6 TOT 11 JAAR - VOOR DE LEERKRACHT

De vliegtuigen die praten: een natuurwetenschappelijke cursus in vier lessen voor de basisschool

Dit is de cursus zoals de leerkracht hem moet kennen: de wetenschap uitgelegd op één niveau dieper dan de klas te horen krijgt, de volgorde waarin de ideeën moeten komen, wat u zegt tegen zesjarigen en wat u toevoegt bij tienjarigen, de demonstraties die elk idee dragen en waarom ze werken, en de verkeerde ideeën die kinderen meebrengen. Vier lessen van ongeveer 50 minuten, meestal gespreid over twee weken.

Leren - https://radar.dataero.eu/nl/learning/ages-6-11 2026-11-21

INHOUD

Voordat u begint: wat de cursus leert en waarom hij vier lessen waard is

LES 1 De drukke lucht en het pratende vliegtuig

LES 2 Onzichtbaar licht: wat het bericht draagt

LES 3 Metalen oren en de ronde aarde: hoe het bericht wordt opgevangen, en van hoe ver

LES 4 De kaart: hoe veel oren één beeld maken

Beoordeling: kunnen ze het verhaal vertellen?

VOLGENDE STAP Een ontvanger op het dak van de school

Voordat u begint: wat de cursus leert en waarom hij vier lessen waard is

Elk verkeersvliegtuig in het Europese luchtruim zendt ongeveer twee keer per seconde een kort radiobericht uit met zijn identiteit, zijn positie, zijn hoogte en zijn snelheid. Het systeem heet ADS-B, en sinds 2020 is het voor de meeste luchtvaartuigen verplicht. Luchtverkeersleiders vertrouwen erop; de live vluchtkaarten op elke telefoon ook. Voor een klas in de basisschool is het een bijna perfect onderwerp, omdat het dingen waar kinderen zich al over verwonderen, de vliegtuigen die ze zien en horen, verbindt met de natuurkunde die het leerplan van u vraagt: dat licht en geluid verschillende soorten dingen zijn, dat licht in rechte lijnen reist, dat golven een lengte hebben, dat de aarde een bol is en dat dit zichtbare gevolgen heeft, dat informatie gecodeerd en verzonden kan worden, en dat een kaart gemaakt wordt uit metingen. Het onderwerp is echt en actueel; niets eraan is een speelgoedmodel.

De cursus volgt de logica van het systeem zelf, omdat die logica ook de juiste volgorde is om les te geven. Eerst moet de klas begrijpen dat de lucht vol snel, onzichtbaar verkeer zit dat iemand moet bijhouden. Dan dat elk vliegtuig weet waar het is en dat telkens opnieuw zegt, in een bericht met vier delen. Dan dat het bericht reist als een radiogolf, en dat een radiogolf een vorm van licht is. Dan dat een antenne het

opvangt, en dat de ronde aarde beperkt hoe ver. Ten slotte dat veel antennes samen de kaart bouwen. Elke les voegt één schakel aan die keten toe, en de keten is wat u aan het eind beoordeelt: kan een kind het verhaal vertellen van vliegtuig tot kaart, in de juiste volgorde, met de juiste redenen?

U hebt geen achtergrond in luchtvaart of radio nodig. Elke les hieronder opent met de wetenschap zoals u die moet begrijpen, op één niveau dieper dan de klas zal gaan, zodat u de vraag achter de vraag kunt beantwoorden. Wilt u de volledige uitleg voor volwassenen, dan heeft de referentiecursus op de startpagina twaalf hoofdstukken; voor deze leeftijdsgroep zijn de hoofdstukken 3, 6 en 7 het belangrijkst. Twee dingen moet u voortdurend helder voor ogen houden, omdat het de twee plekken zijn waar volwassenen het vaakst iets onjuists aanleren. Radio is geen geluid; het is licht met een kleur die onze ogen niet kunnen zien, en dat verschil is de kern van les 2. En in dit systeem wordt het vliegtuig niet "door satellieten gezien" of "door radar gevonden": het berekent zijn eigen positie door naar satellieten te luisteren, en meldt die dan. Niemand vindt het vliegtuig. Het vliegtuig vertelt het.

