

6 BIS 11 JAHRE - FÜR DIE LEHRKRAFT

Flugzeuge, die sprechen: ein Sachunterrichtskurs in vier Stunden

Dies ist der Kurs so, wie die Lehrkraft ihn kennen muss: die Naturwissenschaft eine Stufe tiefer erklärt, als die Klasse sie hören wird, die Reihenfolge, in der die Ideen kommen müssen, was man Sechsjährigen sagt und was man bei Zehnjährigen ergänzt, die Vorführungen, die jede Idee tragen, und warum sie funktionieren, sowie die falschen Vorstellungen, die Kinder mitbringen. Vier Unterrichtsstunden von etwa 50 Minuten, meist über zwei Wochen verteilt.

Lernen - <https://radar.dataero.eu/de/learning/ages-6-11> 2026-10-22

INHALT

Bevor Sie beginnen: was der Kurs vermittelt und warum er vier Stunden wert ist

STUNDE 1 Der volle Himmel und das sprechende Flugzeug

STUNDE 2 Unsichtbares Licht: was die Nachricht trägt

STUNDE 3 Metallohren und die runde Erde: wie die Nachricht aufgefangen wird und aus welcher Entfernung

STUNDE 4 Die Karte: wie viele Ohren ein Bild ergeben
Lernkontrolle: Können sie die Geschichte erzählen?

ALS NÄCHSTES Ein Empfänger auf dem Schuldach

Bevor Sie beginnen: was der Kurs vermittelt und warum er vier Stunden wert ist

Jedes Verkehrsflugzeug am europäischen Himmel sendet etwa zweimal pro Sekunde eine kurze Funknachricht mit seiner Kennung, seiner Position, seiner Höhe und seiner Geschwindigkeit. Das System heißt ADS-B und ist seit 2020 für die meisten Luftfahrzeuge vorgeschrieben. Fluglotsen verlassen sich darauf, ebenso die Live-Flugkarten auf jedem Handy. Für eine Grundschulklasse ist es ein nahezu perfektes Thema, denn es verbindet Dinge, über die Kinder ohnehin staunen - die Flugzeuge, die sie sehen und hören -, mit der Physik, die der Lehrplan von Ihnen verlangt: dass Licht und Schall zwei verschiedene Dinge sind, dass Licht sich geradlinig ausbreitet, dass Wellen eine Länge haben, dass die Erde eine Kugel ist und dies sichtbare Folgen hat, dass Informationen verschlüsselt und übertragen werden können und dass eine Karte aus Messungen entsteht. Das Thema ist real und aktuell; nichts daran ist ein Spielzeugmodell.

Der Kurs folgt der Logik des Systems selbst, denn diese Logik ist zugleich die richtige Unterrichtsreihenfolge. Zuerst muss die Klasse begreifen, dass der Himmel voll von schnellem, unsichtbarem Verkehr ist, den jemand im Blick behalten muss. Dann, dass jedes Flugzeug weiß, wo es ist, und das immer wieder sagt, in einer Nachricht aus vier Teilen. Dann, dass die Nachricht als Funkwelle reist und dass eine Funkwelle eine Form von Licht ist. Dann, dass eine Antenne sie auffängt und dass die runde Erde die Reichweite begrenzt. Und schließlich, dass viele Antennen zusammen die Karte erstellen.

Jede Stunde fügt dieser Kette ein Glied hinzu, und genau diese Kette überprüfen Sie am Ende: Kann ein Kind die Geschichte vom Flugzeug bis zur Karte erzählen, in der richtigen Reihenfolge und mit den richtigen Begründungen?

Sie brauchen keinerlei Vorkenntnisse in Luftfahrt oder Funktechnik. Jede der folgenden Stunden beginnt mit der Naturwissenschaft, so wie Sie sie verstehen müssen - eine Stufe tiefer, als die Klasse gehen wird -, damit Sie auch die Frage hinter der Frage beantworten können. Wenn Sie die vollständige Darstellung für Erwachsene möchten: Der Referenzkurs auf der Startseite hat zwölf Kapitel; für diese Altersgruppe sind die Kapitel 3, 6 und 7 die wichtigsten. Zwei Dinge sollten Sie durchgehend klar im Kopf behalten, denn an diesen beiden Stellen bringen Erwachsene am häufigsten etwas Falsches bei. Funk ist kein Schall; er ist Licht in einer Farbe, die unsere Augen nicht sehen können, und dieser Unterschied ist der Kern von Stunde 2. Und das Flugzeug wird in diesem System nicht „von Satelliten gesehen“ oder „vom Radar gefunden“: Es ermittelt seine eigene Position, indem es Satelliten zuhört, und gibt sie dann bekannt. Niemand findet das Flugzeug. Das Flugzeug meldet sich.

