Der große Irrtum über die Erdrotation Was unsere Welt WIRKLICH antreibt Richard Feynman

Je zit of ligt op de bank.

Misschien ben je gewoon even aan het wandelen.

Maar één ding weet je zeker: de aarde draait.

Het draait om zijn eigen as en tegelijkertijd om de zon.

Terwijl ze met een snelheid van ongeveer 1600 km/u ronddraaien.

Het draait om zijn eigen as en raast met ongelooflijke snelheden van kilometers per uur rond de zon.

Je zult er niets van voelen.

Je zult niet aan de kant worden geschoven.

Je zult niet duizelig worden en je spieren zullen niet verkrampen.

Maar deze gigantische snelheden zijn absoluut reëel, elke seconde weer.

Laten we nu de eenvoudigste vraag van allemaal stellen.

Wie maakt ze eigenlijk?

Als je dat aan een kind vraagt, krijg je een volkomen logisch antwoord.

Ze probeert vast iets te verkopen.

Alles wat draait, heeft een aandrijfmechanisme.

Deze intuïtie is volkomen natuurlijk.

Een wiel draait doordat je het duwt.

Een wasmachine draait omdat hij een motor heeft.

Een oud molenwiel in het Zwarte Woud draait doordat het water van de beek ertegenaan duwt.

Waar bevindt zich dan de gigantische motor die onze aarde aandrijft?

Het antwoord leidt ons naar een van de diepste en mooiste concepten van inertie.

Als we dit concept echt doorgronden, zullen we meer begrijpen dan alleen rotatie.

We begrijpen de beweging zelf.

En we begrijpen waarom stagnatie in feite niet natuurlijker is dan constante vooruitgang.

Gedurende 2000 jaar heeft Aristoteles de mensheid op een volkomen dwaalspoor gebracht.

Hij zei dat elke beweging noodzakelijkerwijs een oorzaak heeft.

En miljoenen mensen geloofden hem blindelings.

Eeuwenlang heeft niemand dit serieus in twijfel getrokken, omdat alles in ons dagelijks leven dit leek te bevestigen.

Als je een auto over de weg duwt, rolt hij weg.

Als je het loslaat, zal het uiteindelijk stoppen.

Als je een voetbal over het gras rolt, zal hij vertragen en tot stilstand komen.

Alles lijkt tot stilstand te komen.

Maar toen kwam Galileo, en daarna Newton.

Ze hebben ons op briljante wijze laten zien dat onze oude intuïtie volkomen onjuist is.

Een beweging heeft geen oorzaak nodig.

Het stoppen moet een reden hebben.

Als je dit voor het eerst hoort, klinkt het volkomen absurd.

Het is bijna ongelooflijk.

Onze dagelijkse ervaring leert ons precies het tegenovergestelde.

Maar ons dagelijks leven misleidt ons vaak enorm.

Op aarde is er altijd wrijving, luchtweerstand en zwaartekracht.

Deze krachten leggen alles tot stilstand.

Zonder deze krachten zou niets ooit tot stilstand komen.

Bij lege ruimte zijn deze krachten nu juist vrijwel volledig afwezig.

En dat is precies de reden waarom alles in de ruimte voortdurend in beweging is.

Het beweegt maar door en staat gewoon nooit stil.

Dat verklaart de rotatie van de aarde.

Maar dat is nog niet alles.

Het verklaart waarom het hele universum zich op grote schaal in immense stilte en met onvoorstelbare snelheden voortbeweegt, en waarom een weggegooide steen zonder zwaartekracht voor eeuwig zou blijven vliegen.

Richard Feynman was absoluut dol op deze manier van denken.

Ogenschijnlijk banale vragen die, als ze consequent beantwoord worden, de diepste structuur van het universum onthullen.

De vraag waarom de aarde draait, is precies zo'n vraag.

Het klinkt eenvoudig, maar als je eenmaal in dat konijnenhol bent beland, kom je er niet zo makkelijk meer uit.

Omdat het antwoord vereist dat we het concept beweging volledig opnieuw definiëren.

Laten we samen afdalen.

Aristoteles' tweeduizend jaar oude fout.

In het oude Griekenland geloofde Aristoteles dat elke beweging een aanleiding nodig heeft.

Als je een steen gooit, beweegt hij.

Als je het loslaat, valt het naar beneden en blijft het daar liggen.

Om de boel in beweging te houden, moet er dus voortdurend iets in beweging zijn.