Over differentiatie: de cursus is geschreven voor de hele leeftijd van 6 tot 11 jaar, en de tekst van elke les geeft aan waar de jongste en de oudste kinderen uit elkaar gaan. Grofweg moet een klas van zes- tot achtjarigen het verhaal, het rollenspel, het touw en de kaart krijgen, en na afloop kunnen zeggen: "vliegtuigen sturen een bericht op een golf, een antenne vangt het op, en zo ontstaat de kaart". Een klas van negen- tot elfjarigen kan de getallen aan (twee keer per seconde, 300 000 kilometer per seconde, een golf van 27 centimeter, een horizon op 400 kilometer), het idee dat het bericht uit ja-of-nee-antwoorden bestaat, en de redenering over de horizon, en moet na afloop kunnen uitleggen waarom elke stap nodig is.

LES 1

De drukke lucht en het pratende vliegtuig

De wetenschap die u nodig hebt

Een verkeersvliegtuig op kruishoogte bevindt zich ongeveer tien kilometer hoog en beweegt met zo'n 900 km/h, dat is 250 meter per seconde. Op die hoogte is het moeilijk te zien en onmogelijk in te schatten: een kind dat een schittering of een condensstreep opmerkt, kan op geen enkele manier zeggen hoe ver weg het is, hoe hoog, of waar het naartoe gaat, en een piloot die naar een ander vliegtuig kijkt evenmin. Boven een Belgische stad zijn er bijna altijd meerdere vliegtuigen tegelijk in de lucht, de meeste op grote hoogte op doorreis tussen andere landen. Om ze uit elkaar te houden, heeft de luchtverkeersleiding voortdurend de positie, hoogte en richting van elk vliegtuig nodig. De regels voor separatie zijn eenvoudig: in het luchtruim dat verkeersleiders beheren, moeten vliegtuigen minstens 300 meter verticaal of enkele kilometers horizontaal van elkaar verwijderd zijn.

Het grootste deel van de vorige eeuw wist men waar vliegtuigen waren dankzij radar: een grote draaiende antenne die een radiopuls uitzendt en luistert naar de zwakke echo. Radar bestaat nog altijd, maar het systeem waar deze cursus over gaat, draait het probleem om. Elk modern vliegtuig heeft een satellietnavigatie-ontvanger aan boord, dezelfde technologie als de kaarten in een auto of een telefoon, en weet dus altijd tot op enkele meters waar het is. Het heeft ook een kleine radio aan boord die transponder heet. ADS-B verbindt die twee gewoon: ongeveer twee keer per seconde zendt de transponder een kort bericht uit met de identiteit van het vliegtuig, zijn positie volgens de satellieten, zijn hoogte, en zijn snelheid en richting. Het bericht gaat automatisch de lucht in, zonder dat iemand erom

vraagt en zonder een bepaalde geadresseerde: het is een uitzending, zoals van een radiozender, en iedereen met de juiste ontvanger kan het horen. Dat is wat de letters betekenen: Automatic (niemand zet het in gang), Dependent (het hangt af van de eigen apparatuur van het vliegtuig om juist te zijn), Surveillance (het doel is weten waar vliegtuigen zijn), Broadcast (naar iedereen uitgezonden).

Het bericht zelf is digitaal. Een transponder kan niet rechtstreeks letters of cijfers sturen; hij kan alleen een puls of geen puls sturen, en dus is het bericht een reeks van 112 ja-of-nee-antwoorden, die elk een miljoenste van een seconde duren en waarvan iedereen vooraf heeft afgesproken wat ze betekenen. De eerste groep ervan, 24 antwoorden lang, is de vaste identiteitscode van het vliegtuig, die het krijgt bij de inschrijving, een beetje zoals een nummerplaat die nooit verandert. De rest bevat de positie, de hoogte, de snelheid of de roepnaam van de vlucht, afhankelijk van het soort bericht. De laatste 24 antwoorden zijn een controle: de luisteraar voert een vaste som uit op het bericht en vergelijkt het resultaat met de controle, en als die niet overeenkomen, is er onderweg iets verminkt en wordt het bericht weggegooid. Dat is belangrijk, want boven een drukke luchthaven praten veel vliegtuigen tegelijk en overlappen hun berichten soms. De hoogte in het bericht wordt niet door satellieten gemeten maar aan de luchtdruk buiten het vliegtuig, die gestaag daalt naarmate je stijgt; om dezelfde reden ploppen je oren in een lift of een bergtunnel, en oudere kinderen vinden dat verband leuk.