Zur Differenzierung: Der Kurs ist für die gesamte Spanne von 6 bis 11 Jahren geschrieben, und der Text jeder Stunde sagt, wo sich jüngere und ältere Kinder trennen. Grob gesagt sollte eine Klasse mit Sechsbis Achtjährigen die Geschichte, das Rollenspiel, das Seil und die Karte mitnehmen und am Ende sagen können: „Flugzeuge schicken eine Nachricht auf einer Welle, eine Antenne fängt sie auf, und daraus wird die Karte.“ Eine Klasse mit Neun- bis Elfjährigen kann die Zahlen aufnehmen (zweimal pro Sekunde, 300.000 Kilometer pro Sekunde, eine 27 Zentimeter lange Welle, ein Horizont von 400 Kilometern), die Idee, dass die Nachricht aus Ja-oder-Nein-Antworten besteht, und die Überlegungen zum Horizont, und sollte am Ende erklären können, warum jeder Schritt nötig ist.

STUNDE 1

Der volle Himmel und das sprechende Flugzeug

Die Naturwissenschaft, die Sie brauchen

Ein Verkehrsflugzeug in Reiseflughöhe befindet sich etwa zehn Kilometer über dem Boden und fliegt mit rund 900 km/h, das sind 250 Meter in jeder Sekunde. In dieser Höhe ist es schwer zu sehen und unmöglich einzuschätzen: Ein Kind, das ein Glitzern oder einen Kondensstreifen entdeckt, kann nicht erkennen, wie weit es entfernt ist, wie hoch es fliegt oder wohin es unterwegs ist - und ein Pilot, der ein anderes Flugzeug betrachtet, kann es auch nicht. Über einer belgischen Stadt sind fast immer mehrere Flugzeuge gleichzeitig am Himmel, die meisten davon in großer Höhe auf der Durchreise zwischen anderen Ländern. Um sie voneinander fernzuhalten, braucht die Flugsicherung ununterbrochen Position, Höhe und Richtung jedes einzelnen Flugzeugs. Die Staffelungsregeln sind einfach: In dem von Fluglotsen kontrollierten Luftraum müssen Flugzeuge vertikal mindestens 300 Meter oder horizontal mehrere Kilometer voneinander entfernt sein.

Den größten Teil des letzten Jahrhunderts erfuhr man, wo Flugzeuge waren, durch Radar: eine große, sich drehende Antenne, die einen Funkimpuls aussendet und auf das schwache Echo lauscht. Radar gibt es noch immer, aber das System, um das es in diesem Kurs geht, dreht das Problem um. Jedes moderne Flugzeug hat einen Satellitennavigationsempfänger an Bord - dieselbe Technik wie die Karten im Auto oder auf dem Handy - und kennt deshalb seine eigene Position stets auf wenige Meter genau. Außerdem hat es ein kleines Funkgerät an Bord, den Transponder. ADS-B verbindet einfach beides: Etwa zweimal

pro Sekunde sendet der Transponder eine kurze Nachricht mit der Kennung des Flugzeugs, seiner Position aus den Satellitendaten, seiner Höhe sowie seiner Geschwindigkeit und Richtung. Die Nachricht geht automatisch hinaus, ohne dass jemand danach fragt und ohne bestimmten Empfänger: Sie ist eine Aussendung an alle, wie ein Radiosender, und jeder mit dem passenden Empfänger kann sie hören. Genau das bedeuten die Buchstaben: Automatic (niemand löst sie aus), Dependent (ihre Richtigkeit hängt von der Ausrüstung des Flugzeugs selbst ab), Surveillance (Überwachung - ihr Zweck ist zu wissen, wo Flugzeuge sind), Broadcast (an alle gesendet).

Die Nachricht selbst ist digital. Ein Transponder kann keine Buchstaben oder Zahlen direkt senden; er kann nur Impuls oder kein Impuls senden, und so ist die Nachricht eine Folge von 112 Ja-oder-Nein-Antworten, jede eine millionstel Sekunde lang, deren Bedeutung vorab von allen vereinbart wurde. Die erste Gruppe davon, 24 Antworten lang, ist der dauerhafte Kenncode des Flugzeugs, der ihm bei der Zulassung zugeteilt wird - ein bisschen wie ein Nummernschild, das sich nie ändert. Die übrigen tragen je nach Art der Nachricht die Position, die Höhe, die Geschwindigkeit oder das Rufzeichen des Flugs. Die letzten 24 Antworten sind eine Prüfsumme: Der Empfänger führt mit der Nachricht eine festgelegte Rechnung aus und vergleicht das Ergebnis mit der Prüfsumme; stimmen sie nicht überein, ist unterwegs etwas verstümmelt worden, und die Nachricht wird verworfen. Das ist wichtig, denn über einem belebten Flughafen sprechen viele Flugzeuge gleichzeitig, und ihre Nachrichten überlagern sich manchmal. Die Höhe in der Nachricht wird nicht per Satellit gemessen, sondern über den Luftdruck außerhalb des Flugzeugs, der beim Steigen stetig abnimmt; aus demselben Grund knacken einem im Aufzug oder in einem Bergtunnel die Ohren, und ältere Kinder haben Freude an diesem Zusammenhang.

