space 2school IT'S ALL!

Mit Praxisteil:
Abenteuer Navigation

Navigation – Wie wir uns mit und ohne Satelliten in der Welt zurecht finden

Lehrmaterial
Sekundarstufe I

DLR

Klett MINT

Bildnachweise

3D Reality Maps: 78 oben; AdobeStock: 76 oben (Teile) und unten; DLR: 3, 4 rechts, 19 unten rechts, 40 oben, 45, 58 rechts, 68 unten, 70 unten, 74 oben; Dreamstime/stokkete: 29; ESA: 4 unten, 19 unten, 43, 49, 50, 56 (© ESA–Pierre Carril), 57 oben, 58 oben, 63, 67, 75 Mitte; Fotolia/Mikhail Leonov: 48; Google Earth: 33 unten, 71 oben (mit Änderungen!); Google Maps: 79; GSA: 19 unten links, 58 links, 59 oben, 60, 62 unten; iStock: 4 links, 5 links, 34 oben, 37, 40 unten, 47 oben, 52, 57 unten, 61, 71 unten, 71 oben (Teile), 76 oben (Teile), 77; kepler.global: 75 oben; NASA: 41, 75 unten; OpenStreetMap: 59 unten; picture alliance: 80; Pixabay: 28, 65 (mit Änderungen!), 71 oben (Teile), 78 unten; PTB Braunschweig: 44 unten; Tobias Schüttler: 19 Mitte, 53, 62 oben; Volocopter: 5 rechts, 69; VW: 70 oben; Wikimedia: 11 links (mit Änderungen!), 12, 31, 32, 33 oben, 34 unten, 36, 38 oben, 42 unten, 46 unten, 55, 73; Petra Wöhner: 39 unten; Daniel Zimbelius: 13, 38 Mitte und unten

Trotz unserer Bemühungen ist es uns nicht in jedem Fall gelungen, den Rechteinhaber um Abdruckerlaubnis zu bitten oder zu ermitteln. Sollten Sie Rechte an einem der abgedruckten Bilder geltend machen können, bitten wir Sie, mit uns Kontakt aufzunehmen (p.woehner@klett-mint.de).

Impressum

1. Auflage Mai 2021

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Hinweis § 52 a UrhG: Weder das Werk, noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Fotomechanische oder andere Wiedergabeverfahren nur mit Genehmigung des Verlages.

Auf verschiedenen Seiten dieses Heftes befinden sich Verweise (Links) auf Internetadressen. Haftungsnotiz: Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle wird die Haftung für die Inhalte der externen Seiten ausgeschlossen. Für den Inhalt dieser externen Seiten sind ausschließlich die Betreiber verantwortlich. Sollten Sie daher auf kostenpflichtige, illegale oder anstößige Seiten treffen, so bedauern wir dies ausdrücklich und bitten Sie, uns umgehend per E-Mail (p.woehner@klett-mint.de) davon in Kenntnis zu setzen, damit bei Nachdruck der Nachweis gelöscht wird.

Herausgegeben vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.,
Deutsche Raumfahrtagentur im DLR, Königswinterer Straße 522-524, 53227 Bonn und Klett MINT GmbH.
© Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Deutsche Raumfahrtagentur im DLR,
Königswinterer Straße 522-524, 53227 Bonn und Klett MINT GmbH, Stuttgart

Autoren: Tobias Schüttler, München; Daniel Zimbelius, Reichenbach; Tobias Beck, Biberach; Prof. Dr. Stefan Kruse, Weingarten
Redaktion: Hanne Lier, Medienwerk Lier, Stuttgart
Beratung: Alexandra Herzog, Dr. Anett Ward, Deutsche Raumfahrtagentur, Bonn
Projektkoordination und Herstellung: Petra Wöhner, Klett MINT
Gestaltung: Bettina Herrmann, Stuttgart
Umschlag: CD Werbeagentur GmbH, Troisdorf
Illustrationen: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, Rimpar
Druck: M&E Druckhaus, Belm

Zugunsten einer leichteren Lesbarkeit wird in diesem Heft nicht immer ausdrücklich auch die weibliche Form genannt. Selbstverständlich sind aber immer weibliche und männliche Personen gemeint. Wir bitten für dieses Vorgehen um Ihr Verständnis.

Tobias Schüttler
Daniel Zimbelius
Tobias Beck
Prof. Dr. Stefan Kruse

Navigation

Physik – Technik – Mathematik – Informatik

Arbeitsblätter und Lehrerinformationen
für Sek I (Klassen 8 bis 10)

VORWORT

„Navigare necesse est“ soll der römische Feldherr Gnaeus Pomeius seinen Seeleuten entgegengedonnert haben, als diese sich weigerten, bei drohendem Sturm aus dem sicheren Hafen auszulaufen und weiter: „vivere non est necesse!“ Die Seefahrt also sei notwendig, das Leben (seiner Seeleute) jedoch nicht. Darüber denken wir heutzutage anders, das ist gut so, aber mit diesem überlieferten Spruch sind wir mitten drin im Geschehen und beim Thema dieses Heftes.

Der Ausspruch zeigt sofort die Herkunft des Wortes „Navigation“ und lässt uns dessen Notwendigkeit erahnen. Menschen müssen sich seit jeher in fremden Umgebungen orientieren. Seien es Seefahrende, Entdecker oder Weltreisende: Alle haben Mittel und Wege gesucht und gefunden, sich in einer fremden Welt zurechtzufinden. Uns geht es nicht anders, wenn wir unsere bekannte „Komfortzone“ verlassen. Im heutigen Sinne des Wortes Navigation gilt immer noch: Navigare necesse est.

Navigation ist heute alltäglich. Ganz selbstverständlich benutzen die meisten Menschen Navigationsgeräte und Smartphones, um sich zu orientieren. Egal, wo sie sich auf der Erde befinden und egal, ob sie zu Fuß, mit dem Zweirad oder auf vier Rädern, allein oder in Gruppen unterwegs sind: Apps zur Navigation gehören einfach dazu. Satelliten sind dabei essenziell. Sie helfen uns im täglichen Leben, meist ohne dass wir uns dessen bewusst sind.

Wir möchten Schülerinnen und Schüler, die ganz selbstverständlich unterschiedlichste smart devices nutzen, für die Einsatzmöglichkeiten unterschiedlicher Navigationsverfahren begeistern. So wird die Satellitennavigation ebenso wie auch die klassischen, nicht-elektronischen Verfahren und Technologien zum Navigieren dargestellt.

Dies ist der Anspruch dieses Arbeits- und Informationshefts, das in Kooperation mit Pädagogen entstanden ist. Sie arbeiten täglich mit Jugendlichen und wissen, wie man erklärt und nachhaltig Interesse weckt. Das Buch ist ganz bewusst keine Geschichte der Navigationstechniken und auch keine einseitige Darstellung satellitengestützter Navigation. Stattdessen soll es Lernenden und Interessierten einen grundlegenden Zugang zu unterschiedlichen Navigationsverfahren bieten – einfach, verständlich und faszinierend. Für Lehrkräfte bietet es vielfältige Anregungen, mit einfachen Mitteln fächerübergreifende Projekte durchzuführen und anwendungsbezogene Grundkenntnisse in Physik, Technik, Mathematik und Informatik zu vermitteln.

Als Deutsche Raumfahrtagentur im DLR möchten wir ein Bewusstsein für den Nutzen von Raumfahrttechnologien im Alltag schaffen. In der Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler bedeutet Navigation oft nur das „Navi“ für das Auto. In diesem Heft wird klar, wie vielfältig die Einsatzgebiete von Navigationsverfahren sind und wie sie unser tägliches Leben beeinflussen. Entdecken Sie mit Ihren Schülerinnen und Schülern, wie wir uns mit und ohne Satelliten zurechtfinden – im Weltall und auf unserer Erde.

Dr. Franziska Zeitler
Deutsche Raumfahrtagentur im DLR

Abteilungsleitung
Innovation und Neue Märkte

Wissenschaftliche Leitung der
Schul- und Jugendprojekte

Alexandra Herzog
Deutsche Raumfahrtagentur im DLR

Abteilung Innovation und Neue Märkte

Koordinatorin der Schul- und
Jugendprojekte

Dr. Anett Ward
Deutsche Raumfahrtagentur im DLR

Abteilung Navigation

Wissenschaftliche Mitarbeiterin

INHALTSVERZEICHNIS

Informationen für Lehrkräfte und Lösungen zu den Arbeitsblättern

Modul 1: Abenteuer Navigation 7

Modul 2: Navigieren ohne elektronische Hilfen 10

Modul 3: Navigieren mit himmlischen Helfern: Satellitennavigation 14

Modul 4: Galileo: das europäische Satellitennavigationssystem 18

Modul 5: Es geht noch genauer! 21

Modul 6: Projekte zur Navigation 24

Arbeitsblätter

Modul 1: Abenteuer Navigation

1 Abenteuer Navigation 28

Modul 2: Navigieren ohne elektronische Hilfen

2 Von der Kugel zur Karte 31
3 Ohne Smartphone auf der Erde orientieren 34
4 Mit Sternen auf der Erde orientieren 38

Modul 3: Navigieren mit himmlischen Helfern: Satellitennavigation

5 Ortung durch Messen von Abständen 41
6 Wie man Entfernungen berührungslos messen kann 43
7 Es funktioniert mit Funk: Satellitennavigation 45
8 Zentimetergenau im Weltall: Navigationssatelliten 49
9 Genauigkeiten beim Messen 52

Modul 4: Galileo: das europäische Satellitennavigationssystem

10 Die Galileo-Satelliten: Hightech made in Europe 55
11 Alles unter Kontrolle: das Galileo-Bodensegment 57
12 Wer braucht das denn: der Galileo-Nutzerkreis 59

Modul 5: Es geht noch genauer!

13 Galileo auf dem Bauernhof 63
14 Geisterjäger auf den Straßen 65
15 Genau im Blick: Wie Waren und Produkte verfolgt werden 67
16 Mithilfe von Sensoren navigieren 69

Modul 6: Projekte zur Navigation

17 Rollenspiel zur Satellitennavigation 71
18 Projekt: Satelliten umkreisen die Erde 74
19 Projekt: Mit Bluetooth verfolgen 76
20 Projekt: Tracking mit Navigationssatelliten 78

LEHRERSEITEN

Informationen für Lehrkräfte und Lösungen
zu den Arbeitsblättern

Modul 1:
Abenteuer Navigation 7

Modul 2:
Navigieren ohne elektronische Hilfen 10

Modul 3:
Navigieren mit himmlischen Helfern: Satellitennavigation ... 14

Modul 4:
Galileo: das europäische Satellitennavigationssystem 18

Modul 5:
Es geht noch genauer! 21

Modul 6:
Projekte zur Navigation 24

Die Arbeitsblätter finden Sie für alle Module ab Seite 28.

Modul 1 Abenteuer Navigation

Einführung in das Thema

Das vorliegende Arbeitsheft ist in sechs Module aufgeteilt:
- Abenteuer Navigation
- Navigieren ohne elektronische Hilfen
- Navigieren mit himmlischen Helfern: Satellitennavigation
- Galileo: das europäische Satellitennavigationssystem
- Es geht noch genauer!
- Projekte zur Navigation

Das Einstiegsmodul dient der Motivation: In einem schüleraktiven Ansatz erleben die Jugendlichen, welche Herausforderung es ist, in einem unbekannten Gebiet die eigene Position zu bestimmen und einen Weg zu finden. Die anschließenden Module spannen den Bogen von traditionellen Navigationsverfahren zu den Anwendungen eines Satellitennavigationssystems wie Galileo. Dabei geht es oft fächerübergreifend zu, mit Aufgaben zu Mathematik und Physik ebenso wie zu Erdkunde/Geographie und den klassischen Präsentationstechniken. Die Schülerinnen und Schüler (SuS) lernen alltagsnah und angewandt Grundlagen der Nachrichten- und Messtechnik genauso wie die vielfältigen Möglichkeiten zur Nutzung der Navigationssysteme. Ein Praxismodul mit einem Rollenspiel und unterschiedlichen Technikprojekten bietet Ideen für weitere Schüleraktivitäten und vertiefende Einheiten.

Infos zum Einstieg

Jeder hat schon einmal Erfahrungen mit moderner Navigation gesammelt, z. B. im Auto oder zu Fuß mit einem Smartphone. Die Grundlagen dahinter, die aufwendige Technik und die lange Geschichte der Navigation kennen allerdings nur die wenigsten. Über Jahrtausende war die Herausforderung, seine eigene Position zu kennen und einen geeigneten Weg zu finden, eine der größten Aufgaben, vor denen die Menschen standen. Sie entschied über Schicksale und oftmals über Leben und Tod.

Das Ziel des Einstiegsmoduls ist es, den SuS auch im Smartphone-Zeitalter diese Herausforderung begreifbar zu machen. Sie sollen die grundlegenden Fragen der Navigation selbst erleben und sich klar werden, dass die Bestimmung der eigenen Position, das Finden einer Orientierung und das Navigieren zu einem Punkt eine große Anstrengung bedeuten.

In unserem Alltag navigieren wir ständig – nicht nur wenn wir reisen, sondern auch in unserem engsten Umfeld. Wir „navigieren" problemlos in die Küche, um uns ein Glas zu holen, finden den Weg in den Keller oder in die Garage, weil wir mit offenen Augen durch die Welt gehen, das Gebiet gut kennen und im Kontakt mit anderen Menschen stehen. In unserem eigenen Umfeld – in unserer Komfortzone – wird die Herausforderung der Navigation erst dann erlebbar, wenn wir unsere Sinne und Austauschkanäle einschränken. Dann wird das Zurechtfinden zum Abenteuer. Genau dies steht als Spiel am Anfang dieses Arbeitsheftes.

Methodische Vorgehensweise

Benötigt wird für dieses Spiel neben dem eigenen Klassenzimmer ein weiteres, anderes Zimmer, das in der Unterrichtsstunde leer ist. Am besten funktioniert das Spiel, wenn eine Doppelstunde zur Verfügung steht und in diesem zweiten Raum die normale Anordnung der Tische und Stühle aufgehoben ist, d. h. wenn entweder vorher umgestellt oder zur Seite geräumt wurde, oder wenn es sich um einen Raum handelt, der normalerweise nicht für Unterricht genutzt wird (Stillarbeitsraum, Oberstufenraum, etc …).

Ablauf

Das Spiel ist in drei Phasen gegliedert: Vermessung, Kartierung und Schatzsuche. Eine optionale Abschlussrunde kann zur gemeinsamen Zusammenfassung, Ergebnissicherung und zum Aufräumen genutzt werden.

Vorbereitung

Der zweite Raum wird vor der Unterrichtsstunde gezielt in eine andere Ordnung gebracht, als es die SuS aus ihren Klassenzimmern gewohnt sind. Einige Inseln aus Tischen oder Stühlen sind sinnvoll, einige hochkant gestellte Tische oder umgedrehte Stühle lassen ein Klassenzimmer schnell anders erscheinen. Irgendwo in diesem Raum liegt oder hängt ein Schokoriegel (oder eine andere, nicht süße Kleinigkeit). Er muss sichtbar und nicht besonders aufwendig versteckt sein und bildet für das Spiel den „Schatz". Der Raum wird in Halbdunkel versetzt. Zu beachten ist, dass durch das Umstellen keine Gefährdungen geschaffen werden und das Zimmer nach den vorbereitenden Arbeiten nicht mehr von anderen SuS genutzt wird.

Start

Der Treffpunkt mit der Klasse ist das normale Klassenzimmer. Als Einstieg steht die Frage „Wie finden wir uns in einer unbekannten Welt zurecht – und zwar ohne Handy?" Anstelle einer Diskussion darüber werden die Smartphones der SuS in einer Box eingesammelt. Spätestens an dieser Stelle wird allen klar, dass eine ungewöhnliche Stunde bevorsteht.

Um den SuS einen Überblick über das Bevorstehende zu geben, teilen Sie Kopien von Arbeitsblatt 1 dieses Heftes aus.

Zunächst wird aus der Klasse ein Kind zum Späher bestimmt. Am besten wählt man hier einen Schüler aus, der in der Lage ist, seine Gedanken klar auszudrücken. Es ist auch möglich, ein Tandem als Spähergruppe auszuwählen.

1) Vermessung

Der Späher oder die Spähergruppe darf den unbekannten Raum nun drei Minuten lang betreten und sich die Lage der Möbel und die Position des Schatzes einprägen.

Während der Späher im anderen Klassenzimmer ist, wird der Rest der Klasse in Gruppen eingeteilt, die am besten jeweils 3-4 Personen umfassen.

2) Kartierung

Nachdem der Späher aus dem Schatzraum wieder ins Klassenzimmer zurückgekehrt ist, erhält er den Auftrag, dem Rest seiner Klasse die Lage des Schatzes in einigen Sätzen zu beschreiben.

Je nach Alter der SuS kann man diese Phase in verschiedenen Schwierigkeitsstufen gestalten.

- Stufe 1: Der Späher hat keine Einschränkung in den Wörtern, die er benutzen darf.
- Stufe 2: Folgende Wörter sind nicht erlaubt: Fenster, Tafel, Türe, Pult, Tisch, Wand, Decke, Stuhl.
- Stufe 3: Folgende Wörter sind zusätzlich nicht erlaubt: links, rechts, vorne, hinten, oben, unten.

Für seinen Bericht hat der Späher nur eine vorgegebene Zeit (maximal 5 Minuten) zur Verfügung. Am besten funktioniert diese Phase, wenn keine Zwischenfragen zugelassen sind. Je nach den sprachlichen Fähigkeiten des Spähers muss die Lehrkraft am Ende noch einmal gezielt nachfragen bzw. einige Fragen zulassen, um allen Beteiligten einen groben Überblick über die Situation im Schatzraum zu verschaffen.

Das Ziel dieser Phase ist die Verbalisierung von Lagebeziehungen, das Erkennen der Notwendigkeit einer möglichst genauen Positionsbestimmung sowie die Kommunikation darüber.

Im Anschluss an die Berichtsphase steht für die anderen Gruppen die Erstellung einer möglichst genauen „Schatzkarte" auf der Basis der Erzählungen des Spähers. Auch hierfür steht nur eine begrenzte Zeit zur Verfügung. In der Sekundarstufe 1 sind maximal 10 Minuten sinnvoll, jüngere Kinder brauchen dafür auch länger. Auch der oder die Späher erhalten die Aufgabe, eine Schatzkarte anzufertigen.

Das Ergebnis dieser Phase ist erfahrungsgemäß enorm unterschiedlich. Es gibt Karten, die bereits versuchen, mit Koordinaten und Längenmaßen möglichst genau zu arbeiten, andere versehen ihre Werke mit Fantasieinhalten. Bei einer Klassengröße von 30 SuS entstehen etwa 7 bis 8 Karten.

Ohne es zu wissen, spielen die Jugendlichen in dieser Phase tausende Jahre Navigationsgeschichte nach. Schließlich beruhten die ersten Karten, die erstellt wurden, ausschließlich auf Berichten von Seefahrern oder Kriegern, die nach deren Rückkehr von Zeichnern erstellt wurden.

An die Erstellung der Karten schließt sich eine Phase der gemeinsamen Diskussion an. In ihr werden im Plenum die einzelnen Schatzkarten vorgestellt und thematisiert, dass auf diese Weise die Menschen früher Karten erstellt und die gesamte Erde erforscht haben.

Es wird in dieser Phase schnell klar, dass für die Erstellung von Karten Lagebeziehungen, Koordinaten, Bezugspunkte, Dimensionen und relative Längen sinnvoll sind. Für viele Lacher sorgt in dieser Phase jedoch auch die Unterschiedlichkeit der Werke, die vorgestellt werden. Erkenntnisreich ist es, den Späher oder die Spähergruppe zum Abschluss der Phase kommentieren zu lassen, welche Karte die Lage des Schatzes am besten beschreibt. Auch ein Vergleich mit der eigenen Karte der Späher ist spannend. Je nach Fähigkeiten des Spähers wird hier nämlich deutlich, dass nicht zwangsläufig der Späher auch die beste Karte gezeichnet hat.

3) Schatzsuche

Jene Gruppe, die die übersichtlichste Karte gezeichnet hat, spielt die Schlussrunde. Sie wird ausgewählt, den Schatz tatsächlich zu suchen. Die Auswahl der Gruppe erfolgt entweder durch die Spähergruppe, die Lehrkraft oder wird per Abstimmung ermittelt. Hier spielt die Gruppendynamik der Klasse eine wichtige Rolle.

Die Schatzsuche selbst ist dann ein Erlebnis für alle – die Schatzsucher und den Rest der Klasse. Nötig ist dafür ein Notebook mit Kamera, das im Schatzraum aufgestellt und so ausgerichtet ist, dass möglichst viel des Zimmers im Blick ist, eine Internetverbindung und ein zweiter Rechner mit Projektionsmöglichkeit im Klassenzimmer.

Zwischen dem Rechner im Unterrichtsraum und dem Rechner im Schatzraum wird eine Videokonferenz gestartet und das Bild des Schatzraums in den Unterrichtsraum projiziert. Alle SuS bis auf die Gruppe der Schatzsucher dürfen den leeren Schatzraum sehen. Die Gruppe der Schatzsucher wird aufgeteilt in einen „Sucher" und „Navigatoren". Dem Sucher werden die Augen verbunden, die zwei oder drei Navigatoren aus der Gruppe müssen so stehen, dass sie die Übertragung aus dem Schatzzimmer nicht sehen können.

Nun wird der Schatzsucher zum Schatzraum geführt (am besten begleitet von einem anderen Schüler aus der Klasse, um Unfälle oder Tricksereien zu vermeiden) und in den Raum gelassen. Weil er die Augen verbunden hat, kann er nichts sehen, aber der Rest der Klasse sieht ihn. Als Verbindung zwischen dem Sucher und den Navigatoren dient ein Funkgerät oder eine Handyverbindung, sodass Navigatoren und Sucher miteinander sprechen können und der Rest der Klasse das Gespräch mithören kann.

Das Finale ist spannend für alle Beteiligten. Die Suchgruppe bekommt eine Zeitvorgabe, in der der Schatz gefunden sein muss, sinnvoll sind hier drei Minuten. Die Navigatoren müssen auf der Basis der gezeichneten Karte, die sie vor sich haben, dem blinden Sucher mündlich Anweisungen geben, in welcher Richtung er steuern soll. Niemand aus der Suchgruppe sieht jedoch, wie es wirklich im Schatzraum aussieht, die Bewegung des Suchers können nur die anderen Mitschüler über die Projektion verfolgen. Wenn die Suchgruppe es schafft, den Schatz in der vorgegebenen Zeit zu finden, sollte sie natürlich einen Preis erhalten.

Egal, ob der Schatz gefunden wird oder nicht – in dieser Phase wird für alle erlebbar, was man zu einer gelungenen Navigation braucht:
- Eine möglichst genaue Karte,
- eine möglichst genaue Positionsangabe (die der Sucher an die Navigatoren rückmeldet) und
- eine möglichst präzise Anweisung für die einzelnen Schritte.

Das Ende von „Abenteuer Navigation"

Nachdem der Sucher ins Klassenzimmer zurückgekehrt und die Aufregung sich gelegt hat, lassen sich die drei oben genannten Punkte als Ergebnissicherung thematisieren. Bewährt hat sich auch die Idee, mit der ganzen Klasse anschließend in den Schatzraum zu gehen und den Gruppen den Arbeitsauftrag zu geben, ihre eigenen Karten mit der Situation im Raum zu vergleichen. Möglich ist dann eine Hausaufgabe, in der drei Verbesserungsvorschläge für die Karten notiert werden sollen. Und sinnvoll ist zum Schluss ein gemeinsames Aufräumen des Schatzraums, sodass danach ein normales Klassenzimmer wieder hergestellt ist.

Alternative bei fehlender Medienausstattung

Nicht alle Schulen verfügen über die technische Ausstattung, um eine Live-Übertragung zwischen zwei Klassenzimmern zu starten. In diesem Fall ist eine Alternative ohne Schatzsuche möglich, indem man nach der Vorstellung der Schatzkarten mit der ganzen Klasse in den Schatzraum geht. Jede Gruppe erhält die Schatzkarte einer anderen Gruppe und soll die Frage beantworten: Welche Probleme bestehen dabei, mit dieser Karte den Schatz zu finden? Nach fünf Minuten Gespräch stellen die Gruppen ihre Ergebnisse kurz im Plenum vor. Wieder diskutieren sie dabei intensiv über Navigation und Dinge, die man benötigt, um sich zurechtzufinden – und sind mit ihren eigenen Lösungen ein wichtiger Teil des fachlichen Lernprozesses.

Ausblick von „Abenteuer Navigation"

Das Spiel wird den SuS für den Rest der Einheit in Erinnerung bleiben. Und so kann an vielen Stellen, an denen es mathematisch und technisch wird, sehr einfach auf die Schatzsuche zurückgegriffen werden: Bei der Bestimmung der Position über Fixsterne kann man sich klar machen, dass die Sichtwinkel vom Schatz zu bestimmten Punkten an der Decke eindeutig sind. Aber auch das Grundprinzip der Satellitenortung lässt sich mit dem Schatzraum anschaulich machen – dass man Signale von mindestens vier Satelliten benötigt, um die Position des Schatzes eindeutig zu bestimmen.

MEDIEN

Für die Übertragung der Schatzsuche bieten sich verschiedene, kostenlose Apps zu Videokonferenzen aus dem Internet an, zum Beispiel alphaview, Jitsi, BigBlueButton oder viele andere.

Modul 2 Navigieren ohne elektronische Hilfen

Einführung in das Thema

Smartphones und Navigationssysteme sind wohl die technischen Neuerungen der letzten 20 Jahre, die den Alltag in gewisser Form revolutioniert haben. Jüngere Generationen orientieren sich so gut wie gar nicht mehr anhand von Karten oder erstellen Anfahrtspläne für private Partys. Dass diese Fertigkeiten aber wichtig bleiben und immer noch zum Ziel führen (nicht nur wenn der Akku leer ist), soll dieses Modul zeigen.

Geboten wird eine Einführung in das Lesen von Landkarten. Gleichzeitig wird erklärt, wie man sich mit analogen oder naturgegebenen Hilfsmitteln orientieren kann. Der Blick weg vom Display hin zur Umgebung soll geschärft werden. Außerdem wird das Erlebnis, einen klaren Nachthimmel genauer anzuschauen, gefördert.

Methodische Vorgehensweise

Die Inhalte dieses Moduls kann man sehr gut in verschiedene Fächer als Ergänzung oder Erweiterung einbinden. Gerade in Mathematik (Koordinatensysteme) oder Geographie (Arbeiten mit einem Atlas) lässt sich Arbeitsblatt 2 von leistungsstarken SuS als Vertiefung bearbeiten. Aufgabe 3 des Arbeitsblattes 2 sollte eher in Gruppenarbeit gelöst werden.

Arbeitsblatt 3 passt in handlungsorientierten Unterricht, vor allem, wenn Sie entsprechende Geräte (z. B. Sextant) zur Verfügung stellen können. Dieses Arbeitsblatt ist auch als Anstoß zu einer Diskussion über die Digitalisierung unseres Alltags durch diverse elektronische Hilfsmittel nutzbar.

Die Arbeitsblätter können unabhängig voneinander verwendet werden. Bewährt hat sich jedoch, Arbeitsblatt 4 erst nach Behandlung von Arbeitsblatt 3 einzusetzen.

Infos zu den Arbeitsblättern

Arbeitsblatt 2 zeigt auf, welche Schwierigkeiten und Probleme eine Projektion von 3D auf 2D mit sich bringt. Hinweis: Die Thematik der Kugelkoordinaten wird dabei nicht vertieft. Für die Bearbeitung von Aufgabe 4 sind mehrere Globen hilfreich, um den Übertrag von der Erdkugel auf die Karte besser nachvollziehen zu können.

Arbeitsblatt 3 thematisiert den Umgang mit Kompass, Karte und Sextant sowie die vielen Möglichkeiten, sich mithilfe der Natur zu orientieren. Hinweis: Für die Aufgabe 1d) kann man ggf. Kompasse aus der Lehrmittelsammlung (Elektrostatik) verwenden. Aufgabe 3 lässt sich gut frontal zeigen, da immer weniger Schülerinnen und Schüler (SuS) eine analoge Armbanduhr tragen.

In **Arbeitsblatt 4** geht es um die Orientierung mithilfe des Sternenhimmels. Es wird der Umgang mit einer Sternkarte geklärt und auch, wie man den Mond verwenden kann, um sich grob zu orientieren. Hinweis: Die Anschaffung von drehbaren Sternkarten kann sich lohnen, wenn dieses Arbeitsblatt mehrmals verwendet wird.

MEDIEN

Über die Internetseite www.openstreetmap.org kann man kostenlos sehr gute lokale Karten ausdrucken und den SuS zur Verfügung stellen (Arbeitsblatt 2).

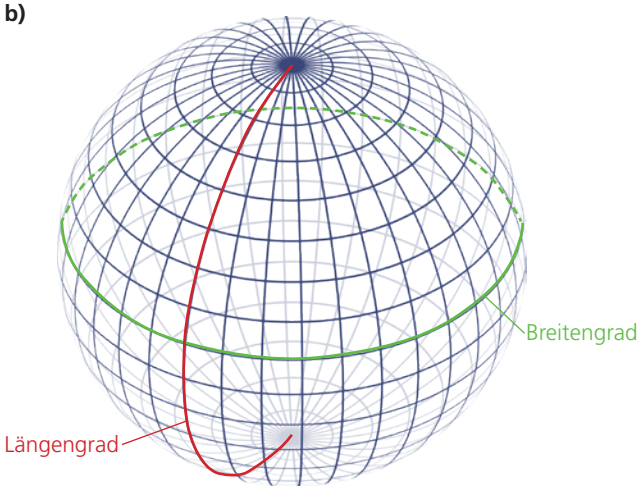
In Arbeitsblatt 4 wird die Software „Stellarium“ benannt. Diese ist kostenlos und für alle Computersysteme sowie mobile Endgeräte verfügbar. Nach der Installation sehen Sie im unteren Bereich des Bildschirms Schaltflächengruppen, mit denen Sie die Ansicht ändern können, indem Sie z. B. Konstellationen ein- und ausschalten oder Koordinatensysteme einblenden. Jede Einstellung lässt sich auch über einen Hotkey aktivieren. Auf der Homepage von Stellarium finden Sie Hilfeseiten, eine kurze Übersicht über die wichtigsten Einstellmöglichkeiten stehen auch auf www.space2school.de/polaris

Im Internet findet man drehbare Sternkarten, die man für den jeweiligen Standort programmieren kann, wie z. B. von Michael Uhlemann. Fügt man die lokalen Koordinaten ein, erhält man eine individuelle Sternkarte.

2 Von der Kugel zur Karte

1. a) dimetrische Ansicht: *Vorteile:* realistischeres Aussehen; *Nachteile:* Objekt wird leicht schräg abgebildet
isometrische Ansicht: *Vorteile:* alle Maße im gleichen Maßstab; *Nachteile:* unnatürliche Darstellung
Kabinettansicht: *Vorteile:* naturgetreue Darstellung; *Nachteile:* die räumliche Tiefe hat einen anderen Maßstab
b) Schülerindividuelle Lösungen.
c) M 1:25 → 1 cm in der Skizze = 25 cm in der Realität
$\frac{35\text{ cm}}{25}$ = 1,4 cm Länge in der Skizze

2. a) 360 Längengrade verlaufen in Nord-Süd-Richtung von Pol zu Pol. Breitengrade verlaufen parallel zum Äquator: je 180 Breitengrade für die nördliche und für die südliche Hemisphäre.
b)



c) Nullmeridian ist der „nullte" Längengrad, von dem in Richtung Westen oder Osten gezählt wird. Er verläuft durch Greenwich, einen Stadtteil Londons. Der Nullmeridian wurde willkürlich festgelegt, die Wahl im 19. Jahrhundert hatte politische Gründe.
d) Schülerindividuelle Lösungen. – Im Längengrad steckt die Info, wie weit der Ort östlich oder westlich vom Nullmeridian liegt. Durch den Breitengrad erfährt man, wie weit nördlich oder südlich vom Äquator der Ort liegt.
e) Die Längengradangabe bedeutet den fast gleichen täglichen Sonnenstand auf der Erde und gibt somit die gleiche Zeitzone an.
f) Die Oberfläche ist gekrümmt, somit ist eine korrekte Entfernungsangabe ein Kreisbogen und keine gerade Linie. Kreisbögen werden über Winkelangaben definiert.

