

INHOUDSOPGAVE

Inleiding..... 7

1

KIJK OP DINOSAURIËRS..... 9

Waarom zijn dinosauriërs belangrijk?..... 10

Geologische tijd 12

Vroege geografie..... 16

Vroege reptielen in de zee en de lucht 21

Weten over het verleden 28

FORENSISCH ONDERZOEK:

De opgravingsplek beheren 30

De oorsprong van de dinosauriërs 32

De drie hoofdgroepen
van de dinosauriërs 36

Vogels als een tak van de theropoden 40

2

FYSIOLOGIE 45

Weergeven van dinosauriërs 46

FORENSISCH ONDERZOEK:

Vlees op de botten plaatsen 51

Moderne reptielen en vogels 52

Een speciaal type warmbloedigheid 54

Veren 58

Ademhaling 64

Voedselbudgetten 68

FORENSISCH ONDERZOEK:

Een voedselweb van dinosauriërs maken... 70



3

VOORTBEWEGING 75

Houding en gang 76

FORENSISCH ONDERZOEK:

Voortbeweging modelleren 78

Twee of vier voeten? 80

Voetsporen 82

FORENSISCH ONDERZOEK: Verdwenen tenen ... 87

Loopsnelheid berekenen 88

FORENSISCH ONDERZOEK:

Bewegingsleer van lopende dinosauriërs... 90

Reuzenformaat en ondersteuning 92

FORENSISCH ONDERZOEK:

Hoe een reus te zijn 97

Oorsprong van het vliegen 98

4

ZINTUIGEN EN INTELLIGENTIE..... 105

Dinosauriërhersenen 106

FORENSISCH ONDERZOEK:

Oude hersenen bestuderen 108

Hersenen van moderne reptielen
en vogels 110

Evolutie van intelligentie 114

Reukzin 120

Gezichtsvermogen 122

Gehoor 124

Ruimtelijke oriëntatie 126

5

VOEDEN	133
Dinosauriërdiëten.....	134
Tanden en kaken.....	138
FORENSISCH ONDERZOEK: Eindige-elementen-methode analyseert kaken.....	141
Bewijs van dinosauriërdiëten	142
FORENSISCH ONDERZOEK: Isotopen en dieet	150
Dieet van plantenetende dinosauriërs.....	152
Dieet van vleesetende dinosauriërs (en overige diëten).....	158

6

SOCIAAL GEDRAG	163
Communicatie en sociale omgang.....	164
Seksuele selectie en verenkleuren	166
FORENSISCH ONDERZOEK: De kleur van fossiele veren achterhalen ...	172
Hofmakerij en paringsgedrag	174
Eieren en ouderlijke zorg.....	176
Opgroeien	184
FORENSISCH ONDERZOEK: De groeisnelheid bepalen.....	188
Communicatie en leven in groepen	190
FORENSISCH ONDERZOEK: Geluiden van de hadrosauriërs	194

7

DINOSAURIËRS EN MENSEN	197
Uitsterven	198
FORENSISCH ONDERZOEK: Met een knal of een sisser?	206
Overlevenden en de moderne wereld	208
Kansen	210
VERDER LEZEN	218
TREFWOORDENREGISTER	220
BRONVERMELDING ILLUSTRATIES	224
DANKWOORD	224





INLEIDING

De *T. rex* dendert tussen de bomen en bespringt een jonge *Triceratops*. Het enorme roofdier heeft een geschubde huid en plukjes kleurige veren boven zijn ogen; hij verbrijzelt de botten van de doodsbenauwde planteneter met een kracht van verscheidene tonnen...

We zijn vertrouwd met dit soort scènes in bioscoopfilms, maar hoeveel daarvan is nattevingerwerk? Als we naar dinosauriërgedrag kijken, onderzoeken we elk facet van hoe deze opmerkelijke dieren leefden. Hebben we een tijdmachine nodig om er zeker van te zijn hoe ze eruitzagen en hoe ze zich gedroegen? Het antwoord luidt: niet noodzakelijkerwijs. We hebben fossielen en we hebben slimme methoden om die fossielen te vergelijken met moderne dieren.