So unterrichten Sie es

Beginnen Sie mit dem Himmel, nicht mit dem System. Fragen Sie, wer diese Woche ein Flugzeug gesehen hat, wo, wie hoch es ihrer Meinung nach war und wie ein Pilot ohne Straßen überhaupt wissen kann, wo er ist. Lassen Sie die Vermutungen sprudeln; „Der Pilot schaut aus dem Fenster“ und „Es gibt eine Karte“ werden beide kommen, und beide sind halb richtig. Zeigen Sie dann die Live-Karte am Beamer, auf die Stadt gezoomt, und zählen Sie gemeinsam die Flugzeuge. Die Lücke zwischen dem, was die Klasse erwartet hat, und dem, was die Karte zeigt, ist der Aufhänger für den ganzen Kurs, und es lohnt sich, dabei zu verweilen: Jedes dieser Symbole ist ein Flugzeug, das genau jetzt spricht.

Erzählen Sie nun die zentrale Geschichte in einem Atemzug, denn Kinder merken sich eine Geschichte besser als eine Definition: Das Flugzeug weiß immer, wo es ist, weil es Satelliten hoch über ihm zuhört; und zweimal in jeder Sekunde ruft es, an niemand Bestimmten: „Das bin ich, hier bin ich, so hoch, so schnell.“ Niemand hat es gefragt. Es hört nie auf. Und jeder mit der richtigen Art von Ohr kann es hören. Bei Sechs- bis Achtjährigen ist dieser Satz, wiederholt und dann nachgespielt, die ganze Stunde. Bei Neun- bis Elfjährigen gehen Sie einen Schritt weiter und erklären, dass der Ruf aus Ja-oder-Nein-Antworten besteht, dass 24 davon den Namen des Flugzeugs buchstabieren, und lassen sie (mit Hilfe) herausfinden, dass 24 Ja-oder-Nein-Antworten etwa 17 Millionen verschiedene Namen ergeben - mehr als genug für jedes jemals gebaute Flugzeug. Der Punkt, auf den es ankommt: Das Flugzeug wird nicht „beobachtet“, es meldet sich. Sagen Sie es in beiden Richtungen, „Niemand findet das Flugzeug, das Flugzeug meldet sich selbst“, denn die gegenteilige Vorstellung sitzt tief und taucht in Stunde 4 wieder auf.

Die Vorführung ist das Kontrollturm-Spiel, und es ist die wertvollste halbe Stunde des ganzen Kurses. Kleben Sie ein Raster auf den Boden, fünf mal fünf Felder, an einer Seite mit Buchstaben, an der anderen mit Zahlen beschriftet. Die Hälfte der Klasse sind Flugzeuge; jedes hat eine Karte mit Rufzeichen, Höhe und Geschwindigkeit. Sie gehen langsam über das Raster, und alle paar Schritte sagt jedes seine Nachricht laut an: „DTA12, Feld C3, zehntausend Meter, schnell.“ Die andere Hälfte ist der Kontrollturm, jedes Kind mit einer Papierkopie des Rasters, und sie müssen jedes Flugzeug dort einzeichnen, wo es sich meldet. Dann wird getauscht. Und dann - das ist der Teil, der lehrt - spielen Sie es noch einmal, wobei die Flugzeuge nur einmal pro Minute sprechen dürfen. Die Zeichnungen der Türme fallen auseinander; die Flugzeuge haben das Feld gewechselt, bevor es jemand wusste. Fragen Sie die Klasse, warum echte Flugzeuge zweimal pro Sekunde sprechen, und sie wird es Ihnen sagen.

Mit der älteren Gruppe fügen Sie eine zweite Variante hinzu: Zwei Flugzeuge melden sich genau im selben Moment, und der Turm muss aufschreiben, was er gehört hat. Er wird ein Durcheinander gehört haben. Erklären Sie, dass die echte Nachricht deshalb am Ende eine Prüfsumme hat: Eine durcheinandergeratene Nachricht besteht die Prüfung nicht und wird verworfen, und das Flugzeug wiederholt sich ohnehin eine halbe Sekunde später. Kinder, die selbst Turm waren, verstehen sofort, warum sowohl die Wiederholung als auch die Prüfung nötig sind.

Was Kinder falsch verstehen und was Sie sagen können

Die häufigste falsche Vorstellung ist, dass Satelliten herunterschauen und die Flugzeuge sehen oder dass das Radar sie findet. Das richtige Bild ist: Das Flugzeug hört den Satelliten zu, um sich selbst zu orten, und spricht dann. Ein hilfreicher Vergleich: Der Satellit ist wie eine Kirchenglocke, die die Stunde schlägt; sie sagt allen die Uhrzeit, hat aber keine Ahnung, wer zuhört. Die zweite falsche Vorstellung ist, dass der Pilot die Nachricht sendet. Das tut niemand; der Transponder sendet sie von selbst, sobald sich das Flugzeug zu bewegen beginnt. Die dritte ist, dass die Nachricht „zum Flughafen“ geht. Sie geht an alle: Auch andere Flugzeuge hören zu und nutzen sie, um einander auszuweichen, und ebenso jede Antenne auf jedem Dach - und genau dort endet Stunde 4.