Hoe u het aanbrengt

Begin met de lucht, niet met het systeem. Vraag wie deze week een vliegtuig heeft gezien, waar, hoe hoog het volgens hen was, en hoe een piloot in hemelsnaam kan weten waar hij is zonder wegen. Laat de gissingen lopen; "de piloot kijkt uit het raam" en "er is een kaart" komen allebei aan bod, en allebei zijn ze half juist. Zet dan de live kaart op de projector, ingezoomd op de gemeente, en tel samen de vliegtuigen. Het verschil tussen wat de klas verwachtte en wat de kaart toont, is de haak voor de hele cursus, en het loont om er even bij stil te staan: elk van die symbolen is een vliegtuig dat op dit moment praat.

Vertel nu het centrale verhaal in één adem, want kinderen onthouden een verhaal beter dan een definitie: het vliegtuig weet altijd waar het is, omdat het luistert naar satellieten hoog boven zich; en twee keer per seconde roept het, naar niemand in het bijzonder: "dit ben ik, hier ben ik, zo hoog, zo snel". Niemand heeft erom gevraagd. Het stopt nooit. En iedereen met het juiste soort oor kan het horen. Bij zes- tot achtjarigen is die zin, herhaald en daarna nagespeeld, de les. Bij negen- tot elfjarigen gaat u een stap verder en legt u uit dat de roep uit ja-of-nee-antwoorden bestaat, dat 24 ervan de naam van het vliegtuig vormen, en laat u hen (met hulp) uitrekenen dat 24 ja-of-nee-antwoorden ongeveer 17 miljoen verschillende namen opleveren, ruim genoeg voor elk vliegtuig dat ooit gebouwd is. Het punt dat moet blijven hangen, is dat het vliegtuig niet "bekeken" wordt: het vertelt. Zeg het op beide manieren, "niemand vindt het vliegtuig, het vliegtuig meldt zichzelf", want het tegenovergestelde idee zit diep geworteld en duikt in les 4 weer op.

De demonstratie is het verkeerstorenspel, en dat is het waardevolste halfuur van de cursus. Kleef een rooster op de vloer, vijf vakken bij vijf, met letters langs de ene kant en cijfers langs de andere. De helft van de klas zijn vliegtuigen; elk krijgt een kaartje met een roepnaam, een hoogte en een snelheid. Ze lopen langzaam over het rooster, en om de paar stappen roept elk zijn bericht hardop: "DTA12, vak C3, tienduizend meter, snel". De andere helft is de verkeerstoren, elk met een papieren kopie van het rooster, en zij moeten elk vliegtuig tekenen waar het zegt dat het is. Wissel dan om. Speel het daarna, en dit is het

deel dat iets leert, opnieuw met vliegtuigen die maar één keer per minuut mogen spreken. De tekeningen van de torens vallen uit elkaar; de vliegtuigen zijn al van vak veranderd voordat iemand het wist. Vraag de klas waarom echte vliegtuigen twee keer per seconde praten, en ze zullen het u vertellen.

Voeg bij de oudere groep een tweede variant toe: twee vliegtuigen roepen op exact hetzelfde moment, en de toren moet noteren wat hij gehoord heeft. Dat zal een warboel zijn. Leg uit dat het echte bericht daarom een controle aan het eind heeft: een verward bericht faalt voor de controle en wordt weggegooid, en het vliegtuig herhaalt zich een halve seconde later toch. Kinderen die de toren zijn geweest, begrijpen meteen waarom zowel de herhaling als de controle nodig zijn.

Wat kinderen verkeerd begrijpen, en wat u dan zegt

Het meest voorkomende verkeerde idee is dat satellieten naar beneden kijken en de vliegtuigen zien, of dat radar ze vindt. Het juiste beeld is dat het vliegtuig naar de satellieten luistert om zichzelf te vinden, en dan spreekt. Een handige manier om het te zeggen: de satelliet is als een kerkklok die het uur slaat; hij vertelt iedereen hoe laat het is, maar hij heeft geen idee wie er luistert. Het tweede verkeerde idee is dat de piloot het bericht stuurt. Niemand doet dat; de transponder stuurt het vanzelf vanaf het moment dat het vliegtuig begint te bewegen. Het derde is dat het bericht naar "de luchthaven" gaat. Het gaat naar iedereen: andere vliegtuigen luisteren ook mee en gebruiken het om uit elkaars buurt te blijven, en elke antenne op elk dak ook, en daar eindigt les 4.

