



Afstanden meten in het heelal

De maan, de zon en de sterren lijken zo ver weg te zijn, dat je onmogelijk kunt meten hoe ver ze precies van de aarde staan. Toch hebben wetenschappers een manier bedacht om deze afstanden vanaf de aarde te bepalen. De leerlingen maken tijdens deze les kennis met deze methode en leren daarbij rekenen met gelijkvormige driehoeken.

Lesdoelen

De leerlingen:

- maken kennis met een methode voor het bepalen van grote afstanden in het heelal.
- verrichten metingen waarmee ze andere lengtes kunnen berekenen.
- leren wat gelijkvormige driehoeken zijn en hoe ze daarmee kunnen rekenen.

Voorbereidingen

Benodigdheden klaarzetten.

Benodigdheden

Per tweetal:

- Pen
- Geodriehoek
- Meetlint
- Werkbladen *Gelijkvormige driehoeken*, *Afstanden meten* en (optioneel) *Parallax*

Tijdsduur

45 minuten

Kerdoelen

20, 21, 24, 25,
26, 27, 31

Vakken

Wiskunde
Natuurkunde

let op:

het werkblad *Afstanden meten* moet buiten worden uitgevoerd.



Vertel de leerlingen dat het niet makkelijk is om afstanden in het heelal te bepalen. Wetenschappers moeten daarom een truc toepassen: de parallaxmethode. Hierbij wordt de afstand naar bijvoorbeeld een ster gemeten aan de hand van haar minuscule verschuiving aan de nachthemel.

Laat de leerlingen het werkblad *Parallax* maken. Ze maken zo kennis met het begrip parallax. De oefeningen op het werkblad kunnen ook in een onderwijsleergesprek gedaan worden.

Laat de leerlingen het werkblad *Gelijkvormige driehoeken* maken. Leg hierbij uit wat gelijkvormige driehoeken zijn. Op het werkblad doen de leerlingen oefeningen om inzicht in gelijkvormige driehoeken te krijgen. Dat is later nodig om een parallaxmeting te kunnen doen.



De leerlingen voeren het werkblad *Afstanden meten* uit. Ga met de leerlingen mee naar buiten om de afstand tot een object in de verte op te meten. Kies dus een locatie waar ver weg gekeken kan worden, bijvoorbeeld een sportveld of een lange rechte weg. Belangrijk is dat er genoeg herkenningspunten in de verte te zien zijn.



Het herkenningspunt dat de leerlingen bij opdracht 2 kiezen, moet minimaal 400 meter ver staan. Kies eventueel zelf een herkenningspunt dat alle leerlingen moeten gebruiken. Het object dat de leerlingen gaan opmeten, moet tussen de 25 en 50 meter ver staan. Bij objecten die te dichtbij staan, is hun geodriehoek niet groot genoeg. Bij objecten die te ver weg zijn, is het moeilijk om de afstand nauwkeurig te meten.

let op:

opdracht 6 is de moeilijkste stap. De leerlingen moeten dan met de geodriehoek de parallax opmeten. Doe deze stap eventueel voor.



Laat voorbeelden zien van parallaxmetingen in het heelal. Een Venusovergang kan bijvoorbeeld gebruikt worden voor het meten van de afstand tot de zon. Ook kunnen de afstanden tot sterren bepaald worden. In de achtergrondinformatie staan deze voorbeelden toegelicht.

Achtergrondinformatie voor de docent

Afstandberekeningen in het heelal zijn behoorlijk ingewikkeld. De afstanden zijn enorm en veel objecten zijn onbereikbaar voor mensen. Maar wetenschappers hebben tijdens de renaissance een truc bedacht om vanaf de aarde toch grote afstanden te kunnen berekenen: de parallaxmeting.

Parallax is het verschijnsel dat je gezichtsveld verandert als je vanaf een iets andere positie naar hetzelfde beeld kijkt. De voorwerpen dichtbij veranderen heel snel van plek, terwijl voorwerpen ver weg vrijwel stil lijken te staan. Een mooi voorbeeld daarvan is te zien in deze animatie: <http://bit.ly/VojoRJ>

Hierin bewegen de bergen die ver weg staan veel langzamer dan de objecten op de voorgrond, en de maan lijkt helemaal stil te staan.