STUNDE 2

Unsichtbares Licht: was die Nachricht trägt

Die Naturwissenschaft, die Sie brauchen

Die Nachricht verlässt das Flugzeug als Funkwelle, und die eine Idee, die diese Stunde verankern muss - weil die gesamte Physik der weiterführenden Schule darauf aufbaut -, lautet: Eine Funkwelle und ein Lichtstrahl sind dieselbe Art von Ding. Beide sind elektromagnetische Wellen: Kräuselungen elektrischer und magnetischer Kraft, die sich durch den Raum ausbreiten, keine Luft und kein Material als Träger brauchen und sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, also fast genau 300.000 Kilometer pro Sekunde. Was die eine solche Welle zu rotem Licht macht, eine andere zu blauem und wieder eine andere zu einer Funkwelle, ist nur, wie schnell sie schwingt: ihre Frequenz. Unsere Augen reagieren auf ein schmales Frequenzband, das wir als die Farben von Rot bis Violett wahrnehmen. Funkwellen schwingen viel langsamer, deshalb können Augen sie nicht sehen - genau wie Ohren eine Hundepfeife nicht hören können. Die Nachricht des Flugzeugs wird mit einer Frequenz von 1.090 Millionen Schwingungen pro Sekunde gesendet, was nach menschlichen Maßstäben sehr schnell ist und für Licht sehr langsam: Grünes Licht schwingt etwa eine halbe Million Mal schneller.

Weil sich jede elektromagnetische Welle gleich schnell ausbreitet, legt die Frequenz die Wellenlänge fest, den Abstand von einem Wellenberg zum nächsten: In einer Sekunde legt die Welle 300.000 km zurück und vollführt f Schwingungen, also nimmt jede Schwingung 300.000 km geteilt durch f ein. Für die Welle des Flugzeugs ergibt das 27,5 Zentimeter, ungefähr die Länge eines Schullineals. Für grünes Licht ist es etwa ein halbes Tausendstel Millimeter. Für einen UKW-Radiosender sind es drei Meter. Diese Zahl, 27,5 cm, begegnet der Klasse in Stunde 3 wieder, denn sie bestimmt die Größe der Antenne.

Die Verwechslung, die Sie verhindern müssen, ist die zwischen Funk und Schall, und es lohnt sich zu verstehen, warum sie so verbreitet ist. Ein „Radio“ ist im Alltag ein Kasten, der Töne macht, also nehmen Kinder (und viele Erwachsene) an, Funkwellen seien eine Art Schall, der durch die Luft reist. Sie haben überhaupt nichts miteinander zu tun. Schall ist eine Druckwelle: Luftmoleküle stoßen ihre Nachbarn an, die wiederum ihre anstoßen. Er braucht ein Material, um sich auszubreiten, bewegt sich mit etwa 340 Metern pro Sekunde, und im Vakuum gibt es keinen Schall. Funk braucht nichts und durchquert den leeren Raum zwischen einem Satelliten und dem Flugzeug; er ist fast eine Million Mal schneller als Schall. Wenn ein Flugzeug in 20 km Entfernung im selben Moment ein Geräusch macht und eine Nachricht sendet, erreicht Sie die Nachricht nach etwa 67 millionstel Sekunden und das Geräusch etwa eine Minute später. Kinder kennen diese Verzögerung vom Donner und vom Zuschauen, wenn in der Ferne ein Fußball geschossen wird, und dieses Wissen ist Ihr bester Verbündeter.

So unterrichten Sie es

Beginnen Sie bei dem, was die Kinder kennen: Dinge, die es gibt, die wir aber nicht sehen oder hören können. Hundepfeifen, wie eine Biene eine Blume sieht, die Fernbedienung, die dem Fernseher „etwas schickt“, das WLAN im Gebäude. Stellen Sie dann die Behauptung klar auf: Die Nachricht des Flugzeugs reitet auf einer Art Licht, das unsere Augen nicht sehen können, und eine Taschenlampe und das Funkgerät des Flugzeugs sind Cousins. Schalten Sie eine Taschenlampe ein und fragen Sie, wo ihr Licht ist: überall im Raum, sofort, ohne eine Verzögerung, die irgendjemand bemerken könnte. Dann der Schlüsselsatz für die jüngere Gruppe: Funk ist eine Farbe, die unsere Augen nicht sehen können, und er geht genau jetzt durch diesen Raum, von jedem Flugzeug im Umkreis von 400 Kilometern, und wir spüren nicht das Geringste. Viele Kinder finden das ein bisschen aufregend, und es stimmt.

Die Seil-Vorführung gibt der Idee einer Welle einen Körper. Zu zweit hält ein Kind ein Seil still, und das andere schüttelt das freie Ende. Langsames Schütteln erzeugt einige lange, träge Wellen entlang des Seils; schnelles Schütteln erzeugt viele kurze. Lassen Sie sie in beiden Fällen den Abstand zwischen den Wellenbergen mit einem Meterstab messen und die Regel bemerken: Je schneller man schüttelt, desto kürzer die Wellen. Das ist keine lockere Analogie, sondern der tatsächliche Zusammenhang, denn die Geschwindigkeit der Welle entlang des Seils wird durch das Seil festgelegt, und so gleichen sich Frequenz und Wellenlänge genau so aus wie beim Licht. Erzählen Sie der Klasse, dass die Welle des Flugzeugs verglichen mit Licht zur langen, trägen Sorte gehört und von Berg zu Berg so lang ist wie ein Lineal. Legen Sie das Lineal neben die Seilwelle auf den Boden und lassen Sie es sie sehen. Schreiben Sie mit der älteren Gruppe die Regel auf: $\text{Geschwindigkeit} = \text{Frequenz} \times \text{Wellenlänge}$, und lassen Sie sie sie am Seil überprüfen, indem sie die Schüttelbewegungen pro Sekunde zählen und von Berg zu Berg messen. Geben Sie ihnen dann die Zahlen des Flugzeugs und lassen Sie sie sehen, dass $300.000 \text{ km pro Sekunde}$ geteilt durch $1.090 \text{ Millionen pro Sekunde}$ 27,5 cm ergibt; die Division schaffen sie nicht allein, aber sie können sie an der Tafel nachvollziehen, und das macht die Zahl zu ihrer eigenen.