Het was zo overduidelijk dat niemand er 2000 jaar lang serieus aan twijfelde.

In het dagelijks leven ziet het er eigenlijk precies zo uit: als je een fiets duwt, rolt hij; als je stopt met duwen, valt hij uiteindelijk om en komt op de grond te liggen.

Als je een bal gooit, vliegt hij een korte afstand en valt dan naar beneden.

Alles lijkt tot rust te willen komen, alsof stilte de absolute normale toestand is en beweging een afgedwongen noodtoestand.

Maar deze observatie bevat een enorme denkfout.

Waarom stopte de fiets?

Omdat de banden tegen het asfalt schuurden.

Er was een kracht die het vertraagde.

Waarom viel de bal?

Omdat de zwaartekracht hem onophoudelijk naar beneden trok en de luchtweerstand hem in de lucht afremde.

Bij elke stilstand is er een specifieke kracht die als rem fungeert.

De cruciale vraag is dus: wat zou er gebeuren als er absoluut geen wrijving, geen zwaartekracht en geen luchtweerstand zou zijn?

Aristoteles heeft zichzelf deze vraag nooit gesteld, of als hij dat wel deed, heeft hij die niet logisch tot een conclusie doordacht.

Galileo dacht hier zeer zorgvuldig over na en voerde een uiterst belangrijk gedachte-experiment uit.

Stel je een bal voor die over een extreem glad oppervlak rolt.

Hoe gladder het oppervlak, hoe verder de bal rolt.

Wanneer de wrijving afneemt, treedt stilstand veel later op.

Dit betekent noodzakelijkerwijs dat de bal nooit zou stoppen als er absoluut geen wrijving zou zijn.

Het zou tot in het oneindige doorgaan.

Dit idee was absoluut revolutionair.

Voor beweging is geen motor nodig.

Beweging is niets meer dan het in stand houden van een toestand.

Alleen de verandering zelf, dat wil zeggen het versnellen of remmen, vereist noodzakelijkerwijs een oorzaak.

Newton formuleerde dit vervolgens perfect in zijn drie bewegingswetten.

De eerste wet stelt dat een lichaam in een staat van rust of eenparige beweging blijft, tenzij er een externe kracht op inwerkt.

Dit noemen we de wet van de inertie.

En juist deze wet is de absolute sleutel tot de rotatie van de aarde.

De aarde draait simpelweg omdat ze daar ooit mee begonnen is, en er is geen enkele kracht die dat kan stoppen.

Er is geen noemenswaardige wrijving in de ruimte.

Er is daar geen lucht om ze af te remmen.

Er staat geen enkel obstakel in de weg.

Dus ze blijft vrolijk ronddraaien.

Er is simpelweg geen logische reden om iets anders te doen.

Maar dat brengt ons direct bij de volgende vraag: hoe is het in het begin überhaupt gaan draaien?

Laten we eens terugkijken naar het ontstaan van ons zonnestelsel.

Zo'n 4,6 miljard jaar geleden, op de plek waar wij ons nu bevinden, was er alleen een enorme wolk van gas en stof.

Deze wolk begon samen te trekken, hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door de schokgolf van een supernova, oftewel een stervende ster in de nabije omgeving.

En precies hier komt een van de meest wonderbaarlijke principes van de natuurkunde in beeld.

Behoud van impulsmoment.

Stel je deze gigantische gaswolk eens voor.

Elk klein deeltje in deze wolk had een iets andere positie en een iets andere snelheid dan de rest.

De wolk was niet perfect symmetrisch.

Deze asymmetrie gaf de hele wolk een kleine maar cruciale rotatiebeweging.

Nu stort deze wolk in door zijn eigen zwaartekracht.

Het krimpt en het behoud van impulsmoment treedt in werking.

Denk aan een kunstschaatser.

Als ze haar armen uitstrekt, draait ze zich heel langzaam om.

Als ze haar armen dicht tegen haar lichaam trekt, wordt ze ineens ongelooflijk snel.

Waarom?

Omdat het impulsmoment behouden moet blijven.

Naarmate de afmetingen dichter bij het middelpunt komen, moet de rotatiesnelheid onvermijdelijk toenemen.

Wat er met de gigantische gaswolk gebeurde, was precies dit: naarmate hij kromp, ging hij steeds sneller draaien.

Tijdens dit proces vlakte het af en vormde een platte schijf die precies loodrecht op de rotatieas stond.

