

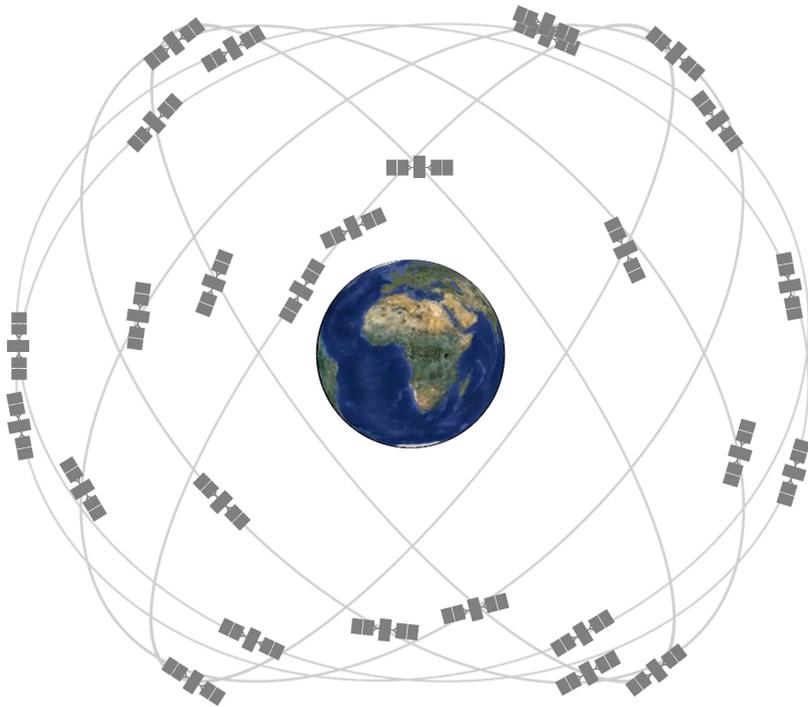


Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG



Laborbuch von

Unsere Erde in einem Netz von GPS-Satelliten



1 GPS - Was ist das?

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

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

1.1 Wo kommt es her?

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

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

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

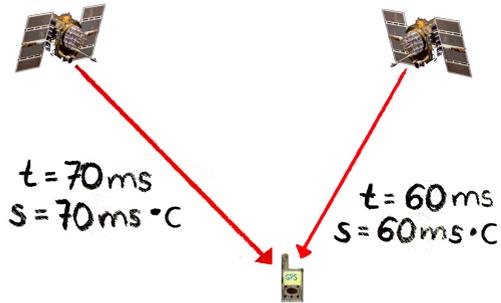
1.2 Wie funktioniert es?

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

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

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

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



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

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

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

2 Die Satelliten

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

dertstel Sekunden.

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

3 Das Signal und die Lichtgeschwindigkeit

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

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

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

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

¹ 10^8 ist eine andere Schreibweise für $10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10$ also für 100 000 000. Die Lichtgeschwindigkeit beträgt also $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$.

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

4 Was die Lichtgeschwindigkeit mit einer Strecke zu tun hat

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

5 Geschwindigkeitsberechnungen

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

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

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

$$s = v \cdot t$$

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

Bei unserem GPS kennen wir die Laufzeit $t = 70 \text{ ms} = 0,07 \text{ s}$ und die Geschwindigkeit $c = 300\,000\,000 \text{ m/s}$. Also ist der Abstand zwischen dem Satelliten und unserem GPS-Gerät:

$$s = v \cdot t$$

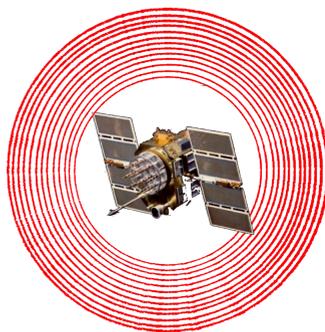
$$= 299\,792\,458 \text{ m/s} \cdot 0,07 \text{ s}$$

$$= 20\,985\,472 \text{ m}$$

$$= 20\,985,472 \text{ km}.$$

Die Entfernung zwischen dem Satelliten und unserem GPS-Gerät ist in diesem Fall also etwa 20 985 km. Das ist ungefähr die Entfernung, die auch in Kapitel 2 über die Satelliten genannt wird, also ungefähr 20 000 km. Dass die Zahlen nicht genau gleich sind, hängt damit zusammen, dass das Signal eigentlich nicht $t = 70 \text{ ms}$ braucht sondern eher $t = 66,6 \text{ ms}$ braucht. Außerdem kommt es auf die konkrete Position des Satelliten an: mal ist er etwas weiter von unserem GPS-Gerät entfernt (dann braucht das Signal länger), mal ist er etwas näher (dann braucht das Signal kürzer).