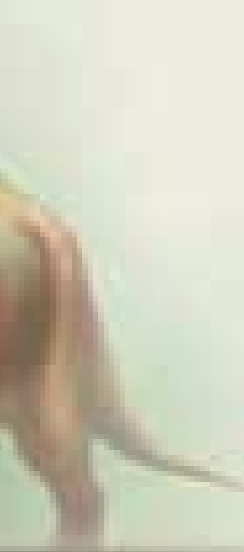
Het klopt dat vroege discussies over het vermogen van dinosauriërs om te rennen inderdaad berustten op giswerk. De ene hoogleraar kon zeggen dat *T. rex* zich maar traag voortbewoog, terwijl de andere zei dat hij snel kon galopperen, als een reusachtige struisvogel. Nu kunnen we berekenen dat de loopsnelheid 27 kilometer per uur bedroeg – werkelijk vrij langzaam. Dat kunnen we berekenen door de paslengte in fossiele sporen te meten. We kunnen het ook berekenen door de beenspiervang en topsnelheden van moderne dieren te vergelijken met de door ons geschatte spierafmetingen van de dinosauriër.

Deze precieze inzichten in dinosauriërgedrag zijn waardevol omdat dinosauriërs het aardoppervlak gedurende 160 miljoen jaar overheersten. Het is belangrijk dat we begrijpen hoe hun zogenaamde voedselwebben waren samengesteld (wie eet wat), hoe ze zo reusachtig konden zijn en hoe ze omgingen met de voorouders van moderne diersoorten (zoals krokodillen, hagedissen, vogels en zoogdieren).

Hoe gingen dinosauriërs met elkaar om? Negeerden ze andere dinosauriërs of vormden ze families waarin voor de jongen werd gezorgd? Gedroegen ze zich meer als krokodilachtigen of als vogels, hun levende verwanten? Vertoonden bijvoorbeeld sommige of alle dinosauriërs seksueel expressiegedrag, net zoals vele vogels, waarbij mannetjes dansten en pronkten met hun prachtige staarten, kammen en andere versieringen?

Elke tien dagen kennen paleontologen aan een nieuwe dinosauriërsoort een naam toe. Dat is in hun vakgebied een ongekend hoge frequentie. Als we ons niet bezighouden met het opgraven van dinosauriërfossielen, bestuderen we ze. Zo kunnen we leemten in onze kennis opvullen en proberen te begrijpen hoe dinosauriërs leefden en liefhadden, vochten en zich voedden, elkaar signalen gaven en met elkaar omgingen. Dit boek toont de kennis die we hebben verworven, door vondsten en analyses, van deze fascinerende reuzen die ooit over de aarde ronddoelden.

EEN *T. REX* GENIET VAN EEN
MAALTJE *BABY-TRICERATOPS*.
Het 5 ton zware roofdier moet
in staat zijn geweest om elke
plantenetende dinosauriër in
zijn tijd te doden en te eten.
Een volwassen *Triceratops* had
echter een beenkraag die zijn
nek beschermde en drie zware
horens op zijn kop. Het is vrijwel
zeker dat hij zich daarmee
verdedigde.







1

**KIJK OP
DINOSAURIËRS**

WAAROM ZIJN DINOSAURIËRS BELANGRIJK?

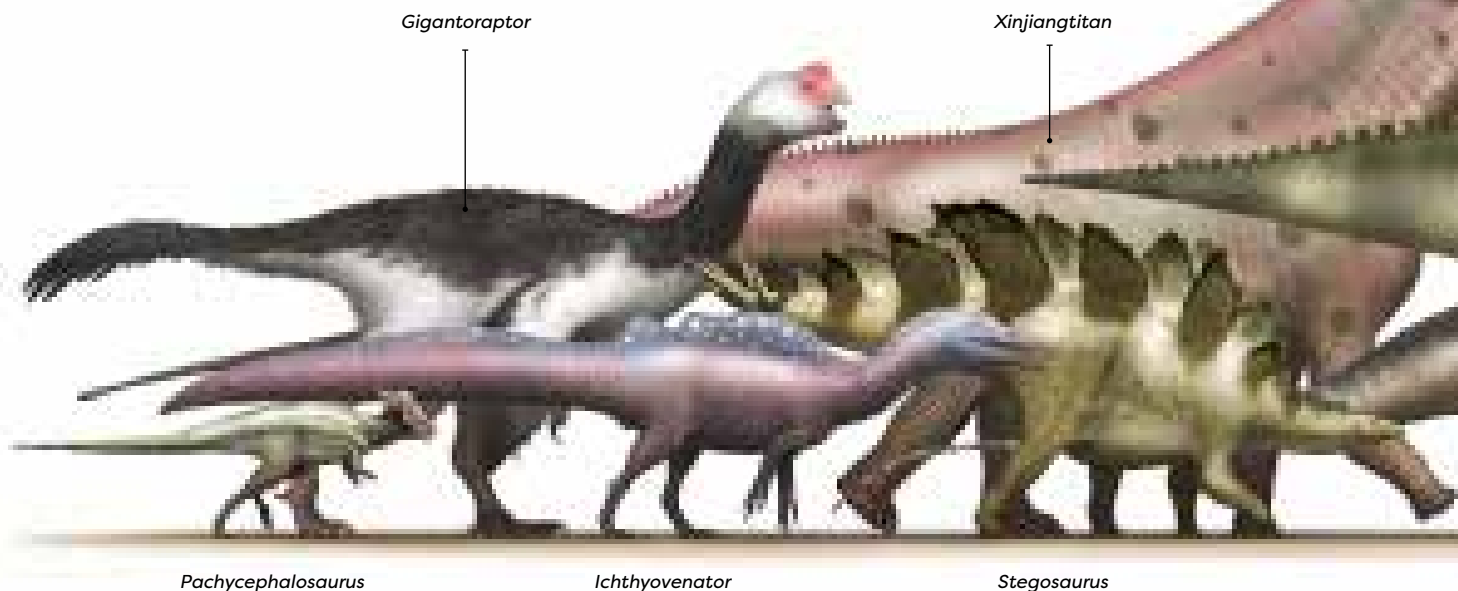
De meeste mensen zijn dol op dinosauriërs, vooral kinderen. Er zijn echter twee wetenschappelijke redenen waarom we allemaal om ze moeten geven: ze vormen een integraal deel van onze geschiedenis en ze verleggen de grenzen van wat mogelijk is.