Um Funk von Schall zu trennen, veranstalten Sie das Wettrennen der schnellsten Boten. Eine Reihe von Kindern gibt ein geflüstertes Wort von einem Ende der Halle zum anderen weiter; stoppen Sie die Zeit. Lassen Sie dann an einem Ende eine Taschenlampe aufblitzen, und das andere Ende hebt die Hand: keine messbare Verzögerung. Besprechen Sie, warum: Schall muss von jedem Stückchen Luft zum nächsten weitergegeben werden, wie das Flüsterwort von Kind zu Kind, und das braucht Zeit; Licht braucht niemanden, der es weitergibt. Sagen Sie dann - und dies ist der Moment, ausdrücklich zu sein -, dass die Funknachricht des Flugzeugs wie die Taschenlampe ist, nicht wie das Flüstern, und dass der Triebwerkslärm eines Flugzeugs, den Sie hören, wie das Flüstern ist: Er kommt lange an, nachdem das Flugzeug weitergefliegen ist. Der älteren Gruppe können Sie die Zahlen geben, 340 Meter pro Sekunde gegen 300.000 Kilometer pro Sekunde, und fragen, wie viel Mal schneller Licht ist; die Antwort, fast eine Million, ist befriedigend.

Was Kinder falsch verstehen und was Sie sagen können

Die Verwechslung mit Schall wurde oben behandelt und muss in Stunde 3 und 4 wiederholt werden; rechnen Sie damit, dass „Die Antenne hört das Flugzeug“ wieder zu „Die Antenne hört das Geräusch“ abrutscht. Eine zweite Verwechslung ist, dass Funkwellen so „in der Luft“ sind wie Gerüche, die umherschweben; sie werden überhaupt nicht von der Luft getragen und würden sich durch leeren Raum genauso gut ausbreiten. Eine dritte, aus der älteren Gruppe, ist die Annahme, dass schnelleres Schütteln die Welle schneller laufen lässt; das tut es nicht, es macht die Wellen kürzer, und das Seil zeigt es, wenn Sie die Kinder einen einzelnen Wellenberg verfolgen lassen. Und wenn schließlich ein Kind fragt, warum wir Funk nicht sehen können, wenn er doch Licht ist, lautet die ehrliche Antwort: Unsere Augen sind für die Farben gebaut, die die Sonne am meisten liefert und die am besten durch die Luft dringen; Funk war schon immer da, und wir haben ihn erst bemerkt, als wir metallene Augen für ihn gebaut haben - und darum geht es in Stunde 3.

STUNDE 3

Metallohren und die runde Erde: wie die Nachricht aufgefangen wird und aus welcher Entfernung

Die Naturwissenschaft, die Sie brauchen

Eine Funkwelle, die über ein Stück Metall streicht, schiebt die Elektronen im Metall im Takt ihrer Schwingung hin und her. Dieser winzige Wechselstrom ist das „Hören“; ein an das Metall angeschlossener Empfänger verstärkt ihn und liest die Impulse daraus ab. Der Schub ist am stärksten, wenn das Metallstück die richtige Länge für die Welle hat: Ein Stab, der ein Viertel einer Wellenlänge lang ist und auf einer flachen Metallfläche steht, reagiert auf die Welle so, wie eine Schaukel auf einen Schubs reagiert, der genau in ihrem eigenen Rhythmus kommt. Bei der 27,5 cm langen Welle des Flugzeugs ist ein Viertel 6,9 cm, und deshalb ist die echte ADS-B-Antenne, am Flugzeug wie am Boden, ein kurzer Stummel von nur wenigen Zentimetern Höhe. Sie ist ein abgestimmtes Ohr. Ein Draht ganz anderer Länge fängt zwar auch etwas auf, aber viel weniger, und man kann der Klasse wahrheitsgemäß sagen, dass das Modell, das sie bauen wird, die richtige Größe für das echte Signal hat.