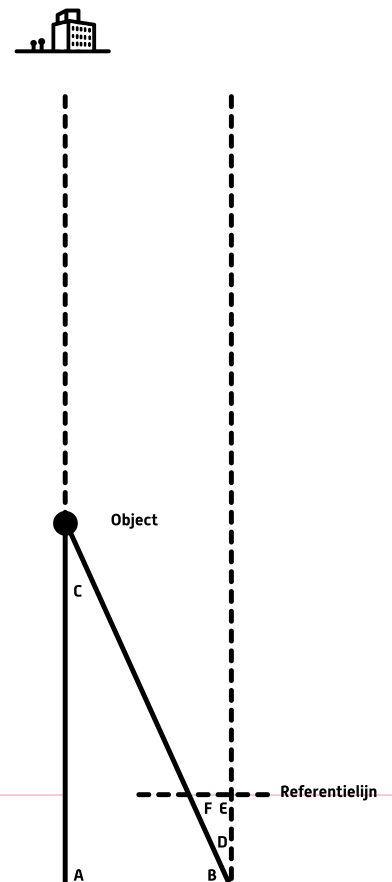
Wetenschappers hebben een manier bedacht om dit fenomeen te gebruiken voor afstandsbepalingen. Als je op twee posities naar hetzelfde voorwerp kijkt, kun je aan de hand van zijn verschuiving de afstand bepalen.

De achtergrond lijkt vanaf beide waarnemposities hetzelfde. Als je precies de afstand tussen de twee waarneempunten weet, en je meet de verschuiving van het object ten opzichte van de achtergrond, dan kun je de afstand berekenen. Er zijn een aantal manieren om dit te doen, maar ze maken allemaal gebruik van driehoeksmetingen.

Rekenen met driehoeken

In dit geval (zie afbeelding) maken we gebruik van gelijkvormigheid om een parallaxmeting te doen. De kleine driehoek EFD heeft dezelfde vorm als de grote driehoek ABC. Het te meten object (punt C) kan bijvoorbeeld een boom zijn. Die wordt op twee posities vergeleken met een herkenningspunt op de achtergrond, bijvoorbeeld een kerktoeren of flatgebouw in de verte.

Positie A en B zijn de twee posities vanwaar de waarnemer het object bekijkt. Positie A wordt zo gekozen dat het object precies in één lijn staat met een herkenningspunt. In het experiment stappen de leerlingen vanuit positie A precies 3 meter opzij naar positie B. Het punt op de achtergrond lijkt nog min of meer op hetzelfde punt te staan, maar het object niet. Daardoor is het verschoven ten opzichte van het achtergrondpunt. Het is deze verschuiving die de leerlingen meten door hun geodriehoek met gestrekte arm voor zich te houden. De afstand die met de geodriehoek wordt bepaald, noemen we de referentielijn en is afstand EF.



Om de parallaxmeting te voltooien is de lengte ED nog nodig. Dit is de afstand van de geodriehoek tot positie B, oftewel de armlengtes van de leerlingen. Nu de afstanden tussen AB, ED en EF bekend zijn, kan de onbekende afstand tot het object (AC) berekend worden.

Parallaxmetingen in het heelal

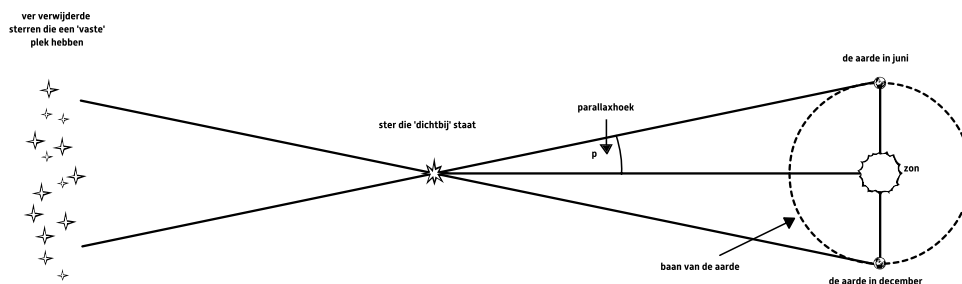


Venusovergang Bron: ESA

De eerste afstandsmeting in het heelal die met behulp van de parallaxmeting is gedaan, is de afstand van de aarde tot de zon. Die afstand wordt ook wel de astronomische eenheid (AE) genoemd. Voor deze afstandsbepaling werd gebruik gemaakt van de planeet Venus. De baan van Venus is dicht bij de zon dan die van de aarde. Daardoor staat de planeet soms precies tussen de aarde en de zon in. Dit zeldzame verschijnsel wordt een Venusovergang genoemd. Vanaf de aarde ziet dat er zo uit: filmpje: <http://bit.ly/NIZ243>