Er zijn meer kinderboeken over dinosauriërs geschreven dan over vrijwel elk ander onderwerp. Dinosauriërs zijn populair omdat ze groot waren, en sommige waren heel, heel, heel groot. Ze zijn opwindend en ze leken op draken. Ze hadden wonderlijke horens en stekels en sommige hadden enorme griezelige tanden. In tegenstelling tot draken hebben ze echter daadwerkelijk bestaan.

Maar afgezien van hun populariteit zijn dinosauriërs echt belangrijk voor de wetenschap. Ten eerste getuigen ze van een belangrijk deel van de geschiedenis van de aarde en het leven. Veel grote vragen in de wetenschap gaan over oorsprong – de oorsprong van het heelal, van de aarde, van het leven en van mensen. Het achter-

halen van een dergelijke oorsprong vormt een kernonderdeel van wetenschappelijke vakgebieden zoals geologie (de bestudering van de aarde) en paleontologie (de bestudering van vroeger leven). We moeten de details kennen, en de beste manier om dat te bereiken is het bestuderen van fossielen en gesteenten en het begrijpen van geologische tijd (zie pagina 12).

Een tweede reden waarom we ons om dinosauriërs moeten bekommeren, is dat ze een belangrijke stap vormden op de reis naar onze moderne wereld. Mensen maken zich zorgen over bedreigingen voor de aarde en het leven als gevolg van menselijke activiteiten. Terwijl het aantal mensen op aarde alsmaar verder toeneemt,