Wie weit kann das Ohr hören? Zwei Dinge begrenzen es. Das Signal wird mit der Entfernung schwächer, weil der Sender des Flugzeugs seine Energie in alle Richtungen verteilt und der Anteil, der eine kleine Antenne erreicht, mit wachsender Entfernung schrumpft: doppelt so weit, ein Viertel so viel. Doch bevor

die Schwäche zum Problem wird, ist es die Geometrie. Weil Funk Licht ist, breitet er sich geradlinig aus, und weil die Erde eine Kugel ist, trifft eine gerade Linie von einer Antenne auf einem Dach bald auf den Boden. Ein Flugzeug ist nur zu hören, solange eine gerade, freie Linie zwischen ihm und der Antenne besteht. Je höher das Flugzeug, desto weiter reicht diese Linie, bevor die Erde im Weg ist, und je höher die Antenne, desto weiter noch. Die Rechnung (die Entfernung zum Horizont in Kilometern beträgt etwa das Vierfache der Quadratwurzel aus der Höhe in Metern) gehört in den Kurs der Sekundarstufe; für Ihren genügt das Ergebnis: Ein Flugzeug in zehn Kilometern Höhe ist von einem Dach aus noch in mehr als 400 km Entfernung zu hören, weiter als von Brüssel nach Paris und zurück, während ein Flugzeug, das 50 km entfernt gerade startet, vollständig hinter der Erdkrümmung verborgen sein kann. Deshalb stehen Antennen auf Dächern, Masten und Hügeln, und deshalb hört dieselbe Antenne hoch fliegende Flugzeuge aus großer Entfernung, tief fliegende aber nur, wenn sie nah sind.

So unterrichten Sie es

Beginnen Sie mit der Frage, die Stunde 2 offen gelassen hat: Wenn Funk ein Licht ist, das wir nicht sehen können - was kann ihn dann sehen? Die Antwort ist ein Metallohr, eine Antenne, und als Erstes gilt es, welche zu finden. Der WLAN-Router hat Stummel oder versteckt sie im Inneren; das Auto draußen hat eine Finne auf dem Dach; jedes Handy hat eine, versteckt entlang seines Rands; das Schuldach hat vielleicht mehrere. Schicken Sie die Klasse los oder gehen Sie selbst mit einem Foto, und legen Sie eine Liste an. Fragen Sie, was sie gemeinsam haben: Sie sind aus Metall, haben eine bestimmte Form und Größe, und sie sind sehr oft weit oben. Beide Beobachtungen sind die Stunde, und Sie können versprechen, jede davon zu erklären.

Für die Größe bauen Sie die Modellantenne. Jedes Kind schneidet einen Kartonstreifen von 7 cm Länge und etwa einem Zentimeter Breite zu, umwickelt ihn mit Alufolie und stellt ihn aufrecht in die Mitte eines ebenfalls mit Folie bezogenen Kartonquadrats. Seien Sie ehrlich darüber, was es ist: Es hat die richtige Form und die richtige Größe für die Welle des Flugzeugs, und ein echter Empfänger verwendet genau diese Form, aber allein kann es nichts entschlüsseln, denn das Auffangen der Welle ist nur der erste Schritt, und das Auslesen der Impulse erfordert ein Funkgerät und einen Computer (die der Kurs der Sekundarstufe baut). Erklären Sie dann die Größe mit der Schaukel: Eine Schaukel geht am höchsten, wenn man sie im Takt ihres eigenen Hin und Her anschubst, und der Metallstab „schaukelt“ elektrisch am besten, wenn er ein Viertel der Welle lang ist. Legen Sie ein 27,5 cm langes Lineal neben den 7 cm langen Stab und zeigen Sie, dass der Stab ein Viertel davon ist. Die ältere Gruppe kann nachmessen und überprüfen. Das Folienquadrat darunter ist der Spiegel, der das Ohr vervollständigt, und es ist in Ordnung, das so zu sagen und dabei zu belassen.

Für die Höhe gehen Sie nach draußen und nehmen die Frage mit: Warum sind Antennen weit oben? Lassen Sie ein Kind am einen Ende des Schulhofs erst in der Hocke, dann stehend, dann auf einer Bank stehen, und fragen Sie jedes Mal, was es am anderen Ende sehen kann; etwas, das hinter einer niedrigen Mauer oder einem geparkten Auto verborgen ist, taucht auf, während es höher steigt. Dann der Sprung zur Erde: Der Boden selbst ist gekrümmt, wie die Oberseite eines riesigen Balls, und alles, was weit genug entfernt ist, verschwindet hinter dieser Krümmung - wie der Rumpf eines Schiffs, das über den Horizont gesegelt ist, während sein Mast noch zu sehen ist. Eine Antenne auf einem Dach steht auf einer Bank. Ein hoch fliegendes Flugzeug ist ein Schiff mit einem sehr hohen Mast. Zeichnen Sie es an die Tafel: einen Kreis mit einem Stab darauf und eine gerade Linie, die den Kreis streift. Alles oberhalb der

Linie ist zu hören, alles darunter liegt hinter der Erde. Neun- bis Elfjährigen können Sie dann die echten Zahlen geben und sie mit Entfernungen vergleichen lassen, die sie kennen: 400 km sind weiter als von Brüssel nach Paris und zurück; 50 km sind etwa die Breite der Provinz.

Wenn Zeit bleibt, lohnt sich eine kleine Vorführung zur Abschwächung mit der Entfernung: Eine Taschenlampe am anderen Ende einer dunklen Halle beleuchtet ein Blatt Papier nur schwach; auf die halbe Entfernung herangebracht, beleuchtet sie dasselbe Blatt merklich mehr als doppelt so hell, weil sich der Lichtkegel auf eine kleinere Fläche verteilt. Älteren Kindern kann man die Regel nennen - halbe Entfernung bedeutet vierfache Helligkeit - und den Zusammenhang: Der Funk des Flugzeugs breitet sich genauso aus, weshalb für die weit entfernten Flugzeuge ein empfindlicher Empfänger nötig ist.