3. a) Die Schale bekommt Risse, sie wölbt sich; man kann sie nicht genau flach ausbreiten.
b) Nur Bereiche in der Nähe des Äquators werden korrekt dargestellt. Je weiter entfernt man vom Äquator ist, desto verzerrter wird die Projektion.
c) Schülerindividuelle Lösungen. *Musterlösung:*

Projektionsart	Vorteile	Nachteile
Zylinderprojektion	Kommt im Alltag oft vor	Besonders starke Verzerrung
Kegelprojektion	Optimal für einzelne Länder	Weltkarten extrem ungewöhnlich
Azimutale Projektion	Meist sehr längentreu	Geht nicht als Weltkarte
Polyedrische Projektion	Wenige Verzerrungen	Ungewöhnliche Form

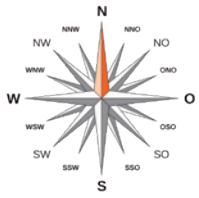
d) Schülerindividuelle Lösungen. Meist handelt es sich um eine vermittelnde Karte, einen Kompromiss aus allen drei Eigenschaften.

4. a) Die Linien sind auf der Karte nicht mehr gerade, sondern gebogen. Die Nord-Süd-Linie ist noch größtenteils gerade, aber vor allem die Ost-West-Linie ist ein Bogen und keine Linie mehr. Der Grund liegt in dem Fehler der Kartenprojektion.
b)

c) Schülerindividuelle Lösungen.

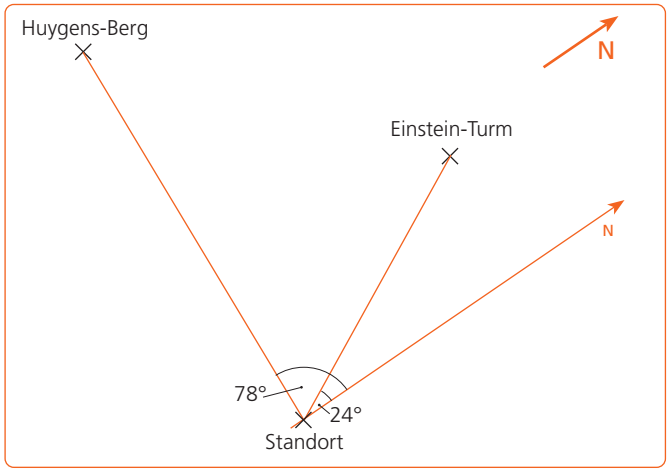
3 Ohne Smartphone auf der Erde orientieren

1. a) Die Metallnadel orientiert sich am Erdmagnetfeld und zeigt dadurch in Nord-Süd-Richtung.



b) Das Erdmagnetfeld ist nicht überall konstant; lokale Gesteine oder viel Metall in der Nähe können den Kompass stark ablenken; er zeigt nicht den geographischen, sondern den magnetischen Nordpol an.
Die technische Alternative ist der Kreiselkompass.
c) Karte einnorden, Standort bestimmen, Marschrichtung bestimmen, Marschrichtung in die Natur übertragen.
d) Schülerindividuelle Lösungen.

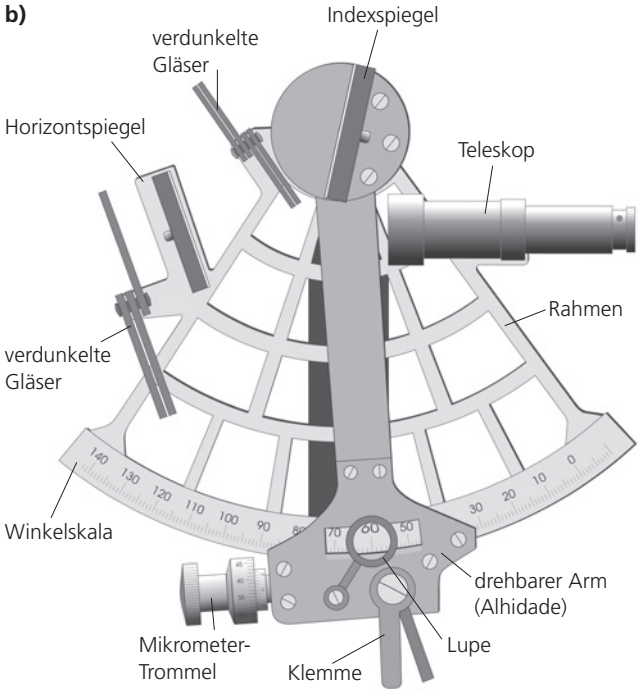
2. a)



b) – Man zieht eine lange Nord-Süd-Linie auf der Karte.
– Man zieht eine Linie vom ersten Punkt (Huygens-Berg) mit dem ersten gemessenen Winkel zw. der Nord-Süd-Linie und dem ersten Punkt.
– Das gleiche macht man mit dem zweiten Punkt und dem gemessenen Winkel.
– Wo sich die zwei Linien schneiden, befindet sich der Beobachtungspunkt (Standort).

3. a) Morgens steht die Sonne im Osten, mittags im Süden, abends im Westen.
b) (1) Lege die Uhr auf deine Hand und richte sie so aus, dass der Stundenzeiger auf die Sonne zeigt.
(2) Ziehe eine gedachte Linie beim halben Winkel zwischen dem Stundenzeiger und 12 Uhr auf dem Ziffernblatt.
(3) Die gedachte Linie zeigt nach Süden.
c) (1) Sommer- oder Winterzeit? – (2) Die MEZ ist eine Zeitzone, in der die Sonne nicht überall exakt um 12 Uhr mittags am höchsten Punkt steht.

4. a) Schülerindividuelle Lösungen.
b)



c) Je nach Jahreszeit steht die Sonne mittags über dem Äquator zwischen 66,5° und 90° über dem Beobachter und an den Polen zwischen 0° und 23,5° (wegen der Neigung der Erdachse). In der Polarnacht ist sie dort den ganzen Tag über nicht zu sehen.
d) Man erhält den Breitengrad des Ortes, an dem man sich befindet.
e) Die Erde dreht sich in 24 h einmal um die eigene Achse, d. h. pro 1° vergehen 4 min. Ist man 4 h 56 min von Greenwich entfernt, ergeben sich: 296 min/4 min = 74 Grad öst. oder west. Länge.
→ New York City liegt bei 74 Grad west. Länge.

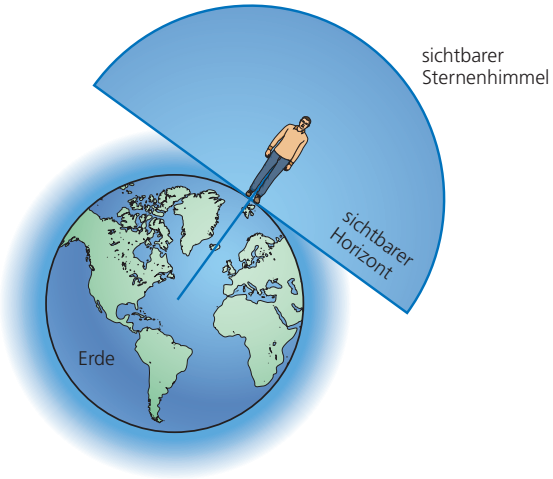
5. a) Moos an Bäumen oder rissige Rinde der Bäume in westlicher Richtung (bei uns die „Hauptwetterrichtung" mit Regen); die Bäume wachsen eher in östliche Richtung (wegen Wetterseite Westen); Blätter einer Pflanze sind auf der Südseite dichter und größer (wegen größerer Sonneneinstrahlung) …
b) Mit zunehmender Höhe nimmt der Luftdruck exponentiell ab. Auf 0 m NN („Normalnull" = Höhe über dem Meeresspiegel) liegt der Luftdruck bei etwa 1 bar. Entsprechend nimmt er mit steigender Höhe ab. Wenn man den aktuellen Luftdruck kennt, kann man die Höhe bestimmen, auf der man sich befindet.

6. a) Schülerindividuelle Lösungen.
b) Schülerindividuelle Lösungen; *Musterlösung:* Schmetterlinge, Schildkröten, Fische, Salamander, Hunde, Füchse, Krebse, Insekten …

4 Mit Sternen auf der Erde orientieren

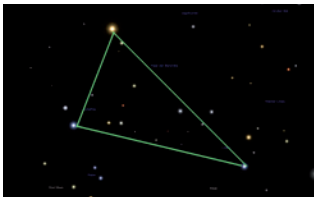
1. a) (1) Kassiopeia, (2) Kreuz des Südens, (3) Orion, (4) Großer Bär/Wagen
b) Ein Stern scheint still zu stehen. Er muss exakt über der Rotationsachse der Erde stehen. Dort ist Norden. Der Stern ist der Polarstern.
c) Der Winkel zwischen Horizont und Polarstern gibt die nördliche Breite des Standortes an.
d) Verbindet man die beiden hinteren Sterne des großen Wagens und verlängert diese Strecke in die Richtung des Sternbildes Kassiopeia, so gelangt man nach ca. 5-fachem Abstand zum Polarstern.
e) Mit dem Kreuz des Südens kann man die Richtung „Süden" relativ genau finden.

2. a) Da eine Sternkarte den Himmel über dem Ort darstellt, zeigt sie nur die 180° der tangentialen Scheibe oberhalb dieses Ortes.

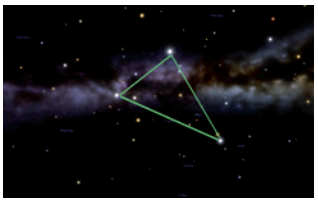


b) Schülerindividuelle Lösungen.
c) Sternkonstellationen und wichtigste Sterne:

Frühlingsdreieck:
Regulus im Löwen, Spica in der Jungfrau und Arktur im Bärenhüter



Sommerdreieck:
Vega in der Leier, Deneb im Schwan und Altair im Adler



Herbstviereck:
drei Sterne des Sternbilds Pegasus sowie Sirrah im oberen linken Eck (Andromeda)

Wintersechseck:
Sirius im großen Hund, Prokyon im kleinen Hund, Pollux in den Zwillingen, Capella im Fuhrmann, Aldebaran im Stier und Rigel im Orion

3. a)

Äquator
Süddeutschland
Nordpol

Siehe auch www.space2school.de/sternwarte
b) Die „Linie" des Halbmondes als Verlängerung zeigt nach Süden und der Winkel zwischen Horizont und Tag-Nacht-Linie der Mondphase gibt die geographische Breite an.
c) Die relative Größe wird als Bruch mit dem Nenner 12 angegeben, z. B. 6/12 beim Halbmond. Merken muss man sich den Zähler.
Bei abnehmendem Mond wird der Zähler zur aktuellen Uhrzeit (ggf. auf Winterzeit umrechnen) hinzugezählt, bei zunehmendem Mond abgezogen.
Die berechnete Uhrzeit stellt die Uhrzeit dar, zu der die Sonne die aktuelle Position des Mondes einnehmen würde. Nun kann man mit der Sonnenmethode (AB 3, Aufgabe 3) die Himmelsrichtungen festlegen.

Modul 3 Navigieren mit himmlischen Helfern: Satellitennavigation

Einführung in das Thema

In diesem Modul werden die Grundlagen der Positionsbestimmung mithilfe von Satelliten behandelt. Satellitennavigation basiert auf Grundideen, die auch aus einer übergeordneten Perspektive von Bedeutung sind. Dabei sind diese Konzepte erst einmal gar nicht so schwer zu verstehen – erst die technischen Details und insbesondere die Genauigkeitsanforderungen machen das Thema wirklich komplex. Neben mathematischen Aspekten und Prinzipien der digitalen Nachrichtentechnik sind vor allem physikalische Hintergründe erforderlich, um zu verstehen, wie Satellitennavigation funktioniert.

Jede Messung ist fehlerbehaftet. Allerdings sind die Genauigkeitsanforderungen nutzerspezifisch und daher sehr unterschiedlich. Während es beispielsweise bei einer Autofahrt nicht unbedingt wichtig ist, exakt auf einen Meter genau zu wissen, in welcher Höhe man sich befindet, sieht das bei einem Flugzeug im Landeanflug ganz anders aus. Die meisten Störfaktoren bei der Satellitennavigation können Nutzer nicht beeinflussen. Eine Kenntnis potenzieller Fehlerquellen hilft aber dabei, einschätzen zu können, welche Positionsgenauigkeit man erwarten kann.

Infos zu den Arbeitsblättern

Arbeitsblatt 5 behandelt ein eher mathematisches Thema: die Ortung durch Abstandsmessung. Anhand einfacher Konstruktionen und Rechnungen (Satz des Pythagoras) kann das Prinzip der Trilateration im zweidimensionalen Fall nachvollzogen werden.

Arbeitsblatt 6 erklärt die Entfernungsmessung durch Bestimmung von Signallaufzeiten. Das Prinzip wird an einem Smartphone-Experiment mit der App Phyphox anhand akustischer Signale verdeutlicht. Als sinnvolle Ergänzung könnte man zusätzlich die Schallgeschwindigkeit direkt messen. Dies gelingt mit ausreichender Genauigkeit auch als Schülerexperiment, beispielsweise mithilfe einer Startklappe aus dem Sportunterricht. Wird diese in einem Abstand von 100 m zusammengeschlagen, kann man dies nahezu direkt beobachten, hört den Knall aber erst ca. 0,3 s später. Daraus ergibt sich eine Schallgeschwindigkeit von etwa $c \approx 100\ \text{m}\ 0{,}3\ \text{s} \approx 333\ \text{s}$.

In **Arbeitsblatt 7** werden Grundlagen der Nachrichtenübertragung mit Funksignalen vermittelt. Hierzu zählen neben Aspekten der Signalcodierung auch das Modulationsverfahren „Binary Phase Shift Keying“ (Phasenumtastung). Da das Thema sehr umfangreich und komplex ist, handelt es sich hierbei um eine einführende Zusammenfassung, die zu einer tiefergehenden Auseinandersetzung anregen kann.

Arbeitsblatt 8 gibt einen Überblick über Satellitenorbits und Bahnparameter. Auf die physikalischen Grundlagen (Kepler-Gesetze) kann hierbei nicht näher eingegangen werden, aber eine tiefergehende Behandlung im anschließenden, kontextorientierten Unterricht bietet sich an.

Arbeitsblatt 9 stellt die wichtigsten Fehlerquellen bei der Satellitennavigation und deren Ursachen vor. Zudem werden mögliche Auswirkungen von ungenauen Ortungsergebnissen diskutiert.

Methodische Vorgehensweise

Die Arbeitsblätter sind prinzipiell unabhängig voneinander einsetzbar. Allerdings entsteht ein tiefergehendes Verständnis für die Funktionsweise der Satellitennavigation erst, wenn man die Arbeitsblätter 5, 6 und 7 möglichst zeitnah hintereinander bearbeitet. Als Methode bietet sich insbesondere ein Projekt an, alternativ wäre aber auch ein Expertenpuzzle denkbar. Achtung: Eine sehr verbreitete Fehlvorstellung besteht in der Annahme, die Satelliten würden die Empfängerposition berechnen. Hieraus resultiert dann das Gefühl, von GPS und Co „überwacht“ zu werden. Dieses Präkonzept kann aber auch einen interessanten Ausgangspunkt für eine entsprechende Diskussion zur „totalen Überwachung“ darstellen.

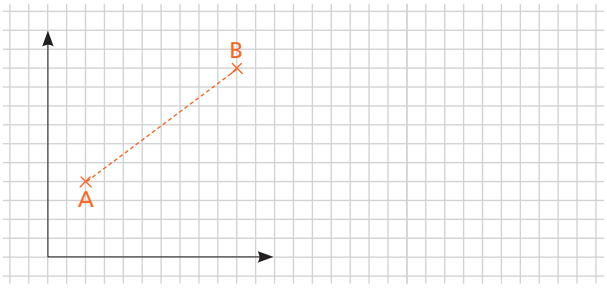
MEDIEN

Das Smartphone-Experiment aus Arbeitsblatt 6 greift auf die kostenlose App PhyPhox der RWTH Aachen zurück. Unter www.space2school.de/phyphox findet man viele Tipps und Videoanleitungen zu weiteren Experimenten.

5 Ortung durch Messen von Abständen

1. a) Schülerindividuelle Lösungen. *Musterlösung:* Entfernung zur Schule, Länge/Breite eines Zimmers etc.
b) Schülerindividuelle Lösungen (z. B. mithilfe von googlemaps). *Begründung:* Der Schulweg erfolgt in der Regel nicht auf dem kürzest möglichen Weg (Luftlinie) und ist daher meist länger.

2. a)



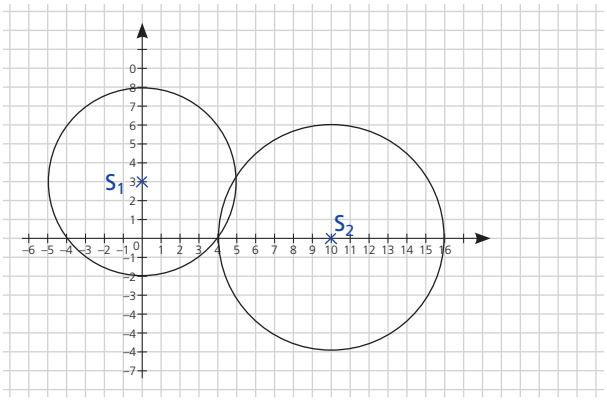
b) Ergebnisse:

$d_A = \sqrt{1^2 + 2^2}\,\text{cm} = \sqrt{5}\,\text{cm} \approx 2{,}2\,\text{cm}$

$d_B = \sqrt{5^2 + 5^2}\,\text{cm} = \sqrt{50}\,\text{cm} \approx 7\,\text{cm}$

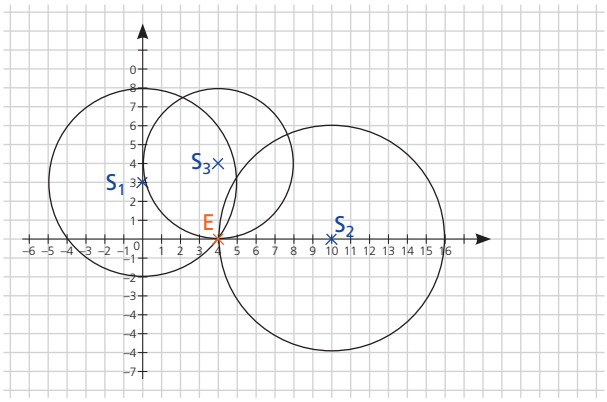
$d_{AB} = \sqrt{4^2 + 3^2}\,\text{cm} = \sqrt{25}\,\text{cm} = 5\,\text{cm}$

3. a)



$E_1(4|0)$, $E2(5|3{,}2)$. Keine eindeutige Lösung für die Position, weil sich die Kreise um S_1 und S_2 in zwei Punkten schneiden.

b)



Eindeutige Position: E(4|0), da der Kreis um S3 dort schneidet.

4. Im dreidimensionalen Raum werden aus den Kreisen aus Aufgabe 3 Kugelschalen. Zwei Kugelschalen schneiden sich in einem Kreis, die dritte schneidet in zwei Punkten auf diesem, erst die vierte sorgt für Eindeutigkeit.

6 Wie man Entfernungen berührungslos messen kann

1. a) 3 s ca. 1 km entfernt; 9 s ca. 3 km; 10 s ca. 3,3 km
b) Schall breitet sich in einer Sekunde 1 s · 330 m/s = 330 m aus. In drei Sekunden also 3 s · 330 m/s = 900 m ≈ 1 km.
Teilt man die Sekunden durch 3, erhält man in etwa die km.

2. a) Die zurückgelegte Strecke kann aus der Dauer und der Geschwindigkeit berechnet werden: $\Delta s = v \cdot \Delta t$. Hier ist $v = c$ und die Dauer ist die halbe Laufzeit (hin- und zurück!).

b) $\Delta T = \dfrac{2\,\Delta s}{c} = \dfrac{2 \cdot 15\,\text{m}}{330\,\text{m/s}} \approx 91\,\text{ms}$

3. a) Schülerindividuelle Lösungen. *Muster für Tabellenkopf:*

1. Messung		2. Messung		3. Messung	
Δt_{Anna}	Δt_{Ben}	Δt_{Anna}	Δt_{Ben}	Δt_{Anna}	Δt_{Ben}

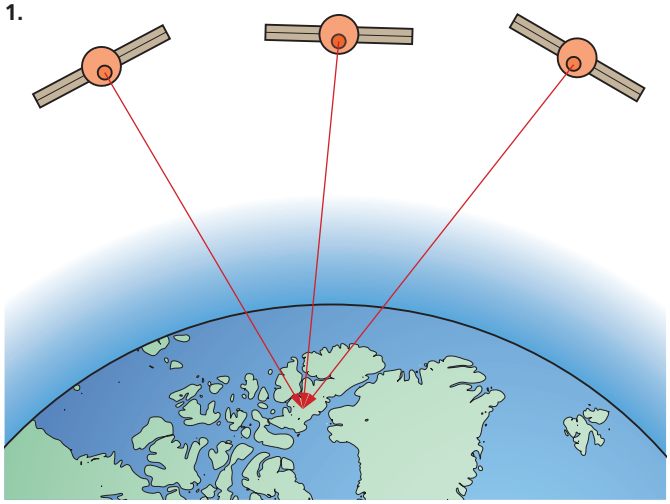
b) Wenn Anna klatscht, beginnt ihre Uhr etwas früher zu laufen als die von Ben. Wenn Ben klatscht, läuft Annas Uhr noch etwas weiter, bis der Ton dort ankommt. Annas Uhr startet also um eine Signallaufzeit ΔT früher und stoppt um eine Signallaufzeit ΔT später – macht insgesamt einen Unterschied von $2 \cdot \Delta T$.

c) Im Bsp.: $\Delta T = \dfrac{0{,}525\,\text{s} - 0{,}504\,\text{s}}{2} = 0{,}0105\,\text{s}$;

$\Delta s = c \cdot \Delta T = 330\,\text{m/s} \cdot 0{,}0105\,\text{s} \approx 3{,}5\,\text{m}$

7 Es funktioniert mit Funk: Satellitennavigation

1.



Die Satelliten senden Signale aus. Aus den Signallaufzeiten und den Satellitenpositionen kann der Empfänger seine Position berechnen.

2. Z. B.: Smartphone, Radio, Fernsehen, WLAN

3. a) 37,5 kBit/Frame : 25 Frames = 37 500 Bit : 25 = 1 500 Bit.
Ein Frame hat 1 500 Bit.
b) Pro Frame: 1 500 Bit : 50 Bit/s = 30 s.
Gesamte Nachricht: 37 500 Bit : 50 Bit/s = 750 s = 12,5 Minuten

4. Δt = 23 222 km : 300 000 km/s ≈ 77,4 ms

5. Aus den Signallaufzeiten kann der Empfänger seine Entfernung von den Satelliten bestimmen. Er kennt also die Entfernungen zu vier Punkten mit bekannten Koordinaten. Die Empfängerposition ist der Schnittpunkt der Kugelschalen.

6. a) und **b)** Schülerindividuelle Lösungen.

7. a) λ = 12 m. $\quad f = \frac{10}{60\ \text{s}} \approx 0{,}17$ Hz

b) $c = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{10 \cdot 12\ \text{m}}{60\ \text{s}} = 2$ m/s

8. Bei einem Wechsel von Null zu Eins und umgekehrt wird die Welle gespiegelt. Im phasenmodulierten Signal sieht man einen Knick.

9. a) Das Signal braucht etwas Zeit (Signallaufzeit), um vom Satelliten zum Empfänger zu gelangen. Es kommt daher etwas später an als das Signal im Empfänger (synchrone Uhren vorausgesetzt!).
b) Ergebnis: 5

P	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	5

c) Je nachdem, ob mehr Einsen auf Einsen (und nicht auf Nullen) treffen oder nicht, nimmt der Wert zu oder ab. Maximal ist er, wenn beide Signale deckungsgleich sind.

10. Die Signale breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit, also sehr schnell, aus. Bereits kleine Fehler haben daher eine große Wirkung.

8 Zentimetergenau im Weltall: Navigationssatelliten

1. LEO: Entfernungen in Deutschland, z. B. München-Berlin etc.
MEO: transkontinentale Entfernungen, z. B. München-New York
GEO: einmal am Äquator fast ganz um die Erde

2. Kostengünstiger, da einfacher zu erreichen; höhere Auflösung von Bildern, da näher an der Erdoberfläche; Schutz vor Strahlung im Van-Allen-Strahlungsgürtel

3. Die Erde dreht sich in 24 Stunden einmal um ihre Achse, dasselbe gilt für einen geostationären Satelliten. Er dreht sich also genauso schnell wie die Erde selbst und scheint daher von der Erde aus immer am selben Ort zu stehen.

4. Schülerindividuelle Lösungen.

5. *siehe Tabelle:*

Fachbegriff	Kürzel	Beschreibung
Frühlingspunkt		Schnittpunkt des Himmelsäquators mit der Ekliptik zum Frühlingsbeginn auf der Nordhalbkugel
aufsteigender Knoten	☊	ein Schnittpunkt der Satellitenbahn mit der Äquatorebene
Perigäum	*P*	der erdnächste Punkt eines Satelliten auf seiner Bahn

Bahnelement	Kürzel	Beschreibung
große Halbachse	a	halbe Länge des größten Durchmessers einer Ellipse; große Achse der Bahnellipse
numerische Exzentrizität	e	eine Verhältniszahl; Maß dafür, wie exzentrisch die Ellipse ist
Inklination	i	Neigung der Bahnebene gegenüber der Äquatorebene
Winkel des aufsteigenden Knotens	Ω	Winkel zwischen den Verbindungslinien Erde–aufsteigender Knoten und Erde–Frühlingspunkt
Winkel zum Perigäum	ω	Winkel zwischen den Verbindungslinien Erde–aufsteigender Knoten und Erde–Perigäum
wahre Anomalie des Satelliten	*v*	Winkel zwischen den Verbindungslinien Erde–Satellitenposition und Erde–Perigäum

6. Allgemein: $r = R_{Erde}$ + Bahnhöhe des Satelliten

LEO: $v = \sqrt{G\frac{M}{r}} = \sqrt{\frac{6{,}67 \cdot 10^{-11}\ m^3}{kg \cdot s^2} \cdot \frac{5{,}97 \cdot 10^{24}\ kg}{(6370 \cdot 10^3\ m + 400 \cdot 10^3\ m)}} \approx 7{,}7\ \frac{km}{s}$

MEO: $v = \sqrt{G\frac{M}{r}} = \sqrt{\frac{6{,}67 \cdot 10^{-11}\ m^3}{kg \cdot s^2} \cdot \frac{5{,}97 \cdot 10^{24}\ kg}{(6370 \cdot 10^3\ m + 20000 \cdot 10^3\ m)}} \approx 3{,}9\ \frac{km}{s}$

GEO: $v = \sqrt{G\frac{M}{r}} = \sqrt{\frac{6{,}67 \cdot 10^{-11}\ m^3}{kg \cdot s^2} \cdot \frac{5{,}97 \cdot 10^{24}\ kg}{(6370 \cdot 10^3\ m + 35786 \cdot 10^3\ m)}} \approx 3{,}1\ \frac{km}{s}$

9 Genauigkeiten beim Messen

1.

Anwendung	Genauigkeitsanforderung	Risiko durch Fehler	zeitliche Toleranz gegen Fehler
Spaziergang	1–5 m	gering	beliebig
Landeanflug	1–5 m	hoch	wenige Sekunden
Pkw	5–10 m	mittel	wenige Sekunden
Vermessungsamt	wenige mm	gering	beliebig
Schiff auf Meer	100 m	gering	Stunden
Schiff im Hafen	einige Zentimeter	hoch	wenige Sekunden

2. a) $300000\ km/s \cdot 10^{-6}\ s = 300\ m$

b) $\frac{10\ s}{30 \cdot 24 \cdot 3600} = 3{,}86 \cdot 10^{-6}\ s$
entspricht $3{,}68 \cdot 10^{-6}\ s \cdot 300000\ km/s \approx 1{,}2\ km$

3. Ungenaue Positionsangabe, Uhrenfehler, falsche Navigationsnachricht (Datenfehler)

4. Der Laserstrahl wird in dem immer dichter werdenden Zuckerwasser immer stärker gebrochen, wodurch die Krümmung entsteht. – Dämpfung bedeutet, dass die Intensität des Laserstrahls immer geringer wird (in der Abb. nicht zu sehen!).

5. Wegen der Brechung ist die Signalausbreitung nicht gerade, sondern gekrümmt. Dies führt dazu, dass die Laufzeit überschätzt wird. *Mögliche Lösungsansätze:* Korrektur bei Kenntnis über die Ionosphäre; Verwendung mehrerer Frequenzen, Korrektur durch Bodenstationen.

6. a) Das reflektierte Signal braucht länger zum Empfänger als das direkte. Die Laufzeit (und damit der Abstand) wird überschätzt.
b) Bei der Messung mit zwei Signalen kann man immer das Signal mit der kürzesten Laufzeit nutzen, da es für die direkte Verbindung Empfänger-Satellit steht.

7. Die untere Abbildung zeigt, dass durch die einzelnen Messfehler beim Schnitt der Kreise ein Fehlerbereich entsteht. Dieser kann bei ungünstiger Stellung der Satelliten zueinander (wenn z. B. F2 weiter rechts wäre bei sonst gleichen Kreisen) größer werden.

Modul 4 Galileo: das europäische Satellitennavigationssystem

Einführung in das Thema

Das europäische Satellitennavigationssystem *Galileo* ist seit Ende des Jahres 2016 in Betrieb und liefert seitdem hochpräzise Navigationssignale. Die meisten neueren Navigationsgeräte nutzen neben Galileo-Signalen auch die vom US-amerikanischen GPS und vom russischen GLONASS. Galileo hat ein wichtiges Alleinstellungsmerkmal: Im Gegensatz zu allen anderen Satellitennavigationssystemen steht Galileo vollständig unter ziviler Kontrolle. Das bedeutet viel Mitspracherecht der beteiligten Partner – das sind alle Mitgliedsstaaten der EU –, was einerseits zu Verzögerungen und höheren Kosten führte. Andererseits konnten so aber auch sehr vielfältige Wünsche an die Dienste des Systems berücksichtigt werden – zum Nutzen aller, die es nun verwenden.

Satellitensysteme wie *Galileo* werden untergliedert in drei Bestandteile (Segmente):

- Das *Raumsegment* bilden die derzeit 22 aktiven Satelliten, die die hochpräzise Navigationsnachricht ausstrahlen.
- Das *Bodensegment* kontrolliert und überwacht die Satelliten. Aufgrund der geographischen Situation ist es der EU besser als anderen möglich, ein weltumspannendes Netz an Bodenstationen zu betreiben. Dies führt zu einer größeren Sicherheit.
- Die vielfältigen Anwendungen von Galileo bilden das *Nutzersegment*. Da Galileo auch für zivile Nutzer zwei unterschiedliche Sendefrequenzen nutzt, können deutlich höhere Genauigkeiten erreicht werden. Das System ist zudem mit GPS interoperabel.

Infos zu den Arbeitsblättern

Arbeitsblatt 10 stellt die Galileo-Satelliten vor, die in der lebensfeindlichen Umgebung des Weltraums zuverlässig ihren Auftrag erfüllen.

Arbeitsblatt 11 befasst sich mit der komplexen Struktur des Galileo-Bodensegments. Eine wichtige Aufgabe ist die hochgenaue Synchronisation der Satellitenuhren. Die Anforderungen hieran sind so hoch, dass sogar Effekte, die in Einsteins Relativitätstheorie beschrieben werden, Berücksichtigung finden.

In **Arbeitsblatt 12** werden einige der vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten von Galileo vorgestellt. Je nachdem, welche Folgen Messabweichungen haben, ergeben sich hier sehr unterschiedliche Anforderungen an die Genauigkeit des Systems.