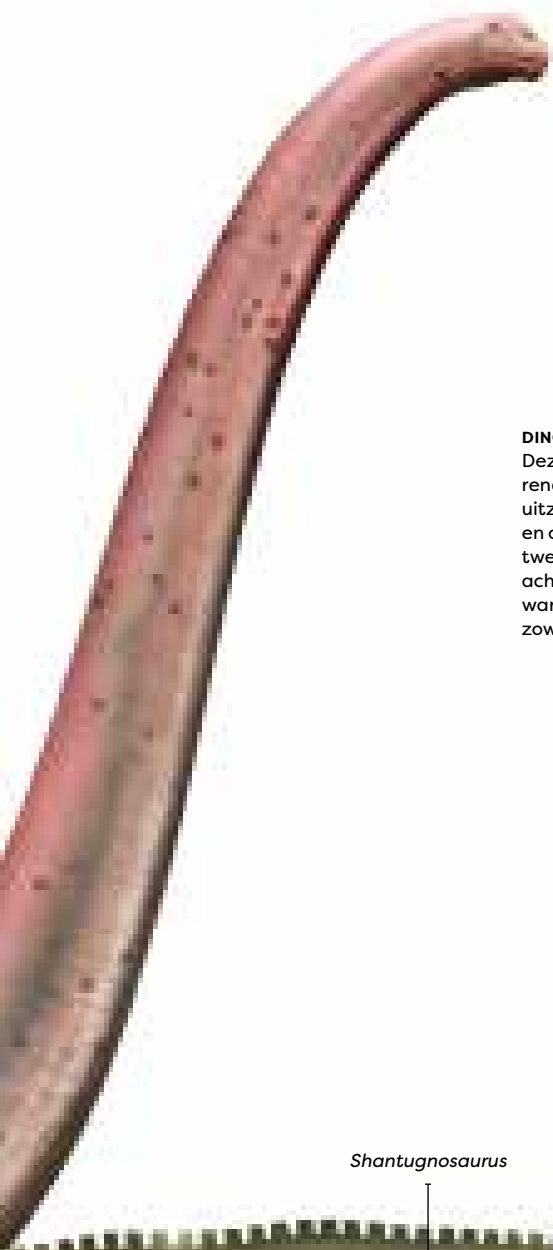
Gigantoraptor

Xinjiangtitan

Pachycephalosaurus

Ichthyovenator

Stegosaurus

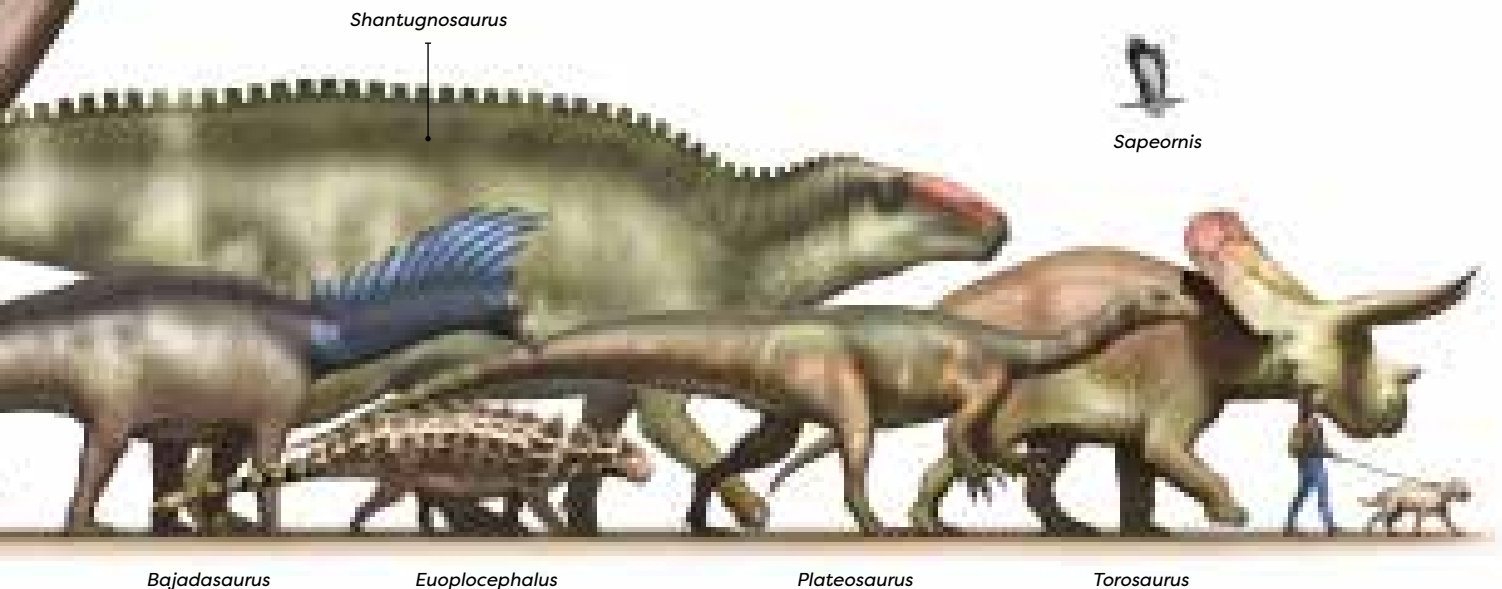


DINOSAURIËRPARADE

Deze groep voorbij marcherende dinosauriërs toont hun uitzonderlijke scala aan vormen en omvang. Ze begonnen als tweevoeters die liepen op hun achterpoten, maar de grotere waren viervoeters. We zien hier zowel planten- als vleeseters.

we steeds meer auto's gebruiken en meer grondstoffen voor ons dagelijks leven gebruiken, vernietigen we de natuur. De natuur omvat alle ongeveer 10 miljoen soorten op aarde en hun natuurlijke leefomgeving. Die soorten hebben een geschiedenis en we moeten hun geschiedenis begrijpen om de bedreigingen voor hun overleven te begrijpen. We zullen kijken naar de oorsprong van de dinosauriërs (zie pagina 32) en ontdekken dat ze opkwamen in een tijd waarin al het leven moderniseerde en veel energiekeker werd dan ooit tevoren.