Was Kinder falsch verstehen und was Sie sagen können

Kinder denken oft, eine größere Antenne müsse besser sein, so wie ein größeres Ohr. Für diese Welle stimmt das nicht: Es kommt auf die richtige Größe an, und die richtige Größe ist klein. Sie denken auch, Antennen seien hoch angebracht, „um näher an den Flugzeugen zu sein“; die Entfernung nach oben ist jedoch winzig im Vergleich zur Entfernung in der Fläche, und der wahre Grund ist die Erdkrümmung, was die interessantere Antwort ist. Und schließlich kehrt hier die Verwechslung mit Schall zurück, in der Form „Die Antenne hört den Lärm des Flugzeugs“. Greifen Sie sie jedes Mal auf: Die Antenne fängt das unsichtbare Licht auf, nicht den Schall, und sie würde es genauso gut von einem Flugzeug auffangen, das überhaupt keinen Lärm macht.

STUNDE 4

Die Karte: wie viele Ohren ein Bild ergeben

Die Naturwissenschaft, die Sie brauchen

Eine einzelne Antenne mit ihrem Empfänger entschlüsselt die Nachrichten, die sie hören kann, und kennt so Position, Höhe und Kennung jedes sprechenden Flugzeugs innerhalb ihres Horizonts - ein grober Kreis von einigen hundert Kilometern Durchmesser für hoch fliegenden Verkehr und ein viel kleinerer für tief fliegenden. Um ein ganzes Land zu sehen, braucht man viele solcher Empfänger, so verteilt, dass sich ihre Kreise überlappen, und jeder schickt, was er hört, über das Internet an einen zentralen Computer. Dieser Computer erledigt zwei Aufgaben. Er führt zusammen: Ein hoch fliegendes Flugzeug wird meist von zehn oder zwanzig Empfängern gleichzeitig gehört, und dieselbe Nachricht, die von allen eintrifft, muss als ein Flugzeug erkannt werden, nicht als zwanzig. Und er prüft: Meldet ein Empfänger eine Position, der alle benachbarten Empfänger widersprechen, ist diese Meldung wahrscheinlich ein Entschlüsselungsfehler und wird beiseitegelegt. Das Ergebnis ist die Live-Karte, jede Sekunde aktualisiert und vollständig aus dem aufgebaut, was die Flugzeuge gesagt und die Antennen gehört haben. Fluglotsen sehen ein ähnliches Bild, ergänzt um das Radar als unabhängige zweite Meinung - denn ein System, das darauf angewiesen ist, dass das Flugzeug die Wahrheit sagt, braucht eine solche.

Die Karte zeigt nur Flugzeuge, die sprechen. Fast alle Verkehrsflugzeuge tun das; viele kleine Privatflugzeuge, Segelflugzeuge und Ballone sind dazu nicht verpflichtet, und Militärflugzeuge verzichten oft bewusst darauf. Die Karte ist also ehrlich, aber nicht vollständig - eine lohnende Erkenntnis für ein Kind über jede Karte und eine natürliche Art, den Kurs mit einer Frage statt mit einem Punkt zu beenden.

So unterrichten Sie es

Kehren Sie zum Bodenraster aus Stunde 1 zurück, aber jetzt können die Türme nicht alles hören. Stellen Sie drei oder vier „Antennen“ (Kinder mit Papierrastern) in die Ecken des Raums und sagen Sie jeder, dass sie nur Flugzeuge in ihrer eigenen Hälfte oder ihrem eigenen Viertel des Rasters hören kann; die Flugzeuge melden sich wie zuvor. Bitten Sie dann die Antennen, ihre Blätter zusammenzutragen und nebeneinanderzulegen. Auf dem gemeinsamen Bild ist jedes Flugzeug zu sehen; auf jedem einzelnen Blatt nur einige. Manche Flugzeuge erscheinen auf zwei Blättern, und die Klasse muss sich einigen, dass es dasselbe Flugzeug ist, nicht zwei. Das ist die ganze Aufgabe des Zusammenführens, erledigt von Zehnjährigen in fünf Minuten, und sie verankert die Idee, dass die Karte ein Puzzle aus vielen Zuhörern ist.

Dann machen Sie es real. Zeigen Sie die Live-Karte am Beamer, auf die Schule gezoomt, und geben Sie jeder Gruppe ein Flugzeug, das sie zehn Minuten lang verfolgt: sein Rufzeichen, seine Höhe, seine Geschwindigkeit, woher es kommt und wohin es fliegt. Lassen Sie die Gruppen dafür eine Karteikarte ausfüllen und sie an der Stelle an eine Wandkarte der Region heften, an der das Flugzeug war, als sie es zuletzt gesehen haben. Während sie arbeiten, verbinden Sie das Gesehene Satz für Satz mit der Kette des Kurses: Dieses Flugzeug spricht zweimal pro Sekunde; seine Nachricht reitet auf unsichtbarem Licht; eine Antenne auf irgendeinem Dach im Umkreis von 400 km hat sie aufgefangen; diese Antenne hat die Nachricht an den Computer geschickt, der diese Karte zeichnet; und deshalb könnt ihr seine Höhe auf dem Bildschirm ablesen. Bitten Sie die Klasse, Ihnen die Kette in eigenen Worten zurückzuerzählen; das ist die Lernkontrolle, und die meisten Kinder sollten es inzwischen können.