Methodische Vorgehensweise

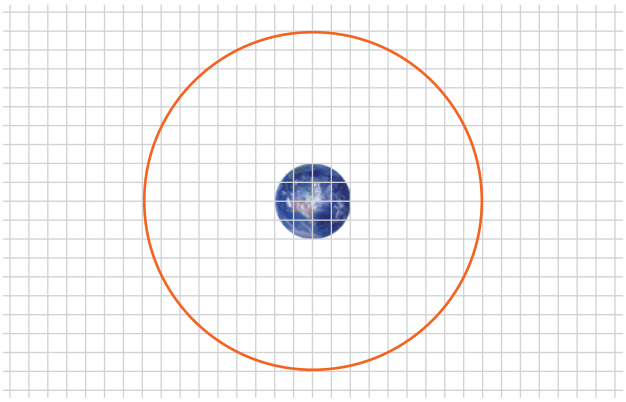
Die Arbeitsblätter können unabhängig voneinander behandelt werden. Sie eignen sich besonders für Eigenarbeit in Kleingruppen, in denen Aufgaben aufgeteilt und Ergebnisse diskutiert werden sollten. Die Themen sind fächerverbindend (Geographie, Sozialkunde, Mathematik und Physik), weshalb sich methodisch ein entsprechendes Projekt anbietet.

MEDIEN

Für Recherchearbeiten zu den geographischen Themen sind ein Internetzugang und aktuelle Atlanten erforderlich. Für Berechnungen ist ein Taschenrechner hilfreich, für Arbeitsblatt 10 werden zudem Zirkel und Geodreieck benötigt. Das gesamte Modul ist so aufgebaut, dass möglichst digitale Medien zur Informationsgewinnung genutzt werden sollten (allerdings ist dies keine unbedingte Voraussetzung).

10 Die Galileo-Satelliten: Hightech made in Europe

1.



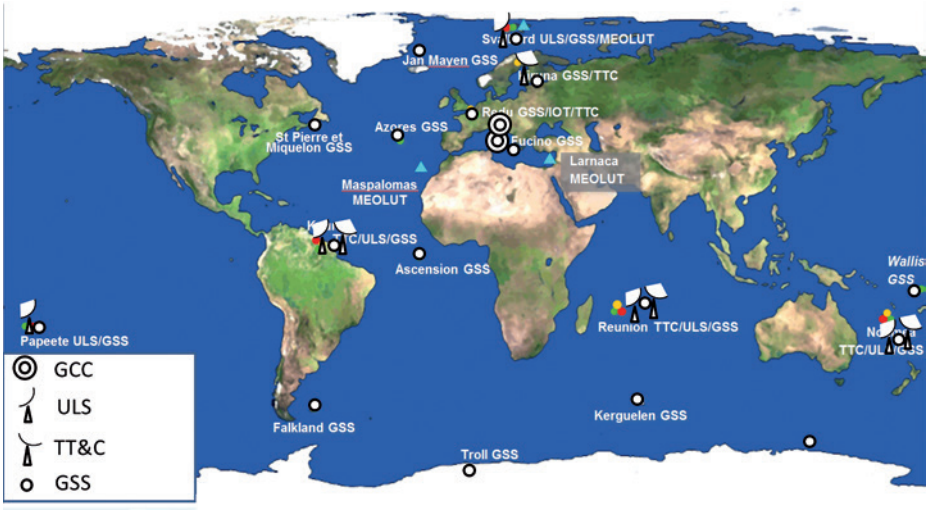
Rechnung (z. B. mit Dreisatz): Erdradius 6370 km ≙ 1 cm. → 1000 km ≙ 0,157 cm → 23 000 km ≙ 3,6 cm (= Bahnhöhe). Radius der Satellitenbahn: 3,6 cm + 1 cm = 4,6 cm.

2. Vakuum: Zustand ohne Luft; Temperaturextreme: sehr starke und viel größere Temperaturschwankungen als auf der Erde; kosmische Strahlung: energiereiche Strahlung der Sonne und aus dem Universum. Auf der Erde schützen uns die Atmosphäre und das Erdmagnetfeld davor.

3. a) *Reihenfolge obere Reihe von links:* Solarpanel – Propulsor – Laserreflektor; *untere Reihe von links:* Weltraumradiator – SAR-Antenne (unten) – L-Band-Antenne (oben)
b) Laserreflektor: Dient der hochgenauen Ortung der Satelliten vom Boden aus. – L-Band-Antenne: Überträgt die Navigationsnachricht. – Propulsor: Kleines Triebwerk für Bahnkorrekturen. – SAR-Antenne: Empfängt und sendet Notfallsignale. (Info: SAR = Synthetic Aperture Radar; Apertur = Begriff aus der Optik; bedeutet Öffnungsweite, z. B. einer Linse) – Solarpanel: Liefert die elektrische Energie für den Satelliten (insgesamt 1,5 kW). – Weltraumradiator: Gibt überschüssige Wärmeenergie in den Weltraum ab.

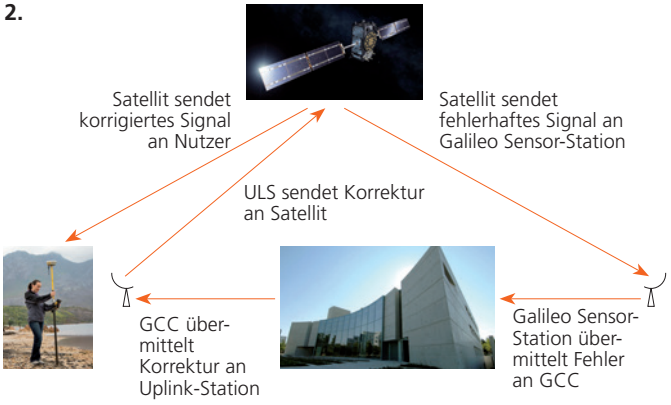
11 Alles unter Kontrolle: das Galileo-Bodensegment

1.



Hinweis an LuL: Eine Weltkarte zum Download und Ausdrucken findet man im Internet unter den Suchbegriffen „Weltkarte Download". Die Galileo-Bodenstationen werden gelistet auf Internetseiten der ESA und der EU, z. B. https://galileognss.eu

2.



3. a) Die Satellitenuhren gehen nach einiger Zeit etwas nach.
b) Die Satellitenuhren gehen nach einiger Zeit etwas vor.
c) Nach einer Stunde: $3600\ s \cdot 47{,}4 \cdot 10^{-11} \approx 1{,}7 \cdot 10^{-6}\ s$
Nach einem Tag: $3600\ s \cdot 24 \cdot 47{,}4 \cdot 10^{-11} \approx 4{,}1 \cdot 10^{-5}\ s$
Nach einem Jahr: $3600\ s \cdot 24 \cdot 365 \cdot 47{,}4 \cdot 10^{-11} \approx 0{,}015\ s$

12 Wer braucht das denn: der Galileo-Nutzerkreis

1. Schülerindividuelle Lösungen.

2. 1. Räumliche Auflösung: Straßen verlaufen oft in geringem Abstand parallel zueinander. Lösung: Plausibilität (z. B. Geschwindigkeit) und höhere Wahrscheinlichkeit.
2. Tunnel und Unterführungen: Im Tunnel hat man keinen oder schlechten GNSS-Empfang. Lösung: Radsensoren.
3. Baustellen, Umleitungen etc. Lösung: tagesaktuelle Karten durch Internetzugriff.

3. Vorteile: Einfache Wegfindung, hohe Sicherheit gegen Verlaufen, viele Tourenvorschläge aus entsprechenden Portalen, Zusatzinformationen zur Karte. Nachteile: Man verlernt die selbstständige Orientierung, ist abhängig von Stromversorgung, viele Tourenvorschläge sind nicht professionell überprüft, evtl. geringere Erlebnisqualität.

4. Schülerindividuelle Lösungen. *Musterlösung:*
Ein satellitengestütztes Rettungssystem funktioniert wie folgt: Im Falle eines Notfalls wird ein Notsignal an den Satelliten abgegeben. Von dort wird es über eine Empfangsstation an das Kontrollzentrum weitergeleitet. Dieses informiert eine Rettungsleitstelle in der Nähe der Verunglückten, welche wiederum die Rettung koordiniert.
Ein Vorteil von Navigationssatelliten ist, dass diese im Gegensatz zu anderen Satelliten immer verfügbar sind. Außerdem können sie dem Verunglückten eine Nachricht übermitteln, wenn Hilfe unterwegs ist.

5. Die Positionsgenauigkeit beim Landeanflug muss kleiner als 1,5 m sein. Es muss ein redundantes System sein (Sicherheit gegen Systemausfall). Es muss ein schnelles System sein (Vorwarnzeit nur wenige Sekunden).

6. Auf hoher See: Das System muss vor allem zuverlässig sein.
Im Hafen: Hohe Anforderungen an die Systemgenauigkeit.
Fischereikontrolle: Hohe Anforderungen an die Störsicherheit.

7. a) Reaktionsweg $= \frac{200}{10} \cdot 3 = 60$ m

Bremsweg $= \left(\frac{200}{10}\right)^2 : 2 = 200$ m

Anhalteweg = 60 m + 200 m = 260 m

b) Züge sind viel schwerer als Autos (mehr Masse) und verzögern viel langsamer. Der Reaktionsweg hängt nur von der Reaktionszeit ab, also vom Menschen.
c) Das eingesetzte System muss weit vorausschauend reagieren und planen.

8. z. B. selbstfahrende Autos, Flugzeug im Landeanflug, Hilfen für sehbehinderte/blinde Menschen, Vermessung von Gelände …

9. a) Gesunde Vegetation ist grün, alles andere bräunlich/gelblich dargestellt.
b) Solche Bilder liefern den Landwirten Informationen über den Zustand ihrer Anbauflächen. Je nach Erfordernissen können mithilfe von GNSS präzise Maßnahmen wie Düngung oder Bewässerung erfolgen.

10. Schülerindividuelle Lösungen.

Modul 5 Es geht noch genauer!

Einführung in das Thema

In der Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler (SuS) existiert Satellitennavigation oft nur als „Navi" für Autos oder – wie oft in Spielfilmen dargestellt – für das Militär. In diesem Modul wird klar, wie unterschiedlich die Einsatzgebiete sind und wie kreativ sich die genaue Positionsbestimmung verwenden lässt. Aus den verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten wurden exemplarische ausgewählt, die ebenfalls im Lebensumfeld der SuS liegen bzw. liegen könnten.

So wird die Satellitennavigation schon seit vielen Jahren in der Landwirtschaft genutzt; entsprechende Technik wurde schon vor der Verwendung in privaten Pkws in landwirtschaftlichen Maschinen eingebaut. Außerdem wird das Aufspüren von Falschfahrern als Gegenstand der Forschung thematisiert. Schließlich wird die Paket- und Warenverfolgung als aktuelles Thema aufgegriffen.

MEDIEN

In AB 13 (Aufgabe 2) wird die Korrektur von Satellitennavigationssignalen angesprochen. Hier empfiehlt sich der Einsatz von Videos auf z. B. Youtube, in denen visualisiert wird, wie die Korrektur der Signale funktioniert. Dabei kommt es nicht darauf an, an welchem System dies aufgezeigt wird, denn alle Satellitennavigationssysteme erzielen durch Korrekturen höhere Genauigkeiten.

In Arbeitsblatt 14 wird die Software „PapDesigner" für die Erstellung eines Ablaufplanes vorgeschlagen. Diese ist kostenlos und für Windows-Systeme verfügbar. Es bietet sich jede andere Erstellungssoftware für Ablaufpläne an. Man kann beispielsweise auf die im Informatikunterricht verwendete Software zurückgreifen. Das hat den Vorteil, dass die SuS den Umgang bereits beherrschen. Aufgabe 2 lässt sich mit einer realen Modelleisenbahn erweitern, oder man baut mit einer entsprechenden Software für Modelleisenbahnen die verschiedenen Schienenkonstellationen nach und testet dann die Kollisionsgefahren.

Besitzt die Schule programmierbare RFID-Chips, kann man nach Bearbeitung des Arbeitsblattes 15 eine Warennachverfolgung im Klassenzimmer nachstellen.

Infos zu den Arbeitsblättern

Arbeitsblatt 13 behandelt Satellitennavigation in der Landwirtschaft. Dabei wird nur ein kleiner Teil der heute möglichen Nutzung angesprochen. Hinweis: Sind die SuS an der Technik in der Landwirtschaft und der Verwendung der Satellitennavigation interessiert, kann man beim VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) Schülermaterial dazu bestellen.

Arbeitsblatt 14 zeigt für den Straßen- und Schienenverkehr, wie eine Kollisionsvermeidung mithilfe von Satellitennavigation funktionieren kann. Neben den genannten Beispielen gibt es dies auch für Schiffe und Flugzeuge. Hinweis: Aufgabe 1 bietet die Möglichkeit, auf die Problematik „Geisterfahrer" einzugehen und vor allem die Gefahren aufzuzeigen, die davon ausgehen. Straßenverkehr und Führerschein sind in der Altersgruppe aktuell und somit das Thema sehr relevant.

In **Arbeitsblatt 15** wird ein Blick in die Zukunft des Warentrackings geworfen. Eine „Just-in-time"-Lieferung optimiert Abläufe und reduziert Wartezeiten. Mit Unterstützung von Sensoren kann die Ware sogar während des Transportes überwacht werden. Hinweis: Dieses Arbeitsblatt bietet viele Anknüpfungspunkte an den Physik- und Technik-Unterricht im Themenfeld RFID, Sensoren und kontaktlose Datenübertragung.

Arbeitsblatt 16 führt ein in eine andere, hochaktuelle Navigationsmöglichkeit: die Indoor-Navigation mithilfe von Sensoren statt satellitenbasierter Navigation.

Methodische Vorgehensweise

Alle Arbeitsblätter können unabhängig voneinander verwendet werden. AB 13 behandelt eine Umsetzung der Satellitennavigation, die bereits etabliert ist, AB 14 stammt aus dem Bereich der aktuellen Forschung und die AB 15 und 16 behandeln Nutzungsmöglichkeiten, die derzeit umgesetzt werden. Somit kann auch die Frage der zeitlichen Entwicklung (früher, heute, in Zukunft) die Wahl der Reihenfolge bestimmen.

Mehrere Aufgaben behandeln Recherchethemen und sind dadurch als Gruppenarbeit geeignet.

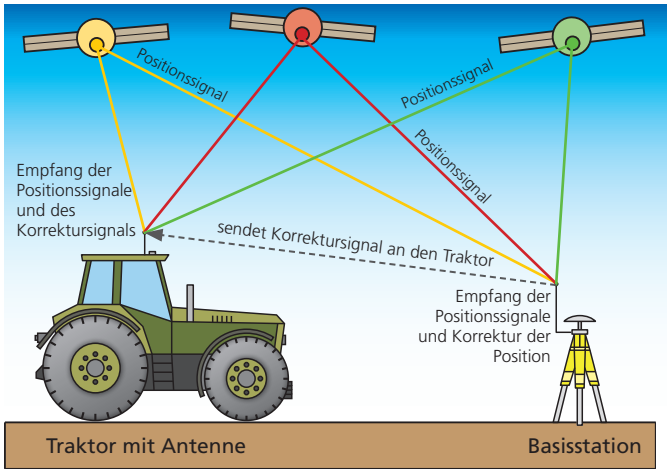
Durch die Aktualität und Attraktivität der Themen sind die Arbeitsblätter ideale Ergänzungen für den technisch-naturwissenschaftlichen Unterricht im Themenfeld Sensoren, RFID, Informatik, Verknüpfung von Daten und kreative Neuerungen.

13 Galileo auf dem Bauernhof

1. a) Schülerindividuelle Lösungen. *Mögliche Begriffe:* Bodenbeschaffenheit, Arbeitszeit, Kosten, Düngemitteleinsatz, Saatgutmenge, Ertrag, Gewinn, Wetter, Grundwasserspiegel, Pflanzenarten, Bewässerung, Lage des Feldes …
b) Im Herbst wird der Boden „geöffnet" und ein Düngerband in die Spur gelegt. Im Frühjahr wird exakt auf dem Düngerband das Saatgut platziert. – Dieses genaue Vorgehen spart Dünger und Saatgut, es ist aber nur möglich mithilfe sehr genauer Ortsdaten.
c) Düngemittel machen den größten Posten der Betriebskosten aus; Überdüngung von Teilflächen schädigt den Boden nachhaltig; auf bestimmten Äckern darf wegen des niedrigen Grundwasserspiegels weniger gedüngt werden als auf anderen Äckern; vor allem Bio-Bauern müssen einen genauen Düngenachweis liefern …

2. a) Es sind vor allem atmosphärische Störungen (in der Ionosphäre und Troposphäre), die die elektromagnetischen Signale stören und verzögern.
b) Da sich die Atmosphäre ständig ändert und auch von Ort zu Ort verschieden ist, kann man keine generelle Korrektur berücksichtigen.
c) RTK = Real-Time Kinematic (Echtzeitkinematik); ein Verfahren zu einer sehr präzisen Positionsbestimmung mithilfe von Satelliten und einer sogenannten Referenzstation. Bei der Installation wird die exakte Position fest eingespeichert. Die RTK-Station empfängt ständig die Galileo-Signale. Aus der Differenz der empfangenen Signale und der gespeicherten Position bestimmt sie die Korrektur.

d) Die Basisstation empfängt das aktuelle Signal der Satelliten und berechnet ein Korrektursignal. Der Traktor empfängt sowohl das Satellitensignal als auch das Korrektursignal und bestimmt daraus die tatsächliche Position.



e) Fahrspuren weichen auf (Boden) oder verändern sich durch Wettereinwirkungen; Ladewagen und Mähdrescher können nicht parallel fahren; Bäume oder andere feste Hindernisse können nicht umfahren werden; Äcker werden entweder mehrmals an einer Stelle oder an anderen Stellen gar nicht bearbeitet; Nachtfahrten wären schwieriger umsetzbar …
f) Schülerindividuelle Lösungen. *Verfahren:* RTK-Stationen; geostationäre Satelliten (SBAS); Multiple Frequenzen; EGNOS

14 Geisterjäger auf den Straßen

1. a) Die Angabe sollte auf mind. 2 m genau sein (Breite einer Fahrbahnspur). GPS ist etwa auf 5–10 m genau, Galileo – je nach Dienst – auf bis zu einen Meter.
b) Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit, Beschleunigung
c) Ingenieurgeodäsie beschäftigt sich mit weltweiten Vermessungsarbeiten. Wichtig für exakte Karten, da sich das Straßennetz dauernd ändert (z. B. in Deutschland bis zu 5 % jährlich).
d) Schülerindividuelle Lösungen. Fahrer wird gewarnt – Nachricht an zentralen Server – gefährdete Teilnehmer werden gewarnt (wenn Fahrer trotz Warnung weiterfährt). Info: Unrealistisch wäre ein automatisches Stoppen des Autos durch das System. In bestimmten Situationen (Stauumlenkung, Einsatzfahrzeuge) muss man „in Gegenrichtung" fahren.
e) Schülerindividuelle Lösungen.
Info zur Funktion von Ghosthunter: Im Projekt Ghosthunter wird eine mögliche Lösung untersucht, die auf GNSS basiert und mit dem aktuellen Stand der Technik realisierbar ist. Dabei soll in jedes Fahrzeug ein System integriert werden, dass zunächst die präzise Position des Fahrzeugs ermittelt. Hierbei können GNSS Systeme (wie z. B. Galileo, GPS, GLONASS, usw.), satellitenbasierte Korrektursysteme (wie WAAS, EGNOS, usw.), DGNSS oder RTK (wie SAPOS, AXIO-NET, usw.) verwendet werden. Neben dieser GNSS-basierten Positionslösung sollen zusätzliche Sensoren im Fahrzeug, wie z. B. Odometer oder Kreisel die Position des Fahrzeugs präzisieren bzw. stützen. Mit Hilfe von Map-Matching Algorithmen wird dann die ermittelte (geometrische) Fahrzeugposition einem Verkehrsabschnitt auf einer digitalen Karte zugeordnet. Wichtig ist, dass sowohl bei der Positionsbestimmung als auch bei der Zuordnung zu einem Verkehrsabschnitt auf einer digitalen Karte Integritätsinformationen ermittelt werden. So sind bspw. die Positionsgenauigkeit sowie die Wahrscheinlichkeit, dass der ausgewählte Verkehrsabschnitt richtig ist, zu bestimmen. Sobald durch das System eine Falschfahrt detektiert wird (z. B. Fahrzeug fährt mit 99 % Wahrscheinlichkeit in falscher Richtung auf die Autobahn auf), wird dem Fahrzeugführer durch das System diese Meldung angezeigt. Um auch alle anderen Verkehrsteilnehmer in der Nähe des Geisterfahrers zu warnen, soll die Nachricht über eCall an eine Leitstelle übertragen werden und über TMC (Traffic Message Channel) und Verkehrsdurchsagen verbreitet werden.
Wenn die Untersuchung dieser GNSS-basierten Lösung zur Geisterfahrerdetektion erfolgreich ist, soll im Anschluss ein Demonstratorsystem aufgebaut werden, um das entwickelte System zu verifizieren.

Quelle: Institut für Raumfahrttechnik und Weltraumnutzung, Universität der Bundeswehr München
www.unibw.de/lrt9/lrt-9.2/forschung/ghosthunter; abgerufen Juni 2020

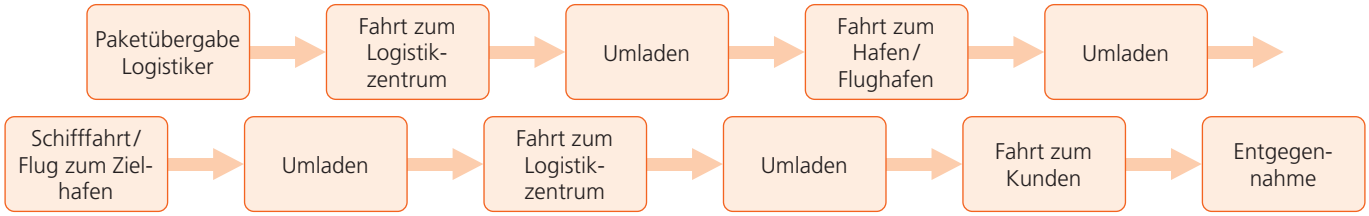
2. a) Herausforderungen: Lokführer kann nicht ausweichen, das Aufeinanderzufahren ist üblich, kein Satellitenempfang im Tunnel, enge Vorbeifahrten (unter 3 m) sind üblich … Vorteile: kein Individualverkehr, Ort ist bekannt (Schienen liegen fest), ein Stellwerk regelt die Fahrt …
b) Kollision: (2); keine Kollision: (1) (5); Kollision möglich: (3) (4)
c) Vor allem der Geschwindigkeitsvektor, die Beschleunigung und der Ort. So kann man auch „Auffahren" erkennen.
d) Das zugeigene RCAS kennt den eigenen geplanten Streckenverlauf und vergleicht diesen mit dem empfangenen Streckenverlauf. Kreuzen sich diese beiden Kurven, besteht Gefahr. Dann sind aber noch die zeitliche Komponente und die Geschwindigkeit zu berücksichtigen.

15 Genau im Blick: Wie Waren und Produkte verfolgt werden

1. a) Klassisches Einschreiben (Bestätigung durch die Post), Online-Nachverfolgung: anhand einer ID-Nummer wird in mehreren Schritten (Entgegennahme/Verarbeitung, Paketstelle Startort, Paketstelle Zielort, im Lieferwagen, zugestellt) das Paket nachverfolgt.
b) Man kann mehr Informationen speichern, schneller, automatisierbarer, sende- und empfangsfähig, Funktechnik und keine Optik, mit Sensoren koppelbar

2. a) *siehe Infografik unten*
b) Das Paket muss bis zu sechsmal neu registriert/gescannt werden. Waren können falsch zugeordnet, demoliert, unsachgemäß behandelt werden oder sogar verloren gehen.
c) Verderbliche Waren (Lebensmittel), Medizinische Produkte (z. B. sensible Medikamente) …

3. a) Schülerindividuelle Lösungen. *Musterlösung:* An einem Container wird ein Modul befestigt, das mit Sensoren im Container kommuniziert und alle Daten per Satellit weiterleiten kann. Damit die Übertragung mit Satelliten funktioniert, muss das Modul außerhalb des Containers angebracht werden. Die Daten sind weltweit abrufbar.
b) Während RTICM (in der Grafik das blaue Rechteck) vor allem die Position des Containers sendet, nutzt Xcit-ID RFID-Chips (in der Grafik das rote Rechteck), um physikalische Größen zu messen und die aktuellen Messergebnisse an das RTICM-Modul weiterzugeben.
c) Durch die Warenkontrolle kann man überprüfen, wo sich welches Schiff wann befindet; es lassen sich ein Stau z. B. an Schleusen erkennen, ein ungeplanter Stopp auf See oder eine Notsituation.
d) Schülerindividuelle Lösungen.



16 Mithilfe von Sensoren navigieren

1. a) Gyrometer für Drehbewegungen, Ultraschallsensor, Lidarsensor, Radarsensor, Sensor für Luftdruck, Infrarotsensor
b) Kamera & Lidarsensor: Die Kamera erstellt ein Bild der Umgebung. Da dieses Bild zweidimensional ist, fehlt eine Entfernungsangabe. Diese wird durch das Lidar ergänzt. Ultraschall- und Beschleunigungssensor: Ein Beschleunigungssensor erfasst die Bewegungsrichtung und berechnet die Geschwindigkeit. Durch die Ultraschallmessung wird eine evtl. fehlerhafte Berechnung optimiert. Deine dritte Kombination: Schülerindividuelle Lösungen. Nahezu jeden der genannten Sensoren kann man sinnvoll mit einem zweiten kombinieren.

2. a) Das Auto muss ausweichen, bremsen, Hindernisse umfahren, auf Ampeln und Straßenschilder reagieren, einen Parkplatz finden und einparken.
b) Radar und Ultraschall-Sensoren messen die Abstände zur direkten Umgebung. Stereo-Kamera, Areaview-Kamera und Laser-Scanner erstellen ein 3D-Bild der Umgebung, das Satelliten-Navigationssystem bestimmt den genauen Ort.
c) Das Ziel ist „die Eroberung der Luft" in Großstädten: das Fliegen, um schnell und staufrei zwischen Hotspots der Stadt zu wechseln. Leise, elektrisch, nachhaltig und sicher ist diese Art der Bewegung. Durch die vielen Sensoren reagiert der Volocopter auf jede Veränderung in der Luft.

3. a) Schülerindividuelle Lösungen. *Mögliche Beispiele:* Krankenhaus, Parkhaus, Flughafen, U-Bahn-Station, Museum, Rathaus, Schulen, Stadien, Waren innerhalb eines Ladens, für die Feuerwehr oder Polizei …
b) Schülerindividuelle Lösungen. *Mögliche Aspekte:* Gebäude sind viel kleinräumiger (Navigation muss Zentimeter-genau und nicht Meter-genau sein), durch Möbel & Pflanzen ändern sich ständig die Laufwege, man muss permanent Menschen ausweichen …
c) Schülerindividuelle Lösungen. Über QR-Codes (statt Zimmernummern) werden Stockwerke und Zimmer erkannt. RFID-Tags in regelmäßigen Abständen geben den Standort und die Bewegungsrichtung vor, WLAN-Hotspots präzisieren den Standort …

Modul 6 Projekte zur Navigation

Einführung in das Thema

Navigation lebt von der Anwendung – entsprechend bietet dieses Modul vier unterschiedliche anwendungsbezogene Vorschläge zu Themen der Navigation mit ganz unterschiedlichen Herangehensweisen und Materialien. Der Materialeinsatz ist bewusst unterschiedlich gewählt und reicht von direkt verfügbaren Geräten – wie Zeichenmaterial und Smartphones – über preiswerte Gegenstände aus dem Bastelbedarf hin zu schon etwas spezielleren Geräten wie Bluetooth- bzw. GPS-GSM-Trackern. Je nach Rahmenbedingungen und Möglichkeiten können die Aufgaben beispielsweise anhand des Materialaufwands ausgewählt werden.

Auch inhaltlich unterscheiden sich die vier Projekte. Während die ersten beiden Arbeitsblätter einen spielerischen Zugang zur Funktionsweise von Satellitennavigation bieten, zielen die anderen mehr auf Anwendungen ab. In diesem Heft wird das Thema „Geocaching“, also eine moderne Schnitzeljagd mit Navigationsgeräten, nicht behandelt. Der Grund ist, dass es hierzu bereits viele gute Beispiele und Materialien im Internet gibt. Unter den Suchbegriffen „Geocaching“ und „Schule“ wird man leicht fündig.

Infos zu den Arbeitsblättern

Arbeitsblatt 17 bietet ein physikalisches Rollenspiel an. Die Schülerinnen und Schüler (SuS) werden dabei selbst zu Navigationssatelliten bzw. deren Signalen und stellen so die Funktionsprinzipien der Satellitennavigation nach.

Arbeitsblatt 18 veranschaulicht die etwas schwer vorstellbaren Lagebeziehungen zwischen den Navigationssatelliten und der Erde. Mithilfe einer einfachen Anleitung entsteht ein Anschauungsmodell, welches zeigt, wie sich die Satellitensignale ausbreiten.

Arbeitsblatt 19 befasst sich mit einem für moderne Navigation wichtigen Thema: der Datenübertragung mit Funksignalen. Mit einem einfachen und kostengünstigen Bluetooth-Tracker kann man spielerisch nachvollziehen, wie digitale Nachrichtenübertragung vielfältig eingesetzt wird.

In **Arbeitsblatt 20** werden mittels GPS-GSM-Tracker spannende Fragen beantwortet. Dieses Projekt erfordert einen etwas größeren finanziellen Aufwand, allerdings kann der Tracker anschließend vielfältig anderweitig eingesetzt werden – beispielsweise auch bei einer eigenen Stratosphärenballonmission (vgl. www.space2school.de/sattec).

Methodische Vorgehensweise

Alle Projekte können unabhängig voneinander behandelt werden. Dabei bilden jeweils die Arbeitsblätter 17 und 18 bzw. 19 und 20 thematische Sinneinheiten. Die Projekte können von den SuS vollkommen selbstständig, beispielsweise im Rahmen einer Projektwoche, bearbeitet werden.

Die Arbeitsergebnisse sind auch für jüngere Kinder anschaulich verständlich und ansprechend. Es bietet sich daher an, dass die SuS ihre Ergebnisse auch anderen Kindern und Jugendlichen präsentieren dürfen.

MEDIEN

Für Recherchearbeiten und für ein Luftbild des eigenen Schulgeländes sind im ersten Projekt ein Internetzugang und die Möglichkeit, mit ausreichender Qualität zu drucken, erforderlich. Darüber hinaus werden Smartphones mit der kostenlosen App SimSat (von www.space2school.de/sattec) oder phyphox (unter www.space2school.de/phyphox) benötigt. Im zweiten Projekt kommen neben einfachen Materialien LEDs als Signalquellen zum Einsatz. Das dritte Projekt basiert auf einem Bluetooth-Tracker. Solche Geräte gibt es für deutlich unter 10 € im Internet oder Elektronikfachhandel. Im vierten Projekt wird mindestens ein GPS-GSM-Tracker benötigt. Geeignete Einstiegsgeräte gibt es im Internet um 20 €. Diese erfordern allerdings den Abschluss eines meist monatlich kündbaren Abos für die eingebaute SIM-Karte.

17 Rollenspiel zur Satellitennavigation

1. Schülerindividuelle Lösungen.

2. a) Schülerindividuelle Lösungen.
b) Die Schrittzahl wird mit der Schrittweite multipliziert.

3. Schülerindividuelle Lösungen.

4. Je nach Sorgfalt werden sich die Positionskreise mehr oder weniger in einem Punkt schneiden. Mögliche Fehlerquellen: Schrittweite ungenau, bei der Anzahl der Schritte verzählt, Position der Satelliten ungenau…

5. Gemeinsamkeiten: Ortung durch Laufzeitmessung; 3 Satelliten → 1 Punkt in der Ebene; Ortung relativ zu den Satelliten
Unterschiede: Ausbreitungsgeschwindigkeit; Laufzeitmessung vs. Schrittzahl; Satelliten bewegen sich

6. Anstelle der Schrittweite könnte man messen, wie schnell man geht und die Laufzeit mit einer Stoppuhr stoppen (Aufgabe 7).