De derde reden waarom we dinosauriërs zo interessant vinden, is dat ze ontzagwekkend zijn. Er zijn tegenwoordig geen landdieren die zo reusachtig zijn. Een olifant kan 5 ton wegen, maar sommige van de langnekdinosauriërs zoals *Diplodocus* en *Brontosaurus* wogen 50 ton. Hoe kon een dergelijk reusachtig dier functioneren? Tot de dieren uit de tijd van de dinosauriërs behoorden de pterosauriërs (zie pagina 24), en daarvan waren er vele groter dan welke moderne vogel dan ook, maar toch konden ze vliegen. Dinosauriërs verlegden dus de grenzen van de biomechanica (zie pagina 88): we moeten de wiskunde en de natuurkunde begrijpen van hoe ze zo reusachtig konden zijn en hoe hun vlees en botten werkten.



Shantugnosaurus

Sapeornis

Bajadasaurus

Euoplocephalus

Plateosaurus

Torosaurus

GEOLOGISCHE TIJD

De aarde is oud, maar geologen kunnen de volgorde van gesteenten achterhalen en hun precieze leeftijden en perioden vaststellen – we moeten er gewoon even aan wennen dat we het hebben over *miljoenen* jaren.

Geologen hebben het over miljoenen en honderden miljoenen jaren. De aarde is 4567 miljoen jaar oud, of ongeveer 4,5 miljard jaar. Dinosauriërs leefden van 240 tot 66 miljoen jaar geleden. Hoe kennen we die leeftijden?

Allereerst konden geologen de volgorde van gesteenten achterhalen, ofwel wat is ouder en wat is jonger. Dat kan door te kijken naar de stapeling van gesteenten aan de wand van een groeve of langs een kloof of een klif. Gewoonlijk bevinden de oudste gesteenten zich onderaan met daarop gestapeld steeds jongere gesteenten; we zien de gesteenten gewoon in de volgorde waarin ze zijn afgezet. We kijken hier vooral naar afzettingsgesteenten, zoals slijksteen, zandsteen en kalksteen. Dit waren ooit sedimenten, zoals zand, silt of modder, die werden afgezet in vroegere zeeën, meren, rivieren en woestijnen.

De volgorde is één ding, maar hoe zit het met de leeftijd? De eerste aanwijzingen daarvoor leveren fossielen. Meer dan tweehonderd jaar geleden begonnen geologen te proberen meer te begrijpen van de gesteenten waarom ze zich bekommerden, vooral de exemplaren die waardevolle mineralen zoals steenkool en ijzer bevatten. Industriële bedrijven wilden er zeker van zijn dat ze steenkool of ijzer zouden vinden als ze een kuil

groeven, en geologen ontdekten slimme methoden om ze te vertellen waar ze moesten graven. Ze ontdekten bijvoorbeeld dat in Europa en Noord-Amerika de meeste steenkool gewoonlijk voorkomt in slechts een deel van de stratigrafische kolom, ofwel de stapeling van gesteenten, in een bereik dat ze het Carboon noemden, een naam die slaat op de aanwezigheid van steenkool (*carbo*). Dat Carboon werd gekenmerkt door unieke fossiele planten en andere fossielen.

Rond 1850 hadden alle belangrijke tijdvakken een naam gekregen: geologische tijdvakken zoals Carboon, Trias, Jura en Krijt. Die waren vernoemd naar sommige kenmerkende eigenschappen van gesteenten (zoals steenkool) of naar een gebied waar ze voorkomen. Jura was bijvoorbeeld genoemd naar het gelijknamige gebergte op de grens van Frankrijk en Zwitserland. Trias, Jura en Krijt worden samen aangeduid als het Mesozoïcum, wat ‘middenleven’ betekent.

GESCHIEDENISLAGEN

De opeenvolgende gesteenten in de wand van de Grand Canyon in Arizona tonen meer dan een miljard jaar aardgeschiedenis, van het Precambrium aan de onderzijde via het Paleozoïcum tot aan het Mesozoïcum.