Ten tijde van de eerste parallaxmeting aan de hand van een Venusovergang in 1761, waren enkel de omlooptijden van de aarde en Venus bekend. Ook wisten men hoe groot de aarde was. Om de AE te bepalen, is het nodig om vanaf twee verschillende plekken op aarde het begin van de Venusovergang te meten. Op verschillende plekken op aarde begint de Venusovergang op een iets ander moment. Als je het tijdsverschil tussen de verschillende plekken op aarde kent, dan kun je met die gegevens, de wetten voor planeetbewegingen (van Kepler) en enkele meetkundige regels de afstand tot de zon redelijk nauwkeurig berekenen. Dat is echter vrij complex. De exacte berekening laten we daarom hier achterwege.

Toen de astronomische eenheid bepaald was, konden alle afstanden en afmetingen van planeten in het zonnestelsel berekend worden. Met behulp van de AE zijn ook de afstanden tot sterren ver buiten ons zonnestelsel ook op te meten. In plaats van vanaf verschillende plekken op aarde te meten, ging men nu op twee tijdstippen in het jaar meten. Dit levert twee waarnemingspunten op die ver uit elkaar liggen. Dit is schematisch weergegeven in onderstaande afbeelding.



Door de metingen precies een half jaar na elkaar uit te voeren, kun je de twee posities van de aarde gebruiken als de uitgangsposities. De afstand hiertussen is 300.000.000 kilometer. Omdat dit zo'n grote afstand is, geeft dit de mogelijkheid om de afstand te meten tot zeer verre objecten, zoals sterren. In plaats van een referentielijn, gebruikt men hiervoor een hoek. Deze hoek wordt ook parallax genoemd. Als achtergrond-objecten dienen sterrenstelsels die wel miljoenen keren verder weg kunnen staan dan de dichtstbijzijnde sterren.

Niettemin zijn ook de sterren zo ver weg, dat hun parallax erg klein is. Voor de dichtstbijzijnde ster is de parallax 0,000214 graden. Omdat die hoeken zo klein zijn, worden ze gemeten in boogseconden. 60 Boogseconden zijn een boogminuut en 60 boogminuten is een graad. Een parallax van 1 boogseconde komt overeen met een afstand van 3,26 lichtjaar, oftewel 206.000 AE. De parallax is omgekeerd evenredig met de afstand, zodat een parallax van 0,5 boogseconde overeen komt met 6,52 lichtjaar.

Op dit moment zijn afstanden tot ongeveer 7.800 lichtjaar te meten met de parallax-methode.



Parallax

Met behulp van driehoeken kun je afstanden uitrekenen. Dat doen astronomen om bijvoorbeeld afstanden tot sterren te bepalen. Jij gaat met een simpel experiment kijken hoe deze methode werkt.

Wat heb je nodig?

- Pen

Wat ga je doen?

- 1 Hou een pen vast met je linkerhand en strek je arm.
- 2 Dek met je andere hand je rechteroog af.
- 3 Kijk naar de pen met je linkeroog. Richt de pen op een punt in de verte, bijvoorbeeld op het schoolbord (je kunt je docent vragen een stip op het bord te zetten).
- 4 Doe nu je linkeroog open en je rechteroog dicht. Is de pen nog steeds op hetzelfde punt gericht? Leg uit hoe dat kan.

Wat je hebt gezien, noemen we parallax. Dat komt voor als je vanaf twee verschillende plekken naar hetzelfde voorwerp kijkt. Door alleen al met verschillende ogen te kijken verandert je uitzicht. Voorwerpen ver weg, zoals de maan en de zon, blijven op dezelfde plek staan. Voorwerpen dichterbij, bewegen naar links of naar rechts. Je kunt dit zelf goed zien

als je vanaf je fiets of uit de bus opzij kijkt. De gebouwen in de verte lijken bijna stil te staan. De huizen vlak langs de weg zie je snel voorbij gaan.