LES 2

Onzichtbaar licht: wat het bericht draagt

De wetenschap die u nodig hebt

Het bericht verlaat het vliegtuig als een radiogolf, en het ene idee dat deze les moet vestigen, omdat de hele natuurkunde in het secundair onderwijs erop voortbouwt, is dat een radiogolf en een lichtstraal hetzelfde soort ding zijn. Beide zijn elektromagnetische golven: rimpelingen van elektrische en magnetische kracht die door de ruimte reizen, zonder lucht of materie nodig te hebben om ze te dragen, met de lichtsnelheid, die bijna precies 300 000 kilometer per seconde bedraagt. Wat de ene rimpeling rood licht maakt, een andere blauw, en nog een andere een radiogolf, is alleen hoe snel ze trilt: haar frequentie. Onze ogen reageren op een smalle band frequenties, die wij ervaren als de kleuren van rood tot violet. Radio trilt veel trager, en daarom kunnen ogen het niet zien, net zoals oren een hondenfluitje niet kunnen horen. Het bericht van het vliegtuig wordt uitgezonden op een frequentie van 1 090 miljoen trillingen per seconde, wat naar menselijke maatstaven erg snel is en naar die van licht erg traag: groen licht trilt ongeveer een half miljoen keer sneller.

Omdat elke elektromagnetische golf even snel reist, bepaalt de frequentie de golflengte, de afstand van de ene top tot de volgende: in één seconde legt de golf 300 000 km af en maakt ze f trillingen, dus elke trilling neemt 300 000 km gedeeld door f in beslag. Voor de golf van het vliegtuig komt dat uit op 27,5 centimeter, ongeveer de lengte van een schoollat. Voor groen licht is het ongeveer een halve duizendste millimeter. Voor een FM-radiozender is het drie meter. Dat getal, 27,5 cm, komt de klas in les 3 opnieuw tegen, omdat het de maat van de antenne bepaalt.

De verwarring die u moet voorkomen, is die tussen radio en geluid, en het loont om te begrijpen waarom ze zo vaak voorkomt. Een "radio" is in de omgangstaal een toestel dat geluid maakt, dus kinderen (en veel volwassenen) gaan ervan uit dat radiogolven een soort geluid zijn dat door de lucht reist. Ze hebben er helemaal niets mee te maken. Geluid is een drukgolf: luchtmoleculen die tegen hun buren botsen, die op hun beurt tegen de hunne botsen. Het heeft een materie nodig om door te reizen, het beweegt met ongeveer 340 meter per seconde, en in een vacuüm is er geen geluid. Radio heeft niets nodig en steekt de lege ruimte tussen een satelliet en het vliegtuig over; het reist bijna een miljoen keer sneller dan geluid. Als een vliegtuig op 20 km afstand op hetzelfde moment een geluid maakt en een bericht stuurt, bereikt het bericht u in ongeveer 67 miljoenste van een seconde en het geluid ongeveer een minuut later. Kinderen kennen die vertraging van donder en van een verre bal die wordt weggetrapt, en die kennis is uw beste bondgenoot.

Hoe u het aanbrengt

Vertrek van wat ze weten: dingen die bestaan maar die wij niet kunnen zien of horen. Hondenfluitjes, de blik van een bij op een bloem, de afstandsbediening die "iets stuurt" naar de televisie, de wifi in het gebouw. Doe dan duidelijk de bewering: het bericht van het vliegtuig reist op een soort licht dat onze ogen niet kunnen zien, en een zaklamp en de radio van het vliegtuig zijn familie van elkaar. Doe een zaklamp aan en vraag waar het licht is: overal in de kamer, tegelijk, zonder een vertraging die iemand zou merken. Dan de sleutelzin voor de jongere groep: radio is een kleur die onze ogen niet kunnen zien, en het gaat op dit moment door deze kamer, van elk vliegtuig binnen 400 kilometer, en we voelen er helemaal niets van. Veel kinderen vinden dit een beetje spannend, en het is waar.

De demonstratie met het touw geeft het idee van een golf een lichaam. In tweetallen houdt het ene kind een touw stil en schudt het andere het losse uiteinde. Langzaam schudden geeft een paar lange, luie golven langs het touw; snel schudden geeft er veel korte. Laat hen telkens de afstand tussen de toppen meten met een meterlat en de regel opmerken: hoe sneller je schudt, hoe korter de golven. Dit is geen losse vergelijking maar het echte verband, want de snelheid van de golf langs het touw ligt vast door het touw, en dus wegen frequentie en golflengte precies tegen elkaar op zoals bij licht. Vertel de klas dat de golf van het vliegtuig, vergeleken met licht, van de lange, luie soort is, en dat ze van top tot top zo lang is als een lat. Leg de lat op de vloer naast de touwgolf en laat het hen zien. Schrijf bij de oudere groep de regel op: snelheid = frequentie maal golflengte, en laat hen die op het touw controleren door de schuddingen per seconde te tellen en van top tot top te meten. Geef hun dan de getallen van het vliegtuig en laat hen zien dat 300 000 km per seconde gedeeld door 1 090 miljoen per seconde 27,5 cm is; de deling maken ze niet zelfstandig, maar ze kunnen ze op het bord volgen, en zo wordt het getal van hen.