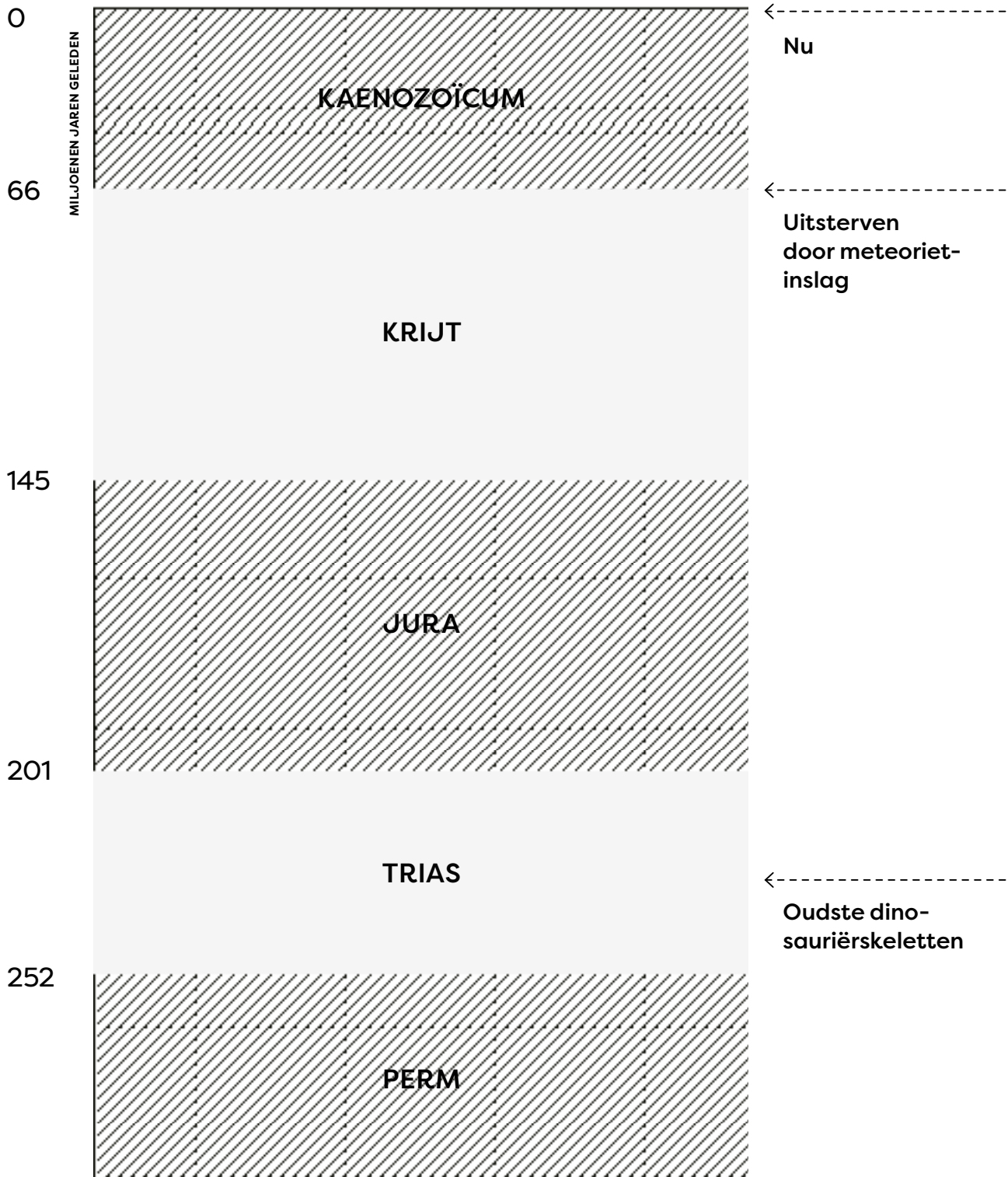
De bovenste gesteenten op deze foto dateren uit het Perm.



DE LOOP DER TIJD

Deze grafiek van de geologische tijd tot aan het begin van de dinosauriërs toont de belangrijkste perioden en hun leeftijden in miljoenen jaren.

De dinosauriërs leefden tijdens Trias, Jura en Krijt. Aan het eind van het Krijt volgt hun beruchte uitsterven.



HET SKELET VAN EEN VROEGE DINOSAURIËR

Een skelet van een *Coelophysis*, uit het Laat-Trias van New Mexico, toont de achterovergebogen kop en lange nek en de lange zweepachtige staart. Hij rende op zijn achterpoten en greep zijn prooi met zijn sterke handen.



INSCHATTEN VAN DE LEEFTIJD VAN DE AARDE

We weten nu dat de aarde miljarden jaren oud is, maar dat was niet altijd bekend. Eind negentiende eeuw trachtten wetenschappers op allerlei manieren de leeftijd van gesteenten te bepalen. Ze probeerden bijvoorbeeld te schatten hoelang het zou duren voordat alle honderden en duizenden kilometers aan sedimentaire gesteenten waren afgezet. Anderen veronderstelden dat de oceanen ooit waren gevuld met zoet water en dus schatten ze de leeftijd van de oceanen op basis van hun huidige zoutgehalten en hoelang het zou duren voordat al die zouten door verweering waren vrijgekomen uit gesteenten aan land en waren weggespoeld naar de oceanen. Dat leidde tot schattingen van honderden miljoenen jaren.

Toen beweerde de natuurkundige Lord Kelvin (1824-1907) dat de aarde was begonnen als een bol gesmolten gesteente. Hij berekende hoelang het zou duren voordat zo'n grote bol afkoelde en er een korst zou ontstaan. Hij keek naar experimenten met kanonskogels en zijn uiteindelijke schatting was dat de aarde ongeveer 20 tot 40 miljoen jaar oud was.