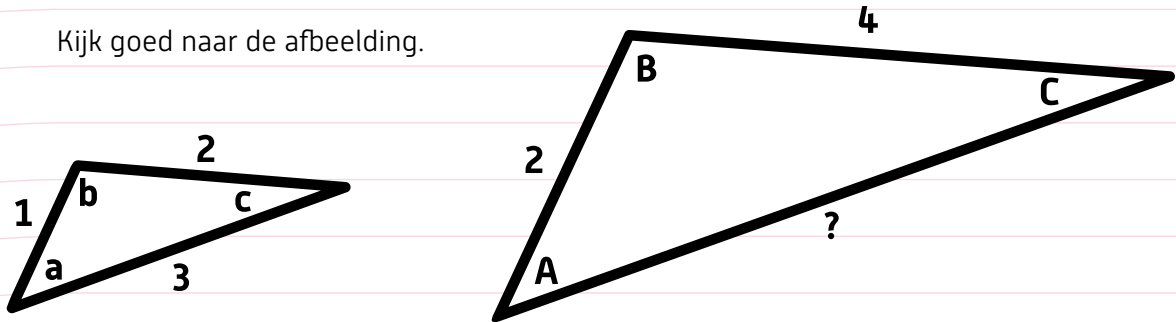
Dit verschijnsel kun je gebruiken om afstanden te meten. Dat noemen we driehoeksmetingen, omdat er wordt gewerkt met gelijkvormige driehoeken.

Gelijkvormige driehoeken



Via een handige truc kan er met gelijkvormige driehoeken een afstand bepaald worden. Maar wat zijn gelijkvormige driehoeken en hoe kun je er mee rekenen?

Kijk goed naar de afbeelding.



1a Omcirkel het juiste antwoord.

De hoeken van driehoek ABC zijn **hetzelfde als** / **anders dan** de hoeken van driehoek abc.

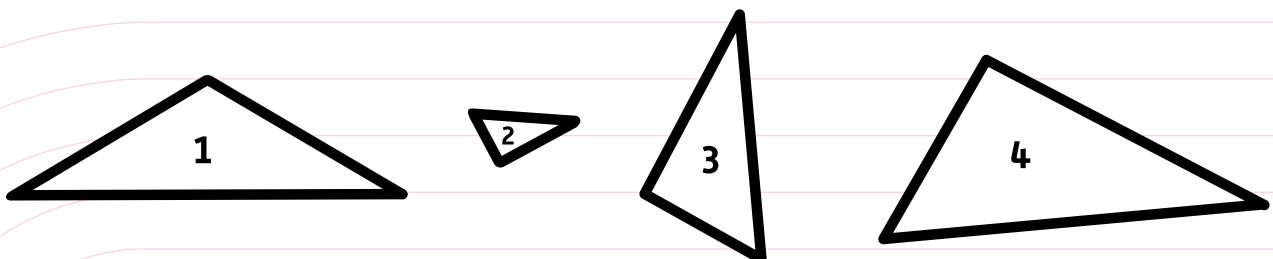
1b Vul de onderstaande zin aan.

De zijden van driehoek ABC zijn precies _____ keer zo groot als de zijden van driehoek abc.

2 Vul de lege plekken in onderstaande tabel in. Kun jij AC uitrekenen?

Driehoek abc	ab: 1	bc: 2	ac: _____
Driehoek ABC	AB: 2	BC: _____	AC: _____

3a Kijk goed naar onderstaande driehoeken. Welke driehoek is niet gelijkvormig met de rest? Let op! Ook een spiegelbeeld van een driehoek is gelijkvormig. Driehoek _____



3b Zet in de tekening bij de gelijkvormige driehoeken de letters A B en C bij de hoeken. Gelijke hoeken zijn gelijke letters.

4 Anne wijst naar een stip op het bord zoals jullie dat ook gedaan hebben. Met haar linkeroog ziet ze dat de wijsvinger precies naar de stip wijst. Met haar rechteroog ziet ze dat de wijsvinger links van de stip wijst. Ze wil graag weten hoe ver ze van het bord staat. Daarom heeft ze een aantal dingen opgemeten:

- Haar ogen staan 6,0 centimeter uit elkaar.
- Haar wijsvinger staat 75 centimeter van haar ogen af.
- Ze meet op hoe veel haar vinger naar links is verschoven. Dit doet ze door een liniaal gestrekt vast te houden. Ze meet een afstand van 5,5 centimeter.

