeigt. *(AP)*

Tages-Anzeiger vom 27. 4. 2007

1.1.6. Experiment: Die Position der vier Satelliten

Man hängt an vier verschiedenen Stellen (diese symbolisieren die Positionen der Satelliten) an der Decke kleine Schachteln auf, z. B. Zündholzschachteln. Diese könnten mit kleinen Sonnensegeln aus Papier dekoriert sein. Vier Schnüre verbinden diese „Satelliten“ mit einer grösseren Schachtel, z. B. einer Zigarrenkiste, dem Empfänger (s. Bild S. 1). Die Schnüre sind in regelmässigen Abständen mit einem Kleber versehen, auf dem der Zeitpunkt steht, an dem das Signal ausgesendet wurde.

Der Empfänger liest das Zeitsignal auf dem Kleber ab. Daraus und aus der aktuellen Zeit ist der Abstand zum Satelliten bestimmt. Damit ist klar, dass der Empfänger auf einer Kugeloberfläche um diesen Satelliten liegen muss. Das gilt auch für den zweiten Satelliten. Damit ist die Lage des Empfängers auf einem Kreis im Raum festgelegt. Wenn man noch den dritten Satellit dazu nimmt, kommen nur noch zwei Punkte in Frage, der eine ist die aktuelle Position, der andere liegt im Weltraum (über der Zimmerdecke).

Die vierte Schnur dient der Kontrollmessung, weil der Empfänger keine ausreichend genaue Uhr enthält. Diese Kontrolle liefert ein Ergebnis, das von den anderen drei Satelliten abweicht. Der Computer im Navigationsgerät erkennt diese Abweichung und weiss, dass bei Verwendung der korrekten Zeit die Ergebnisse aller vier Messungen sich in einem Punkt schneiden müssen. Er berechnet also jenen eindeutigen Korrekturfaktor, bei dessen Anwendung alle Messungen einen einzigen Schnittpunkt ergeben. Dies ist die Zeit der Atomuhren in den Satelliten. Der Empfänger stellt seine Uhr nun auf diese Zeit ein.

1.2 Material für Schülerinnen und Schüler

Arbeitsaufträge (siehe Anhang)

1.3 Benötigte Materialien

- Schnüre
- vier Zündholzschachteln
- eine grössere Schachtel, Klebband (muss zum Beschriften geeignet sein)
- wenn möglich: GPS-Geräte

1.4 Tipps und Hinweise

Die Problemstellung kann sowohl mit dem Experiment als auch anhand des Zeitungsartikels formuliert werden.

2. Lektionenreihe

2.1 Lektion 1: Übersicht GPS

- L. zeigt Folie „Schlechter Tipp eines GPS-Geräts“ s. Pt. 1.1.5. Frontal
- Gemeinsames Betrachten des Schulfernsehbeitrages Folge 6: Satelliten weisen den Weg (Inhalt s. Anhang) Frontal

Gruppenarbeiten zuteilen (6 Gruppen zu je 4 Schüler/innen; evtl. eine Gruppe weglassen)

- Gruppe 1: Was ist GPS? Internet-Recherche. Produkt: Plakat
- Gruppe 2: Die Geschichte des GPS. Internet-Recherche. Produkt: Plakat
- Gruppe 3: Wie funktioniert GPS: Internet-Recherche. Produkt: Plakat
- Gruppe 4: Die Position der Satelliten: Experiment im Klassenzimmer
- Gruppe 5:Galileo/Egnos: Internet-Recherche. Produkt: Plakat
- Gruppe 6: GPS für alle: Was bringt die Zukunft? Internet-Recherche. Produkt: Plakat

Für Recherchen geeignet:

www.kowoma.de/gps, www.google.ch, http://de.wikipedia.org, (www.tomtom.com)

2.2 Lektionen 2 und 3: Internetrecherchen GPS

Internetrecherchen durchführen bzw. Experiment vorbereiten/aufbauen und Plakat gestalten

2.3 Lektionen 4 und 5: Gruppenberichte und Reflexion

Mit der erweiterten Lernform des Gruppenpuzzles werden die Erkenntnisse ausgetauscht und die Plakate einander vorgestellt:

Die neuen Gruppen (A, B, C, D) werden durch je eine/n Schüler/in aus den Erarbeitungsgruppen (1 – 6) gebildet, so dass sich vier neue Gruppen bilden. Die Gruppen A, B, C und D gehen nun von Plakat zu Plakat (Start bei den Gruppenplakaten 1 - 4, danach freier Umlauf) und der/die Schüler/in dieser Gruppe (1 – 6) erklärt den anderen die Ergebnisse auf dem Plakat bzw. leitet das Experiment an. Für jede „Station“ stehen etwa 10 min zur Verfügung.

Als Schluss müssen die einzelnen Gruppen (A – D) einen gemeinsamen Bericht über ihr Lernen in der Gruppe verfassen.