Die periode was te kort voor de geologen: ze bood onvoldoende tijd voor het inpassen van alle geologische tijdvakken en alle fossielen en hun

bewijs. Geologen hadden een betrouwbaardere methode nodig voor het schatten van de leeftijd van de aarde. Die methode werd meer dan een eeuw geleden uitgevonden.

RADIOMETRISCHE DATERING

Rond 1910 beseften geologen dat ze de natuurlijke radioactiviteit van bepaalde gesteenten konden gebruiken voor het vaststellen van precieze leeftijden. Sommige elementen zoals uraan zijn van nature radioactief. Dat houdt in dat ze onstabiel zijn en spontaan overgaan naar een meer stabiele vorm, in dit geval het metaalelement lood. De veranderingssnelheid (gewoonlijk radioactief verval genoemd) is bekend dankzij experimenten en kan duizenden tot miljoenen jaren beslaan. Het punt waarop de helft van het uraan in een monster is vervallen naar lood markeert de halveringstijd en die bedraagt voor verschillende isotopen van uraan 4500 miljoen, 700 miljoen of 25.000 jaar. Geologen kunnen de verhouding tussen uraan en lood in een gesteente meten en daaruit de leeftijd ervan berekenen, afhankelijk van hoe die veranderde verhouding past op de vervalcurve. De leeftijden worden steeds weer opnieuw nagegaan, om er zeker van te zijn dat ze precies zijn.

VROEGE GEOGRAFIE

De wereld was erg verschillend in het verleden, dankzij continentale verschuiving en een andere zeespiegel. In het tijdperk van de dinosauriërs vormden de meeste continenten een geheel.

Het is wellicht geen verrassing om te ontdekken dat gedurende miljoenen en miljarden jaren de geografie van de aarde enorm is veranderd. Om te beginnen schommelde de zeespiegel aanzienlijk. Tegenwoordig zijn we bezorgd dat de zeespiegel stijgt door de opwarming van het klimaat. De voorspelde zeespiegelstijging zal grote steden zoals New York en Londen onder water zetten.

Niettemin is de huidige zeespiegel vrij laag omdat er enorme volumes water liggen opgesloten in het ijs aan de Noordpool en de Zuidpool. In het verleden waren er tijden waarin er geen poolijs was, soms aangeduid als 'broeikaswerelden'. Dat geldt voor het grootste deel van het Mesozoïcum, toen de dinosauriërs leefden. Sterker nog, in het Laat-Krijt (100 tot 66 miljoen jaar geleden) was de zeespiegel tot wel 200 meter hoger dan tegenwoordig. Dat verkleinde de omvang van de continenten doordat alle kustvlakten waren overstroomd. Afrika en Noord-Amerika waren beide in tweeën gedeeld door reusachtige zeestraten. In Noord-Amerika had de Westelijke Interne Zeestraat een breedte tot wel 970 kilometer en die verbond de Caraïbische Zee met de Noordelijke IJzee, stromend door staten zoals Texas, Wyoming en Alberta.

Er is nog een andere enorme aandrijfkraft van de paleogeografie, ofwel de verandering van de geografie in de loop der tijd. Dat is continentale verschuiving. Meer dan tweehonderd jaar geleden viel het geografen op dat de westkust van Afrika en de oostkust van Zuid-Amerika redelijk goed in elkaar pasten. Wat nu als de Zuidelijke Atlantische Oceaan zich sloot? Ze waren daadwerkelijk ergens op gestuit, want die twee kusten waren ooit een geheel geweest. In het Trias of de Jura was er geen Zuidelijke Atlantische Oceaan.

De Duitse geograaf Alfred Wegener (1880-1930) stelde in 1912 voor dat alle zuidelijke continenten – Zuid-Amerika, Afrika, Antarctica, India en Australië – ooit samen het supercontinent Gondwana hadden gevormd. Hij gebruikte paleontologisch en geologisch bewijs, en stelde vast dat bepaalde gesteenten op alle continenten niet alleen met elkaar verband hielden, maar dat ze ook dieren en planten uit Perm en Trias met elkaar gemeen hadden. In feite was er één enkel supercontinent geweest, bestaande uit enerzijds Gondwana en anderzijds een noordelijk continent dat werd gevormd door Noord-Amerika, Europa en Azië.