Dit is precies zoals een pizzabakker die het deeg in de lucht gooit en het vervolgens ronddraait om het mooi plat te maken.

De zon ontstond vervolgens in het midden van deze schijf.

De planeten ontstonden verder naar buiten.

En al deze planeten hebben simpelweg de oorspronkelijke draairichting van deze wolk overgenomen.

Het is ongelooflijk fascinerend dat bijna alle planeten in ons zonnestelsel in dezelfde richting draaien.

En de zon draait op dezelfde manier.

Venus en Uranus zijn kleine maar interessante uitzonderingen.

Venus draait achterwaarts om zijn eigen as, en Uranus ligt in feite op zijn zij en rolt als een ton door de ruimte.

Men gaat er nu van uit dat deze uitzonderingen zijn ontstaan door enorme kosmische botsingen in de vroege dagen.

Maar het algemene beeld is uiterst coherent.

Het zonnestelsel heeft de draairichting van de allereerste gaswolk al miljarden jaren hardnekkig behouden, simpelweg omdat er absoluut niets was om die draaiing te stoppen.

Dit betekent ook dat de draairichting en de snelheid van onze aarde 4,6 miljard jaar geleden onherroepelijk werden bepaald door de omstandigheden van deze ene stofwolk.

Als de omstandigheden ook maar een klein beetje anders waren geweest, zou de aarde vandaag de dag misschien veel sneller draaien, of juist langzamer, of misschien wel met een compleet andere hellingshoek.

Zelfs het kleinste verschil aan het begin zou tot een totaal andere wereld hebben geleid.

De omstandigheden waarin we ons vandaag bevinden, maken ons leven überhaupt mogelijk.

Een dag van 24 uur sluit perfect aan op het ritme van de natuur.

De axiale kanteling van 23,5 graden zorgt voor onze seizoenen.

En deze seizoenen hebben enorm bijgedragen aan de biodiversiteit.

De getijden, veroorzaakt door de maan, hebben hoogstwaarschijnlijk een belangrijke rol gespeeld bij het ontstaan van het allereerste leven.

Dit alles hebben we te danken aan de zeer bijzondere omstandigheden van deze allereerste gaswolk.

Is dit puur toeval?

De natuurkunde heeft daar geen antwoord op, maar de vraag is absoluut terecht.

Richard Feynman was helemaal weg van het behoud van impulsmoment.

Hij noemde het een van de diepste symmetrieën in het universum.

In een lege ruimte heeft geen enkele richting de voorkeur.

Deze ruimtelijke symmetrie dwingt feitelijk tot behoud van impulsmoment.

En dat is de basis voor waarom ons zonnestelsel al miljarden jaren met zo'n ongelooflijke precisie functioneert, als een Zwitsers uurwerk.

Laten we het concept van inertie eens wat dieper bekijken.

Als je dit eenmaal echt begrijpt, zal de rotatie van de aarde niet meer zo vreemd lijken.

Het zou u volkomen absurd lijken als het plotseling zou stoppen.

De stelling van inertie is simpel: materie heeft een natuurlijke neiging om hardnekkig in haar huidige toestand te blijven.

Als het stilstaat, wil het blijven rusten; als het beweegt, wil het op precies dezelfde manier blijven bewegen.

Uiteraard gebruiken we het woord "willen" hier alleen figuurlijk.

Materie heeft geen eigen wil, maar gedraagt zich precies alsof ze die wel heeft.

Een kracht is absoluut noodzakelijk om de toestand te veranderen.

Zonder dwang is er geen verandering.

Om te begrijpen hoe radicaal dit idee destijds was, moet je het volgende in overweging nemen: in de antieke wereld van Aristoteles was de vraag "Waarom beweegt iets op een volkomen betekenisvolle manier?"...

In Newtons briljante wereld is deze vraag volkomen betekenisloos.

De enige relevante vraag is: waarom verandert de beweging?

Waarom versnelt, vertraagt of verandert iets van richting?

En elke verandering vereist altijd een kracht.

Stel je voor dat je een steen met volle kracht in de lege ruimte gooit.

Als er absoluut niets te vinden is, zal het oneindig lang doorvliegen.

Het stopt nooit, het vertraagt nooit.

Altijd met exact dezelfde snelheid, altijd in exact dezelfde richting, tot in de eeuwigheid.

Voor ons aardse brein is dit ongelooflijk moeilijk te bevatten, want hier in Duitsland komt alles op een gegeven moment tot stilstand, of het nu op straat is of in het bos.