2.4 Lektion 6: evtl. weiterführende Lektionen

- Sofern GPS-Geräte vorhanden: Punkte im Freien suchen und die Koordinaten bestimmen (s. Anhang)
- Sofern Geräte vorhanden sind, das Himmelszelt betrachten und Sternbilder bestimmen
- Sofern GPS-Geräte vorhanden sind: Eine GPS-Schnitzeljagd/Versteckspiel durchführen, angelehnt an Geocaching (www.geocaching.com, english; http://www.kowoma.de/gps/spiele/geocaching.htm, deutsch). Je nach Aufwand kann man auch beim richtigen Geocaching mitmachen (Verstecke müssen zum Schulort passen; www.geocaching.com, english, Gratis-Registrierung erforderlich); speziell für die Schweiz gibt es noch folgende Möglichkeit: www.knobelix.ch.

Anhang

INHALT SF1

Folge 6: Satelliten weisen den Weg

1. Ausstrahlung: 12.3.2007 10.15
2. Ausstrahlung: 27.4.2007 10.15

00:00 Wer sich schon einmal mit dem Auto in fremder Umgebung verfahren hat, weiss die Vorteile eines satellitengestützten Navigationssystems zu schätzen.

03:21 Jedes Navigationssystem enthält elektronische Karten, in denen Strassen und Adressen gespeichert sind. Das Navigationssystem ermittelt die Position des Fahrzeugs mithilfe einer eingebauten Uhr. Diese misst, wie lange es dauert, bis das Zeitzeichen eines Satelliten beim Auto eintrifft. Künftig soll die Satellitennavigation auch Fussgängern den Weg weisen.

Aufwändige Erfassung

05:23 Vermessungsdaten aus der Luft sind die Grundlage dreidimensionaler Stadtmodelle. Am schnellsten geht das Erfassen mit einem Scanner, der vom Flugzeug aus mit einem Laserstrahl das Gelände abtastet.

07:32 Um Seekarten auf den neuster Stand zu bringen, wird regelmässig die Wassertiefe neu überprüft. Dafür ist «Global Positioning System» (GPS) unerlässlich. Die per Echolot gemessenen Tiefen werden den geografischen Koordinaten auf der Seekarte zugeordnet. Aus Sicherheitsgründen ist GPS nicht als einziges Navigationssystem zugelassen. Trotzdem verzichtet heute kein Kapitän auf die Lotsen aus dem All. Hauptproblem: Die Genauigkeit der berechneten Positionen lässt sich bisher nur schwer überprüfen.

Europäische Bemühungen

10:16 Die europäische Raumfahrtorganisation ESA hat deshalb EGNOS ins Leben gerufen, um das vorhandene GPS zu verbessern. Es ist die Vorstufe eines eigenen europäischen Satellitennavigationssystems bestehend aus 30 Satelliten.

Aufträge für die einzelnen Gruppen (Lektion 1)

Gruppe 1: Was ist GPS?

Eure Aufgaben:

- Recherchiert im Internet zu Eurem Thema.
- Diskutiert in der Gruppe die wichtigen Punkte.
- Gestaltet ein Plakat mit Euren Ergebnissen.

Gruppe 2: Die Geschichte des GPS

Eure Aufgaben:

- Recherchiert im Internet zu Eurem Thema.
- Diskutiert in der Gruppe die wichtigen Punkte.
- Gestaltet ein Plakat mit Euren Ergebnissen.

Gruppe 3: Wie funktioniert GPS?

Eure Aufgaben:

- Recherchiert im Internet zu Eurem Thema.
- Diskutiert in der Gruppe die wichtigen Punkte.
- Gestaltet ein Plakat mit Euren Ergebnissen.

Gruppe 5: Satellitennavigationssysteme Galileo und Egnos

Eure Aufgaben:

- Recherchiert im Internet zu Eurem Thema.
- Diskutiert in der Gruppe die wichtigen Punkte.
- Gestaltet ein Plakat mit Euren Ergebnissen.

Gruppe 6: GPS für alle: Was bringt die Zukunft?

Eure Aufgaben:

- Recherchiert im Internet zu Eurem Thema.
- Diskutiert in der Gruppe die wichtigen Punkte.
- Gestaltet ein Plakat mit Euren Ergebnissen.

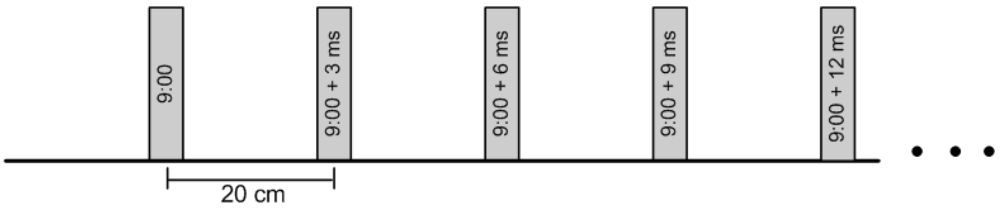
Gruppe 4: Die Position der Satelliten

Eure Aufgaben:

- Baut das Experiment nach beiliegender Anleitung auf.
- Führt es in Eurer Gruppe durch.
- Besprecht, wie Ihr am besten Eure Kolleginnen und Kollegen anleiten könnt.
- Gestaltet ein Plakat zu Eurem Experiment.