7. a) Wenn die Geschwindigkeit unbekannt ist, ist das Ergebnis zu ungenau.
b) Laufzeit · Geschwindigkeit = Entfernung

8. Schülerindividuelle Lösungen.

9. a) *Mögliche Fehlerquellen:* Zeitmessung ungenau, Position der Satelliten ungenau, Geschwindigkeit ungenau …
b) Geschwindigkeit bei Satellitennavigation ist viel größer (300 000 km/s); die Entfernungen sind viel größer; bei der Satellitennavigation ist die Geschwindigkeit konstant (Lichtgeschwindigkeit).

18 Projekt: Satelliten umkreisen die Erde

1. a) Die sogenannte geostationäre Bahn befindet sich in 35 800 km Höhe.

b) Radius Modellerde = 15 cm; Radius Erde = 6350 km; daraus folgt:

$$\frac{35\,800\,000\text{ m} \cdot 0{,}15\text{ m}}{6\,350\,000\text{ m}} = 0{,}85\text{ m} = 85\text{ cm Abstand}$$

c) Umfang = $2 \cdot \pi \cdot$ (15 cm + 85 cm Radius) = 630 cm = 6,3 m

2. Schülerindividuelle Lösungen.

3. Schülerindividuelle Lösungen.

19 Projekt: Mit Bluetooth verfolgen

1. a) Der Name ist vom dänischen König Harald Blauzahn (um 910 bis 987 n. Chr.) abgeleitet, der es schaffte, Bündnisse zwischen mehreren skandinavischen Fürstentümern zu schmieden und so eine feste Verbindung zwischen den Ländern herstellte.
b) In der Praxis sollte für eine sichere Verbindung zwischen zwei Geräten der Abstand zwischen 1 m bis höchstens 20 m liegen.
c) Bluetooth wurde im Jahr 1999 entwickelt. Seit 2009 gibt es Bluetooth in der Version 4.0, im Jahr 2016 wurde Bluetooth 5.0 vorgestellt.
d) Das Logo ist eine Kombination der Initialen H und B von König Harald Blauzahn in germanischen Runen.
e) Das Profil „A2DP" ist für die Übertragung von Musik geeignet, das Profil „HSP" für die Übertragung von Sprache.

2. *Bezugsadresse:* In Online-Portalen (z. B. Ebay) oder bei Elektronikfachhändlern (z. B. Conrad Elektronik). Kosten: zwischen 6 € und 8 €.

3. Schülerindividuelle Lösungen.

4. *Musterlösung:* Das Auffinden von Gegenständen und Personen in einem engeren Umkreis. Das Weitergeben von Befehlen ohne Leitungen über eine Distanz. Das Orten von einzelnen Paketen in einem Container.

5. *Musterlösung:* Das Setzen von weltweiten Markierungen. Das weltweite Auffinden von Gegenständen und Personen.

6. *Musterlösung:* Das Fernbedienen von Funktionen im Smartphone. – Dadurch kann der Schutz von persönlichen Daten z. B. durch ungewolltes Mitschneiden oder Fotografieren verletzt werden.

20 Projekt: Tracking mit Navigationssatelliten

1. a) Man kann den Standort oder das Bewegungsmuster des Trägers aufzeigen oder nachvollziehen. Autos, Haustiere, Waren, zu schützende Gegenstände und Personen lassen sich überwachen.
b) Die GPS-Tracker sind sehr günstig und werden bereits für 15 € angeboten. Man benötigt jedoch eine SIM-Karte, die für jede gesendete SMS Kosten oder feste monatliche Gebühren verursacht.
c) Das Tracken ist nur rechtlich befugten Personen erlaubt. Persönliche Daten unterliegen dem Datenschutz.
d) Kompakte Tracker haben eingebaute Akkus. Fest installierte Geräte decken den Strombedarf über externe Batterien oder Stromquellen ab. Die Laufzeit hängt davon ab, wie oft der Standort gesendet werden soll. Ein normaler Akku hält etwa zwischen einer Woche und einem Monat.
e) Der GPS-Tracker braucht zur Positionsbestimmung das Signal von mindestens vier Satelliten.

2. Schülerindividuelle Lösungen.

3. Schülerindividuelle Lösungen.

4. Schülerindividuelle Lösungen.

5. Man kann nun in den Raum hineinhören und diesen überwachen und beobachten, was um den Tracker herum geschieht. Das Gerät kann z. B. als Babyfone genutzt werden oder zum Übertragen von Sprachinformationen.

6. a) Schülerindividuelle Lösungen. *Musterlösung:* Vorteile: Durch Tracking-Systeme kann der Standort von Tieren, Personen oder Waren bestimmt werden. Dies kann kritische Situationen vermeiden helfen, in die z. B. alte Menschen oder Kinder kommen können. Bei Waren lässt sich weltweit der Standort lokalisieren. Nachteile: Eine Positionsbestimmung von Menschen kann zum Missbrauch von persönlichen Daten führen. Das Tracking von Waren kann zu globaler Konkurrenz und zu unverhältnismäßigem Konsum führen.
b) Art. 5 (Grundsätze für die Verarbeitung personenbezogener Daten) Abs. 1: Das Nutzerverhalten einer Person ohne deren Einverständnis zu messen und auszuwerten ist nicht erlaubt. Die Verarbeitung muss unter bestimmten Grundsätzen erfolgen: nach Rechtmäßigkeit sowie „Treu und Glauben", Transparenz, Zweckbindung, so wenig wie möglich und korrekt (richtig), vertraulich und integer. – Art. 6 (Rechtmäßigkeit der Verarbeitung) Abs. 1: Heimliches Tracken von Personen liegt häufig nicht im Interesse der betroffenen Person und ist daher verboten. Es ist nur unter bestimmten Bedingungen zulässig.

ARBEITSBLÄTTER

Modul 1:
Abenteuer Navigation 28

Modul 2:
Navigieren ohne elektronische Hilfen 31

Modul 3:
Navigieren mit himmlischen Helfern: Satellitennavigation ... 41

Modul 4:
Galileo: das europäische Satellitennavigationssystem 55

Modul 5:
Es geht noch genauer! 63

Modul 6:
Projekte zur Navigation 71

Bitte beachten Sie die Bedeutung folgender Symbole neben den Aufgabennummern:

Diese Aufgabe ist nicht direkt auf dem Arbeitsblatt zu lösen.

* Sternchenaufgaben sind zusätzliche, etwas umfangreichere oder schwierigere Aufgaben. Sie eignen sich gut zur Differenzierung.

1 Abenteuer Navigation

In unserem Alltag navigieren wir ständig – nicht nur wenn wir reisen, sondern auch in unserem engsten Umfeld. Wir „navigieren" problemlos in die Küche, um uns ein Glas zu holen, finden den Weg in den Keller oder in die Garage, weil wir mit offenen Augen durch die Welt gehen, das Gebiet gut kennen und im Kontakt mit anderen Menschen stehen. In unserem eigenen Umfeld – in unserer Komfortzone – wird die Herausforderung der Navigation erst dann erlebbar, wenn wir unsere Sinne und Austauschkanäle einschränken. Dann wird das Zurechtfinden zum Abenteuer. Genau darum geht es in diesem Spiel.

Wie finden wir uns in einer unbekannten Welt zurecht – ohne Smartphone?

Das Spiel ist in drei Phasen gegliedert:

1. Vermessung
2. Kartierung
3. Schatzsuche

Euer Ziel: Findet einen Schatz mit einer selbst gezeichneten Karte. Die Gegend, die ihr zeichnet, habt ihr noch nie vorher gesehen.

Ihr braucht: Einen Späher oder eine Spähergruppe aus eurer Klasse, der Rest von euch arbeitet als Zeichner. Im letzten Teil des Spiels machen sich ein paar Mutige mit der besten Schatzkarte auf den Weg ins Unbekannte.

Viel Glück!

EINE LANGE GESCHICHTE VON ENTDECKERN

Mit diesem Spiel machst du eine Jahrhunderte währende Geschichte lebendig. Alle großen Entdecker dieser Welt hatten immer nur Karten dabei, die das Ergebnis von Berichten anderer Reisender waren. Wer einmal irgendwo weit weg war, berichtete von seinen Reisen und mit Glück zeichnete jemand anderes von diesem Bericht eine Karte. Wer danach ans gleiche Ziel wollte, konnte mit Glück und manchmal nur mithilfe von viel Geld die Karte mitnehmen. Doch was, wenn der Bericht fehlerhaft oder die Zeichnung ungenau war? Dann wurde eine Reise zu einer Expedition ins Ungewisse – in eine Welt, von der niemand sagen konnte, wie sie wirklich aussah.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

Phase 1: Vermessung

1

Aufgabe Späher

Du bist der einzige, der die unbekannte Welt je gesehen hat und die Lage des Schatzes kennt. Präge dir die Situation im Schatzraum und die Lage des Schatzes genau ein. Du bist derjenige, der nachher die anderen zum Schatz führen muss.

Achtung: Du hast nur eine vorgegebene Zeit!

Phase 2: Kartierung

2

Aufgabe Späher

Du bist der einzige, der die Lage des Schatzes und die Situation im Schatzraum kennt.
Gib dein Wissen an deine Mitschülerinnen und Mitschüler weiter, indem du ihnen möglichst exakt berichtest. Es gibt 3 Schwierigkeitsstufen, die ihr vor Spielbeginn vereinbart habt:

- Stufe 1: Du darfst für deinen Bericht alle Wörter benutzen.
- Stufe 2: Folgende Wörter sind für deinen Bericht nicht erlaubt:
  Fenster, Tafel, Türe, Pult, Tisch, Wand, Decke, Stuhl.
- Stufe 3: Folgende Wörter sind für deinen Bericht zusätzlich nicht erlaubt:
  links, rechts, vorne, hinten, oben, unten.

Achtung: Du hast nur eine vorgegebene Zeit!

Aufgabe Zeichner

Du kennst aus dem Bericht des Spähers die Situation im Schatzraum und die Lage des Schatzes. Erstelle auf der Basis dieses Berichts nun eine möglichst genaue Karte.

Achtung: Nachfragen an den Späher sind nicht erlaubt und du hast nur eine vorgegebene Zeit zur Verfügung!

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

Phase 3: Schatzsuche

3A

Eine Gruppe wird ausgewählt, den Schatz tatsächlich zu suchen. Für diese Schatzsucher gilt es nun, mithilfe ihrer Karte den Schatz zu finden. Die Gruppe teilt sich auf in einen Sucher und in Navigatoren. Die anderen Gruppen verfolgen die Schatzsuche live über eine Videokonferenz.

Aufgabe Sucher

Du musst mit verbunden Augen im unbekannten Schatzzimmer den Schatz suchen.
Dazu wirst du von den Navigatoren geleitet.

Achtung: Der Rest deiner Klasse sieht und hört alles, was du tust und du hast nur eine vorgegebene Zeit zur Verfügung!

Aufgabe Navigatoren

Ihr müsst den Sucher möglichst gut und in der vorgegebenen Zeit zum Schatz führen.
Die Situation im Schatzraum kennt ihr aber nur über eure Karte. Der Sucher selbst sieht nichts, ihr könnt euch mit ihm aber unterhalten.

Achtung: Alles, was ihr mit dem Sucher redet und was der Sucher im Schatzzimmer macht, hört und sieht der Rest eurer Klasse!

Phase 3: Schatzsuche (Alternative)

3B

Wie gut haben die anderen Gruppen ihre Karten gezeichnet? Jede Gruppe erhält die Karte einer anderen Gruppe und alle gehen in den Schatzraum, um mit der fremden Karte den Schatz zu suchen. Diskutiert danach folgende Fragen:

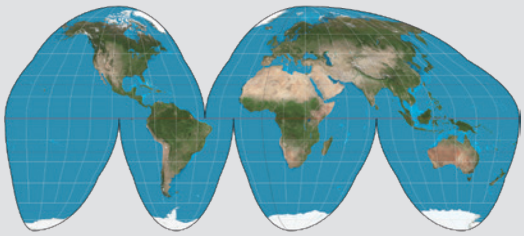
- Wie brauchbar ist die Karte, die ihr nun habt, um damit den Schatz zu finden? (Vergebt eine Note von 1 bis 6)
- Welche Probleme habt ihr, mit dieser Karte den Schatz zu finden?
- Was könnte man besser machen?

Ihr habt fünf Minuten Zeit für euer Gespräch. Danach stellt ihr eure Antworten bitte in der Klasse vor.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

2 Von der Kugel zur Karte

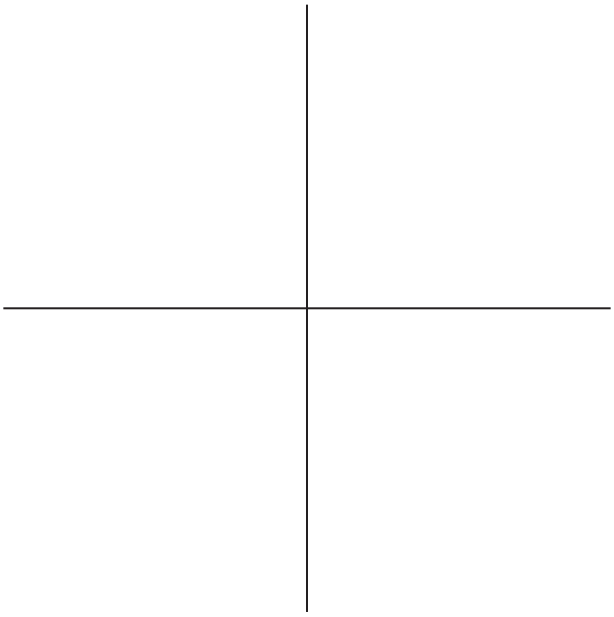
Die Erde ist rund – eine Karte ist flach. Genau hier steckt das Problem: Man kann eine Kugeloberfläche nicht exakt auf eine Karte abbilden. Jede Karte stellt in gewisser Form die Erde falsch dar. Damit wir uns dennoch mit einer Karte sinnvoll orientieren können, gibt es Methoden und Projektionen, die für die einzelnen Anwendungen im Alltag gut funktionieren.



1. Beim Zeichnen von realen Objekten muss die Dreidimensionalität in zwei Dimensionen umgesetzt werden. Im Technischen Zeichnen haben sich verschiedene Ansichten (Projektionen) etabliert.

a) Die häufigsten Ansichten sind die dimetrische Ansicht, die isometrische Ansicht und die Kabinettansicht. Recherchiere die Vor- und Nachteile dieser Ansichten.

b) Mithilfe einer Parallelprojektion wird die Dreitafelprojektion von 3D-Objekten durchgeführt. Informiere dich, wie dies funktioniert (z. B. mit dem Video www.space2school.de/mehrtafelprojektion).
Wähle nun einen einfachen Gegenstand aus deinem Umfeld (z. B. Stiftanspitzer, Lunchbox …) und erstelle von ihm eine Dreitafelprojektion.



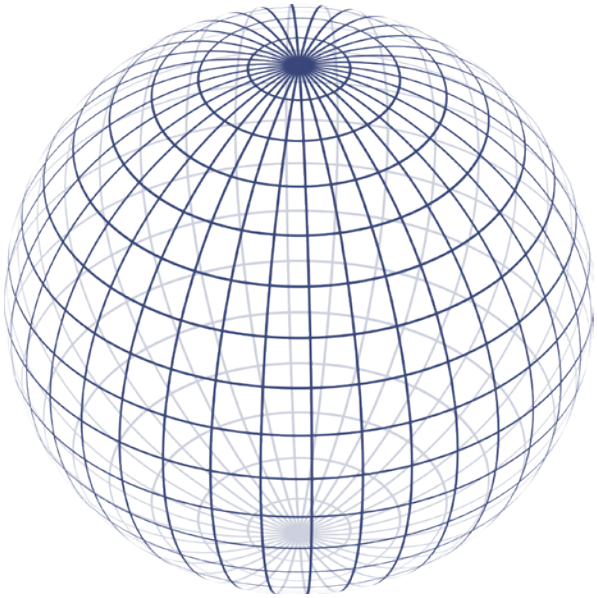
c) Oftmals sind die Gegenstände, die man zeichnen möchte, wesentlich größer als das Papier. Dann verwendet man einen Maßstab. Berechne die Länge einer Strecke in einer Skizze, wenn der Maßstab 1:25 ist und die Streckenlänge in der Realität 35 cm beträgt.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

2. Einen Ort findet man dann am besten, wenn man seine genaue „Adresse" kennt. Bei flachen Objekten (z. B. beim Spiel „Schiffe versenken" oder in der Mathematik) verwendet man oft sich senkrecht schneidende Achsen (x- und y-Achse) als Hilfe für eine genaue Ortsangabe. Bei Kugeln ist dies nicht so leicht möglich.

a) Nenne die „Achsen", die man für Ortsangaben auf der Erde verwendet und erläutere, wie diese auf der Erde verlaufen.

b) Zeichne jeweils eine der Achsen farbig in die Abbildung ein und beschrifte sie mit ihrem Namen.



c) Erkläre den Begriff „Nullmeridian" und beschreibe, wo dieser liegt. Gibt es einen geographischen Grund für diesen Ort?

d) Finde die genaue Ortsangabe für deinen Wohnort heraus und gib an, welche Information im Längen- und welche im Breitengrad steckt.

e) Mit welcher Angabe kann man auf die gleiche Ortszeit schließen?

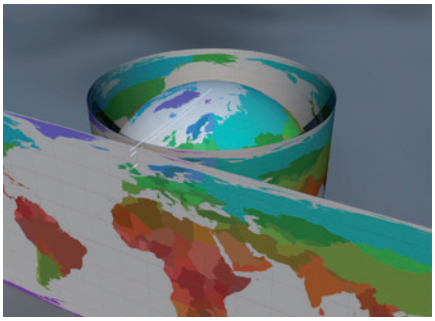
f) Findet in Partnerarbeit heraus, warum man Gradangaben benutzt zur „Einteilung der Erde" und nicht z. B. Kilometerangaben.

STARTETE KOLUMBUS WEGEN EINES FEHLERS?

Das Gerücht hält sich hartnäckig: Womöglich ist Christoph Kolumbus, der Entdecker Amerikas, nur losgesegelt, weil er einer fehlerhaften alten Seekarte vertraute. Die Vermutung, dass die Erde eine Kugel sein könnte, hatte bereits der Grieche Claudius Ptolemäus im Jahr 150 n. Chr. veröffentlicht. Seine Karten im Buch „Geographia" waren Grundlage für die Reiseplanung von Kolumbus 1300 Jahre später, er wollte westwärts übers Meer einen Weg nach Indien finden. Weil Ptolemäus das Mittelmeer aber viel zu groß gezeichnet hatte, erschien Kolumbus der Weg nach Asien viel kürzer als er in Wirklichkeit ist. Für einen weiteren Kontinent war da eigentlich kein Platz. Vielleicht hat sich Kolumbus nur deshalb auf das Risiko einer Überfahrt eingelassen.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

3. Die Oberfläche einer Kugel exakt auf einer flachen Karte darzustellen ist nicht möglich. Das wissen wir, seitdem es Leonhard Euler 1777 mathematisch bewiesen hat. Bearbeitet die folgenden Aufgaben in einer Kleingruppe.



a) Versucht, die Schale einer ganzen Orange flach auf einen Tisch zu legen. Beschreibt, was dabei passiert.

b) Über Projektionen kann man Karten der Erde erhalten. Eine mögliche Projektion ist, sich vorzustellen, dass man ein Blatt um die Erde legt und im Inneren der Erde eine Lampe leuchtet. Das Blatt fungiert dann als Lampenschirm, auf dem sich die Erde abbildet. Überlegt, welche Nachteile dieses Verfahren hat.

c) Informiert euch im Internet (z. B. unter der Seite www.space2school.de/kartenprojektionen), welche Projektionsarten für Karten es gibt. Legt eine Tabelle mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen an.

d) Jede Projektion hat Fehler in ihrer Darstellung. Abhängig von der Information, die man haben möchte, wählt man winkeltreue, flächentreue oder längentreue Projektionen aus. Nehmt euren Schulatlas zur Hand und betrachtet dessen Weltkarten. Zu welchem Typ gehören sie?

*

4. a) Nimm einen Globus und zeichne eine gerade Linie, also die kürzeste Verbindung, von Aalborg (Nord-Dänemark) bis Genua (Italien) und eine gerade Linie von Brest (West-Frankreich) bis Wien (Österreich). (Du kannst die Linie auch mit einem schmalen Streifen Papier kleben, z. B. mit Korrekturband.)
Nimm eine Europa-Karte im Format DIN A4 (zum Beispiel als Ausdruck von www.openstreetmap.org) und übertrage die Linie des Globus möglichst exakt auf die Karte. Beschreibe deine Beobachtung. Erkläre, warum nicht beide Linien auf der Karte die gleiche Form haben.

b) Die längste gerade Strecke, die man an Land zurücklegen kann, führt von Faro (Portugal) nach Jinjiang in Südchina (siehe Erdkugel). Zeichne die Strecke in die Weltkarte ein.

c) Wie verläuft wohl die größtmögliche Strecke, die ein immer geradeaus fahrendes Schiff auf der Erde zurücklegen kann? Recherchiert in der Kleingruppe unter www.space2school.de/seeweg und erklärt das dort Geschilderte mit euren eigenen Worten (Referat, Umfang eine Seite DIN A4).

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

3 Ohne Smartphone auf der Erde orientieren

Die wichtigste Orientierungsmöglichkeit stellen die vier Himmelsrichtungen dar. Mit ihnen kann man sich grob auf der Erde zurechtfinden. Kommen dann noch Kompass und Landkarte hinzu, sollte man sich nicht verlaufen können … nur hat man leider nicht immer beides zur Hand. Aber es gibt viele weitere Möglichkeiten, sich auf der Erde zu orientieren, ohne dass man irgendwelche elektronischen Hilfsmittel benötigt.

1. Das älteste Instrument zur Orientierung ist der Kompass.

a) Skizziere einen Kompass von oben (Draufsicht) und erläutere seine Funktionsweise.

b) Welche Nachteile hat ein „mechanischer" Kompass? Recherchiere, welche technische Alternative vor allem auf Schiffen verwendet wird.

c) Bringe die Begriffe, wie man einen Kompass mit einer Karte verwendet, in die richtige Reihenfolge, indem du die Ziffern 1 bis 4 in die Kreise schreibst.

○ Marschrichtung in die Natur übertragen	○ Standort bestimmen	○ Karte einnorden	○ Marschrichtung bestimmen

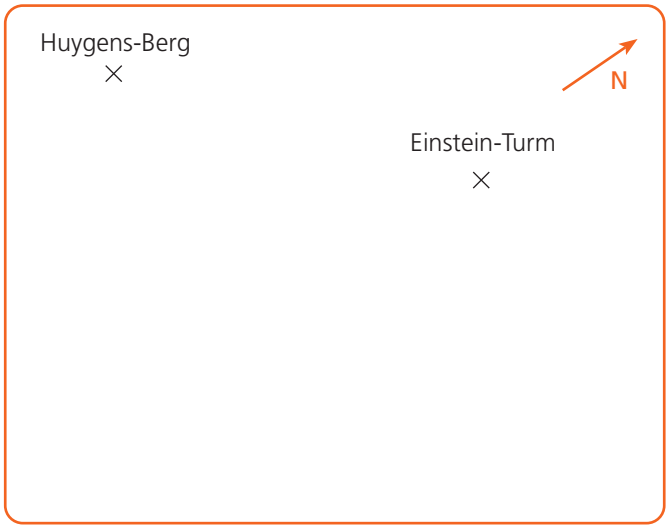
d) Versucht euch zu zweit mithilfe einer lokalen Karte (ggf. mit OpenStreetMap im Internet für die gewünschte Region ausdrucken) und einem Kompass in der Nähe eures Wohnorts oder in der Umgebung der Schule zu orientieren. Notiert die Schwierigkeiten, die sich dabei ergeben haben.

IM MITTELALTER: NAVIGATION ALS FREAKSHOW

Vor 2000 Jahren zeichneten die alten Griechen möglichst genaue Karten, um sich an Land und auf See zurechtzufinden. Doch dieses Wissen geriet bis nach dem Mittelalter in Vergessenheit. Karten aus dieser Zeit erscheinen heute wie Wimmelbilder aus einem Drogenrausch: Fantasiewesen bevölkern Landstriche und Formen, Namen und Entfernungen liegen völlig daneben. Diese Karten dienten wohl mehr zur Selbst- als zur Positionsfindung. Und wie damals üblich, befindet sich der Osten auf den Karten oben. Denn daher stammt das Wort „orientieren" – was auf lateinisch soviel heißt wie „nach Osten ausrichten".

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

2. a) Mit dem Verfahren des „Rückwärts Einschneidens“ kann man in der Natur seine exakte Position bestimmen, wenn man eine Karte und einen Kompass hat. So geht man bei diesem Verfahren, das auch Pfadfinder nutzen, vor:
Auf der Karte siehst du die Spitze des Huygens-Bergs und den Einstein-Turm. Du misst von deinem Standort aus den Huygens-Berg unter einem Winkel von 78° in westlicher Richtung und den Einstein-Turm unter 24° in westlicher Richtung.
Trage deinen Standort in die Skizze ein.

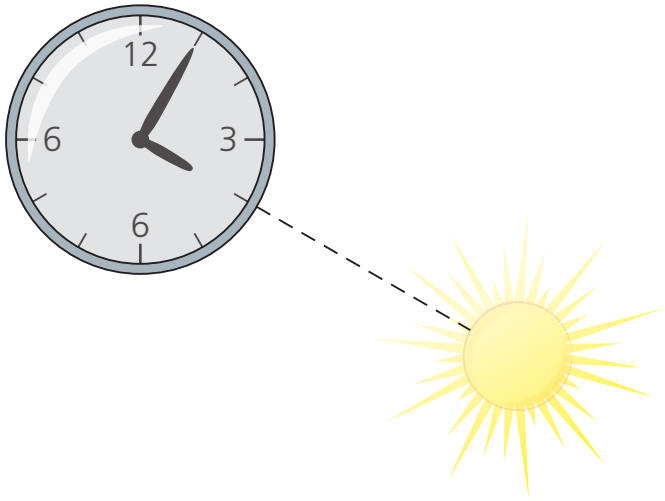


b) Verfasse eine kurze Handlungsanweisung, wie das „Rückwärts Einschneiden“ mit Kompass und Karte funktioniert.

3. Hast du keinen Kompass zu Hand, kannst du dich auch mithilfe der Sonne orientieren.

a) Beschreibe eine einfache Regel, mit der man sich auf der Nordhalbkugel grob mit der Sonne orientieren kann.

b) Etwas genauer kann man die Himmelsrichtungen mit einer analogen Armbanduhr bestimmen. Ergänze die folgenden Punkte (2) und (3) entsprechend.
Tipp: Ermittle mit einem echten Kompass die Himmelsrichtung, führe Schritt 1 durch und überlege dann, wie es sinnvoll weitergehen könnte.



(1) Lege die Uhr auf deine Hand und richte sie so aus, dass der Stundenzeiger auf die Sonne zeigt.

(2) _____

(3) _____

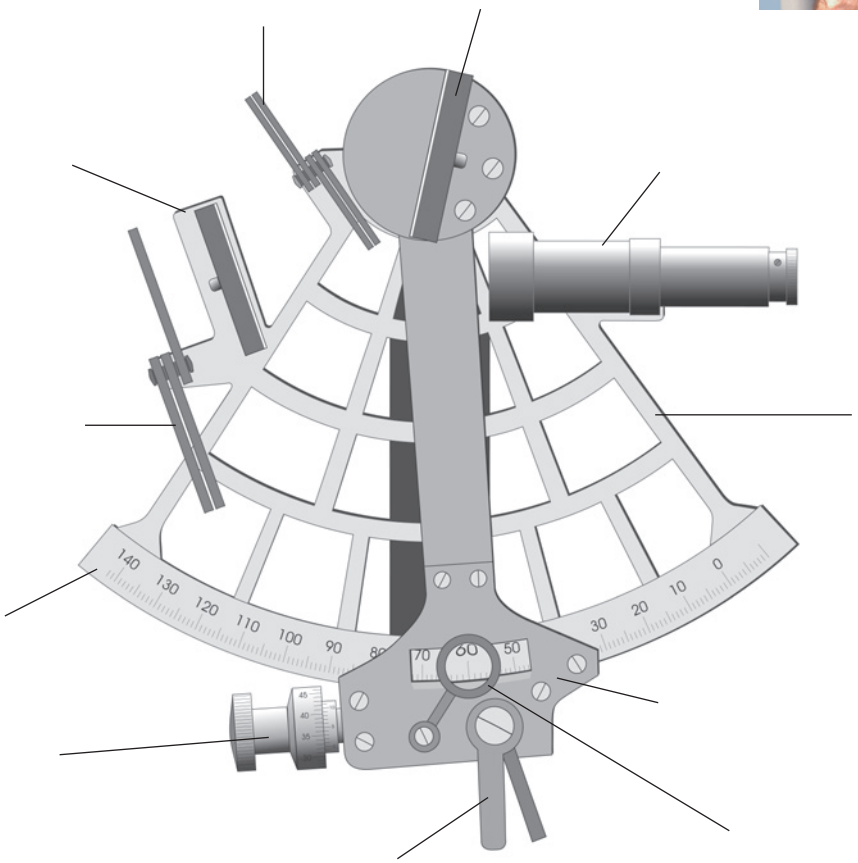
c) Diese Art der Bestimmung hat zwei Fehlerquellen. Überlege mit deinem Banknachbarn, welche Fehlerquellen das sind. Denke dabei an Jahreszeiten und an Zeitzonen.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

4. Das wichtigste Werkzeug zur Ortsbestimmung war für Seefahrer lange der Sextant.

a) Informiere dich über die Funktionsweise auf der Seite www.space2school.de/sextant.

b) Benenne die wichtigsten Bauteile des Sextanten, indem du die Abbildung ergänzt.



c) Mit einem Sextanten kann man messen, welcher Winkel zwischen dem Horizont und einem hellen Objekt am Himmel existiert. Man vermisst vorzugsweise die Sonne um 12 Uhr Ortszeit.
Skizziere die Erde und die Sonne auf einem Blatt. Überlege nun, wie ein Mensch auf der Erde die Sonne um 12 Uhr am Äquator und am Nordpol jeweils sieht.

Am Äquator	Am Nordpol

d) Schließe aus dieser Erkenntnis, welche Information man aus der Winkelmessung mit dem Sextanten erhält.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

e) Für die genaue Ortsbestimmung fehlt noch eine zweite Koordinate. Diese erhält man über eine Zeitmessung gegenüber einer Referenz-Ortszeit. Diese ist nach dem Stadtteil Greenwich (London) benannt (was historische Gründe hat).
An welchem Ort der Erde könntest du dich befinden, wenn du weißt, dass dieser Ort eine Zeitdifferenz von 4 h und 56 min gegenüber Greenwich hat?
Tipp: Überlege dir, wie das Gradnetz der Erde aufgebaut ist und wie lange sie für eine Umdrehung benötigt.

5. Nicht immer hat man eine analoge Armbanduhr zur Hand oder die Sonne versteckt sich hinter Wolken. Dennoch gibt es Möglichkeiten, die Himmelsrichtungen herauszufinden.

a) Es gibt „klassische" Orientierungshilfen, die uns die Natur bietet. Benenne mindestens drei.

b) Du erhitzt in einem Camp im Hochgebirge Wasser mit einem Gaskocher oder Lagerfeuer. Dabei stellst du fest, dass das Wasser schon deutlich vor 100 °C kocht. Finde eine Erklärung. Wie kann dir diese Erkenntnis bei der Bestimmung der Höhe weiterhelfen?
Tipp: Lies dazu im Physikbuch das Kapitel über die barometrische Höhenformel.