Maar dat komt alleen door de krachten die hier beneden spelen: wrijving, luchtweerstand en zwaartekracht.

Deze krachten ontbreken volledig in de ruimte.

Daarom houdt het daar absoluut niet op.

En precies om deze reden blijft de aarde draaien.

Er is simpelweg geen enkele macht die hen zou kunnen stoppen.

De ruimte is een bijna perfecte omgeving voor inertie.

We zeggen "bijna" omdat het niet 100% perfect is.

Er is de zwaartekracht van de zon en die van de maan.

Deeltjes van de zon stromen in de vorm van zonnewind naar ons toe.

Dit alles heeft minuscule gevolgen.

Maar deze effecten zijn zo microscopisch klein dat ze de rotatie van de aarde in de loop van miljarden jaren nauwelijks meetbaar hebben afgeremd.

Laten we, om deze inertie echt tastbaar te maken, een klein gedachte-experiment uitvoeren.

Stel je voor dat je de rotatie van de aarde op magische wijze voor één seconde zou kunnen stilzetten.

Wat zou er gebeuren als de aarde abrupt tot stilstand zou komen?

Alles op de evenaar zou met een snelheid van 1600 kilometer per uur naar voren worden geslingerd.

Gebouwen, mensen, oceanen, de atmosfeer, gewoon alles.

De aarde zou tot stilstand zijn gekomen, maar alles erop zou door de traagheid met precies die enorme snelheid blijven doorvliegen.

Dit gedachte-experiment laat zien hoe ongelooflijk reëel en krachtig inertie is.

We voelen deze snelle beweging niet omdat we stevig met de aarde verbonden zijn en er simpelweg mee meedraaien.

Maar de beweging is er, en er is absoluut niets nodig om die gaande te houden.

Het is volkomen voldoende dat er geen gigantische kracht is die ons tegenhoudt.

Is het echt helemaal niet langzamer geworden?

Nou, een klein beetje wel.

En dat brengt ons bij een verrassend punt.

De aarde vertraagt daadwerkelijk.

Heel, heel langzaam.

Maar dat doet ze wel.

Tegenwoordig heeft een normale dag precies 24 uur.

Maar miljoenen jaren geleden was alles heel anders.

In de tijd van de dinosaurussen duurde een dag slechts ongeveer drieëntwintig uur.

Als we nog verder teruggaan naar de vroegste dagen van onze planeet, duurde een dag slechts zes tot acht uur.

De aarde draaide destijds razendsnel, en de huidige snelheid zal in de toekomst alleen maar verder afnemen.

Dit proces verloopt echter zo geleidelijk dat we er in het dagelijks leven absoluut niets van merken.

Elke honderd jaar wordt een dag ongeveer 1,4 milliseconde langer.

Maar wie of wat remt er?

Het is de maan.

De maan oefent een enorme zwaartekracht uit op de aarde.

Het wordt aangetrokken tot vast gesteente en vooral tot de uitgestrekte oceanen.

Dit is vooral duidelijk in de oceanen, omdat water, door zijn prachtige vloeibaarheid, deze aantrekkingskracht creëert.

De getijden, oftewel eb en vloed en deze enorme watermassa's, zijn niet perfect gesynchroniseerd met de snelle rotatie van de aarde.

De maan trekt het water altijd een beetje naar voren.

Deze enorme watermassa, die naar voren wordt getrokken, schuurt letterlijk tegen de roterende aarde.

En het is precies deze getijdekracht die de rotatie van de aarde met een ongelooflijk klein beetje afremt.

Dit is echte wrijving, waarbij kinetische energie wordt omgezet in warmte.

Elke dag verliest de aarde een minuscule hoeveelheid energie als gevolg van deze getijdenwerking.

Maar waar gaat deze energie naartoe?

Energie verdwijnt niet zomaar in het niets.

Ze reist naar de maan.

Doordat de aarde langzamer gaat draaien, beweegt de maan zich verder van ons af.

Door het onwrikbare behoud van impulsmoment wordt het rotatiemomentum dat de aarde verliest, één-op-één overgedragen aan de maan.

De maan beweegt zich dus elk jaar ongeveer 3,8 cm van ons af.

Dat klinkt als bijna niets, maar laten we eens rekenen.

De maan draait al zo'n vier miljard jaar om onze aarde.

In deze onvoorstelbaar lange tijd heeft hij zich al enorm van ons verwijderd.