Experiment: Position der vier Satelliten

- Schneidet vier Schnüre von ca. 6 m Länge ab.
- Klebt an jede Schnur alle 20 cm einen Klebstreifen.
- Beschriftet diese Klebstreifen der Reihe nach mit einer Uhrzeit plus jeweils 3 ms mehr pro Kleber (ms = Millisekunden, also 1/1000 s). Die Uhrzeit dürft Ihr frei wählen, es muss aber auf allen Klebern immer die gleiche sein, z.B. 9:00. Der Anfang einer Schnur könnte also z.B. so aussehen:



- Bastelt aus Zündholzschachteln vier kleine Satelliten und verziert diese mit kleinen Sonnensegeln aus Papier oder Alufolie.
- An jeden „Zündholzschachtel-Satelliten“ klebt Ihr nun eine der vier Schnüre mit den Zeitklebern; der Kleber mit der grössten Zeit (z.B. 9:00 + 90 ms) muss am nächsten beim Satelliten sein.
- Die Kleber auf den Schnüren zeigen nun an, wann der Satellit diese Information ausgesendet hat.
- Knüpft die Satelliten an vier verschiedenen Stellen an der Decke auf, dies sind die Positionen der Satelliten
- Nehmt die etwas grössere Schachtel, schneidet in Deckel und Boden jeweils ein Loch, so dass ihr die Schnüre mit den Klebern durchfädeln könnt (noch nicht ausführen). Diese Schachtel stellt den Empfänger dar (also das GPS-Gerät).
- Fädelt zunächst eine der Schnüre mit den Klebern durch den Karton und zieht sie so weit nach unten durch, dass sie straff gespannt ist. Nun könnt ihr auf dem Kleber das Zeitsignal ablesen, zu der es vom Satelliten ausgesendet wurde.
- Daraus und aus der aktuellen Zeit (z.B. 9:00 + 60 ms) ist der Abstand zum Satelliten bestimmt: Je länger es her ist, dass das Zeitsignal ausgesendet wurde, also je früher die Zeitangabe ist, umso weiter weg ist der Empfänger vom Satelliten (z.B. ist das Signal „9:00 + 3 ms“ schon wesentlich länger unterwegs als das Signal „9:00 + 48 ms“).
- Soll die Schnur straff gespannt bleiben, kann man sich mit dem Empfänger auf einer Kugeloberfläche um den Satelliten bewegen und hat immer noch das gleiche Zeitsignal.

- Nehmt eine zweite Schnur von einem anderen Satelliten hinzu und lest auch dieses Zeitsignal ab. Haltet Ihr nun beide Schnüre straff, könnt Ihr Euch schon nicht mehr so frei im Raum bewegen. Genau genommen könnt Ihr Euch nur noch auf einer Kreisbahn bewegen.
- Wenn Ihr noch den dritten Satellit dazu nehmt, kommt nur noch ein Punkt in Frage: die aktuelle Position. Streng genommen sind es genau zwei Punkte, die in Frage kommen: die aktuelle Position und ein Punkt im Weltraum (also über der Zimmerdecke).
- Damit wäre der Ort schon genau bestimmt. Wozu also die vierte Schnur?
- Die vierte Schnur dient der Kontrollmessung, weil der Empfänger eine normale Quarzuhr enthält. Diese Kontrolle liefert ein Ergebnis, das von den anderen drei Satelliten abweicht. Der Computer im Navigationsgerät erkennt diese Abweichung und weiss, dass bei Verwendung der korrekten Zeit die Ergebnisse aller vier Messungen sich in einem Punkt schneiden würden. Er berechnet also jenen eindeutigen Korrekturfaktor, bei dessen Anwendung alle Messungen einen einzigen Schnittpunkt ergeben. Dies ist die Zeit der Atomuhren in den Satelliten. Der Empfänger stellt seine Uhr nun auf diese Zeit ein. Und schon bietet Euch dieses kleine Gerät auf dem Armaturenbrett die Genauigkeit einer Atomuhr.

NATURWISSENSCHAFT UND TECHNIK

Globales Positionierungssystem (GPS)

Suche die Punkte im Freien auf und lies die Koordinaten ab.

Koordinaten:

650 680 / 225 346 _____

Koordinaten:

650 683 / 225 368 _____

Koordinaten:

650 659 / 225 383 _____

Koordinaten:

650 682 / 225 386 _____