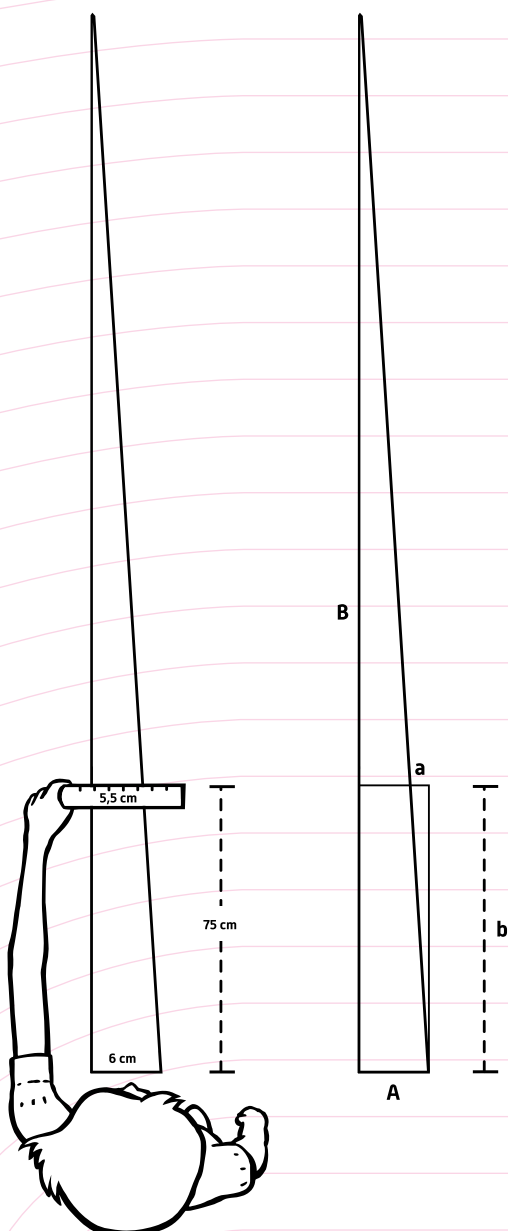
a De twee driehoeken zijn gelijkvormig. Zijde b loopt evenwijdig aan haar arm. Hoe lang is a?

a = _____ centimeter

b Vul de tabel hieronder in. Hoe ver zit Anne van het bord?

Kleine driehoek	a = _____ centimeter	b = _____ centimeter
-----------------	----------------------	----------------------

Grote driehoek	A = _____ centimeter	B = _____ centimeter
----------------	----------------------	----------------------



Afstanden meten



Eerder in deze les heb je geleerd wat parallax en gelijkvormige driehoeken zijn. Nu ga je beide verschijnselen gebruiken om buiten de afstand tot een ver object te bepalen.

Wat heb je nodig?

- Pen
- Geodriehoek
- Meetlint

Wat ga je doen?

Eerst gaan we wat afstanden opmeten. Later gaan we die afstanden invullen in twee gelijkvormige driehoeken. Zo kunnen we de afstand tot het object berekenen.

tip

volg de stappen hieronder
heel nauwkeurig op!

- 1 Kies een object waarvan je de afstand wilt opmeten.
Maak een ruwe schatting hoe ver het staat. Het moet verder weg dan 25 meter staan, maar minder ver dan 50 meter.