Toen het in het verleden veel dichter bij de aarde was, waren de getijden ware monsters.

De golven beukten met enorme kracht tegen de kust.

Sommige geologen zijn er stellig van overtuigd dat deze brute getijden een cruciale rol hebben gespeeld bij het ontstaan van het allereerste leven.

Richard Feynman was een groot liefhebber van dergelijke causale verbanden.

De ene gebeurtenis leidt direct tot de volgende.

De volgende beïnvloedt dan weer iets anders, in een schijnbaar eindeloze keten.

De maan vertraagt de aarde door middel van de getijden.

De energie reist naar de maan.

De maan beweegt zich langzaam naar buiten.

Hierdoor zullen de getijden weer rustiger worden.

Deze logische keten is al miljarden jaren aan de gang en heeft ons hele zonnestelsel gevormd.

Wat als er helemaal geen zwaartekracht zou zijn?

Het geheim van cirkelbeweging.

De aarde draait niet alleen om haar eigen as, maar raast ook in een enorme boog om de zon.

En deze tweede beweging is gebaseerd op een compleet andere natuurkunde.

Wat de rotatie betreft, zeiden we dat het gewoon roteert omdat niets het tegenhoudt.

Maar om in een cirkelvormige baan rond de zon te vliegen, is een kracht absoluut noodzakelijk.

Zonder zwaartekracht zou de aarde rechtstreeks de duisternis van de ruimte in vliegen.

Denk aan Newtons beroemde verhaal met de appel.

Newton zat comfortabel in de tuin, er viel een appel van de boom, en hij vroeg zich af: "Hoe ver reikt deze onzichtbare kracht eigenlijk naar boven?"

Tot aan de boomtoppen, tot aan de top van de hoogste berg, of misschien zelfs tot aan de maan?

En toen drong het besef tot hem door als een blikseminslag.

De maan valt ook daadwerkelijk.

Het valt voortdurend naar de aarde toe.

Maar de voorwaartse snelheid is zo absurd hoog dat het object tijdens de val simpelweg de kromming van de aarde volgt.

Het komt vrijwel altijd net niet in de buurt van de aarde.

Het valt en valt, maar raakt nooit de grond.

Stel je voor dat je een steen gooit.

Hoe harder je gooit, hoe verder naar achteren het zal landen.

Als je de steen met een abnormaal grote kracht zou gooien, zou hij precies de kromming van de aarde volgen.

Op een bepaald moment zou het gewoon helemaal rond de aarde cirkelen en je van achteren op je hoofd raken.

Dat is precies wat een baan om de aarde is: een eeuwige val zonder ooit de grond te raken.

De maan beweegt zich dus voortdurend met hoge snelheid richting de aarde.

Hij mist de bal alleen omdat zijn waanzinnige zijwaartse zwaai hem redt.

En waar komt dit zijwaartse momentum vandaan?

Klopt, vanaf de vorming van het zonnestelsel, vanaf het impulsmoment van die allereerste gaswolk.

Alles is direct met elkaar verbonden.

Laten we eens een kijkje nemen in het Internationale Ruimtestation.

Het cirkelt op ongeveer vierhonderd kilometer boven onze hoofden.

Het raast met een snelheid van 28.000 kilometer per uur rond de aarde zonder neer te storten.

De astronauten zweven daarboven volledig gewichtloos rond.

Maar waarom?

Daarboven is absoluut sprake van zwaartekracht.

Het is bijna net zo sterk als hier beneden op de grond.

De enige reden voor het gewichtloosheidsgevoel is dat ze zich in een vrije val bevinden.

Ze vallen elke seconde richting de aarde.

Maar ze zijn zo ongelooflijk snel in zijwaartse bewegingen dat ze zich perfect aanpassen aan de kromming van de aarde.

Net als Newtons steen, draaien ze in een eeuwige vrije val rond de aarde.

En dat geldt precies hetzelfde voor de aarde en de zon.

De aarde stort zich voortdurend in de hete zon, maar door haar voorwaartse snelheid valt ze er altijd elegant langs.

Dit is de absolute kern van elke baan.

Toen Richard Feynman zulke complexe relaties uitlegde, begonnen zijn ogen te stralen.

Natuurkunde, zo zei hij altijd, is geen droge opsomming van losse feiten.

Natuurkunde betekent begrijpen hoe alles in het universum met elkaar communiceert.