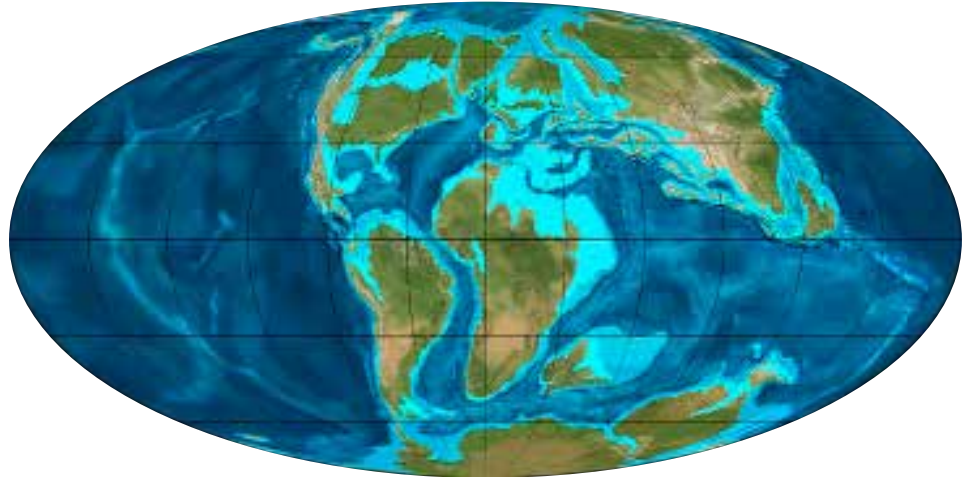
Aan het eind van het Trias en tijdens de Jura begon de Noordelijke Atlantische Oceaan open te

LEVEN IN DE WESTELIJKE INTERNE ZEE van Noord-Amerika, 70 miljoen jaar geleden. Enkele reusachtige zeeroofdieren, mosasauriërs, jagen op de Triceratops die zich zwemmend door de kustbaai haast naar het plantaardige voedsel aan de overkant.



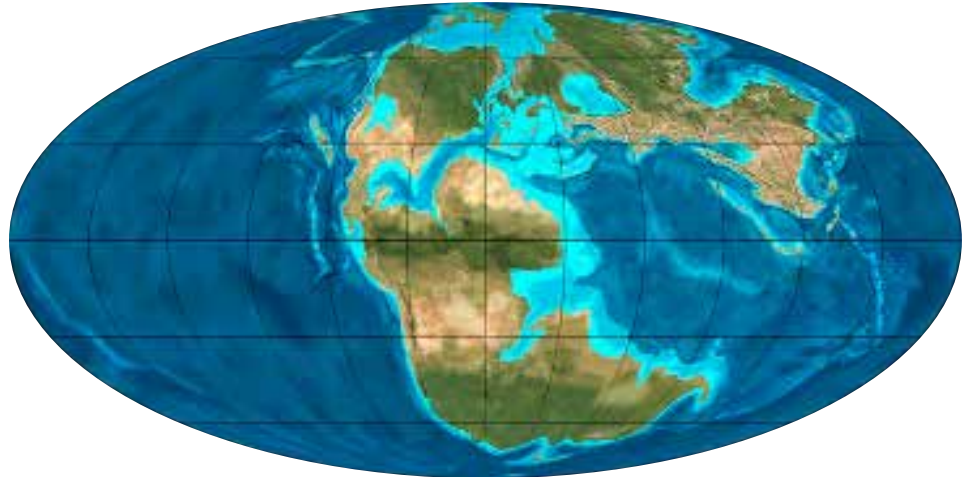
KRIJT

De continenten bleven van elkaar af bewegen tijdens het Krijt (145-66 miljoen jaar geleden) en de planten en dieren op elk continent gingen steeds sterker verschillen. De Zuidelijke Atlantische Oceaan opende zich en de grote zuidelijke continenten, waaronder Afrika, India, Australië en Antarctica, begonnen zich te verplaatsen naar hun huidige posities.



JURA

Tijdens de Jura (201-145 miljoen jaar geleden) begonnen sommige oceanen zich te openen, waarbij Pangea zich splitste en de grote Tethysoceaan rond de evenaar ontstond. Ook opende zich de Noordelijke Atlantische Oceaan, doordat Noord-Amerika en Europa zich met een snelheid van ongeveer een centimeter per jaar van elkaar verwijderden. Dinosauriërs en andere dieren konden nog steeds rondzwerfen door Afrika en Noord-Amerika, maar hun beschikbare landroutes raakten alsmat verder beperkt.



TRIAS

Tijdens het Trias (252-201 miljoen jaar geleden) waren alle continenten samengevoegd tot het supercontinent Pangea. Er waren geen poolkappen en de wereldwijde temperaturen waren in de zomer algemeen warm. Vroege dinosauriërs en andere landdieren en planten konden zich over het gehele landoppervlak verspreiden.