Om radio van geluid te onderscheiden, houdt u de race van de snelste boodschapper. Een rij kinderen geeft een gefluisterd woord door van het ene eind van de zaal naar het andere; neem de tijd op. Flits dan een zaklamp vanaf één kant en laat het verste kind een hand opsteken; geen meetbare vertraging. Bespreek waarom: geluid moet van elk stukje lucht naar het volgende worden doorgegeven, zoals het fluisteren van kind tot kind, en dat kost tijd; licht heeft niemand nodig om het door te geven. Zeg dan, en dit is het moment om expliciet te zijn, dat het radiobericht van het vliegtuig is zoals de zaklamp, niet zoals het fluisteren, en dat het motorgeluid van een vliegtuig dat u hoort, is zoals het fluisteren, dat

aankomt lang nadat het vliegtuig verder is gevlogen. De oudere groep kan de getallen krijgen, 340 meter per seconde tegenover 300 000 kilometer per seconde, met de vraag hoeveel keer sneller licht is; het antwoord, bijna een miljoen, geeft voldoening.

Wat kinderen verkeerd begrijpen, en wat u dan zegt

De verwarring met geluid is hierboven behandeld en zal in les 3 en les 4 herhaald moeten worden; verwacht dat "de antenne hoort het vliegtuig" weer afglijdt naar "de antenne hoort het lawaai". Een tweede verwarring is dat radiogolven "in de lucht" zitten zoals geuren, rondzwevend; ze worden helemaal niet door de lucht gedragen en zouden even goed door de lege ruimte reizen. Een derde, bij de oudere groep, is de gedachte dat sneller schudden de golf sneller laat reizen; dat doet het niet, het maakt de golven korter, en het touw toont dat als u hen één top laat volgen. Ten slotte, als een kind vraagt waarom we radio niet kunnen zien als het licht is, is het eerlijke antwoord dat onze ogen gebouwd zijn voor de kleuren die de zon het meest uitstraalt en die het best door de lucht gaan; radio was er altijd al, en we hebben het pas opgemerkt toen we er metalen ogen voor bouwden, en dat is les 3.

LES 3

Metalen oren en de ronde aarde: hoe het bericht wordt opgevangen, en van hoe ver

De wetenschap die u nodig hebt

Een radiogolf die over een stuk metaal gaat, duwt de elektronen in het metaal heen en weer in de maat van haar trilling. Die piepkleine wisselstroom is het "horen"; een ontvanger die met het metaal verbonden is, versterkt hem en leest er de pulsen uit. Het duwen is het sterkst wanneer het stuk metaal de juiste lengte heeft voor de golf: een staaf die een kwart golflengte lang is en op een vlak metalen oppervlak staat, reageert op de golf zoals een schommel reageert op een duw die op zijn eigen ritme getimed is. Voor de golf van 27,5 cm van het vliegtuig is een kwart 6,9 cm, en daarom is de echte ADS-B-antenne, op het vliegtuig en op de grond, een kort staafje van maar enkele centimeters hoog. Het is een afgestemd oor. Een draad met een heel andere lengte vangt nog altijd iets op, maar veel minder, en u kunt de klas naar waarheid vertellen dat het model dat ze zullen bouwen de juiste maat heeft voor het echte ding.

Hoe ver kan het oor horen? Twee dingen beperken dat. Het signaal wordt zwakker met de afstand, omdat de zender van het vliegtuig zijn energie in alle richtingen verspreidt en het deel dat een kleine antenne bereikt kleiner wordt naarmate de afstand groeit: twee keer zo ver, een kwart zoveel. Maar nog voordat de zwakte het probleem wordt, doet de meetkunde dat. Omdat radio licht is, reist het in rechte lijnen, en omdat de aarde een bal is, botst een rechte lijn vanaf een antenne op een dak al snel tegen de grond. Een vliegtuig kan alleen gehoord worden zolang er een rechte, onbelemmerde lijn tussen het vliegtuig en de antenne is. Hoe hoger het vliegtuig, hoe verder die lijn kan reiken voordat de aarde in de weg zit, en hoe hoger de antenne, hoe verder nog. De rekensom (de afstand tot de horizon in kilometer is ongeveer vier keer de vierkantswortel van de hoogte in meter) is voor de cursus van het secundair; voor die van u volstaat het resultaat: een vliegtuig op tien kilometer hoogte kan vanaf een dak gehoord worden van meer dan 400 km ver, verder dan Brussel-Parijs heen en terug, terwijl een vliegtuig dat op 50 km afstand