De rotatie van de aarde is geen op zichzelf staand fenomeen.

Het is onlosmakelijk verbonden met het ontstaan van het zonnestelsel, met het behoud van impulsmoment, met de getijden van de maan, met Newtons geniale zwaartekrachtstheorie en met Galileo's inertietheorie.

Dit zijn allemaal verschillende hoofdstukken van dezelfde adembenemende versnelling en vertraging in de ruimte.

Zonder dwang verandert er absoluut niets.

Laten we de tweede wet van Newton eens nader bekijken: F = m maal A, kracht is gelijk aan massa maal versnelling.

In de natuurkunde betekent versnelling simpelweg dat de snelheid verandert.

Of je nu gas geeft, remt of abrupt aan het stuur trekt.

Alles draait om versnelling, en daarvoor is altijd een kracht nodig.

Als we de formule omdraaien, betekent dit heel duidelijk: als de kracht nul is, is de versnelling ook nul.

Als de versnelling nul is, blijft de snelheid exact hetzelfde.

En als de snelheid constant blijft, zal het object simpelweg oneindig lang precies hetzelfde blijven doen.

Voor de rotatie van de aarde betekent dit dat zolang er geen gigantische kosmische rem verschijnt, de aarde zal blijven draaien.

We kunnen dit zelfs extrapoleren naar het hele universum.

Kijk eens naar de immense afmetingen van de kosmos.

Sterrenstelsels draaien al miljoenen jaren rond; sterren cirkelen majestueus rond de centra van hun sterrenstelsels.

Hele clusters van sterrenstelsels draaien om elkaar heen.

Ze dragen allemaal nog steeds het hoekmomentum in zich dat ze sinds de oerknal hebben geërfd.

En ze blijven draaien, simpelweg omdat er geen kracht is die sterk genoeg is om ze te stoppen.

Deze gigantische harmonische rotatie is een van de meest fundamentele eigenschappen van ons universum.

Richard Feynman zou hier nadrukkelijk aan toevoegen: Verlies nooit je gevoel van verwondering.

Blijf je altijd verwonderen.

De vraag stellen: Waarom draait het?

Dit is net zo belangrijk als de vraag "Waarom houdt het niet op?"

En als je de tweede vraag stelt, zal de juiste natuurkunde het antwoord vanzelf geven.

Natuurkunde leren betekent niet alleen formules uit je hoofd leren.

Het betekent leren hoe je de juiste vragen stelt.

De subtiele nuances van de rotatie van de aarde.

Onze aarde is helemaal geen perfecte bol.

Tot nu toe hebben we ons gedragen alsof deze rotatie een feilloze machine was, zonder Michel.

Maar de werkelijkheid is veel chaotischer en daardoor des te spannender.

De aarde heeft een klein reddingsboeitje bij de evenaar.

Het is daar iets dikker en bij de polen wat afgeplat.

Deze uitstulping ontstaat juist door zijn eigen rotatie.

De centrifugale kracht duwt het materiaal eenvoudigweg naar buiten bij de evenaar.

Deze bult reageert nu op de zwaartekracht van de maan en de zon.

Hierdoor gaat de rotatieas van de aarde een beetje wiebelen, net als een tol die op het punt staat om te vallen.

Dit wordt precessie genoemd.

De as van onze aarde staat niet vast in de ruimte.

Het kost haar jaren om volledig rond de cirkel te wankelen.

Dit betekent dat de Poolster, die ons tegenwoordig zo betrouwbaar de noordrichting wijst, niet altijd de Poolster is geweest.

Vijfduizend jaar geleden, toen de oude Egyptenaren hun piramides bouwden, was een ster genaamd Tuban de Poolster.

En over nog eens 5000 jaar zal een compleet andere ster deze taak overnemen.

Daarnaast speelt ook de kanteling van de aardas een rol.

De as is momenteel ongeveer 23,5 graden gekanteld.

Zonder dit onevenwicht zouden er geen seizoenen zijn in Duitsland.

Overal op aarde zou er altijd precies dezelfde hoeveelheid zonlicht zijn.

De poolgebieden zouden permanent bevroren zijn en de evenaar zou genadeloos verbrand worden.

Maar deze hoek verandert ook heel geleidelijk in de loop van de tijd.

Het schommelt tussen 21 en 24,5 graden in een cyclus van ongeveer een jaar.

Dit verandert de manier waarop zonlicht op aarde wordt verdeeld enorm.

Onderzoekers vertrekken.