Schließen Sie mit zwei Fragen. Was würde passieren, wenn ein Flugzeug aufhörte zu sprechen? Es würde von der Karte verschwinden, auch wenn die Fluglotsen noch das Radar hätten. Und sind alle Flugzeuge am Himmel auf der Karte? Nein - und das Gespräch darüber, welche fehlen und warum jemand vielleicht nicht gesehen werden möchte, ist ein guter Punkt, um eine Klasse zu entlassen, die verstanden hat, dass eine Karte aus Messungen besteht und nur so vollständig ist wie ihre Zuhörer.

Was Kinder falsch verstehen und was Sie sagen können

Die Vorstellung, dass „die Satelliten die Karte machen“, kehrt hier besonders hartnäckig zurück, denn die Karte ist auf einem Bildschirm, Bildschirme kommen aus dem Internet, und das Internet kommt in der Vorstellung von Kindern aus dem Weltraum. Nehmen Sie sie behutsam auseinander: Die Satelliten sagen dem Flugzeug nur die Uhrzeit; das Flugzeug berechnet, wo es ist; das Flugzeug sagt es; die Antennen auf den Dächern hören es; der Computer zeichnet es. Jeder Schritt außer dem ersten findet am Boden statt, und die Karte würde genauso gut funktionieren, wenn die Satelliten durch irgendetwas anderes ersetzt würden, mit dem das Flugzeug sich selbst orten kann.

Lernkontrolle: Können sie die Geschichte erzählen?

Der Kurs hat ein Lernziel mit vier Gliedern, und die Lernkontrolle besteht einfach darin, ob ein Kind die Kette in der richtigen Reihenfolge und mit Begründungen erzählen kann. Bitten Sie jedes Kind oder jede Gruppe zu erklären, wie ein Flugzeug auf die Karte kommt, und achten Sie auf die vier Glieder: Das Flugzeug weiß, wo es ist, und sagt es immer wieder, ohne gefragt zu werden; die Nachricht reist als Funkwelle, die ein Licht ist, das unsere Augen nicht sehen können, und nichts mit Schall zu tun hat; eine

Antenne, ein abgestimmtes Metallohr, fängt sie auf, aber nur von Flugzeugen oberhalb der Erdkrümmung; und viele Antennen zusammen, die teilen, was sie hören, erstellen die Karte. Ein sechs- bis achtjähriges Kind, das es als Geschichte mit den vier Schritten in der richtigen Reihenfolge erzählt, hat das Lernziel erreicht. Ein neun- bis elfjähriges Kind sollte außerdem bei jedem Schritt einen Grund nennen können: warum zweimal pro Sekunde, warum Licht und nicht Schall, warum 7 cm und warum hoch oben, warum viele Antennen und nicht eine.

Die Seite für die Kinder endet mit einem kurzen Quiz, das die Klasse auf einem Tablet oder per Handzeichen lösen kann; hier die Antworten mit den Begründungen, die Sie erwarten sollten. Ein Flugzeug sendet seine Nachricht etwa zweimal in jeder Sekunde, denn in einer Minute hätte es sich 15 km weiterbewegt, und die Karte wäre nutzlos. Die Nachricht enthält nicht die Namen der Passagiere, sondern nur Kennung, Position, Höhe und Geschwindigkeit des Flugzeugs. Eine Funkwelle ist ein Licht, das unsere Augen nicht sehen können, kein Schall, denn sie braucht keine Luft und ist fast eine Million Mal schneller. Eine Antenne kommt aufs Dach, damit ihre gerade Sichtlinie weiter über die Erdkrümmung hinausreicht, nicht um näher an den Flugzeugen zu sein. Und die Karte braucht viele Antennen, weil jede nur einen Himmelskreis von einigen hundert Kilometern Durchmesser hören kann.

Eine Schule, die einen kleinen Empfänger auf ihrem Dach betreiben möchte, damit ihr eigenes Stück Himmel auf der Live-Karte erscheint und Stunde 4 mit der eigenen Antenne der Klasse endet, findet alles Nötige auf der Seite „Feeder werden“.

ALS NÄCHSTES

Ein Empfänger auf dem Schuldach

Die vier Stunden enden ganz natürlich mit einem Empfänger, der der Schule gehört. Der Praxis-Workshop ist die vollständige Anleitung: die Teile und ihr Preis (100 bis 150 Euro, oder ein vorhandener Raspberry Pi), die Wahl der Antenne und wo sie hinkommt, wie Sie den Computer vorbereiten und den Dataero-Feeder installieren, und die Messungen, die eine Klasse damit über ein Jahr machen kann. Eine Schulstation erscheint auf der öffentlichen Karte unter dem Namen der Schule, und ihr Dashboard beantwortet die Frage „Was ist das für ein Flugzeug?“ an jedem Tag des Jahres.

Praxis-Workshop öffnen <https://radar.dataero.eu/de/learning/workshop>