Object dat je hebt gekozen: _____

Schatting van de afstand: _____ meter

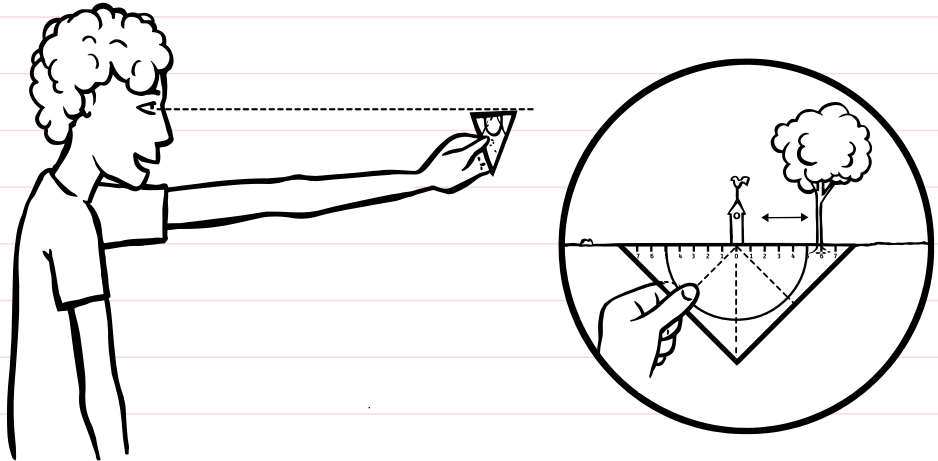
- 2 Kies een ver punt achter jouw object. Bijvoorbeeld het einde van een lange straat, een kerktoeren of een hoog flatgebouw. Dit punt moet zo ver mogelijk staan.

Punt dat je hebt gekozen: _____

- 3 Ga nu zo staan dat jouw object en het punt in de verte op één lijn staan. Oftewel: het object staat precies voor het punt in de verte.

tip

kijk met één oog.



- 4 Ga nu precies 3 meter naar rechts of naar links. Meet die afstand nauwkeurig op met het meetlint.
- 5 Pak je geodriehoek en strek de arm waarmee je de geodriehoek vasthoudt. Laat iemand anders met het meetlint opmeten hoe ver de geodriehoek van je ogen staat.

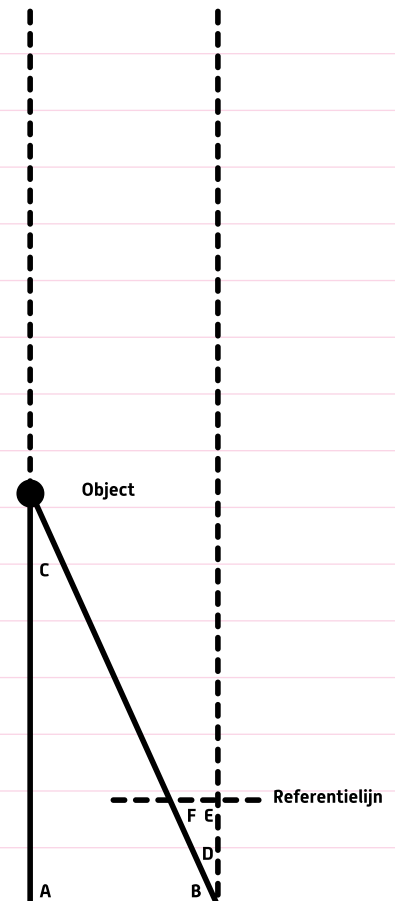
De geodriehoek staat _____ centimeter van mijn ogen.

- 6 Meet met de geodriehoek op hoe ver jouw object en het punt in de horizon zijn verschoven ten opzichte van elkaar. Dit noemen we de referentielijn. Schrijf het antwoord op.

De referentielijn is _____ centimeter.



- b** A en B zijn de twee plekken vanwaar je naar het object keek. Op punt A staan object en achtergrondpunt in één lijn (stap 3) en op punt B heb je gemeten hoeveel je object is opgeschoven (stap 6). Hoe groot is lengte AB?



Length AB is _____ centimeter

- Length EF is _____ centimeter

- Length DE is _____ centimeter

- e Lengte AC is de afstand tot het object. Om die uit te rekenen, moet je gebruik maken van de twee gelijkvormige driehoeken in het plaatje. Je weet welke lijnen bij elkaar horen en je weet van drie lijnen de lengte. Reken AC uit met behulp van onderstaande tabel. Eén vakje is al ingevuld.

Driehoek ABC	AB: 300 centimeter	AC: centimeter
Driehoek DEF	_____ centimeter	_____ centimeter

- 8 Je weet nu hoe ver je object staat. Je hebt gebruik gemaakt van een punt in de verte (bij stap 2). Waarom is het belangrijk dat dit punt heel ver weg staat? Wat gaat er fout als het te dichtbij staat?

- 9 Kun jij een manier bedenken om deze meetmethode te gebruiken om grote afstanden in het heelal te meten? Maak een schematische tekening met een driehoeksmeting van sterren.