*(D) **6.** Menschen benutzen Instrumente zur Navigation. Aber wie orientieren sich Tiere, zum Beispiel Zugvögel?

a) Erstelle eine Präsentation zum Thema: „Wie finden Vögel jedes Jahr den gleichen Ort zum Brüten?"

b) Recherchiere im Internet, welche anderen Tiere sich ähnlich wie Vögel orientieren können.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

4 Mit Sternen auf der Erde orientieren

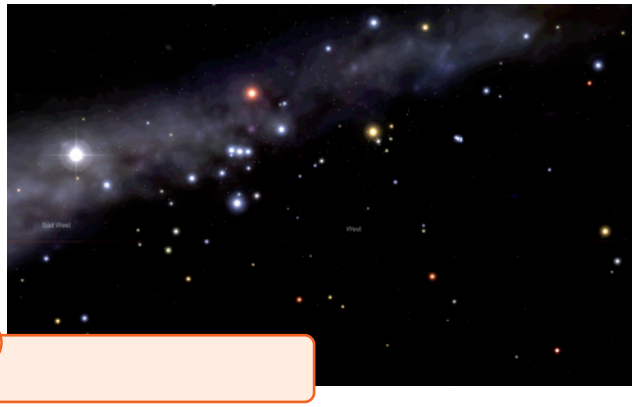
Die Abbildung zeigt die „Himmelsscheibe von Nebra“, eine uralte Darstellung des Sternenhimmels auf einer Bronzescheibe aus vorchristlicher Zeit. Aber die Menschen orientierten sich schon vorher an hellen Sternen und fassten bestimmte Sternkonstellationen zu Sternbildern zusammen. Die antiken Hochkulturen verfeinerten die „Sternenkunde“ und schufen mit der Astronomie eine der ältesten Wissenschaften. Für Seefahrer waren Sterne (und die Sonne) lange Zeit die wichtigste Orientierungshilfe. So fanden die Wikinger vor mehr als 1000 Jahren den Weg über den Atlantik nach Nordamerika.

1. Auch du kannst dich mithilfe des Sternenhimmels gut auf der Erde orientieren.

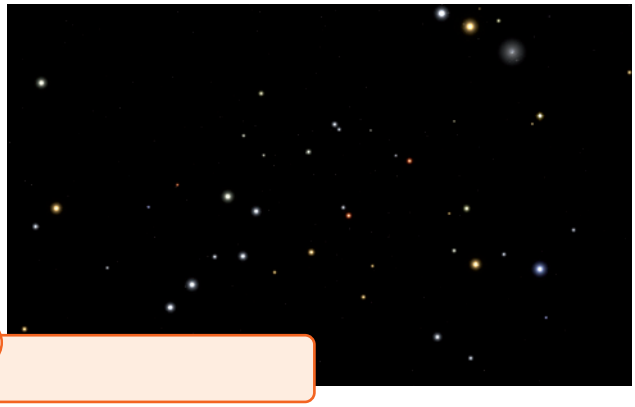
a) Installiere die Software „Stellarium“ von der Seite www.space2school.de/stellarium nach Anweisung. Starte sie und deaktiviere die Konstellationen und die Atmosphäre.
Finde die folgenden Sternbilder und benenne sie anschließend mithilfe der Konstellationen.

1

2



3



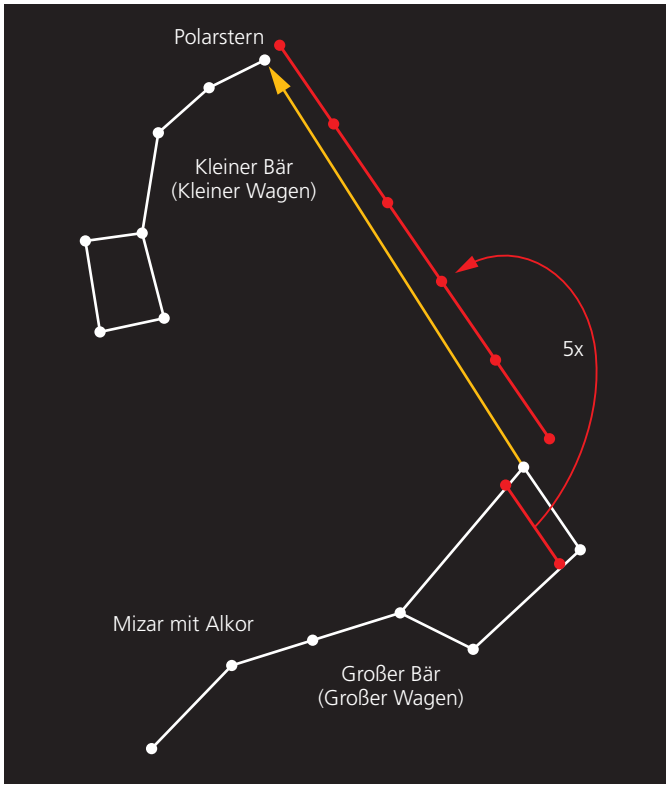
4

b) Wähle einen Ausschnitt, auf dem der „Kleine Wagen“ zu sehen ist, und drücke mehrfach auf den zeitlichen Vorlauf. Beschreibe deine Beobachtungen.
Welche logische Folgerung kannst du aus den Beobachtungen schließen?

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

c) Mit dem Polarstern kann man zwei Orientierungsinformationen erhalten. Die erste hast du bereits in Aufgabe b) gefunden. Finde nun die zweite Information. Tipp: Überlege, wo am Himmel du den Polarstern siehst, wenn du (1) am Nordpol stehst, (2) in Deutschland oder (3) am Äquator.

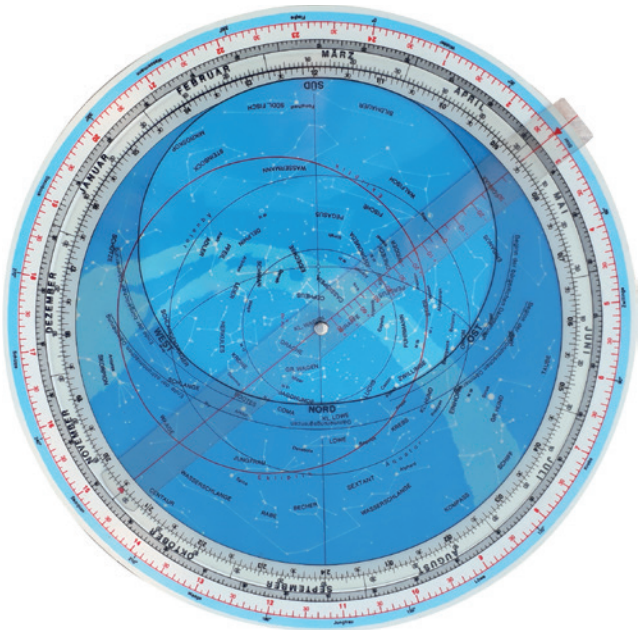
d) Formuliere mithilfe der Grafik eine Regel zum Auffinden des Polarsterns.



e) Für den Himmel der südlichen Hemisphäre gibt es leider keinen so gut geeigneten Stern, aber dennoch eine Hilfe. Recherchiere im Internet, wie man sich auf der Südhalbkugel orientieren kann.

2. Der nächtliche Sternenhimmel hat insgesamt 88 Sternbilder.
Zur besseren Orientierung verwendet man sogenannte drehbare Sternkarten.

a) Erkläre mithilfe einer Skizze, warum man keine drehbare Sternkarte für die ganze Erde herstellen kann.



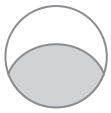
b) Recherchiert in der Gruppe, wie man eine drehbare Sternkarte herstellt und verwendet. Erstellt anschließend eine Anleitung (z. B. als Tutorial-Video, Dauer ca. 2 Minuten), in der ihr die Funktionsweise und Handhabung darstellt. Vergleicht eure Arbeiten und führt sie euch gegenseitig vor.

*) **c)** Zu jeder Jahreszeit gibt es neben den Sternbildern weitere markante Sternkonstellationen. Findet diese heraus, skizziert sie und benennt die wichtigsten Sterne dieser Konstellationen.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

3. Das hellste Objekt am Nachthimmel ist der Mond. Auch an ihm kann man sich orientieren.

a) Die Skizzen zeigen die gleiche Mondphase aus drei verschiedenen Gegenden der Erde aufgenommen.
Überlege, wie Sonne, Mond und Erde bei dieser Mondphase zueinander stehen und ordne den Grafiken die entsprechenden Gegenden zu.



_____

_____

_____

b) Beschreibe, welche zwei Orientierungsinformationen man aus der Mondphase entnehmen kann.

_____

_____

_____

c) Der Mond hat – abhängig von seinem 28 Tage dauernden Zyklus – jede Nacht eine bestimmte Position am Himmel sowie ein bestimmtes Schattenbild (Mondphase). Diese Mondphase kann man verwenden, um die Himmelsrichtungen herauszufinden. Recherchiere im Internet mit den Schlagwörtern „Himmelsrichtung nach dem Mond bestimmen“, wie diese Methode genau funktioniert. Fasse die Methode mit deinen eigenen Worten zusammen.

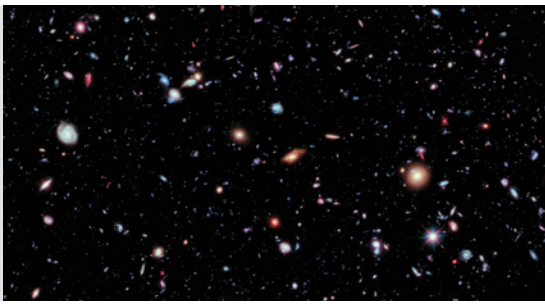
NAVIGATIONSMEISTER AUS DER TIERWELT

Viele Ameisen, Schmetterlinge, Bienen, Vögel und Fische sind echte Navigationsexperten. Sie überwinden riesige Entfernungen und kommen trotzdem dort an, wo sie hinwollen. Dafür setzen sie ausgeklügelte Systeme ein: Zugvögel haben einen eingebauten Kompass für die Nordrichtung, Monarchfalter orientieren sich an der Sonne, Wüstenameisen speichern Magnetfeld und Vibrationsmuster wie Landkarten ab. Viele Tiere nutzen auch mehrere Systeme gleichzeitig. Und Leopardhaie navigieren sogar mit der Nase: Sie erschnüffeln sich ihre Wege unter Wasser. Das konnten Forscher zeigen, indem sie Haien mit Baumwolle und Vaseline die Nase verstopften. Ohne Geruchssinn schwammen die Fische nur zufällige Wege, mit offenen Nasen blieben sie hingegen zielstrebig.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

5 Ortung durch Messen von Abständen

Mit dem Hubble-Weltraumteleskop gelang es Wissenschaftlern so tief in den Weltraum zu blicken wie nie zuvor. Die Abbildung zeigt eine im sichtbaren Licht aufgenommene Region des Universums mit etwa 5.500 Galaxien, deren Licht zum Teil über 13 Milliarden Jahre bis zur Erde unterwegs war. Die Galaxien sind damit nicht nur extrem weit von uns entfernt, sondern auch uralt – so alt, dass viele ihrer Sterne wahrscheinlich gar nicht mehr existieren! Es zeigt uns eindrucksvoll, wie eng Raum und Zeit miteinander verwoben sind.



1. Als Abstand bezeichnet man in der Mathematik die Länge der kürzesten Verbindungslinie zwischen zwei Punkten.

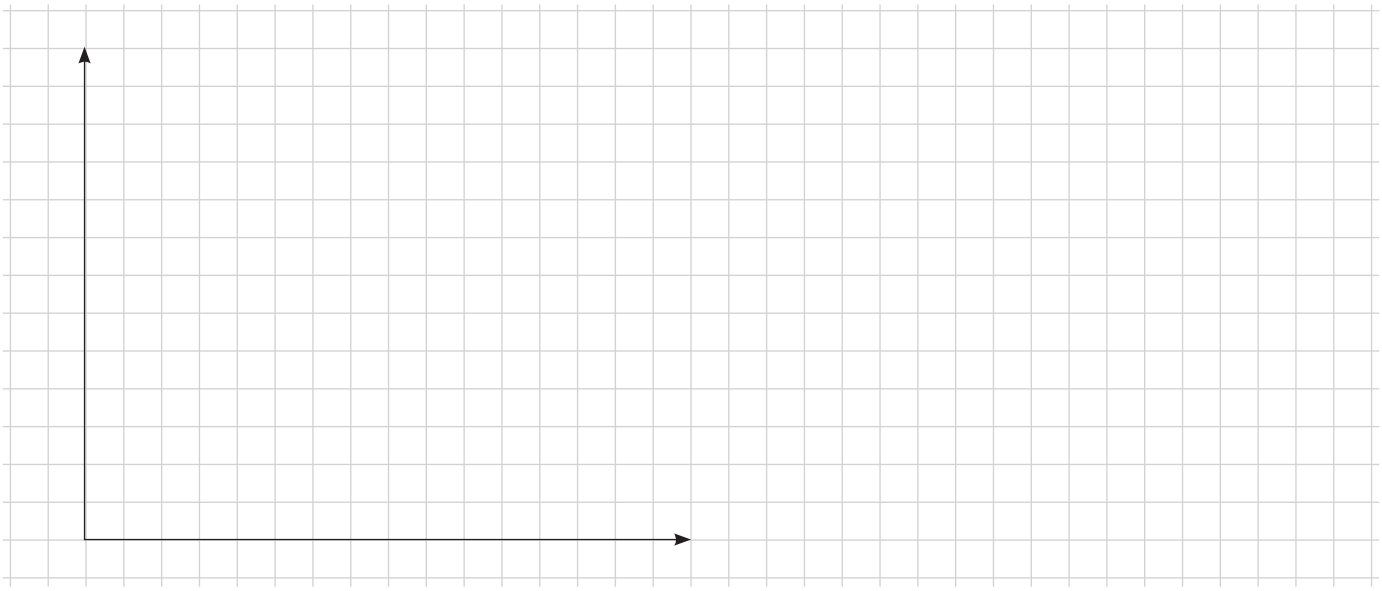
a) Nenne Beispiele für Abstände aus dem Alltag.

b) Bestimme mit dem Smartphone den Abstand deines Wohnhauses von deiner Schule. Begründe, warum dieser nicht unbedingt genauso lang ist wie dein tatsächlicher Schulweg.

2. Zeichne in ein Kartesisches Koordinatensystem die Punkte A(1|2) und B(5|5) ein. Bestimme nun ihren Abstand vom Ursprung und voneinander …

a) … durch Ausmessen und

b) … durch eine Rechnung (Tipp: Satz des Pythagoras).



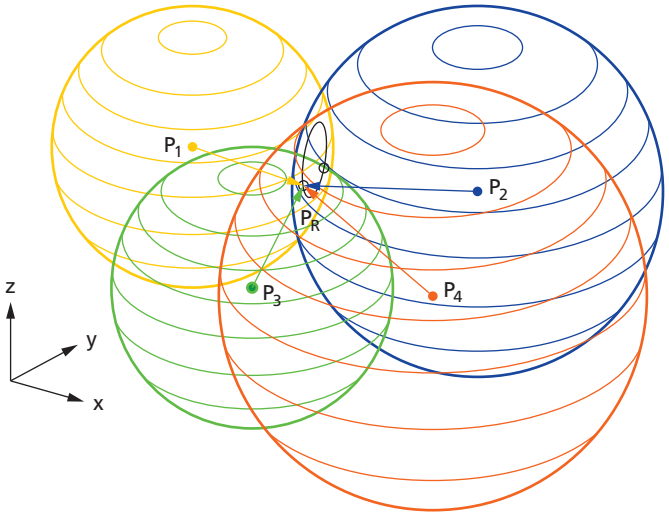
©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

3. Von einem Punkt $E(x_E|y_E)$ mit unbekannten Koordinaten ist bekannt, dass er vom Punkt $S_1(0|3)$ den Abstand 5 cm und von $S_2(10|0)$ den Abstand 6 cm hat.

a) Bestimme die möglichen Positionen von E mit einer Konstruktion (Zirkel!) und begründe, warum man keine eindeutige Lösung für die Position von E angeben kann.

b) Zeichne nun den Punkt $S_3(4|4)$ in das Koordinatensystem ein. Von diesem hat E einen Abstand von 4 cm. Bestimme mit diesen Angaben die eindeutige Position von Punkt E.

4. In Aufgabe 3 wurde deutlich, dass man die Koordinaten eines Punktes E in der Ebene eindeutig angeben kann, wenn man dessen Entfernung zu mindestens drei anderen bereits bekannten Punkten (S_1, S_2 und S_3) kennt. Begründe mithilfe der Abbildung, dass man im dreidimensionalen Raum den Abstand zu mindestens vier bekannten Punkten benötigt, um die Position von E eindeutig bestimmen zu können.



EIN TÜFTLER LÖST DEN RICHTUNGSSTREIT

Durch andere Magnete in der Umgebung lässt sich ein Kompass mit Magnetnadel leicht in die Irre führen. Auch Kompass-Apps von Smartphones lassen sich so verwirren. Der deutsche Tüftler Herrmann Anschütz-Kämpfe löste vor mehr als 100 Jahren das Problem: Er entwickelte den ersten hochgenauen „Kreiselkompass“, in dem ein Kreisel, der sich in einer Flüssigkeit dreht, immer exakt nach Norden weist und der ganz unabhängig vom Magnetfeld der Erde zuverlässig funktioniert. Ganz egal, ob auf hoher See, im U-Boot oder im Flugzeug.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

6 Wie man Entfernungen berührungslos messen kann

Die Radartechnik hat sich seit ihrer Erfindung enorm weiterentwickelt. So werden Radarsysteme längst nicht mehr nur in der Überwachung des Luftraums eingesetzt, sondern in vielen anderen Bereichen. Das Grundprinzip ist jedoch unverändert geblieben: Ein (Funk-)Signal wird ausgesandt und dessen Reflexionen werden gemessen. Heutzutage geht das so genau, dass man mit Radarsatelliten wie dem vom DLR betriebenen TerraSAR-X oder flugzeuggestützten Systemen Auswirkungen des Klimawandels zentimetergenau beobachten kann.

1. Bei einem Gewitter kann man leicht herausfinden, wie weit ein Blitz ungefähr entfernt war: Sobald man den Blitz sieht, beginnt man die Sekunden zu zählen, bis man den Donner hört. Das Ergebnis teilt man durch drei und hat die Entfernung in km.

a) Seit dem Erblicken des Blitzes sind 3 s (9 s, 10 s) vergangen. Schätze ab, wie weit der Blitz entfernt war.

b) Das Licht des Blitzes breitet sich unglaublich schnell aus – im Vergleich zum Schall des Donners kann man so tun, als hätte es gar keine Verzögerung. Der Schall hat dagegen in kalter Luft eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von $c \approx 330$ m/s. Begründe hiermit die oben beschriebene Faustformel.

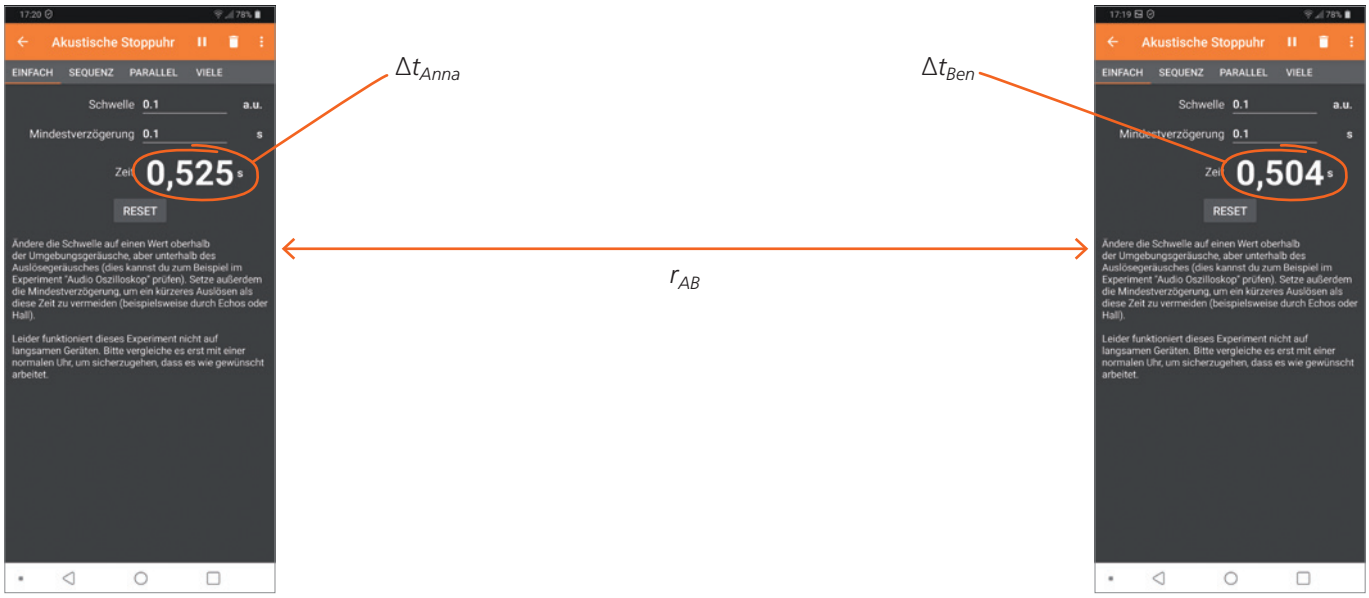
2. In vielen Autos werden Abstandssensoren als Parkhilfe eingebaut. Diese senden ein nicht hörbares Ultraschallsignal aus, welches von Hindernissen reflektiert und vom Sensor wieder empfangen wird. Die Zeitdauer zwischen Aussenden und Empfangen des Signals wird als ΔT (Signal-)Laufzeit bezeichnet.

a) Begründe, dass der Abstand Δs eines Hindernisses aus der Signallaufzeit mit folgender Formel berechnet werden kann: $\Delta s = c \cdot \frac{\Delta T}{2}$. Dabei ist c die Schallgeschwindigkeit.

b) Ultraschallabstandssensoren sind nur für Distanzen bis zu 15 m geeignet. Welchen Signallaufzeiten entspricht dies?

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

3. Nutze dein Smartphone als Abstandssensor! Hierzu werden zwei Smartphones mit der kostenlosen App *phyphox* benötigt. Diese werden als akustische Stoppuhr verwendet. Lade nach Absprache mit deiner Lehrkraft die App auf dein Smartphone und bearbeite die folgenden Aufgaben in Partnerarbeit.



Anna Ben

Platziert beide Smartphones mit eingeschalteter App in einem noch unbekannten Abstand von einigen Metern. An beiden Smartphones steht jeweils eine Schülerin oder ein Schüler – im Folgenden Anna und Ben genannt. Nun klatscht Anna so laut in die Hände, dass bei beiden (!) Smartphones die Stoppuhr startet. Kurz darauf verfährt Ben genauso und stoppt damit beide Uhren.

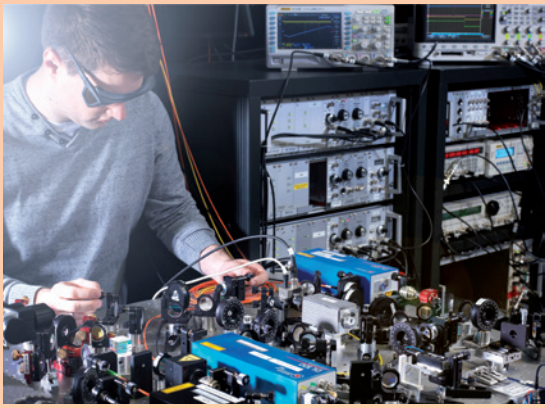
a) Führt den Versuch dreimal durch und tragt die Ergebnisse in eine Tabelle ein.

b) Die von Anna gemessene Zeit ist bei jeder Messung etwas länger als die von Ben. Begründet, dass dieser Unterschied $\Delta t_{Anna} - \Delta t_{Ben}$ genau zweimal der Laufzeit ΔT des Schalls von Anna zu Ben entspricht.

c) Nutzt die Ergebnisse aus (a) und (b), um den Abstand zu bestimmen. Kontrolliert das Ergebnis mit einem Maßband.

WETTLAUF DER GENAUIGKEITEN

Die Zeit genau zu messen, war schon immer der Schlüssel zu einer genauen Ortsbestimmung. Jahrhundertelang ließ sich der Längengrad nur über die Uhrzeit bestimmen, zu der die Sonne am höchsten stand. Der Vergleich mit der Mittagszeit aus dem Heimathafen war die einzige Möglichkeit festzustellen, wo man sich befand. Vor allem auf hoher See war die Zeit des Heimathafens aber ein Problem: Wellen, Wind und Salz setzten den Uhren zu, die eigentlich möglichst genau laufen sollten. Im 18. Jahrhundert schrieb England sagenhafte 20.000 Pfund als Preis für die genaueste Uhr auf hoher See aus. Heute wären das mehrere Millionen Euro. Das Resultat: Ein Boom der Uhrmacherbranche und der Beginn der Uhrenindustrie. Und heute? Verwendet man Atomuhren und versucht diese noch weiter zu verbessern. Physiker arbeiten an einer sogenannten „optischen" Uhr.

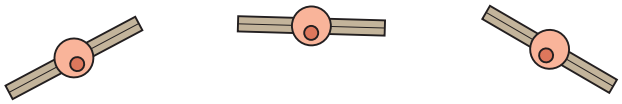


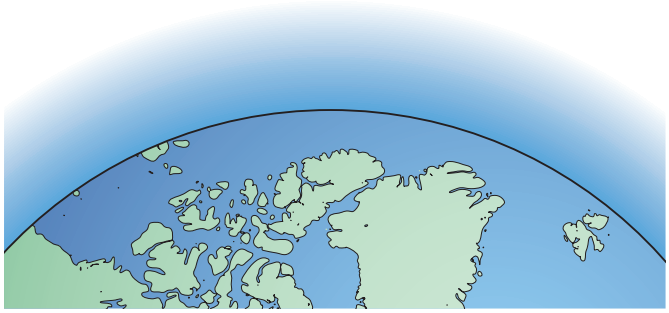
©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

7 Es funktioniert mit Funk: Satellitennavigation

Wenn man sich verläuft und nicht mehr weiß, wo man sich befindet, kann das ziemlich unangenehm werden. Jeder, der unterwegs zu einem Treffen an einem unbekannten Ort schon mal mit leerem Smartphone-Akku da stand, kennt das. Wir verlassen uns mittlerweile blind auf die Verfügbarkeit von Signalen aus dem Weltall, obwohl diese Technik erst seit wenigen Jahren wirklich nutzbar ist.

1. Die (nicht maßstabsgetreue) Skizze zeigt die Erde mit drei Satelliten. Wie könnte Satellitennavigation funktionieren? Schreibe deine Überlegungen auf und skizziere sie in der Abbildung.





2. Navigationssatelliten senden Funksignale zur Erde. In der Physik spricht man von elektromagnetischen Wellen. Nenne Beispiele aus deinem Alltag, wo dir Nachrichtenübertragung mithilfe von elektromagnetischen Wellen begegnet.

3. Die Navigationsnachricht der GPS-Satelliten ist ein Datensatz von 37,5 kBit. Sie ist unterteilt in 25 „Rahmen“ (Frames). Übertragen wird sie mit 50 Bit pro Sekunde.

a) Wieviel Bit hat ein Frame der Navigationsnachricht?

b) Wie lange dauert es, bis ein Frame bzw. die komplette Navigationsnachricht übertragen ist?

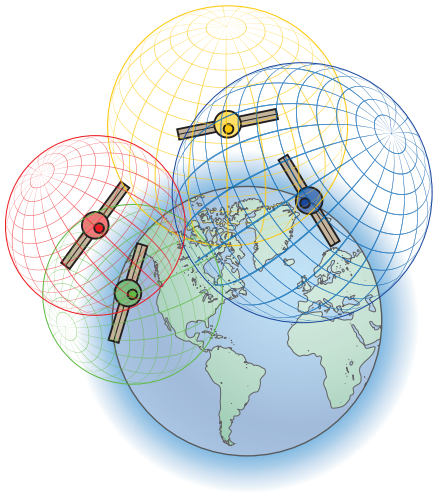
©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

4. Die Funksignale der Satelliten breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit, also etwa 300 000 km/s, aus. Berechne, wie lange das Signal eines Satelliten, der sich in einer Höhe von 23 222 km über dem Erdboden befindet, bis zum Empfänger ungefähr benötigt.

5. Die Navigationsnachricht beinhaltet im Wesentlichen folgende Informationen:

– Die aktuelle Position des Satelliten und
– ein Zeitsignal, aus welchem sich die exakte Signallaufzeit berechnen lässt.

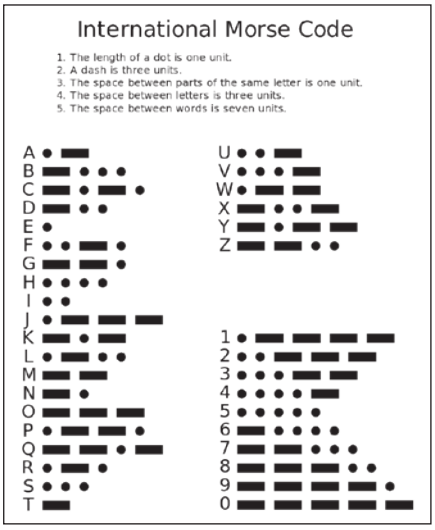
Begründe, dass der Empfänger durch den Empfang von vier Satelliten eine eindeutige Position berechnen kann. Tipp: Die Abbildung kann helfen.



6. Navigationssatelliten übertragen ihre Daten digital codiert – sozusagen als Nullen und Einsen. Dazu verwenden sie einen speziellen Code, ähnlich dem Morsecode (siehe Abbildung). Im Morsecode steht ein Strich für einen langen Ton, ein Punkt für einen kurzen.

a) Schreibe deinen Namen im Morsecode auf und übe, ihn als „Klopfzeichen" zu übertragen.

b) Notiere dir eine kurze Nachricht im Morsecode und „übertrage" sie an deinen Sitznachbarn.



SIGNALCODIERUNG – VON MORSE BIS ASCII

Der Morsecode wurde im frühen 19. Jahrhundert für die neu aufkommende Telegraphie entwickelt. Damit war es erstmals möglich, Nachrichten über größere Entfernungen schnell zu übertragen. Die Art der Codierung ist sehr übertragungssicher und wird daher auch heute noch in verschiedenen Bereichen, z. B. auch bei Kleinstsatelliten, eingesetzt. Eine große Schwäche des Morsens ist die geringe Übertragungsgeschwindigkeit. Anfänger kommen kaum über etwa 25 Buchstaben pro Minute hinaus. Der Weltrekord liegt bei über 400 Buchstaben pro Minute.
In der digitalen Welt können Schriftzeichen mit dem sogenannten ASCII-Code dargestellt werden. Dabei werden den Buchstaben, Ziffern und Sonderzeichen wie Punkt und Komma eindeutige Abfolgen von Nullen und Einsen zugeordnet. Der Buchstabe A entspricht beispielsweise 1000001, ein B würde durch 1000010 dargestellt werden.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

7. Zur Beschreibung von Wellen verwendet man folgende Begriffe:

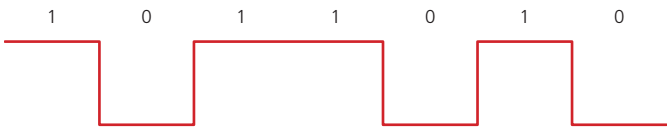
– Wellenlänge (Abstand zweier benachbarter Wellenberge, Formelzeichen λ)
– Frequenz (Anzahl der Wellendurchgänge pro Sekunde, Formelzeichen f)

Stell dir zur Veranschaulichung vor, du sitzt am Ufer eines Sees und beobachtest die Wellen. In einer Minute zählst du 10 Wellen, die dich erreichen. Der Abstand von zwei Wellenbergen beträgt etwa 12 m.

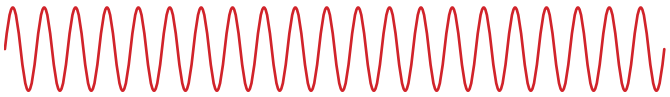
a) Gib Wellenlänge und Frequenz der Wasserwellen an.

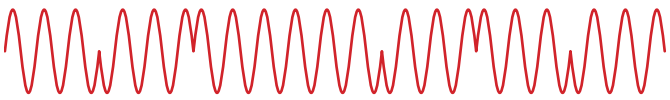
b) Berechne die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen.

8. Um mit einer elektromagnetischen Welle Informationen zu übertragen, muss man ihr die Nachricht gewissermaßen aufprägen. Bei digitalen Nachrichten wird dazu oft die Phasenmodulation verwendet (siehe Abbildung).
Beschreibe mit eigenen Worten, wie die Information (der Binärcode) die Trägerwelle verändert.