Der Satellit sendet das Signal aber nicht nur zu unserem Empfänger, sondern so, dass auch andere Menschen es nutzen können. Der Satellit gibt sein Signal in alle Richtungen ab; so, dass sich das Signal wie eine Kugel ausbreiten kann. Wie genau kann man sich das vorstellen? Schaut Euch dazu am besten mal das Bild nebenan an.²

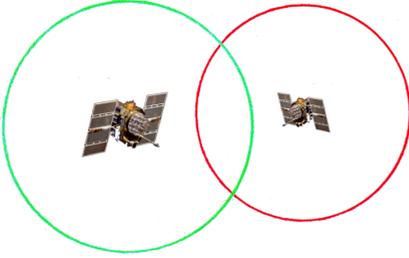


Könnten wir das Signal direkt mit unserem Auge sehen, so würden wir also eine gewisse Zeit nachdem der Satellit das Signal ausgesendet hat, eine Kugeloberfläche in einer gewissen Entfernung von dem Satelliten sehen. In der Mitte dieser Kugel ist unser Satellit. Wenn wir nur dieses eine Signal von diesem einen Satelliten empfangen, so wissen wir, dass wir irgendwo auf einer bestimmten Kugeloberfläche sind.

6 Und wo sind wir jetzt genau?

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

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



Am einfachsten kann man diese Punkte finden, wenn wir mit einem Zirkel Kreise um den Satelliten zeichnen und dann schauen, wo sich beide Kreise schneiden. Wie ihr in der Abbildung seht, ist immer noch nicht eindeutig

klar, wo wir genau sind, es gibt zwei Schnittpunkte, also auch zwei mögliche Punkte an denen wir sein könnten. Wir brauchen also noch einen dritten Satelliten und müssen auch zu diesem wieder die Entfernung berechnen.

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

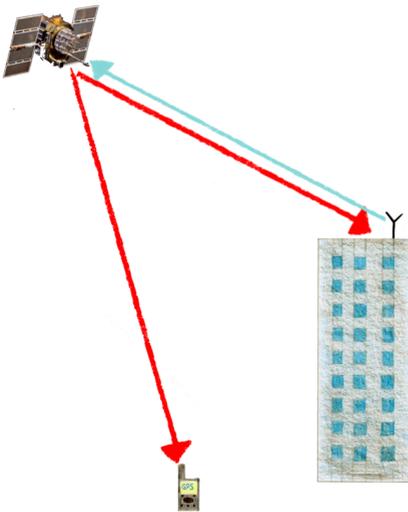
7 Nochmal alles im Überblick

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

8 Zusatzinformationen: Noch einige Details für die technische Umsetzung

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

Woher kennen die Satelliten ihre genaue Position? – Die Kontrollstationen



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

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

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

Signallänge

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

Wie groß ist die Laufzeit des Signals? – Genaue Uhren

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

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

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

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

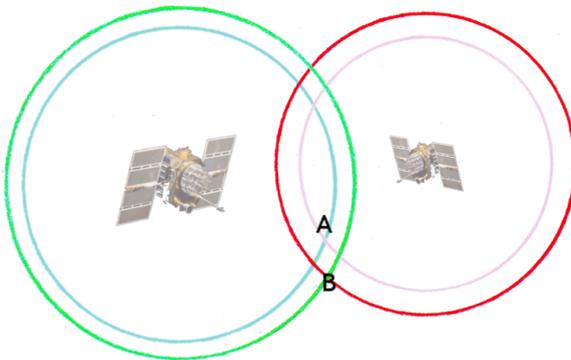
Heute nutzt man deswegen statt der periodischen Wiederkehr des Sonnenhöchststandes ein anderes periodisches Ereignis, dass präziser und unabhängiger von äußeren Faktoren ist. Diese Zeitmessung hängt mit einem Vorgang im Atom zusammen und daher heißen Uhren, die damit arbeiten Atomuhren. Dieser periodische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

der Sonne nicht schaffen!

Zurück zur Satellitennavigation: Nur wenn wir auf allen Satelliten diese exakten Uhren und damit diese genaue Zeitmessung haben, können wir auch die Strecke zwischen den Satelliten und dem GPS-Empfänger genau bestimmen. Und erst dadurch können wir genau bestimmen, wo sich der Empfänger befindet. Momentan kann man mit den üblichen GPS-Geräten eine Genauigkeit von ungefähr 10 m erreichen. Das ist schon ziemlich gut, wenn man sich vorstellt, dass die Satelliten etwa 20 000 km von dem GPS-Empfänger entfernt sind.