net opstijgt helemaal verborgen kan zijn achter de bolling van de aarde. Daarom staan antennes op daken, masten en heuvels, en daarom hoort dezelfde antenne hoge vliegtuigen van ver weg en lage alleen als ze dichtbij zijn.

Hoe u het aanbrengt

Open met de vraag die les 2 open liet: als radio een licht is dat wij niet kunnen zien, wat kan het dan wel zien? Het antwoord is een metalen oor, een antenne, en het eerste wat u doet, is er een paar zoeken. Het wifikastje heeft staafjes of verstopt ze binnenin; de auto buiten heeft een vin op zijn dak; elke telefoon heeft er een verstopt langs zijn rand; op het dak van de school staan er misschien meerdere. Stuur de klas op pad, of ga zelf met een foto, en maak een lijst. Vraag wat ze gemeen hebben: ze zijn van metaal, ze hebben een bepaalde vorm en maat, en ze zitten heel vaak hoog. Beide vaststellingen zijn de les, en u kunt beloven ze allebei uit te leggen.

Bouw voor de maat de modelantenne. Elk kind knipt een strookje karton van 7 cm lang en ongeveer een centimeter breed, wikkelt het in aluminiumfolie en zet het rechtop in het midden van een vierkant karton dat ook met folie bedekt is. Wees eerlijk over wat het is: het heeft de juiste vorm en de juiste maat voor de golf van het vliegtuig, en een echte ontvanger gebruikt precies deze vorm, maar op zichzelf kan het niets decoderen, want de golf opvangen is maar de eerste stap en het lezen van de pulsen vraagt een radio en een computer (die de cursus van het secundair bouwt). Leg de maat dan uit met de schommel: een schommel gaat het hoogst als je hem duwt in het ritme van zijn eigen heen en weer, en de metalen staaf "schommelt" elektrisch het best als ze een kwart van de golf lang is. Leg een lat van 27,5 cm naast de staaf van 7 cm en laat zien dat de staaf er een kwart van is. De oudere groep kan meten en controleren. Het foliestuk eronder is de spiegel die het oor vervolledigt; u mag dat zeggen en het daarbij laten.

Ga voor de hoogte naar buiten, en neem de vraag mee: waarom zitten antennes hoog? Laat een kind aan één kant van de speelplaats hurken, dan staan, dan op een bank klimmen, en vraag telkens wat het aan de overkant kan zien; iets wat verborgen zat achter een laag muurtje of een geparkeerde auto verschijnt naarmate het hoger komt. Maak dan de sprong naar de aarde: de grond zelf is gebogen, zoals de bovenkant van een reusachtige bal, en alles wat ver genoeg weg is, zit verborgen achter die bolling, zoals de romp van een schip dat over de horizon is gevaren terwijl zijn mast nog te zien is. Een antenne op een dak staat op een bank. Een vliegtuig hoog in de lucht is een schip met een heel hoge mast. Teken het op het bord als een cirkel met een stokje erop en een rechte lijn die de cirkel net raakt: alles boven de lijn is te horen, alles eronder zit achter de aarde. Negen- tot elfjarigen kunnen daarna de echte getallen krijgen, met de vraag ze te vergelijken met afstanden die ze kennen: 400 km is verder dan Brussel-Parijs heen en terug; 50 km is ongeveer de breedte van de provincie.

Als er tijd is, verdient een kleine demonstratie van verzwakking met de afstand haar plaats: een zaklamp aan het verste eind van een donkere zaal verlicht een vel papier zwakjes; op de helft van de afstand verlicht ze hetzelfde vel merkbaar meer dan twee keer zo fel, omdat de bundel zich over een kleinere oppervlakte heeft verspreid. Oudere kinderen kunnen de regel horen, de helft van de afstand betekent vier keer zo fel, en het verband: de radio van het vliegtuig verspreidt zich op dezelfde manier, en daarom is er een gevoelige ontvanger nodig voor de verre vliegtuigen.