Binärcode aus Nullen und Eisen


Unveränderte Trägerwelle

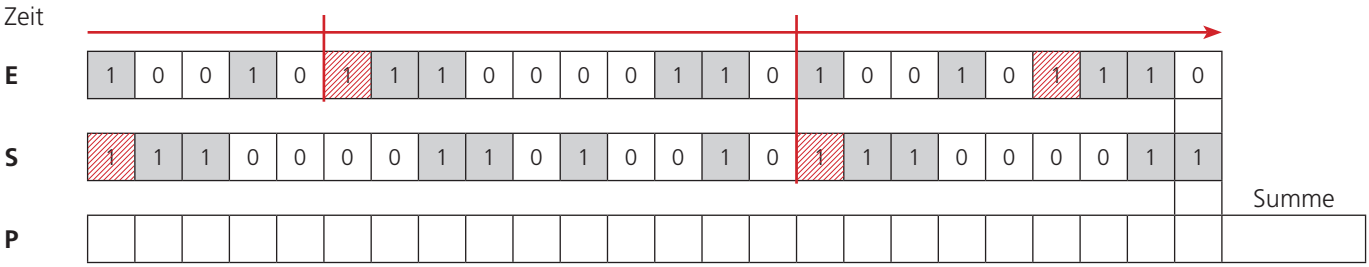

Phasenmoduliertes Signal

„WIRELESS“ – EIN EUROPÄISCHES GROSSPROJEKT VOR MEHR ALS 100 JAHREN

Das kabellose Funken mithilfe elektromagnetischer Wellen beruht auf den Entdeckungen und Erfindungen mehrerer europäischer Forscher zu Beginn des 20. Jahrhunderts.
Der Buchstabe „S“ schaffte als erster den drahtlosen Sprung über den Atlantik. Von Cornwall nach Neufundland sendete ihn der italienische Tüftler Guglielmo Marconi zum ersten Mal mithilfe elektromagnetischer Wellen. Er gab damit im Jahr 1901 den Startschuss für zahlreiche technische Revolutionen: Radio, Fernsehen, WLAN – und neue Navigationssysteme. Schiffe und Flugzeuge konnten sich nun an der Position von sogenannten Funkfeuern orientieren, die Funksignale in alle Welt ausstrahlten – ähnlich wie Leuchttürme Licht ausstrahlen.
Die Theorie der elektromagnetischen Wellen hatte vor Marconis berühmtem „S“ der Schotte James Clerk Maxwell entwickelt, der deutsche Physiker Heinrich Hertz hatte die Wellen zum ersten Mal erzeugt. So gesehen ist „Wireless“, also ein europäisches Gemeinschaftsprojekt.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

9. Um das Signal des Satelliten aus anderen Störsignalen herauszufiltern, wird im Empfänger ein Signal mit derselben Codierung erzeugt (E) und mit dem vom Satelliten empfangenen Signal (S) verglichen. Das Prinzip zeigt die folgende Abbildung.



a) Der Beginn der sich wiederholenden Nachricht aus Nullen und Einsen ist die rot schraffierte 1. Begründe, warum das vom Satelliten empfangene Signal (**S**) gegenüber dem im Empfänger erzeugten Signal (**E**) versetzt ankommt (roter Pfeil!).

b) Wenn man den Wert der Kästchen in der oberen Zeile (**E**) mit denen in der unteren Zeile (**S**) multipliziert, ergibt das immer 0 oder 1. Berechne den Wert für jedes Kästchen in der Produktzeile (**P**) sowie die Summe der Ergebnisse.

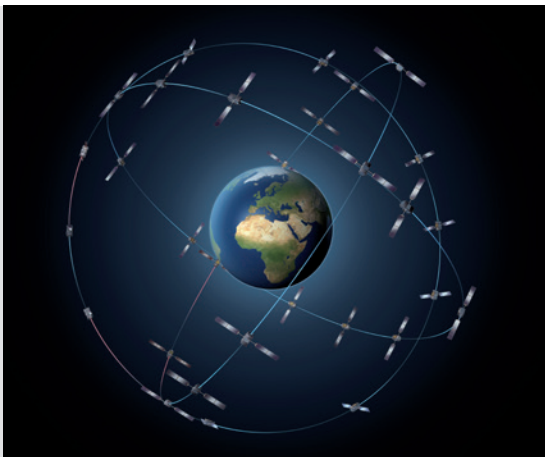
c) Erkläre, wie sich der in (b) berechnete Summenwert verändert, wenn man das im Empfänger erzeugte Signal (**E**) schrittweise nach rechts in Richtung des roten Zeit-Pfeils verschiebt. Wann ist der Wert am größten?

10. Begründe, warum Satellitennavigation nur funktionieren kann, wenn man die Signallaufzeiten äußerst genau misst.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

8 Zentimetergenau im Weltall: Navigationssatelliten

Zur Zeit befinden sich etwa 2200 aktive Satelliten in einer Erdumlaufbahn. Die Spanne reicht dabei von geradezu winzigen „Nanosatelliten“ mit einer Größe von nur 10 cm x 10 cm x 10 cm und einer Masse von einem Kilogramm bis hin zu omnibusgroßen Spionagesatelliten mit fast 20 Tonnen Masse. Navigationssatelliten rangieren größenmäßig irgendwo in der Mitte. Auch ihr Platz im „Medium Earth Orbit“ ist weder besonders nah an der Erde noch allzu weit weg, sondern eher mittendrin.



1. Je nach Verwendungszweck werden Satelliten in unterschiedlich hohen Umlaufbahnen um die Erde, sogenannten Orbits, betrieben. Erstelle auf einem großen Blatt Papier eine maßstabsgetreue Skizze mit den drei wichtigsten Orbits um die Erde (mittlerer Erdradius 6370 km) und finde „irdische Beispiele“ für die jeweiligen Distanzen.

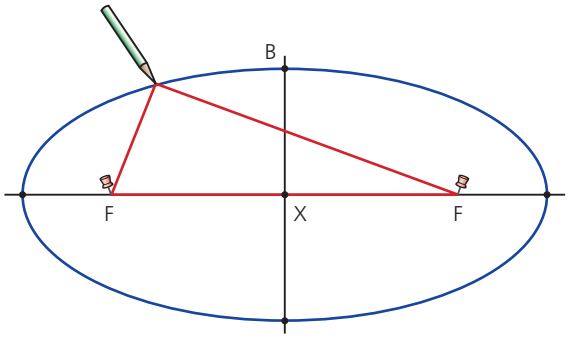
Orbitname	Typische Satelliten	Höhe über Grund	Beispiel für Distanz auf der Erde
Low Earth Orbit (LEO)	Erdbeobachtung, Wettersatelliten	200 bis 2000 km	
Medium Earth Orbit (MEO)	Navigationssatelliten	2000 bis 36000 km	
Geostationary Orbit (GEO)	Kommunikationssatelliten	exakt 35786 km	

2. Im erdnahen LEO befinden sich fast 1500 der insgesamt 2200 derzeit aktiven Satelliten. Nenne Gründe dafür, warum gerade dieser Orbit so „dicht bevölkert“ ist.

3. Relativ viel los ist auch im geostationären Orbit, den sich über 500 aktive Satelliten teilen. Sie haben aus physikalischen Gründen in diesem Orbit eine Umlaufdauer von genau 24 Stunden. Begründe, dass ein geostationärer Satellit immer über demselben Ort auf der Erde zu stehen scheint.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

4. Satelliten bewegen sich auf elliptischen Bahnen. Vereinfacht gesprochen ist eine Ellipse so etwas wie ein Kreis mit zwei Mittelpunkten (Brennpunkten). Du kannst eine Ellipse leicht selber zeichnen. Dazu brauchst du zwei Stecknadeln und einen Bindfaden, den Rest erklärt dir die Abbildung. Zeichne eine Ellipse durch die unten angegebenen Brennpunkte F_1 und F_2.



TRAMPELPFADE IM WELTALL

Woher kennen eigentlich Raumsonden auf dem Weg zum Mars oder zum Jupiter ihre Position? Ein Navigationsempfänger wie im Smartphone wäre wertlos da draußen, denn die Erde mit ihren Satelliten ist für sie viel zu weit entfernt. Mit viel Aufwand und großen Antennen lassen sich Raumsonden von der Erde aus anpeilen, einfacher macht das aber die Sonde selbst. Sensoren an Bord suchen wie eine Art „elektronische Augen“ nach Fixsternen, behalten sie im Blick und berechnen – wie früher die Kapitäne auf hoher See – aus den Blickwinkeln auf die Sterne die genaue Position. Daneben überwachen weitere Sensoren noch andere Größen wie die Beschleunigung und das Magnetfeld. So weiß eine Sonde stets, wo sie sich gerade befindet auf ihrer langen Reise ins All.

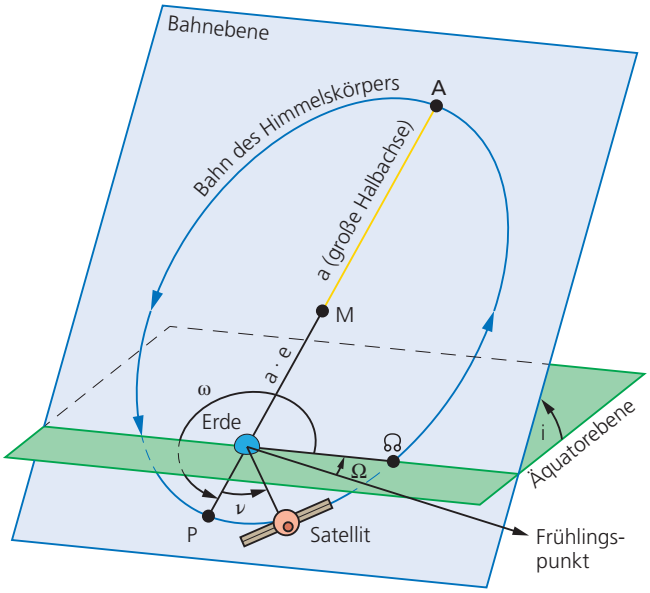
©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

5. Die Position von Satelliten wird mithilfe von sechs sogenannten Bahnelementen angegeben. Die Abbildung enthält diese Bahnelemente und einzelne Fachbegriffe aus der Astronomie.

a) Recherchiere ggf. dir unbekannte Fachwörter und beschreibe sie mit eigenen Worten.

b) Ergänze die Kürzel der Bahnelemente in der Tabelle.

c) Beschreibe jedes Bahnelement mit eigenen Worten.



Fachbegriff	Kürzel	Beschreibung
Frühlingspunkt		
aufsteigender Knoten	☊	
Perigäum		

Bahnelement	Kürzel	Beschreibung
große Halbachse		
numerische Exzentrizität		
Inklination		
Winkel des aufsteigenden Knotens	Ω	
Winkel zum Perigäum	ω	
wahre Anomalie des Satelliten		

* **6.** Die Geschwindigkeit v, mit der sich Satelliten durchs Weltall bewegen, hängt bei einem kreisförmigen Orbit nur vom Bahnradius r ab. Die Formel dazu lautet:

$$v = \sqrt{G\frac{M}{r}}$$

Dabei ist $G = \frac{6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{m^3}}{\mathrm{kg \cdot s^2}}$ (Gravitationskonstante) und $M = 5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg die Masse der Erde.

Berechne, wie schnell jeweils ein Satellit im LEO, im MEO und im GEO ist. Achte auf die richtigen Einheiten.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

9 Genauigkeiten beim Messen

Die Anforderungen an Navigationssysteme sind sehr unterschiedlich. Während man beispielsweise auf hoher See meist mit einer Genauigkeit von einigen hundert Metern zurechtkommt, sieht das in der Stadt ganz anders aus. Auch was die Zuverlässigkeit der Messung angeht, gibt es große Unterschiede. Es ist zwar ärgerlich, wenn man im Urlaub die besten Sightseeing-Spots nicht finden kann, aber nicht wirklich gefährlich. Im Luftverkehr dagegen kann eine genaue Höhenangabe überlebenswichtig sein.

1. Die Genauigkeit von Navigationssystemen wird meistens dadurch beschrieben, wie groß der zu erwartende Messfehler ist. Dabei sind die Anforderungen verschiedener Nutzergruppen sehr unterschiedlich. Auch die möglichen Folgen von fehlerhaften Messungen unterscheiden sich stark. Daher muss man für manche Anwendungen schnell wissen, ob das System wie erwartet funktioniert oder ob beispielsweise ein Satellit eine technische Störung hat.
Vervollständige zu diesen Überlegungen die Tabelle und diskutiere deine Ergebnisse in der Klasse.

Anwendung	Genauigkeitsanforderung (Angaben in m, cm, mm)	Risiko durch Fehler (gering, mittel, hoch)	zeitliche Toleranz gegen Fehler
Spaziergang			
Landeanflug			
Pkw			
Pläne für Vermessungsamt			
Schiff auf Meer			
Schiff im Hafen			

2. Satellitennavigation basiert darauf, dass man die Laufzeit eines Funksignals vom Satelliten zum Empfänger misst. Die Signale breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit (c = 300 000 km/s) sehr schnell aus.

a) Berechne den Fehler, der entsteht, wenn man die Laufzeit um eine Millionstel Sekunde falsch misst.

b) Eine gute Quarzuhr geht im Monat etwa 10 s falsch. Welchem Messfehler entspräche das?

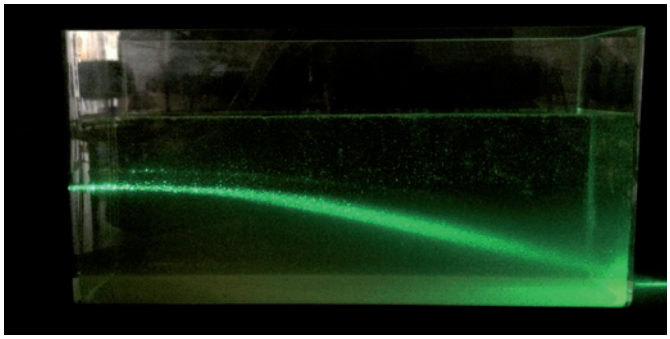
©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

3. Man kann die Fehlerquellen bei der Satellitennavigation unterteilen in

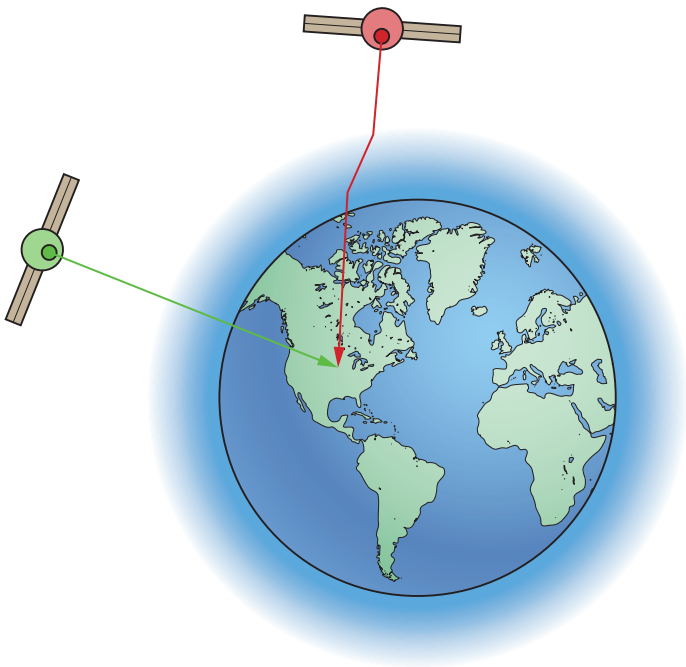
– Fehler, die vom Satelliten bzw. dem System ausgehen,
– Fehler, die durch natürliche Einflüsse zustande kommen und
– Fehler auf der Empfängerseite.

Nenne mögliche Fehler auf Seiten der Satelliten.

4. Bei den natürlichen Fehlerquellen spielt die Atmosphäre der Erde eine große Rolle, da sie die Signale beeinflusst. Die Haupteffekte heißen *Brechung* und *Dämpfung*.
Erkläre beide Begriffe mithilfe der Abbildung. (Info: Bei dieser durchdringt ein grüner Laserstrahl eine nach unten hin immer stärker konzentrierte Zuckerwasserlösung.)



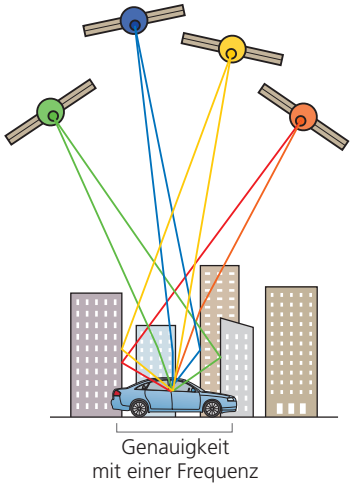
5. Erkläre mithilfe der Abbildung, inwiefern die Brechung des Satellitensignals in der Erdatmosphäre die Genauigkeit bei der Satellitennavigation beeinflusst.
Nenne eigene, mögliche Lösungsideen für dieses Problem.

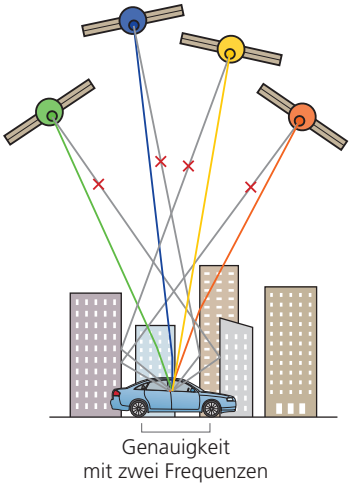


©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

6. Eine Fehlerquelle auf der Empfängerseite ist der sogenannte Mehrwegeffekt. Dieser entsteht, wenn das Satellitensignal an glatten Oberflächen, zum Beispiel Hauswänden, reflektiert wird und so auf Umwegen zum Empfänger gelangt. Es wirkt dann so, als ob der Satellit weiter weg wäre, als er tatsächlich ist.

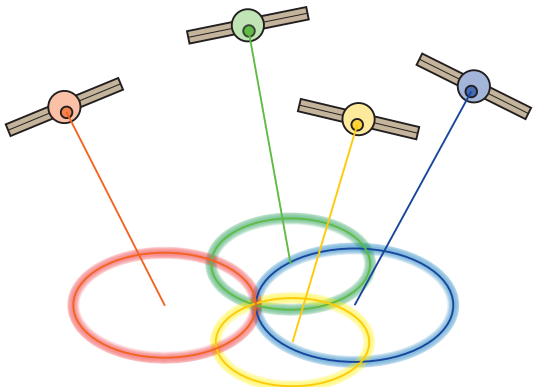
a) Begründe, warum durch den Mehrwegeffekt ein Entfernungsfehler entsteht.

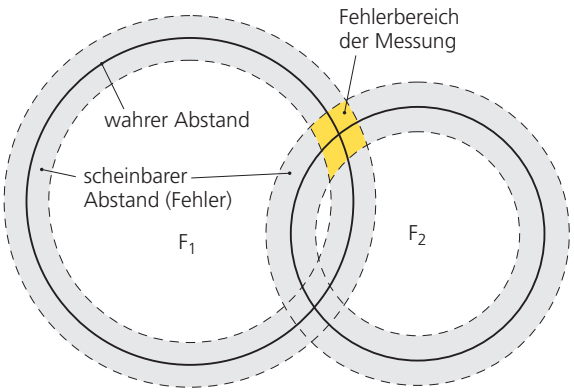




b) Die Abbildung zeigt auf der rechten Seite, wie man den Mehrwegeffekt durch die Verwendung eines zweiten Signals beheben kann. Erkläre dieses Verfahren.

*(D) **7.** Jede einzelne Messung des Abstandes zu den Navigationssatelliten hat einen Fehler von etwa 2 m bis 10 m. Die Empfängerposition ergibt sich als Schnittpunkt der Kreise (in 3D Kugelschalen) um die Satelliten (Abbildung oben). Begründe mithilfe der unteren Abbildung, dass die Genauigkeit der Positionsbestimmung auch davon abhängt, wie die Satelliten zueinander stehen.





GEDANKENBERGE UND GEISTERINSELN

Heute ist dank Satellitentechnik der letzte Winkel der Erde gut bekannt und wird regelmäßig fotografiert. Noch bis vor hundert Jahren strotzten Landkarten aber vor Fehlern – vor allem in einsamen Gebieten. Manchmal wurden Landstriche oder ganze Länder einfach erfunden. Das berühmteste Gebirge, das es nie gab, sind die Kong-Berge, die nach den Fantasien vermeintlicher Wissenschaftler in der Elfenbeinküste und Burkina Faso in Afrika liegen sollten. Dreist gelogen war auch „Neu-Südgrönland“, das der amerikanische Kapitän Benjamin Morrell behauptete, entdeckt zu haben. Kaum zu glauben: Kong-Berge und Neu-Südgrönland hielten sich 100 Jahre lang in offiziellen Karten, obwohl es sie nie gegeben hatte.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

10 Die Galileo-Satelliten: Hightech made in Europe

Galileo Galilei (1564–1642) ist der Namensgeber des europäischen Satellitennavigationssystems *Galileo*. Der italienische Astronom entdeckte unter anderem mit einem Teleskop die vier größten Jupitermonde. Seine Entdeckung erwies sich damals für die Navigation als sehr wertvoll. Die Bewegung der Monde konnte zur Orientierung hauptsächlich auf hoher See genutzt werden – allerdings mit aus heutiger Sicht sehr geringer Genauigkeit.

1. Das Galileo-System soll in seiner endgültigen Ausbaustufe 30 Satelliten umfassen: 24 „operationelle" sowie 6 in Reserve. Die Satelliten werden in einer sogenannten Walker-Konstellation in drei unterschiedlichen, jeweils um 120° gegeneinander verschobenen Bahnebenen mit einer mittleren Bahnhöhe von ca. 23 000 km um die Erde kreisen.
Erstelle eine maßstabsgetreue Skizze der Galileo-Konstellation, um die räumlichen Dimensionen des Galileo-Systems darzustellen. Beachte: Der Erdradius beträgt ca. 6370 km.

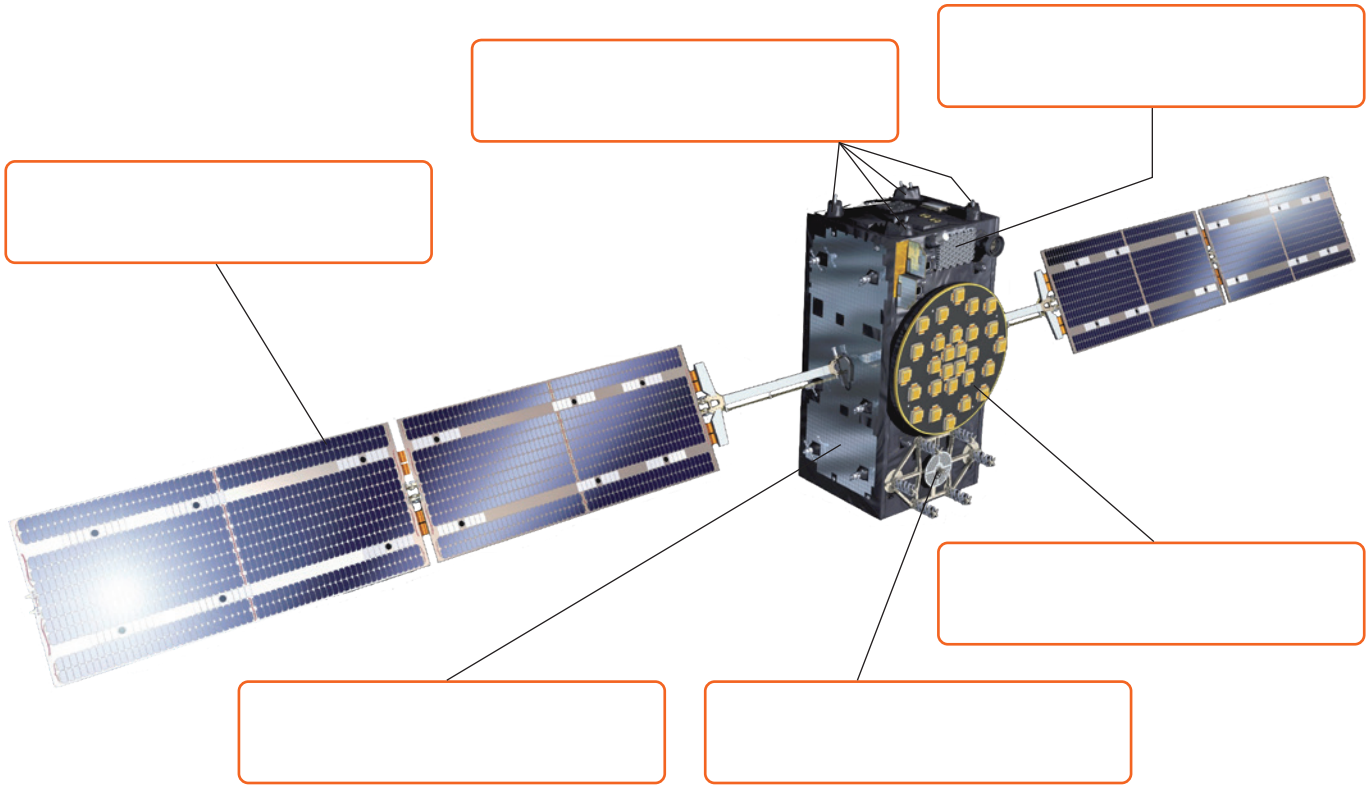
2. Die Galileo-Satelliten sind im Weltall extremen Bedingungen ausgesetzt: *Vakuum, Temperaturextreme* und die *kosmische Strahlung* sind nur drei davon. Erkläre die drei Begriffe und warum diese Bedingungen auf der Erde nicht herrschen.

Vakuum	Temperaturextreme	kosmische Strahlung

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

3. Die Abbildung zeigt einen Galileo-Satelliten.

a) Beschrifte die markierten Bauteile mit folgenden Begriffen in der korrekten Reihenfolge:
Laserreflektor – L-Band-Antenne – Propulsor – SAR-Antenne – Solarpanel – Weltraumradiator



b) Beschreibe die Funktion der genannten Bauteile.

Laserreflektor: _____

L-Band-Antenne: _____

Propulsor: _____

SAR-Antenne: _____

_____

Solarpanel: _____

_____

Weltraumradiator: _____

_____

NAVIGATION IM MUND

Jeden Tag nutzen wir die Sprache der Navigation, meistens vermutlich, ohne das zu bemerken. Wenn wir „Eckpunkte benötigen", bevor wir eine Planung detailliert ausarbeiten können, nutzen wir einen Ausdruck, den Zeichner von Karten geprägt haben. Dort bedienen wir uns auch, wenn wir „Maßstäbe setzen", indem wir etwas Vorbildliches tun. „Etwas auf dem Schirm haben", kommt aus dem Wortschatz der Fluglotsen, die den Luftverkehr an großen Bildschirmen via Radar überwachen. Und wer sich „neu orientiert", müsste sich nach der ursprünglichen lateinischen Bedeutung des Wortes eigentlich nach Osten drehen – obwohl er vermutlich den Job, den Partner oder die Schule gewechselt hat.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

11 Alles unter Kontrolle: das Galileo-Bodensegment

Die Galileo-Satelliten werden von einem großen, weltumspannenden Netzwerk von Bodenstationen genauestens überwacht. Deren Hauptaufgaben sind:
- die Überwachung und Steuerung der Satelliten auf deren Umlaufbahnen,
- die Kontrolle und Synchronisation der Atomuhren an Bord der Satelliten sowie
- die fehlerfreie Bereitstellung der Navigationsnachricht für alle Galileo-Dienste.

1. Das Galileo-Bodensegment besteht neben den beiden Galileo-Kontrollzentren (GCC) in Oberpfaffenhofen und Fucino (Italien) im Wesentlichen aus fünf Funkstationen (ULS) für die Kommunikation mit den Satelliten, fünf sogenannten Telemetrie-Stationen (TTC) zur Überwachung der Satelliten und derzeit 16 Referenzstationen (GSS) zur Kontrolle der Navigationssignale.
Die Tabelle listet die Stationen und ihre Standorte auf. Besorgt euch paarweise eine Weltkarte und tragt die zugehörigen Symbole am richtigen Standort ein.

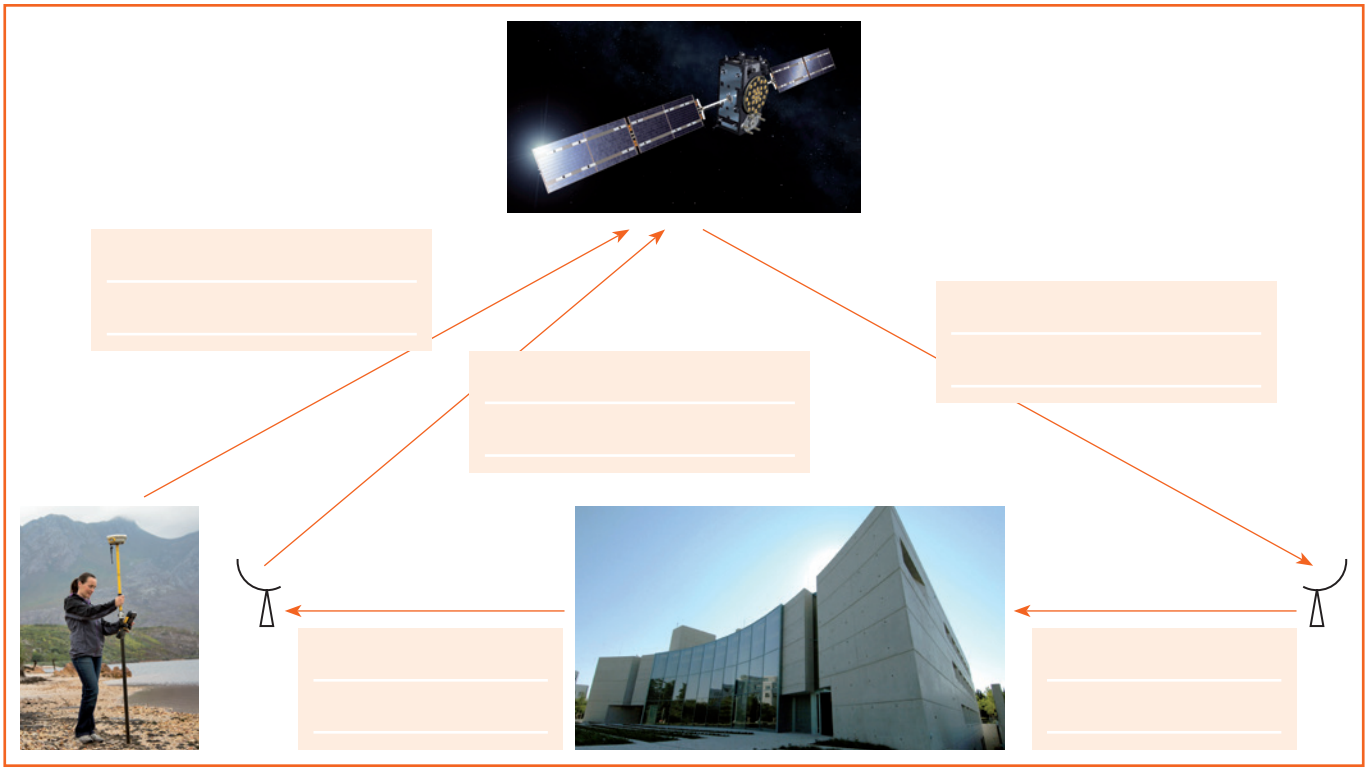
Station	Standorte und Länderkürzel	Symbol
Galileo Control Center (GCC)	Oberpfaffenhofen (D) und Fucino (I)	
Uplink-Stationen (ULS)	Svalbard (NOR), Kourou (F), Papeete (F), Reunion (F), Nouméa (F)	
Tracking- und Kontrollstationen (TTC)	Kiruna (SWE), Kourou (F), Reunion (F), Nouméa (F)	
Galileo Sensor-Stationen (GSS)	Kiruna (SWE), Kourou (F), Reunion (F), Nouméa (F), Jan Mayen (NOR), Sankt Pierre et Miquelon (F), Azoren (PRT), Redu (BEL), Fucino (I), Ascension (GBR), Papeete (F), Uvea (F), Falkland (GBR), Kerguelen (F), Troll (NOR), Svalbard (NOR)	

FACEBOOK ERSTELLT DIE WELTKARTE NEU

Normalerweise werden Standortdaten ermittelt, um eine Position auf einer bestehenden Karte anzuzeigen. 2010 ging Facebook den Weg anders herum: Aus Standortdaten seiner Nutzer erstellte der Konzern eine „Weltkarte der Freundschaft“. Dazu nahmen Programmierer 10 Millionen Nachrichten, die sich Menschen auf der Welt zugeschickt hatten, setzten auf einer leeren „Karte“ Punkte auf den Standort und verbanden die beiden Punkte mit einer dünnen blauen Linie. Das Resultat: Eine Weltkarte, wie wir sie kennen. Was früher aufwendig vermessen wurde, zeigte sich wie von alleine: Länder, Flüsse Städte und auch Grenzen wurden sichtbar. Plötzlich wurden Karten also nicht mehr *für* Positionsdaten gemacht, sondern *von* Positionsdaten erstellt.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

2. Ein wichtiges Ziel des komplexen Galileo-Bodensegments ist es, Nutzern möglichst schnell mitteilen zu können, wenn ein Satellit eine Störung hat.
Vervollständige die Abbildung mit den folgenden Satzbausteinen: Galileo Sensor-Station übermittelt Fehler an GCC – Satellit sendet fehlerhaftes Signal an Galileo Sensor-Station – ULS sendet Korrektur an Satellit – Satellit sendet korrigiertes Signal an Nutzer – GCC übermittelt Korrektur an Uplink-Station



3. Die Uhren an Bord der Galileo-Satelliten bewegen sich mit hoher Geschwindigkeit und in großer Entfernung zur Erde durch das Weltall. Nach der berühmten Relativitätstheorie Albert Einsteins gehen sie daher gegenüber Uhren auf der Erde anders.

a) „Bewegte Uhren gehen langsamer als ruhende." Beschreibe, welche Auswirkung diese Tatsache auf die Satellitenuhren hat.

b) „Je weiter eine Uhr von einer großen Masse entfernt ist, desto schneller geht sie." Beschreibe, welche Auswirkung diese Tatsache auf die Satellitenuhren hat.

c) Aufgrund der Relativitätstheorie gehen die Uhren an Bord der Galileo-Satelliten 47,4 $\cdot 10^{-9}$ % schneller als auf der Erde. Berechne, welcher Zeitunterschied gegenüber einer Uhr im Kontrollzentrum nach einer Stunde, einem Tag, einem Jahr entstünde, wenn die Uhren nicht korrigiert würden.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

12 Wer braucht das denn: der Galileo-Nutzerkreis

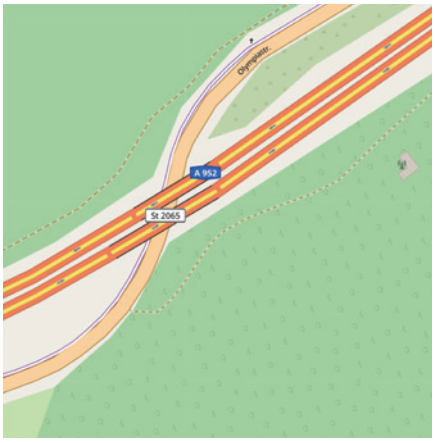
Aus heutiger Sicht erscheint es fast unvorstellbar, dass wir Satellitennavigation noch gar nicht so lange im Alltag nutzen. Die künstliche Signalverschlechterung für zivile Nutzer des US-amerikanischen GPS wurde im Mai 2000 abgeschaltet. Smartphones, wie wir sie heute kennen, gibt es erst seit 2007 und Galileo nahm Ende 2016 den operationellen Betrieb auf.