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

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



Also ist die Laufzeit für *alle* Signale entweder etwas zu groß oder zu klein. Deswegen spricht man auch von Pseudolaufzeit.

Gehen wir davon aus, dass die

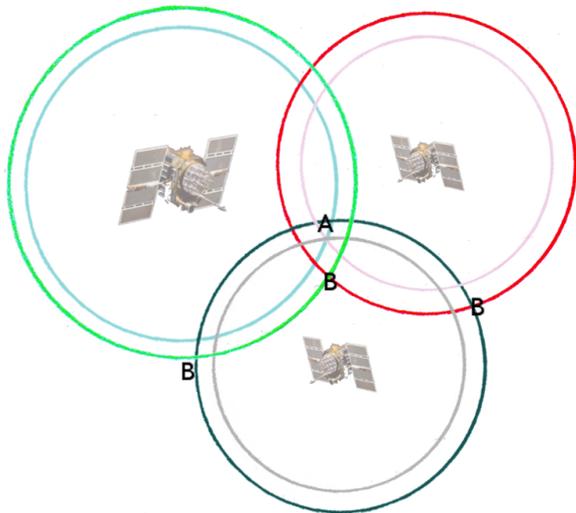
Uhr im GPS-Empfänger vorgeht, so ist die Pseudolaufzeit, also die Laufzeit, die das GPS-Gerät ausrechnet, länger als die tatsächlich Laufzeit.

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

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

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

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



aus. Sie geht aber vor und das fällt nun sofort auf: Es gibt keinen Punkt, an dem sich die Signale aller drei Satelliten gleichzeitig treffen. Es gibt drei verschiedene Punkte **B**, an denen sich aber jeweils nur zwei der Satellitensignale gleichzeitig treffen. Nun kann man die Uhrzeit im GPS-Gerät solange „verschieben“, bis sich alle Satellitensignale gleichzeitig treffen. Diese neue, verschobene Zeit im GPS-Gerät stimmt dann mit der Zeit der Satelliten überein und das Gerät kann jetzt die richtige Laufzeit und damit die richtigen Strecken zu den Satelliten berechnen. Schlussendlich kann es so auch die richtige Position bestimmen.

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

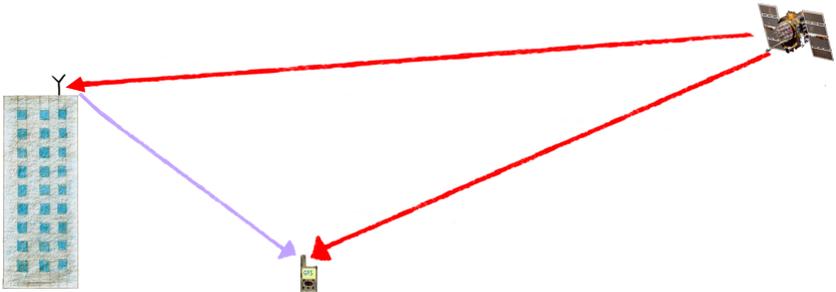
Was könnte einen Einfluss auf die Signale haben und sie stören? – Die Atmosphäre

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

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

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

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



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

Was beeinflusst die Signale noch? – Die Reflexion

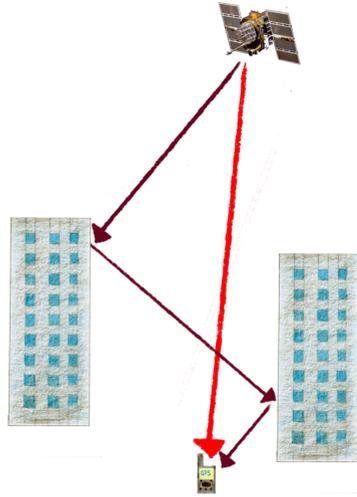
Eine andere Fehlerquelle ist die, dass das Signal den GPS-Empfänger nicht unbedingt auf direktem Weg erreicht. Die

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

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

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

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



9 Fazit

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

Zum Weiter- und Nachlesen

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

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

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

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

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

Universität Hamburg
Light & Schools: www.lightandschools.de
Ausarbeitung im Rahmen der Bachelorarbeit:
Lena Sternberg: [lena.sternberg@physik.uni-hamburg.de](mailto:lana.sternberg@physik.uni-hamburg.de)
Betreuung: Dortje Schirok: dortje.schirok@uni-hamburg.de