Wat kinderen verkeerd begrijpen, en wat u dan zegt

Kinderen denken vaak dat een grotere antenne beter moet zijn, zoals een groter oor dat zou zijn. Voor deze golf is dat niet zo: de juiste maat is wat telt, en de juiste maat is klein. Ze denken ook dat antennes hoog zitten "om dichter bij de vliegtuigen te zijn"; de afstand omhoog is verwaarloosbaar vergeleken met de afstand opzij, en de echte reden is de bolling van de aarde, wat een interessanter antwoord is. Ten slotte komt de verwarring met geluid hier terug in de vorm "de antenne hoort het lawaai van het vliegtuig". Grijp elke keer in: de antenne vangt het onzichtbare licht op, niet het geluid, en ze zou het even goed opvangen van een vliegtuig dat helemaal geen lawaai maakte.

LES 4

De kaart: hoe veel oren één beeld maken

De wetenschap die u nodig hebt

Eén antenne decodeert met haar ontvanger de berichten die ze kan horen en kent zo de positie, hoogte en identiteit van elk pratend vliegtuig binnen haar horizon, een ruwe cirkel van een paar honderd kilometer breed voor hoog verkeer en veel kleiner voor laag verkeer. Om een heel land te zien, zijn veel van zulke ontvangers nodig, zo verspreid dat hun cirkels overlappen, en elk stuurt wat het hoort via het internet naar een centrale computer. Die computer doet twee dingen. Hij voegt samen: een hoog vliegtuig wordt meestal door tien of twintig ontvangers tegelijk gehoord, en hetzelfde bericht dat van allemaal binnenkomt, moet herkend worden als één vliegtuig, niet als twintig. En hij controleert: als één ontvanger een positie meldt waar alle naburige ontvangers het niet mee eens zijn, is die melding waarschijnlijk een decodeerfout en wordt ze terzijde gelegd. Het resultaat is de live kaart, elke seconde bijgewerkt, volledig gebouwd uit wat de vliegtuigen zeiden en de antennes hoorden. Luchtverkeersleiders zien een gelijkaardig beeld, met radar erbij als onafhankelijke tweede mening, want een systeem dat afhangt van een vliegtuig dat de waarheid vertelt, heeft er een nodig.

De kaart toont alleen vliegtuigen die praten. Bijna alle verkeersvliegtuigen doen dat; veel kleine privévliegtuigen, zweefvliegtuigen en ballonnen zijn daartoe niet verplicht, en militaire vliegtuigen kiezen er vaak voor het niet te doen. De kaart is dus eerlijk maar niet volledig, en dat is iets waardevols voor een kind om over elke kaart te leren, en een natuurlijke manier om de cursus met een vraag af te sluiten in plaats van met een punt.

Hoe u het aanbrengt

Keer terug naar het rooster op de vloer van les 1, maar nu kunnen de torens niet alles horen. Zet drie of vier "antennes" (kinderen met papieren roosters) in de hoeken van het lokaal en zeg elk van hen dat ze alleen vliegtuigen kunnen horen in hun eigen helft of kwart van het rooster; de vliegtuigen roepen zoals voorheen. Vraag de antennes dan hun vellen bij elkaar te brengen en ze naast elkaar te leggen. Het gecombineerde beeld bevat elk vliegtuig; elk afzonderlijk vel bevat er maar enkele. Sommige vliegtuigen staan op twee vellen, en de klas moet het erover eens worden dat het om hetzelfde vliegtuig gaat, niet om twee. Dat is het hele samenvoegwerk, in vijf minuten gedaan door tienjarigen, en het verankert het idee dat de kaart een puzzel van veel luisteraars is.

Maak het dan echt. Zet de live kaart op de projector, ingezoomd op de school, en geef elke groep één vliegtuig om tien minuten lang te volgen: zijn roepnaam, zijn hoogte, zijn snelheid, waar het vandaan komt en waar het naartoe gaat. Laat hen er een kaartje voor invullen en het kaartje op een wandkaart van de streek prikken op de plek waar het was toen ze het het laatst zagen. Terwijl ze werken, verbindt u wat ze zien met de keten van de cursus, zin per zin: dat vliegtuig praat twee keer per seconde; zijn bericht reist op onzichtbaar licht; een antenne op iemands dak, binnen 400 km, heeft het opgevangen; die antenne heeft het bericht naar de computer gestuurd die deze kaart tekent; en daarom kunt u zijn hoogte op het scherm aflezen. Vraag de klas de keten in hun eigen woorden aan u terug te vertellen; dit is de beoordeling, en het grootste deel van de klas zou het nu moeten kunnen.