Seitdem haben Satellitennavigationssysteme wie Galileo und GPS Einzug in viele Bereiche unseres Lebens gefunden.

1. Welche Apps in deinem Smartphone nutzen die Daten von Satellitennavigationssystemen? Notiere Namen und Funktion der Apps.

App	Funktion/ Aufgabe

2. Ein „Navi" im Auto besteht nicht nur aus einem GPS- oder Galileo-Empfänger, sondern auch aus anderen Komponenten. Grundlage ist ein Computer mit aktuellen Straßenkarten. Der Kartenausschnitt zeigt die bei Radfahrern sehr beliebte Olympiastraße, welche direkt neben der Autobahn A 952 zum Starnberger See verläuft.
Nenne mindestens drei Herausforderungen, mit denen der Navigationscomputer im Auto umgehen muss. Wie kann man diese Probleme lösen?

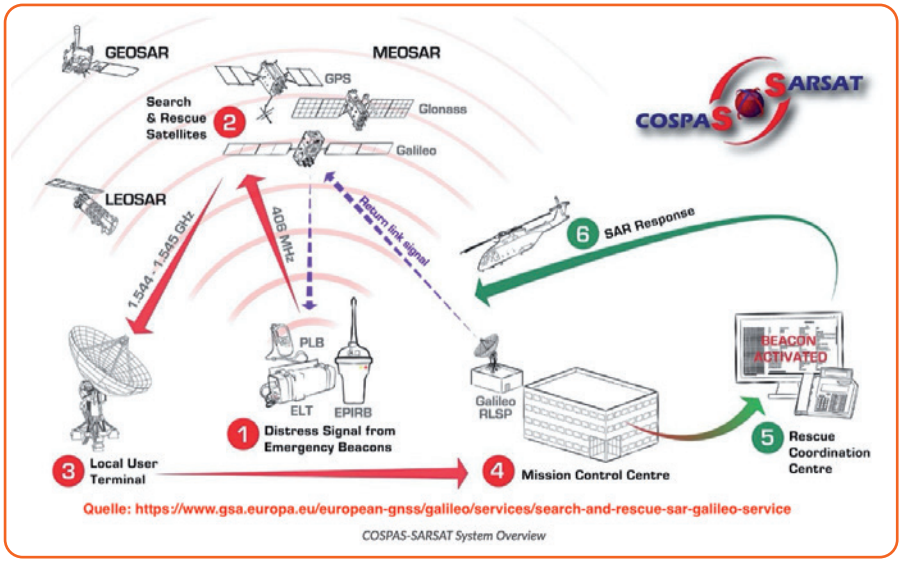


©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

3. Bergsteiger und Wanderer nutzen immer häufiger Outdoor-Apps, welche auf Satellitennavigation basieren. Sie zeigen den Nutzern ihre gegenwärtige Position auf einer hochgenauen Wanderkarte und können auch Routenvorschläge einblenden. Die Apps erscheinen auf den ersten Blick sehr nützlich – sie haben aber auch Nachteile.
Stelle Vor- und Nachteile gegenüber.

Vorteile	Nachteile

4. Seit den 1980er Jahren wurden durch das satellitengestützte Rettungssystem COSPAS-SARSAT über 22 000 Menschen gerettet. Die Abbildung zeigt das Funktionsprinzip. Das Galileo-System bietet einen eigenen Search-And-Rescue(SAR)-Dienst für Notfälle an, der das System ergänzt. Erkläre die Funktionsweise eines satellitengestützten Rettungssystems anhand der Abbildung. Nenne Vorteile, die durch die Nutzung von Navigationssatelliten bei einem solchen System entstehen.



Quelle: https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/services/search-and-rescue-sar-galileo-service

COSPAS-SARSAT System Overview

DER NUTZER IM MITTELPUNKT

Es waren die griechischen Philosophen, die in der Antike dachten, die Erde stehe im Mittelpunkt aller Dinge. Geozentrisch heißt dieses Weltbild, bei dem sich alles, was am Himmel zu sehen ist, anscheinend um unseren Planeten dreht. Es dauerte lange, bis Physiker wie Kopernikus oder Galilei die Sonne in das Zentrum unseres Planetensystems rückten und Zweifler sich schließlich mit wissenschaftlichen Argumenten überzeugen lassen mussten. Navigationsgeräte zeigen ihre Karten heutzutage meistens „egozentrisch". Sie stellen die Position des Nutzers in den Mittelpunkt. Je nachdem, wie man das Gerät dreht, liegen die anderen Orte mal links und mal rechts. Da dreht sich die Welt also nur um den, der das Smartphone hält.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

5. „Aus Sicherheitsgründen stellt der Flugverkehr ganz besonders hohe Ansprüche an Satellitennavigationssysteme.“ Konkretisiere diese Aussage mit mindestens drei Beispielen.

6. Das Wort „Navigation“ kommt aus dem Lateinischen und bedeutet eigentlich „ein Schiff steuern“. Der Nutzen von Satellitennavigationssystemen für den maritimen Bereich ist entsprechend vielfältig.
Nenne besondere Anforderungen der Schifffahrt an Galileo …

… auf hoher See:

… im Hafen:

… zur Fischereikontrolle:

7. Autofahrer berechnen ihren Anhalteweg für eine Vollbremsung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit (in km/h) mit der Faustformel:

Anhalteweg = Reaktionsweg + Bremsweg (in m)

Es gilt: $\text{Reaktionsweg} = \frac{\text{Geschwindigkeit}}{10} \cdot 3$ und

$\text{Bremsweg} = \left(\frac{\text{Geschwindigkeit}}{10}\right)^2 : 2$

a) Berechne den Anhalteweg für ein Auto bei einer Geschwindigkeit von 200 km/h.

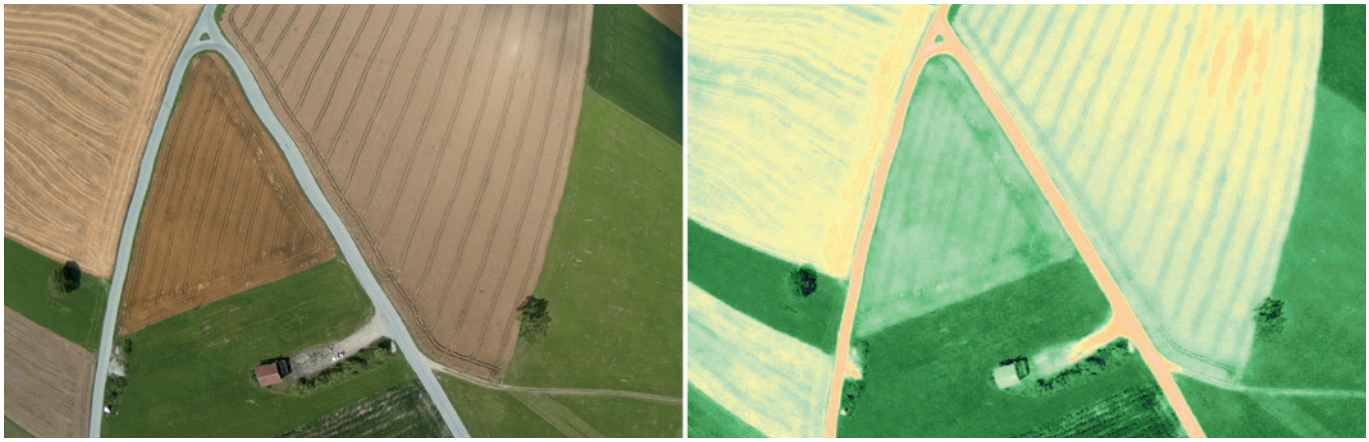
b) Begründe: Bei einem modernen ICE 3 ist der Bremsweg aus 200 km/h mehr als 5-mal so lang wie bei einem Auto, der Reaktionsweg ist identisch.

c) Welche besonderen Herausforderungen stellt der Schienenverkehr demnach an ein Navigationssystem?

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

8. Allein mit Satellitennavigationssystemen kann man bereits auf etwa 3 m bis 5 m genaue Ortungen durchführen, was in den meisten Fällen ausreichend ist. Manchmal muss es aber noch genauer sein.
Nenne Anwendungsbeispiele, bei denen eine Ortungsgenauigkeit im Bereich von 1 m erforderlich ist.

9. Mal ehrlich: Wer denkt beim Stichwort Landwirtschaft zuerst an Hightech? Sollte man aber! Denn heutzutage nutzen Landwirte modernste Satellitentechnologien, um ihre Arbeit effektiver und umweltschonender zu betreiben.



Die Abbildungen zeigen denselben Bereich einer landwirtschaftlich genutzten Region; links im normalen Echtfarbenbild, rechts in einer sogenannten Infrarot-Falschfarbendarstellung.

a) Beschreibe, wie sich im rechten Bild gesunde Vegetation von vertrockneter bzw. von Asphalt unterscheidet.

b) Erkläre, wie man mithilfe derartiger Aufnahmen und Satellitennavigation landwirtschaftliche Abläufe optimieren kann.

*

10. Inzwischen kennst du viele Anwendungsbereiche von Galileo. Natürlich gibt es noch viel mehr und vor allem auch neue und überraschende Nutzungsmöglichkeiten.
Bildet Kleingruppen und überlegt euch neue Bereiche, in denen man das hochgenaue Satellitennavigationssystem Galileo in Zukunft einsetzen könnte. Gestaltet dazu eine Wandzeitung (DIN A2) mit Skizzen, Abläufen und Texten.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

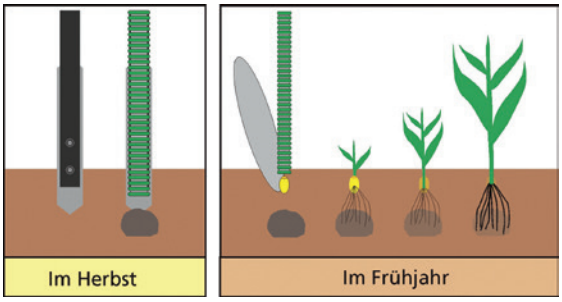
13 Galileo auf dem Bauernhof

Eine genaue Positionsbestimmung benötigt man nicht nur bei der Straßennavigation, auch in anderen Bereichen ist die exakte Ortsangabe sehr wichtig. Ein Beispiel ist die Landwirtschaft, hier spielt die Satellitennavigation mittlerweile eine wichtige Rolle. Da die Informationen aber in manchen Fällen immer noch zu ungenau sind, werden die Galileodaten mithilfe einer differenziellen Ortsbestimmung „aufgemotzt" – sie ist dann zentimetergenau und optimal für eine moderne Feldbearbeitung.

1. In der Landwirtschaft werden satellitengestützte Ortsangaben schon wesentlich länger genutzt als im normalen Straßenverkehr. Die Möglichkeiten dieser Technik werden als Precision Farming bezeichnet.

a) Sammelt einzelne Arbeitsschritte oder Aufgabenfelder eines Landwirts in einem Brainstorming und ordnet sie in die drei Kategorien:
Profitiert viel – profitiert wenig – profitiert gar nicht von Precision Farming.

b) Erkläre die Abbildung und benutze dafür folgende Begriffe: Vorbereiten (Öffnen) des Bodens, Düngerband, Saatgut. Erläutere auch die Vorteile dieser Vorgehensweise.



c) Mit den differenziell unterstützten Galileodaten und speziellen Sensoren, die am Traktor angebracht werden (z. B. um den Stickstoffgehalt der Pflanzen zu messen), kann ein Landwirt vor allem präzise düngen. Finde Argumente, warum gerade diese Information wichtig ist.

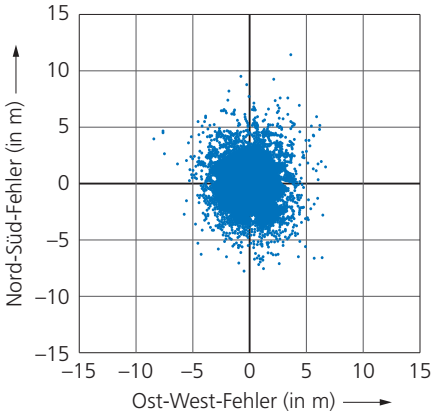
DIE JAGD NACH DEM UNSICHTBAREN

Galileo, GPS und andere Systeme machen Positionen weltweit verfügbar. Aber wie verfolgt man etwas, das keinen Sender besitzt? Dank der riesigen Datenflut, die es im Internet gibt, ist inzwischen auch das möglich. Das beste Beispiel ist die Ausbreitung des Corona-Virus 2020. Dank ausgeklügelter Software, die automatisch und beständig News aus aller Welt analysierte, entstanden Karten, die live die Ausbreitung des Virus zeigten. Die Vernetzung von Positionsdaten mit „Big Data" geht aber noch viel weiter. So bietet Twitter mit „trendsmap.com" eine Weltkarte der Themen an, über die gerade weltweit am meisten online diskutiert wird. Was ist wo „in"? Das kann inzwischen jeder von überall aus beantworten.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

2. Es gibt viele Möglichkeiten, das Signal der Satellitennavigation zu verbessern. Aber warum ist das überhaupt nötig?

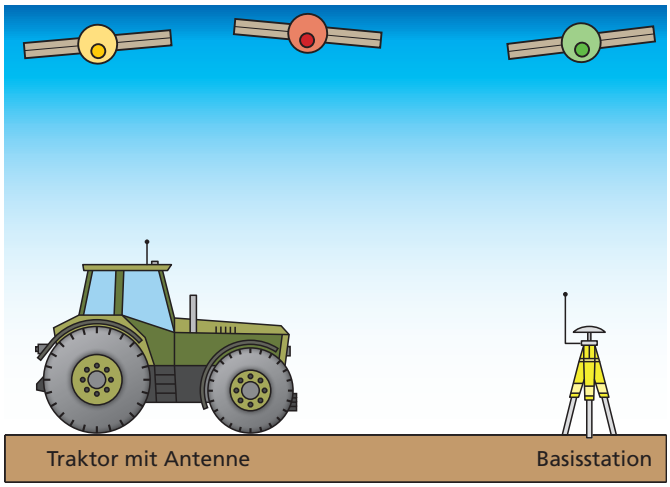
a) Über 24 Stunden wurde alle 5 Minuten die Abweichung zwischen realer Position und der Angabe der Satellitennavigation gemessen (siehe Grafik). Überlegt in Partnerarbeit die möglichen Gründe für die Abweichungen und recherchiert anschließend, ob ihr richtig überlegt habt.



b) Schreibe eine kurze Stellungnahme zu folgender Aussage: „Man könnte doch die Störungen schon beim Senden des Signals berücksichtigen und korrigieren."

c) In der Landwirtschaft wird oft eine RTK-Basisstation verwendet, um das Signal zu korrigieren. Recherchiere die Bedeutung und Funktionsweise einer RTK-Basisstation.

d) Zeichne den Signalweg in die Grafik, wie ein Traktor zu seiner exakten Position kommt, und beschreibe den Signalweg.



e) Nicht nur für Informationen über sein Ackerland benötigt ein Landwirt eine möglichst genaue Position, auch das Thema autonomes Fahren spielt in der Landwirtschaft eine große Rolle.
Überlege dir Szenarien des autonomen Fahrens, in denen genaue Positionsangaben wichtig wären.

*f) Neben den RTK-Stationen gibt es noch weitere Verfahren in der Landwirtschaft, um die Ortsangaben der Satelliten zu präzisieren.
Führe eine Internet-Recherche durch und erstelle eine kurze Präsentation der wichtigsten Verfahren.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

14 Geisterjäger auf den Straßen

In Flugzeugen ist es seit vielen Jahren Standard: ein Kollisionsfrühwarnsystem. Für Autos wurde etwas Ähnliches entwickelt: ein System, mit dessen Hilfe man Falschfahrer frühzeitig erkennt. Dabei warnt das System zunächst den Fahrer selber, da die meisten Falschfahrer unabsichtlich die falsche Spur genommen haben, und in einer zweiten Stufe auch alle entgegenkommenden Autos.

1. Die Grundlage des Projektes „Ghosthunter" bilden Daten von Galileo.

a) Schätze ab, wie genau eine Positionsangabe sein muss, um zu erkennen, ob man sich in der richtigen Fahrspur befindet. Vergleiche deine Einschätzung mit der von Satellitennavigationssystemen bereitgestellten Genauigkeit von etwa 5 Metern.

b) Die Position alleine reicht nicht aus, um Falschfahrer eindeutig zu identifizieren. Benenne weitere wichtige Informationen, die man aus den Satellitendaten ermitteln kann.

c) Auch das Institut für Ingenieurgeodäsie der Universität Stuttgart hat an dem Projekt „Ghosthunter" mitgearbeitet. Informiere dich über den Aufgabenbereich der Ingenieurgeodäsie und überlege, warum das wichtig ist für dieses Projekt.

d) Was passiert, wenn das System bemerkt, dass man falsch fährt? Wer erfährt davon? Erstelle ein realistisches Szenario für diesen Fall.
Tipp: Berücksichtige, dass der Fahrer ggf. absichtlich falsch fährt.

*e) Erstellt in Partnerarbeit einen Ablaufplan (z. B. mit der Software PapDesigner), wie ein Ghosthunter-System funktionieren könnte. Überlegt euch, in welcher Reihenfolge welche Informationen zu welchen Folgerungen führen müssen.

WENN DER FAHRER NICHT MITDENKT

Trotz der Genauigkeit der Navigationsgeräte passieren immer noch Unfälle. Manche sogar, weil Menschen den Geräten blind vertrauen und aufhören, mitzudenken. So ist ein Autofahrer in die Elbe gefahren, weil sein Navi ihm zwar den richtigen Weg gezeigt hatte, er aber übersah, dass die Fähre, auf die er übersetzen sollte, sich gerade auf der anderen Flussseite befand. Oder ein Paketzusteller, der sein Fahrzeug über einen Steg ins Moor bugsierte, weil er in den Einstellungen seines Navis auch Fußgängerwege zugelassen hatte. So sehr neue Technik auch hilft, sich besser und schneller zurechtzufinden, einem Reflex darf man nicht erliegen: nach dem Einschalten des Geräts das eigene Gehirn auszuschalten.

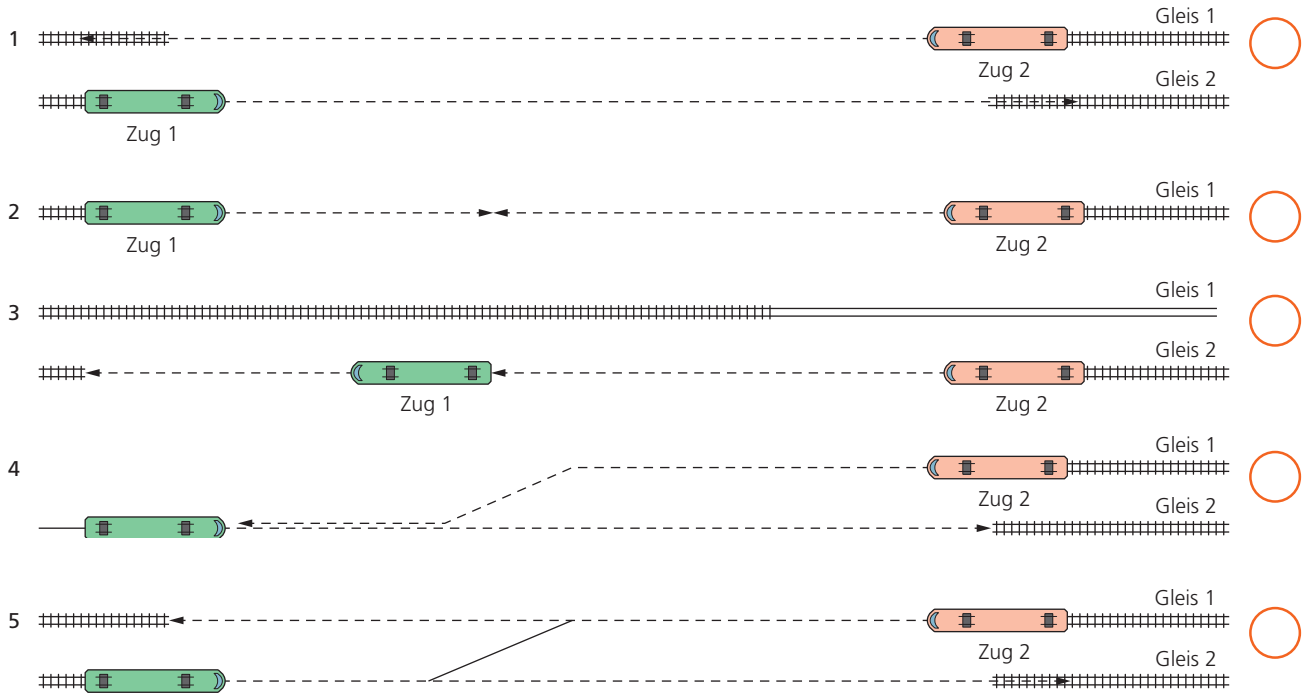
©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

2. Auch für den Schienenverkehr gibt es ein Projekt, dass mithilfe von Galileo-Daten einen Zusammenstoß verhindern soll: RCAS (Railway Collision Avoidance System).

a) Nenne spezielle Herausforderungen und Vorteile, die ein Schienensystem gegenüber dem Straßenverkehr hat, wenn es um die Vermeidung von Kollisionen geht.

Herausforderungen	Vorteile

b) In welchen der folgenden Beispiele gibt es eine Kollision ⊕, keine Kollision ☺, kann es eine Kollision geben ⊗? Kennzeichne entsprechend.



c) Überlege ausgehend von Teilaufgabe b), welche Informationen von Galileo wichtig sind, um Kollisionen zu vermeiden.

d) Aus den vorliegenden Daten kann das RCAS den geplanten Streckenverlauf ermitteln und diesen an alle umliegenden Züge senden. Wie wird das RCAS der anderen Züge wohl ermitteln, ob ein Kollisionsproblem vorliegt?

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

15 Genau im Blick: Wie Waren und Produkte verfolgt werden

Wann wird das Paket gebracht? Wo befindet es sich derzeit? In welchem Zustand ist es? Solche Fragen können mit den Daten von Galileo und innovativen Entwicklungen zukünftig noch exakter beantwortet werden. Beispielsweise kann man einen Kühltransporter minutengenau zum Verladebahnhof senden, um die verderbliche Ware entgegenzunehmen. Oder es lässt sich schon während des Transportes sehen, ob die Ware beschädigt wurde, dank Sensoren und mithilfe der RFID-Technologie.

1. a) Welche Nachverfolgungen von Paketsendungen kennst du aus deinem privaten Umfeld? Beschreibe kurz, wie sie funktionieren.

b) Neben einem QR-Code am Paket setzt sich im Logistikbereich immer mehr die Verwendung von RFID-Chips durch. Recherchiere, welche Vorteile ein RFID-Chip gegenüber einem QR-Code für die Logistik hat.

2. Dir wurde zum Geburtstag die neueste Spielekonsole eines asiatischen Herstellers versprochen und nun wartest du sehnsüchtig auf das Eintreffen.

a) Vollziehe in einem Ablaufdiagramm die komplette Warenlieferungskette des Paketes nach. Beginne mit der Übergabe an die Logistikfirma im Ausland und ende mit der Entgegennahme des Paketes bei dir.

b) Wie oft muss das Paket dabei registriert/ gescannt werden? Beschreibe Probleme, die durch die vielen Zwischenstopps entstehen können.

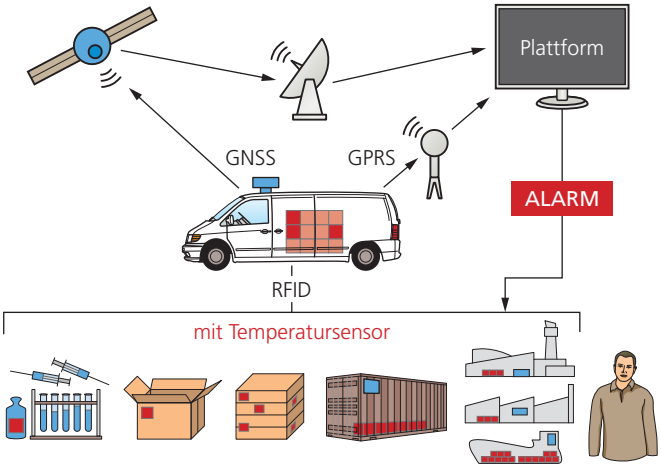
c) Es gibt Waren, die durch Verzögerungen oder Lagerungsprobleme verderben. Nenne Beispiele, für die eine pünktliche Lieferung und sachgerechte Lagerung entscheidend sind.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

3. Mithilfe von Satellitennavigation kann die genaue Position eines Produktes weltweit ermittelt und bestimmte Rahmenbedingungen überwacht werden.

a) RTICM heißt *Real Time Intelligent Cargo Monitoring*. Recherchiere unter www.space2school.de/innospace-tracking, wie das System arbeitet und beschreibe den Ablauf mit eigenen Worten.

b) Vor allem Medikamente dürfen nur in einem genau definierten Temperaturbereich transportiert werden. Ein Sensor an einem RFID-Chip kann die Umgebungstemperatur messen. Dies ist bei dem Projekt Xcit-ID der Fall.
Beschreibe mithilfe der Abbildung Besonderheiten gegenüber RTICM.

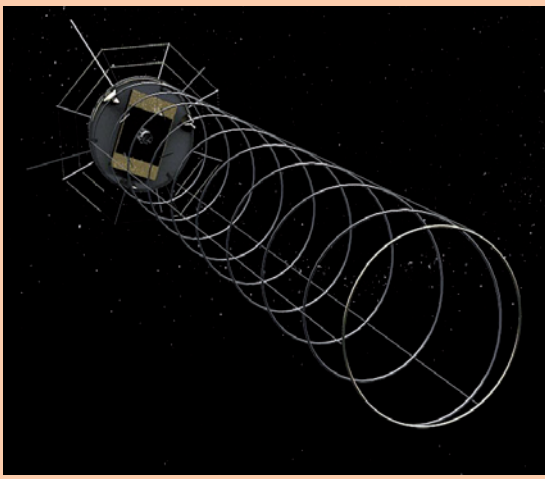


c) Rund 90 % des weltweiten Warenverkehrs wird mit Schiffen abgewickelt. Auf der Internetseite marinetraffic (www.space2school.de/seeverkehr) lassen sich die meisten Schiffe online nachverfolgen. Überlege ausgehend von den Seewegen, welche Vorteile für die Seefahrt eine genaue Warenkontrolle hat.

*d) Diskutiert Vor- und Nachteile, die private Nutzer von den genannten Techniken haben könnten.

ZOLLBEAMTE AUS DEM ALL

Ein Schiff kommt in den Hafen und die Aufgabe ist knifflig: Soll der Zoll das Schiff untersuchen, ob es Waren an Bord hat, die verzollt werden müssen? Oder darauf vertrauen, dass das Schiff nur innerhalb der EU unterwegs war, denn dann wäre alles zollfrei? Für ihre Entscheidung bekommen die Zöllner Hilfe aus dem All. Neben einigen anderen Satelliten lauscht seit einigen Jahren AISat1 auf Signale, die alle Schiffe dieser Welt während ihrer Reise senden. Das AIS-Signal ist ein digitales Nummernschild, das neben den Schiffsdaten auch Position, Kurs und Geschwindigkeit enthält. Aus dem All lässt sich die Route von jedem Schiff weltweit überwachen – und eindeutig sehen, ob ein Tanker vielleicht einen Zwischenstopp in einem Hafen außerhalb der EU gemacht hat, wo er zollpflichtige Waren hätte laden können. AISat macht Betrügern das Leben schwer: Dank seiner Antenne, die aussieht wie eine große Feder, kann er riesige Gebiete überwachen und behält jedes einzelne Schiff im Auge – auch dort, wo extrem viele Schiffe gleichzeitig unterwegs sind.



©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

16 Mithilfe von Sensoren navigieren

Manchmal reicht eine satellitengesteuerte Navigation nicht aus, z. B. weil der direkte Übertragungsweg zum Satelliten nicht möglich ist oder weil man auf unbekannte lokale Besonderheiten stößt.
Mithilfe von Sensoren kann man sich auch in solchen Situationen orientieren. Durch geschickte Kombination mehrerer Sensoren und entsprechender Software ist beispielsweise eine Navigation innerhalb eines Gebäudes oder zwischen Gebäuden möglich.