Sluit af met twee vragen. Wat zou er gebeuren als een vliegtuig ophield met praten? Het zou van de kaart verdwijnen, al zouden de verkeersleiders nog radar hebben. En staan alle vliegtuigen in de lucht op de kaart? Nee, en het gesprek over welke ontbreken, en waarom iemand misschien niet gezien wil worden, is een goed punt om een klas achter te laten die begrepen heeft dat een kaart uit metingen bestaat en maar zo volledig is als haar luisteraars.

Wat kinderen verkeerd begrijpen, en wat u dan zegt

Het idee dat "de satellieten de kaart maken" keert hier zeer hardnekkig terug, omdat de kaart op een scherm staat, schermen van het internet komen en het internet in de hoofden van kinderen uit de ruimte komt. Haal het voorzichtig uit elkaar: de satellieten vertellen het vliegtuig alleen hoe laat het is; het vliegtuig rekent uit waar het is; het vliegtuig zegt dat; de antennes op daken horen het; de computer tekent het. Elke stap gebeurt op de grond behalve de eerste, en de kaart zou even goed werken als de satellieten vervangen werden door iets anders waarmee het vliegtuig zichzelf kan vinden.

Beoordeling: kunnen ze het verhaal vertellen?

De cursus heeft één leerdoel met vier schakels, en de beoordeling is gewoon of een kind de keten in de juiste volgorde en met redenen kan vertellen. Vraag elk kind, of elke groep, uit te leggen hoe een vliegtuig op de kaart komt, en luister naar de vier schakels: het vliegtuig weet waar het is en zegt dat telkens opnieuw, zonder dat erom gevraagd wordt; het bericht reist als een radiogolf, en dat is een licht dat onze ogen niet kunnen zien en helemaal niet zoals geluid; een antenne, een afgestemd metalen oor, vangt het op, maar alleen van vliegtuigen boven de bolling van de aarde; en veel antennes samen, die delen wat ze horen, maken de kaart. Een zes- tot achtjarige die het als een verhaal vertelt met de vier stappen in de juiste volgorde, heeft het leerdoel bereikt. Een negen- tot elfjarige zou bij elke stap ook een reden moeten kunnen geven: waarom twee keer per seconde, waarom licht en niet geluid, waarom 7 cm en waarom hoog, waarom veel antennes en niet één.

De leerlingenpagina eindigt met een korte quiz die de klas op een tablet of met handopsteken kan doen; dit zijn de antwoorden, met de redenering die u mag verwachten. Een vliegtuig stuurt zijn bericht ongeveer twee keer per seconde, omdat het in een minuut 15 km verder zou zijn en de kaart dan nutteloos zou zijn. Het bericht bevat niet de namen van de passagiers, alleen de identiteit, positie, hoogte en snelheid van het vliegtuig. Een radiogolf is een licht dat onze ogen niet kunnen zien, geen geluid, omdat het geen lucht nodig heeft en bijna een miljoen keer sneller reist. Een antenne wordt op een dak

gezet zodat haar rechte zichtlijn verder over de bolling van de aarde reikt, niet om dichter bij de vliegtuigen te zijn. En de kaart heeft veel antennes nodig omdat elke antenne maar een cirkel lucht van een paar honderd kilometer breed kan horen.

Een school die graag een kleine ontvanger op haar dak wil plaatsen, zodat haar eigen stukje lucht op de live kaart verschijnt en les 4 eindigt met de eigen antenne van de klas, vindt alles wat ze nodig heeft op de pagina Word feeder.

VOLGENDE STAP

Een ontvanger op het dak van de school

De vier lessen eindigen vanzelf met een ontvanger die van de school is. De praktijkworkshop is de volledige gids: de onderdelen en hun prijs (100 tot 150 euro, of een Raspberry Pi die u al hebt), de antenne om te kiezen en waar u ze plaatst, hoe u de computer voorbereidt en de Dataero-feeder installeert, en de metingen die een klas er een jaar lang mee kan doen. Een schoolstation verschijnt op de openbare kaart onder de naam van de school, en zijn dashboard beantwoordt elke dag van het jaar de vraag 'wat is dat voor vliegtuig?'.

Open de praktijkworkshop `https://radar.dataero.eu/nl/learning/workshop`