1. a) Welche Sensoren könnte man für eine Navigation bzw. Orientierung verwenden? Tipp: Denke bei deinen Überlegungen an Sensoren, die in Smartphones bzw. Tablets verbaut sind.

b) Je nach Anwendungsgebiet werden verschiedene Sensoren und/oder Geräte miteinander kombiniert, um eine bessere Navigation zu ermöglichen.
Gegeben ist jeweils eine Kombination. Begründe, warum sich gerade diese Paare bei der Navigation gut ergänzen.
Überlege und beschreibe ein drittes Paar.

– Kamera & Laser-Abstandssensor (Lidar):

– Ultraschall- und Beschleunigungssensor:

– Deine dritte Kombination:

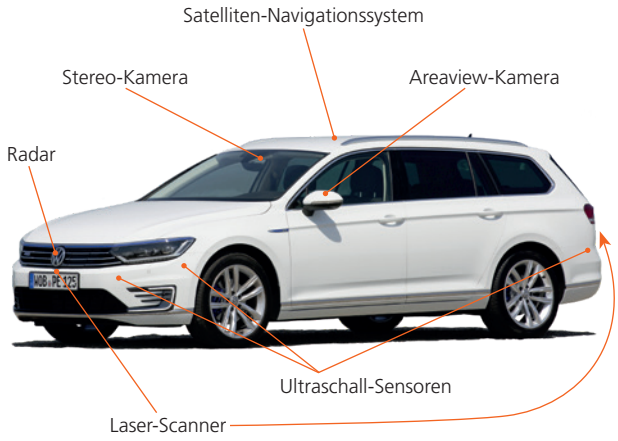
PLANETEN-SELFIES ZUR STANDORTBESTIMMUNG

Was haben ein verwinkeltes Hochhaus und die Marsoberfläche gemeinsam? Dort könnte ein neuartiges Navigationssystem eingesetzt werden. Das Prinzip liefert die Indoor-Navigation, die schon heute in unübersichtlichen Gebäuden funktioniert. Dabei nimmt ein Roboter von den langen Fluren aus vielen unterschiedlichen Positionen heraus Bilder auf. Wer navigieren will, muss nur sein Smartphone zücken – künstliche Intelligenz (KI) vergleicht dann das Handybild mit den Fotos des Roboters und errechnet die wahrscheinlichste Position. An der Foto-Navigation für den Mars arbeiten Forscher bereits – viele tausend Bilder, die Marssonden vom roten Planeten geschossen haben, liefern das Modell. Zukünftige Marsbesucher müssen vermutlich nur noch ein Foto machen und wissen dann dank KI genau, wo sie stehen. Ganz ohne Satelliten im Mars-Orbit.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

2. Autonomes Fahren funktioniert nur mit einer sensorbasierten Navigation.

a) Warum ist autonomes Fahren in einer Stadt so viel komplexer als auf Autobahnen? Nenne Gründe.



b) Das Zentrum für Technomathematik der Universität Bremen beschäftigt sich mit dem autonomen Fahren in der Stadt. Recherchiere, welche Funktion die in der Grafik angegebenen Sensoren in diesem Projekt haben.

c) Nicht nur auf Straßen, sondern auch in der Luft helfen Sensoren bei der Navigation. Flugtaxis (siehe Bild am Anfang des Arbeitsblattes) sind ein Beispiel dafür.
Informiere dich im Internet über Flugtaxis (z. B. unter www.space2school.de/volocopter) und fasse die wichtigsten Fakten auf einer Präsentationsfolie zusammen.

3. Die meiste Zeit halten wir uns in geschlossenen Räumen auf, in denen eine Satellitennavigation nicht funktioniert. Möchte man auch hier geleitet werden, klappt das nur mit Sensoren.

a) Ein typisches Beispiel für eine Indoor-Navigation ist das Auffinden eines bestimmten Ladens in einer Shopping Mall. Finde und beschreibe noch mindestens acht weitere Beispiele für Indoor-Navigation.

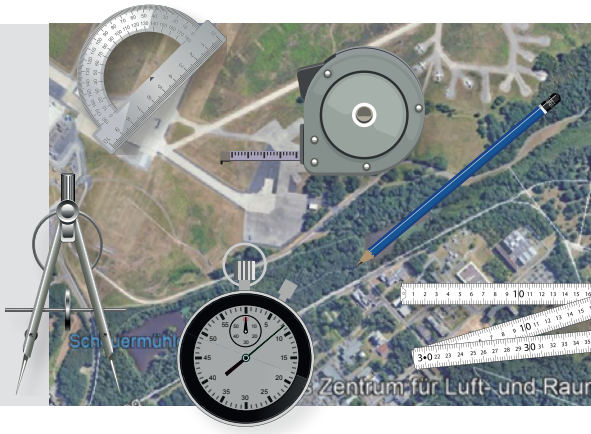
b) In einem Gebäude gibt es andere Probleme bei der Navigation als auf der Straße. Stelle mit einer Mindmap die Kernpunkte der Indoor-Navigation dar. Eine Hilfe findest du unter www.space2school.de/innospace-flugzeug

*c) Entwickelt in einer Gruppe das Konzept einer Indoor-Navigation für eure Schule. Schaut euch dazu als Input folgendes Video an: www.space2school.de/navvis
Gestaltet unter Verwendung von euch zur Verfügung stehender Hardware das Konzept für die Umsetzung. Eine Hilfe könnten die Sensoren eures Smartphones sein. Zusätzliche Ideen-Impulse: RFID-Tags, QR-Codes, Schrittzähler …

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

17 Rollenspiel zur Satellitennavigation

Satellitennavigation nutzt modernste, hochkomplexe technische Geräte und Verfahren. Überraschenderweise ist das Grundprinzip aber ganz einfach und kann ohne elektronische Hilfsmittel nachempfunden werden. Alles, was man dazu benötigt, sind vier Spieler, Papier, Bleistift, Zirkel, Lineal, Meterstab, Stoppuhr und ein Luftbild des eigenen Standortes von OpenStreetMap oder Google-Maps mit eingezeichnetem Maßstab. Unglaublich? Ausprobieren!



1. a) Bilde zusammen mit drei Klassenkameradinnen/-kameraden ein eigenes Satellitennavigationssystem. Teilt eure Vierergruppe dazu ein in einen Empfänger und drei Satelliten.

	Empfänger	Satellit 1	Satellit 2	Satellit 3
Name				

b) Plant eure Satellitenkonstellation. Dazu erhaltet ihr von eurer Lehrkraft ein „Luftbild" eures Standortes. Legt auf dem Luftbild fest, wo die drei Satelliten stehen sollen. Diese Orte sollten auf dem Bild und im Freien gut zu erkennen sein und höchstens 20 m voneinander entfernt liegen. Markiert diese Orte auf dem Luftbild mit S1, S2 und S3 (so wie auf der Abbildung).

2. a) Bei der echten Satellitennavigation misst man die Laufzeit. Diese zeigt an, wie lange Funksignale von den Satelliten bis zum Empfänger unterwegs sind. In unserem Spiel sollen die Satelliten S1, S2 und S3 nacheinander zum Empfänger laufen und ihre Schritte zählen. Voraussetzung für ein halbwegs genaues Ergebnis ist, dass ihr eure Schrittweite kennt. Nutzt einen Meterstab, um eure Schrittweite auszumessen.

	Satellit 1	Satellit 2	Satellit 3
Schrittweite in m			

b) Erkläre, wie du aus der Anzahl deiner Schritte und deiner Schrittweite die Entfernung bestimmen kannst, die du als „Satellit" zurückgelegt hast.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

3. Los geht's! Alle Satelliten stellen sich auf ihre Position, der Empfänger bleibt zwischen ihnen stehen. Nacheinander kommen nun alle Satelliten – oder besser deren Signale – zum Empfänger. Sie gehen dabei auf möglichst gerader Strecke und zählen ihre Schritte.

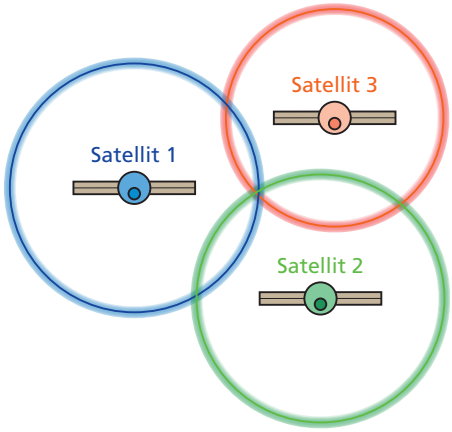
a) Trage die Schrittzahlen aller drei Satelliten in die Tabelle ein.

b) Berechne aus den Schrittzahlen die Entfernungen in Metern.

c) Rechne diese Entfernungen um in cm, um einen für euer Luftbild passenden Maßstab zu erhalten.

	Satellit 1	Satellit 2	Satellit 3
Schrittzahl			
Entfernung in m			
Entfernung in cm			

4. Bestimme mit den gemessenen Daten und dem Zirkel die (ungefähre) Position des Empfängers auf dem Luftbild.
Bewerte deine Messung. Welche Fehlerquellen beeinflussen die Messgenauigkeit?



5. Die Messung im Spiel hat Gemeinsamkeiten mit der echten Satellitennavigation, aber auch Unterschiede.
Nenne je mindestens drei davon.

Gemeinsamkeiten

Unterschiede

6. Überlege und beschreibe, wie man die Genauigkeit deiner Messung verbessern könnte.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

7. Die Messung aus Aufgabe 3 soll nun genauer werden. Anstatt die Schrittweite zu messen, wird stattdessen die Laufzeit mit einer Stoppuhr festgestellt.

a) Begründe, warum man möglichst genau wissen muss, wie schnell jeder einzelne „Satellit" geht.

b) Schreibe als Formel, wie man mithilfe der gemessenen Laufzeit die Entfernung bestimmen kann.

8. Führe die Messung aus Aufgabe 3 noch einmal durch. Anstatt die Schritte zu zählen, soll nun die Laufzeit der Satellitensignale mit der Stoppuhr festgestellt werden. Alle Satelliten müssen möglichst exakt mit der Geschwindigkeit von 1 m/s (4 km/h) gehen. Kontrolliere die Geschwindigkeit mit einem Smartphone und einer App, z. B. von www.space2school.de/sattec oder mit der App *phyphox*.

a) Trage die Laufzeiten aller drei Satelliten in die Tabelle ein.

b) Berechne aus den Laufzeiten die Entfernungen in Metern.

c) Rechne diese Entfernungen um in cm, um einen für euer Luftbild passenden Maßstab zu erhalten.

	Satellit 1	Satellit 2	Satellit 3
Laufzeit			
Entfernung in m			
Entfernung in cm			

9. a) Bestimme wiederum mit den gemessenen Daten und dem Zirkel die (ungefähre) Position des Empfängers auf dem Luftbild. Bewerte deine Messung. Welche Fehlerquellen beeinflussen nun die Messgenauigkeit?

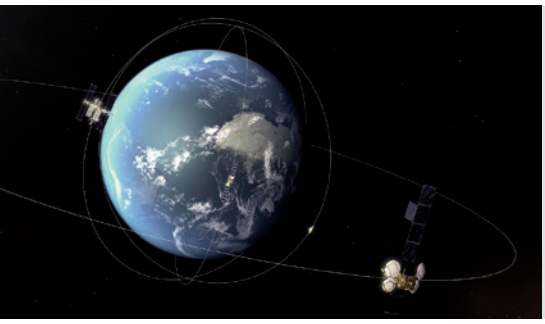
b) Auch in diesem Fall hat die Messung Gemeinsamkeiten mit der echten Satellitennavigation, aber auch Unterschiede. Nenne mindestens drei Unterschiede.

NAVIGATIONSTECHNIK IN VIELEN AUSBILDUNGEN

Wer Geodäsie studiert lernt, mit Satellitentechnik die Erde zu vermessen. Auch im Studiengang Navigation oder Geoinformatik wird man zum Experten auf dem Gebiet. Elektrotechnik oder Nachrichtentechnik bilden die Grundlagen; an der Anwendung auf See oder in der Luft arbeiten Schiffstechniker bzw. Luft- und Raumfahrttechniker. In der Ausbildung kommt das Thema Navigation bei Systemtechnikern und Vermessungstechnikern und selbst bei Kfz- und Baumaschinenmechatronikern vor.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

18 Projekt: Satelliten umkreisen die Erde



Geostationäre Satelliten bewegen sich in einem ganz bestimmten Abstand auf einer Kreisbahn über dem Äquator um die Erde. Sie befinden sich immer über demselben Punkt der Erdoberfläche. Damit das gelingt, muss ihre Umlaufdauer um die Erde exakt der Umlaufdauer der Erde um die eigene Achse entsprechen. Auf ihrer vorgegebenen Höhe folgen sie der Erdrotation mit einer Eigengeschwindigkeit von ca. 3 km/s.

1. a) Recherchiere, in welchem Abstand sich geostationäre Satelliten zur Erdoberfläche befinden.

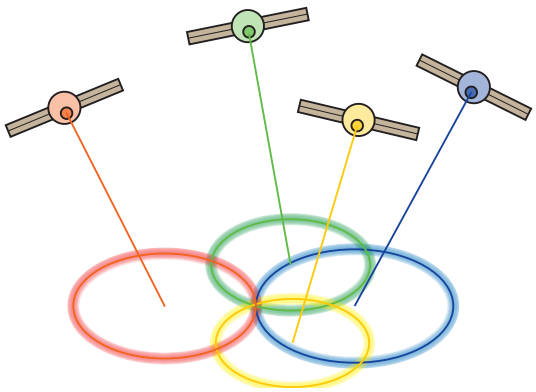
b) Berechne, in welchem Abstand sich ein Satellit zu einer modellhaften Erde befinden würde, wenn diese 30 cm Durchmesser hätte.

c) Berechne den Umfang der Umlaufbahn, die der Satellit um die modellhafte Erde mit dem Durchmesser von 30 cm fliegen würde.

2. Weltweit werden derzeit für die Navigation mit GPS über 30 Satelliten verwendet. Damit soll sichergestellt werden, dass die Empfangsgeräte die sich überschneidenden Signale von mindestens vier Satelliten auch bei nicht vollkommen freier Sicht zum Horizont empfangen können. Dieses Prinzip nennt man die Ausleuchtung von Satelliten auf der Erde. Es soll in einer Konstruktionsaufgabe verdeutlicht werden.

a) Entwickle ein räumliches Modell, mit dem man die Ausleuchtung eines Satelliten auf der Erde darstellen kann. Skizziere deine Lösung.

b) Beschreibe, wie in deiner Lösung die Überschneidung der Signale von mehreren Satelliten sichtbar gemacht werden könnte.



WO BEFINDET SICH GERADE EIN SATELLIT?

Es gibt einige Apps, die mithilfe von Datenbanken die Bahnen von Satelliten darstellen. Beeindruckend ist die private Initiative „Celestrak.com“. Auf dieser Webseite betreibt der Wissenschaftler T.S. Kelso aus den USA eine interaktive Datenbank von Satelliten – mitsamt der Möglichkeit, live zu sehen, welcher Flugkörper in diesem Moment an welcher Stelle über der Erde ist. Suchfunktionen, ein Film-Modus und die Möglichkeit, Satelliten anzuklicken, um mehr über sie zu erfahren, machen den Umgang mit der Datenbank intuitiv und anschaulich. So lässt sich ganz einfach sehen, was da oben über unseren Köpfen gerade los ist.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

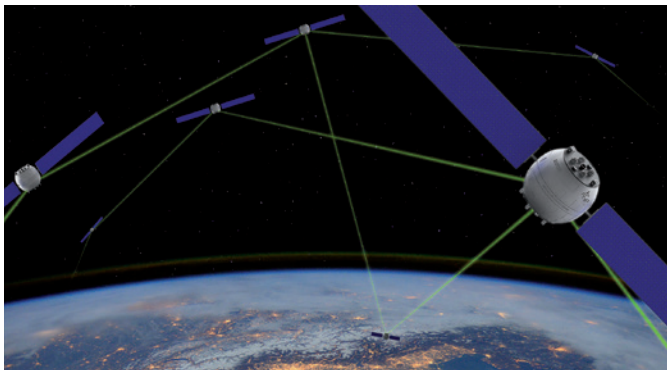
3. Baue ein Modell zur Sichtbarmachung des GPS-Empfangs in Europa. Die Erde wird dabei durch einen aufblasbaren Wasserball in Form der Erde dargestellt. Drei Satelliten über Europa werden durch verschiedenfarbige Leuchtdioden simuliert, deren Licht eine Ausleuchtungszone simuliert. Die Überschneidung der Ausleuchtungszonen stellt das Gebiet dar, in dem ein Galileo- oder GPS-Empfänger seine Position bestimmen könnte.

Stückliste

- aufblasbarer Wasserball, bedruckt als Erdkugel
- 2 m Bindfaden
- 10 m stabiler, magnetischer Draht
- Klebeband
- 3 verschiedenfarbige LED
- 3 Knopfzellen 1,5 V
- 3 Neodymmagnete

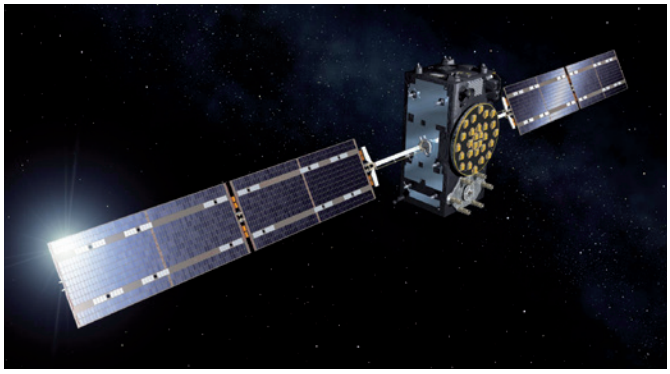
Bau der „Erde“

- Blase die „Erdkugel“ auf.
- Befestige einen Bindfaden an der „Erdkugel“ und hänge diese an einem geeigneten Haken auf.



Bau der Satellitenumlaufbahnen

- Forme aus einem Draht einen möglichst gleichmäßig runden Kreis. Verwende ein Stück Draht mit 1,6 m Länge (damit das Modell nicht zu groß wird – in Abweichung von deiner Lösung zu Aufgabe 1). Befestige die beiden Drahtenden mit Klebeband aneinander.
- Hänge den Drahtkreis ebenfalls an den Bindfaden, an dem bereits die „Erdkugel“ hängt. Befestige ihn so, dass die „Erdkugel“ genau in der Mitte des Drahtkreises hängt.
- Wiederhole den Vorgang mit zwei weiteren Drahtkreisen.



Bau der Satelliten

- Lege den langen Anschluss einer LED an die obere Seite einer Knopfzelle und den kurzen Anschluss der LED an die andere Seite der Batterie. Die LED muss nun leuchten. Fixiere die Konstruktion mit Klebeband.
- Wiederhole den Vorgang mit zwei weiteren, andersfarbenen LEDs.

Anbringen der Satelliten auf ihren Erdumlaufbahnen

- Befestige die leuchtenden LEDs so mit jeweils einem Magneten auf einem Drahtkreis, dass das Licht der LEDs auf die „Erde“ scheint.
- Richte nun vorsichtig die Lichtkegel der LEDs so aus, dass sich drei Lichtkegel über Europa überschneiden.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

19 Projekt: Mit Bluetooth verfolgen

Bei Bluetooth handelt es sich um eine spezielle Technologie, um Daten per Funk zu übertragen. Dadurch wird eine Kabelverbindung zwischen zwei Geräten überflüssig. Bluetooth kann jede Art von Daten übertragen, unter anderem auch Musikdaten oder Informationen von ferngesteuerten Systemen. Interessante Versuche zur Daten- und Signalübertragung mittels Bluetooth-Technik lassen sich überraschend einfach durchführen.

1. Informiere dich über die Bluetooth-Technik und beantworte folgende Fragen.

a) Woher kommt der Name „Bluetooth“?

b) Welche Reichweiten lassen sich mit Bluetooth erzielen?

c) Seit wann gibt es den Bluetooth-Standard?

d) Wie entstand das Logo von Bluetooth?

e) Wofür werden die „A2DP“- bzw. „HSP“-Standards genutzt?

2. Recherchiere im Internet, wo man einen Smart Bluetooth Tracker beziehen kann und was ein solches Gerät kostet.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

3. a) Besorge dir nach Absprache mit deiner Lehrkraft einen Smart Bluetooth Tracker. Du benötigst für die folgenden Versuche außerdem ein Bluetooth-fähiges Endgerät, z. B. ein Smartphone.

b) Informiere dich über die Funktionsweise des Trackers mithilfe des folgenden Videos: www.space2school.de/bluetooth-tracker

c) Lade die zum Tracker zugehörige App auf dein Smartphone. Der Link dazu wird mit dem Gerät geliefert. Schalte in deinem Smartphone die Bluetooth-Funktion an. Verbinde den Tracker mit deinem Smartphone. Je nach Gerät muss dazu für 3 Sekunden der Knopf auf dem Tracker gedrückt werden. Die erfolgreiche Verbindung wird danach in der App angezeigt.

4. „Gut versteckt!"

Organisiert in Zweiergruppen ein Versteckspiel im Klassenzimmer. Eine Person versteckt den Tracker im Klassenzimmer. Die andere Person muss danach das Gerät mithilfe des Smartphones und der Suchfunktion „Alert" in der App und dem akustischen Signal im Tracker suchen.
Tauscht nach der ersten Runde die Rollen. Sammelt Beispiele, für welche Anwendungen dieses Spiel im Alltag eingesetzt werden könnte.

5. „Gesucht und wiedergefunden!"

Der Tracker lässt sich auch über große Entfernungen nutzen. Organisiert in Zweiergruppen eine Schatzsuche rund ums Schulhaus. Eine Person sucht sich in der Nähe des Schulhauses ein gutes Versteck für einen Schatz (z. B. ein Brief oder eine Tüte Süßigkeiten). Verbindet den Tracker mit dem Smartphone und versteckt nun den Schatz samt Tracker.
Übergebt das Smartphone im Klassenzimmer an euren Partner bzw. eure Partnerin. Diese muss jetzt versuchen, den Schatz mithilfe der Funktion „Location" und der dargestellten Karte in der App wiederzufinden.
Für welche Anwendungen im Alltag könnte dieses Spiel eingesetzt werden?

6. „Ferngesteuert!"

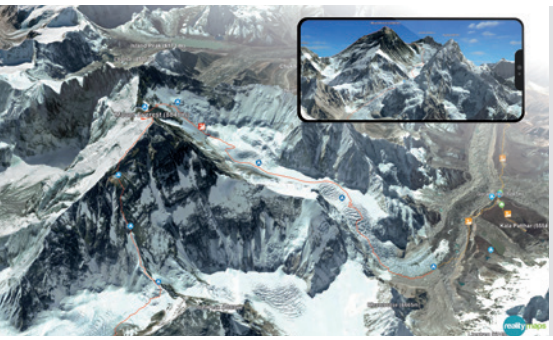
Eine dritte Funktion des Trackers lässt sich zum Auslösen von Funktionen im Smartphone nutzen. Aktiviert dazu die Funktion „Photograph" in der App. Stellt das Smartphone so auf, dass die Kamera in den Raum zeigt. Über das Betätigen der Taste auf dem Tracker lässt sich nun die Kamera aus der Ferne auslösen.
Sammelt Beispiele, wofür diese Anwendung im Alltag eingesetzt werden könnte.
Welche Risiken sind mit dieser Anwendung verbunden?

MÄNNER UND FRAUEN NAVIGIEREN UNTERSCHIEDLICH

Stimmt das Vorurteil, dass Männer besser sind, Wege von A nach B zu finden? Diese Behauptung hatte es mit dem Buch „Why Men Don't Listen & Women Can't Read Maps" weltweit auf Bestsellerlisten geschafft. Auch viele Psychologen haben sich mit der Frage beschäftigt. Nun steht fest: Es stimmt nicht – Frauen navigieren nur anders als Männer. Herkömmliche zweidimensionale Karten mit Flächen und Linien aus der Vogelperspektive können tatsächlich Männer besser lesen, ihre Gehirne scheinen sich besser an solchen Strukturen orientieren zu können. Weibliche Gehirne schneiden dagegen besser ab, wenn Karten zusätzliche Orientierungspunkte enthalten, einen speziellen Farbcode oder dreidimensionale Anschauungen. In die Entwicklung von Navigationsgeräten sind diese Erkenntnisse längst eingeflossen und der Grund, warum bei vielen Navi-Apps die Wegbeschreibungen inzwischen anders aussehen als nur ein einfacher Pfeil auf einer zweidimensionalen Karte.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

20 Projekt: Tracking mit Navigationssatelliten



Gegenstände oder Personen lassen sich mittels GPS-Signal auch über sehr weite Entfernungen ausfindig machen. Ein sogenannter GPS-Tracker kombiniert dafür die Technik der Satellitennavigation mit einem Mobilfunksender. Die Standortdaten des Trackers werden in Form von Koordinaten über ein GPS-Signal geortet und über den Sender weitergegeben. Mit entsprechenden Programmen oder Apps lässt sich dann bestimmen, wo sich der Träger des Geräts befindet, und der zurückgelegte Weg aufzeichnen.

1. Informiere dich über den Einsatz von GPS-Trackern und deren mögliche Anwendungen z. B. mithilfe des Videos unter der Seite www.space2school.de/GPS-tracker und beantworte die Fragen.

a) Welche Funktion haben GPS-Tracker und was lässt sich mit GPS-Trackern überwachen?

b) Welche Kosten entstehen durch GPS-Tracker?

c) Welche rechtlichen Rahmenbedingungen sind bei der Benutzung zu berücksichtigen?

d) Woher erhält ein Tracker seine Energie und wie lang ist die Laufzeit?

e) Wie viele Satelliten werden für die Standortbestimmung eines Trackers benötigt?

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

2. Bildet Gruppen mit zwei bis vier Personen. Besorgt euch pro Gruppe nach Absprache mit eurer Lehrkraft einen GPS-Tracker und eine SIM-Karte. Achtung: Je nach Art des Vertrags der SIM-Karte können Verbindungskosten entstehen! Klärt dies mit eurer Lehrerin/eurem Lehrer ab. Zur Darstellung des Bewegungsprofils des Trackers benötigt ihr außerdem einen internetfähigen Computer oder ein Smartphone bzw. ein Tablet.

a) Lest euch die Gebrauchsanweisung des Trackers durch.

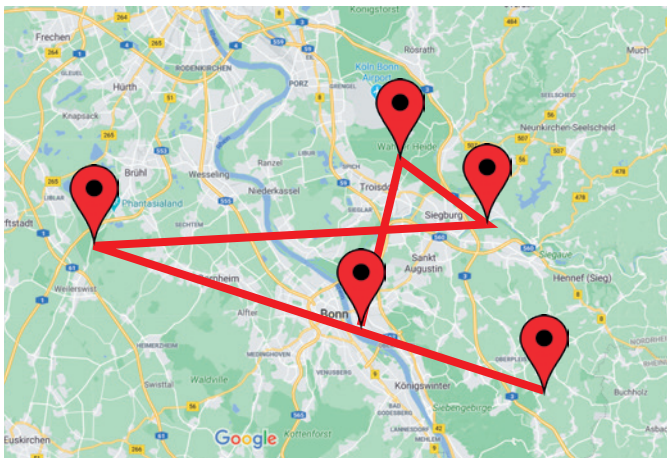
b) Nehmt das Gerät in Betrieb, in dem ihr den Akku ladet und die SIM-Karte im Gerät installiert.

c) Installiert die empfohlene Software auf dem Computer oder die App auf dem Smart Device.

d) Testet die Funktionen des Geräts! Eine Person aus eurer Gruppe macht sich mit dem Tracker auf den Weg ums Schulhaus. Die anderen Gruppenmitglieder überwachen den Weg in der mitgelieferten App oder in Google Maps.

3. In einem Versuch soll das Tracken von Waren erprobt werden.

a) Verpackt den frisch geladenen Tracker in einem geeigneten Karton als Paket. Schickt das Paket an eine Person aus eurer Gruppe.



b) Erstellt eine Tabelle, in der die Strecken und die Zeiten dokumentiert werden, die das Paket zurücklegt. Verfolgt über die mitgelieferte App oder in Google Maps den Weg des Pakets und dokumentiert
- die Wegstrecke,
- die Zeiten, in denen das Paket zwischengelagert wird,
- die Zeiten, in denen das Paket transportiert wird und
- die Gesamtstrecke, die das Paket zurückgelegt hat.

Stellt alle getrackten Werte und die Karte des zurückgelegten Wegs in einem Poster zusammen. Vergleicht alle erstellten Poster in der Klasse.

c) Welche Phasen des zurückgelegten Paketweges könnten sich optimieren lassen?

d) Übertragt eure Überlegungen auf den weltweiten Warentransport. Was ließe sich optimieren?

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

4. In einem Langzeitversuch übers Wochenende soll das Bewegungsmuster von einer Person aufgezeichnet werden. Ein Mitglied eurer Gruppe, das sich freiwillig für den Versuch zur Verfügung stellt, befestigt sich den Tracker so am Körper, dass dieser nicht stört. Über das gesamte Wochenende muss der Tracker nun überall hin mitgenommen werden.

a) Wertet das Bewegungsprofil ohne die getrackte Person aus. Stellt das Profil in einer digitalen Karte dar und dokumentiert Ruhezeiten, die zurückgelegte Strecke und die besonderen Punkte, an denen Zeit verbracht wurde.

b) Erstellt nun mit dem Einverständnis der getrackten Person ein Personenprofil. Macht Aussagen zu folgenden Aspekten: Fitnessgrad, Ruhezeiten, Schlafzeiten, Mobilität …

Gleicht euer erstelltes Profil mit den Aussagen der getrackten Person ab und besprecht die Ergebnisse des erstellten Profils mit dem tatsächlichen Verhalten der Person.

5. Mit einem Tracker lassen sich über die GPS-Daten nicht nur Bewegungsprofile erstellen, sondern auch weitere Funktionen der SIM-Karte nutzen.
Positioniert den Tracker in einem Nachbarzimmer. Wählt nun mit einem anderen Handy die SIM-Kartennummer im Tracker an. Beschreibt, was geschieht und wofür diese Funktion genutzt werden kann.

*

6. a) Beschreibe die Vor- und Nachteile der Tracking-Technologie beim Personen- und Wareneinsatz und mögliche Anwendungsbereiche.

b) Informiere dich im Internet (Stichwort Datenschutz-Grundverordnung) über die Paragraphen Art. 5 Abs. 1 und Art. 6 Abs. 1 der Datenschutz-Grundverordnung im Zusammenhang mit nicht korrekt eingesetzten GPS-Trackern.

DATEN MIT NEBENWIRKUNGEN

Dank der Positionsangaben durch Galileo oder GPS, die inzwischen jedes Smartphone nutzt, findet man sich besser zurecht. Doch wer die Positionsdaten von vielen Nutzern kennt, kann noch ganz andere Schlüsse ziehen: Wo halten sich an welchen Tagen Menschen auf? Wo entstehen häufig Staus? Wie kann man die Ausbreitung von Krankheiten aufhalten?
Viele Apps auf dem Smartphone speichern die Daten, um sie auszuwerten – das kann aber unerwünschte „Nebenwirkungen“ haben: Weil Freizeitsportler die Fitness-App „Strava“ genutzt hatten und die App Standorte von Sportlern in einer „Fitness-Karte“ im Internet anzeigt, entdeckte ein australischer Student vor zwei Jahren auffällige Muster in sonst menschenleeren Gegenden im Irak, in Syrien und Afghanistan. Auf diese Weise enttarnte er bis dahin unbekannte Camps der US-Armee. Die Soldaten hatten in der Gegend trainiert, ohne zu wissen, dass die GPS-Daten ins Internet übertragen wurden.

©Als Kopiervorlage freigegeben. DLR, 2021

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Wir betreiben Forschung und Entwicklung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung. Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR ist im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zwei DLR Projektträger betreuen Förderprogramme und unterstützen den Wissenstransfer.

Global wandeln sich Klima, Mobilität und Technologie. Das DLR nutzt das Know-how seiner 54 Institute und Einrichtungen, um Lösungen für diese Herausforderungen zu entwickeln. Unsere 10.000 Mitarbeitenden haben eine gemeinsame Mission: Wir erforschen Erde und Weltall und entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft. So tragen wir dazu bei, den Wissens- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken.