

Hoe smeltende gletsjers onze dagen versnellen

Gletsjers smelten als gevolg van de klimaatverandering. Naast het feit dat hierdoor de zeespiegel stijgt, beïnvloedt dit ook een heel klein beetje de lengte van een dag. Hoe zit dat?



Afbeelding 1. De Khumbu Gletsjer Deze gletscher ligt tegen Mount Everest aan, en is met 4900-7600 meter hoogte 's werelds hoogst-liggende gletsjer. Net als andere gletsjers in de Himalaya is deze gletsjer hard aan het smelten. [Foto van Ben & Gab](#)

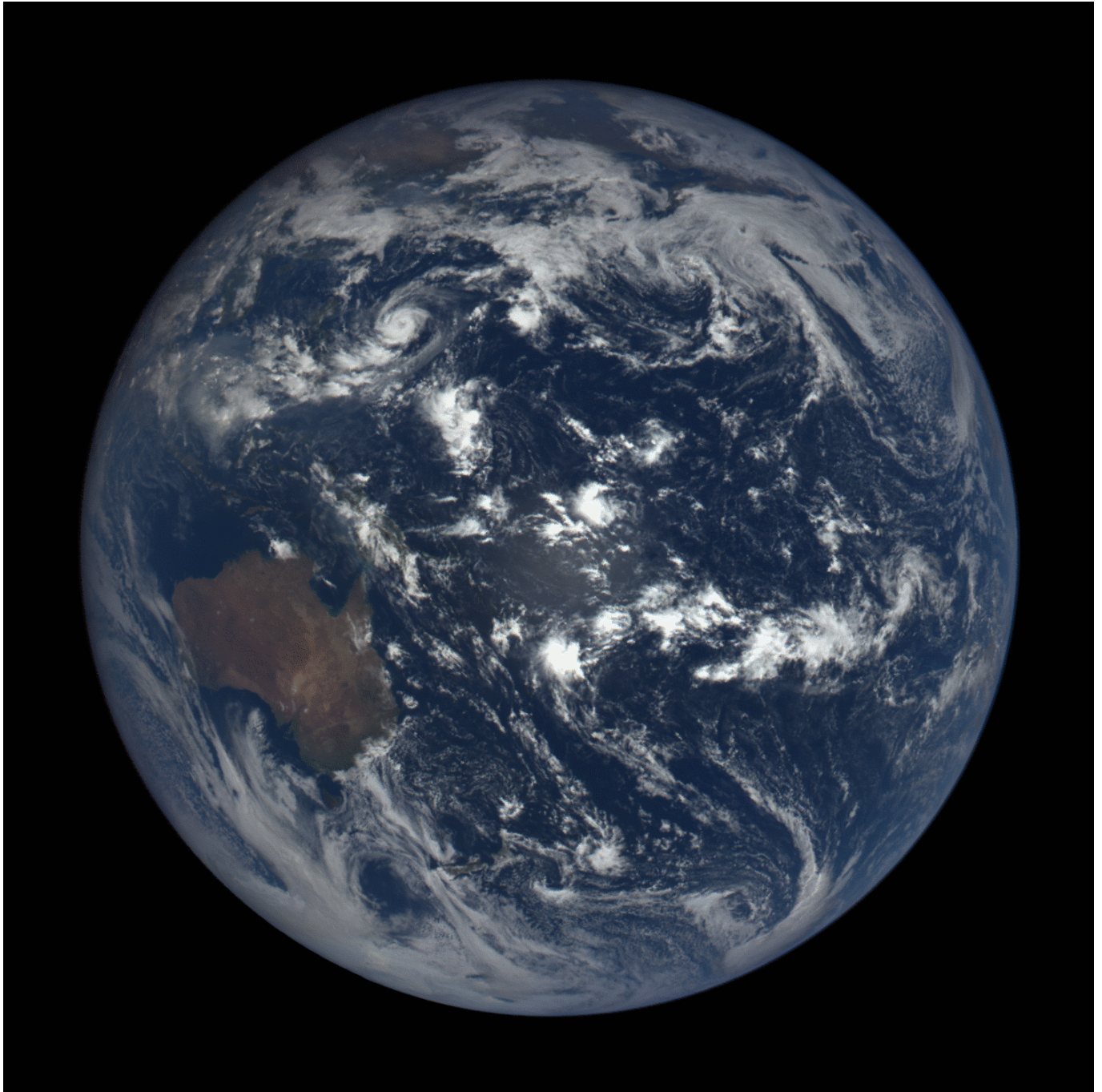
Waarnemingen van over de hele wereld laten zien dat gletsjers zich in de afgelopen decennia hebben teruggetrokken. Meestal liggen gletsjers op hoogte, dus het smeltwater stroomt makkelijk weg, in de richting van de zee. Smeltende gletsjers hebben zo naar schatting al [één tot drie centimeter bijgedragen aan de zeespiegelstijging](#).

Een stijging van paar centimeter klinkt misschien niet als veel, maar opgeteld over de hele oceaan is dit een heel groot volume aan water. En daar kan nog heel veel bijkomen. Neem bijvoorbeeld het landijs in de [Hindu Kush-Himalaya-regio](#). Op de Noord- en Zuidpool na heeft dit gebied de grootste concentratie bevroren water op aarde, en wordt het ook wel 's werelds 'Derde Pool' genoemd. Net als de andere polen warmt deze regio sneller op dan het wereldwijde gemiddelde, en kunnen we verwachten dat het gebied de komende decennia meer dan [een derde van zijn ijsmassa](#) zal verliezen.

We hebben geen tijd te verliezen om in actie te komen tegen klimaatverandering, dat is duidelijk. Daarom is het extra jammer dat al dit smeltende ijs onze dagen nét een stukje korter maakt dan ze anders zouden zijn.

De lengte van een dag

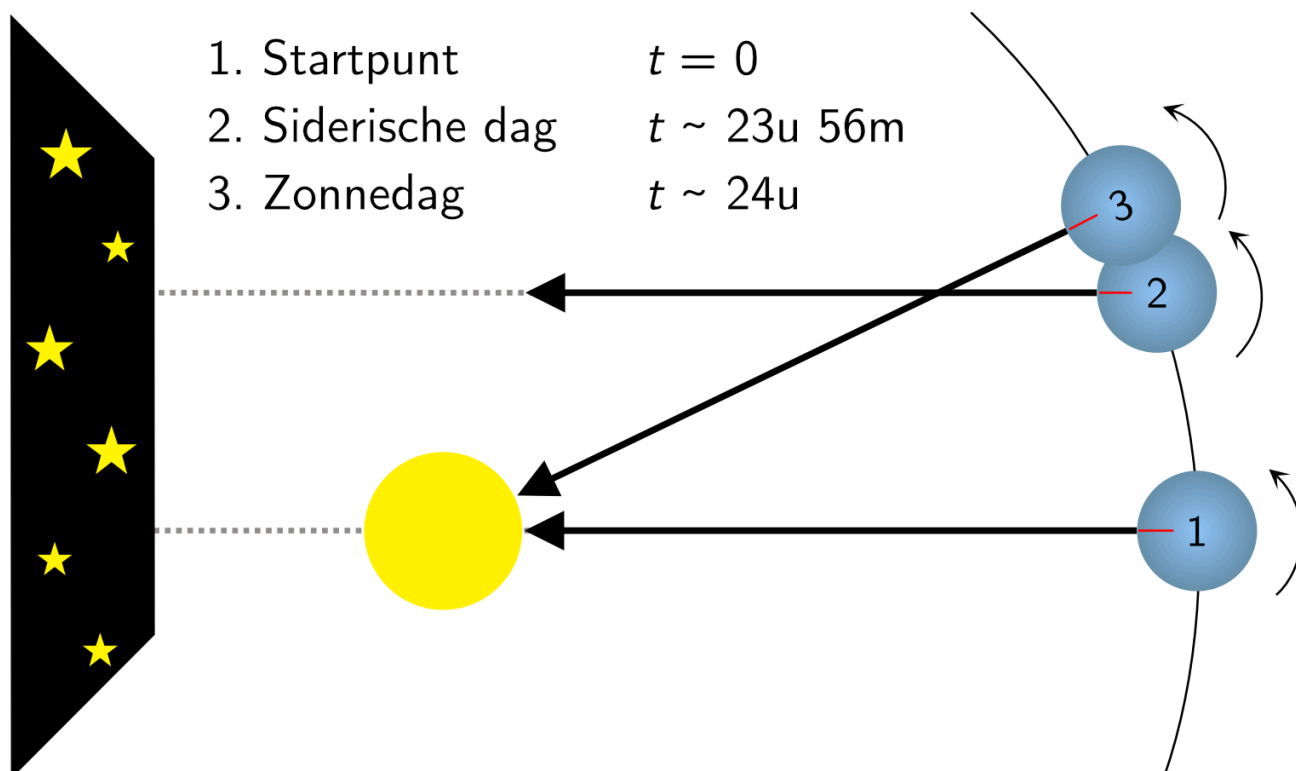
Hoewel het een alledaags woord is, zijn er verrassend veel verschillende definities van hoe lang een 'dag' is. Het eerste wat misschien in je opkomt is de tijd tussen zonsopgang en zonsondergang. Deze daglengte is afhankelijk van het seizoen en waar je je op aarde bevindt. Toevallig is morgen, 21 juni, de 'langste dag' van 2023 (ook wel de [zonnewende van juni](#) genoemd).



Afbeelding 2. De aarde draait rond De draai-as van de aarde is 23,4 graden gedraaid ten opzichte van het baanvlak van de aarde om de zon heen. De animatie bestaat uit 20 foto's van [NASA's Earth Polychromatic Imaging Camera](#), samengesteld door [Tdadamemd](#)

Het soort 'dag' waar ik het hier over wil hebben is echter de tijd die de aarde erover doet om één keer om haar as te draaien. Een 'zonnedag' verwijst naar de tijd die de aarde nodig heeft om één volledige rotatie te maken ten opzichte van de zon, gemeten van zonsopgang tot zonsopgang.

Deze 'dag' is ongeveer 24 uur lang, rond vier minuten langer dan een 'siderische dag' - de tijd tussen het weer op dezelfde plaats staan van de sterren ten opzichte van de aarde. Dit verschil komt doordat de aarde om de zon beweegt terwijl ze om haar eigen as draait, waardoor ze meer dan 360 graden moet draaien voordat de zon op dezelfde positie aan de hemel staat.



Afbeelding 3. Een zonnedag is langer dan een siderische dag Dit komt omdat de aarde verplaatst ten opzichte van de zon terwijl ze om haar eigen as draait. Afbeelding gebaseerd op diagram van [Gdr](#), aangepast door Jans Henke

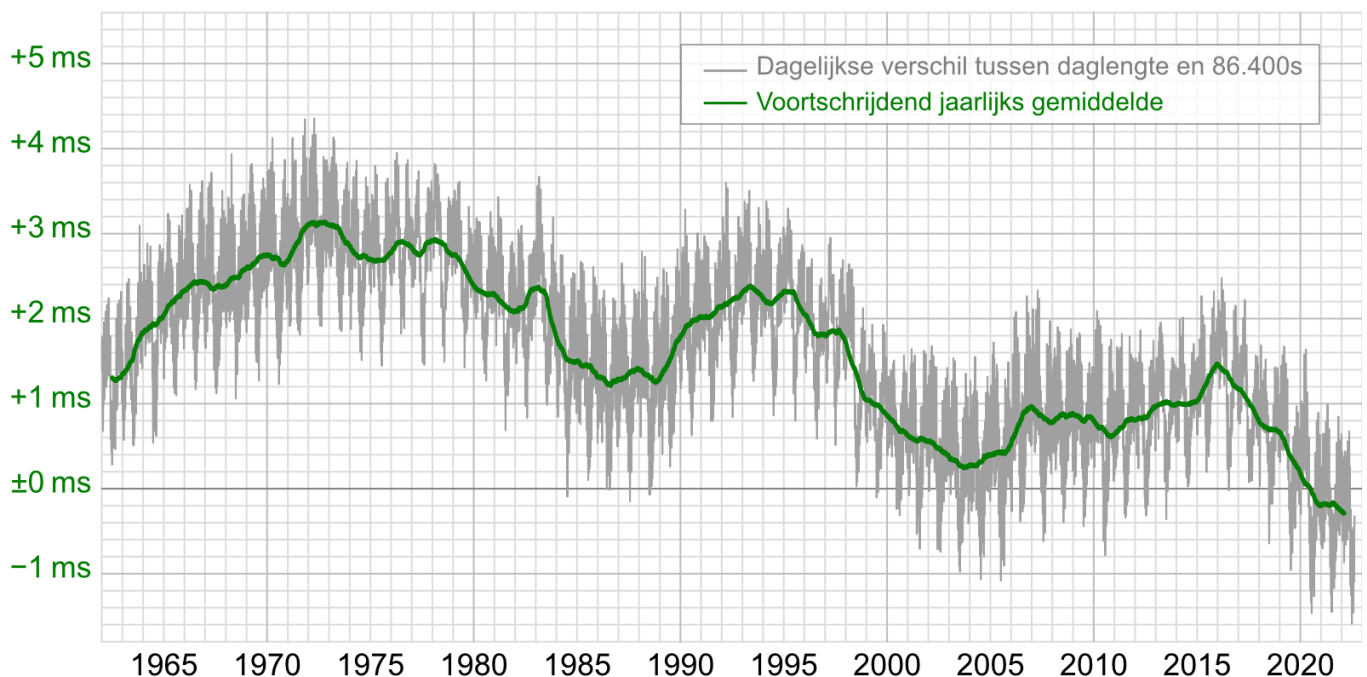
Los van astronomische bewegingen beschouwt je digitale klok een dag als precies 24 uur, ofwel 86.400 seconden. Dit is de lengte van één 'dag' volgens het [SI-eenhedenstelsel](#). Deze gestandaardiseerde tijdsduur blijft natuurlijk altijd constant. Zó constant, dat je hem zelfs kunt uitdrukken als precies 794.243.384.928.000 periodes van [trilling van de elektronschil van een cesium-133 atoom](#).

Dagen zijn niet even lang

Je merkt het waarschijnlijk niet, maar [de '24 uur' van een zonnedag varieert](#), nou ja, dagelijks. De snelheid waarmee de aarde om haar as draait wordt beïnvloed door interacties met andere hemellichamen zoals de maan, en haar interne structuur.

De maan vertraagt vanwege wrijving veroorzaakt door getijden – heel geleidelijk – de rotatie van de aarde. In de loop van een eeuw neemt de lengte van een dag toe met een paar milliseconden – waarbij 1 milliseconde gelijk is aan 0,001 seconde.

Over kortere tijdschalen schommelt de daglengte ook. De afgelopen jaren zijn de dagen juist wat korter geworden, tegen de langdurige trend in. Sinds we nauwkeurige [atoomklokken](#) gebruiken (dat begon in 1967) was de kortst gemeten dag vorig jaar: op 29 juni 2022 draaide de aarde rond in 1,59 milliseconden minder dan 24 uur.



Afbeelding 4. Dagen worden korter De grijze lijn laat zien dat de lengte van een zonnedag per dag verschilt. De groene lijn laat zien hoe de zonnedaglengte varieert per jaar. Deze data komt van het [International Earth Rotation and Reference Systems Service \(IERS\)](#). Grafiek van Jans Henke

Omdat we de invloed van andere hemellichamen goed begrijpen, komt deze recente versnelling waarschijnlijk door veranderingen in de verdeling van massa in en op de aarde. Smeltende gletsjers dragen hieraan bij. Wanneer gletsjers smelten en het smeltwater de zee instroomt, verplaatst de massa van dit water zich en komt het dichterbij de draai-as van de aarde. In het geval van gletsjers in hooggebergte zoals de Himalaya, kan het hoogteverschil oplopen tot duizenden meters.

Net als een draaiende kunstschaatser die haar armen naar zich toetrekt, gaat de aarde hier

net een beetje sneller van draaien, en worden dagen net een stukje korter. Dit heeft alles te maken met impulsmoment.

Het impulsmoment verandert niet

Het impulsmoment is een maat voor de hoeveelheid draaibeweging van een object. Die hangt voor een puntvormige massa af van drie dingen: de grootte van de draaiende massa, de afstand van deze massa tot de draai-as, en de hoeksnelheid van de massa (ω). Nu is de aarde geen puntvormige massa, maar je kunt onze planeet beschouwen als een grote collectie aan puntmassa's (m_i), met ieder een eigen afstand (r_i) naar de as. Zo kun je meenemen dat de aarde [op sommige plekken meer massa heeft dan op andere](#).

De wiskundige vergelijking voor het impulsmoment (L), als we ervan uitgaan dat alle puntmassa's dezelfde hoeksnelheid ω hebben, is

$$L = \omega \sum_i m_i r_i^2 = \omega I$$

De \sum_i in de vergelijking hierboven betekent dat je de som neemt over alle puntmassa's (gelabeld met i). I is het traagheidsmoment, oftewel de mate van verzet tegen verandering van hoeksnelheid van een object.

Wil je het impulsmoment veranderen? Dat kan, maar daarvoor moet je een moment (groveweg: een kracht in de draairichting) op de draaibeweging uitoefenen, net zoals je een gewone kracht moet uitoefenen om een bewegende massa van snelheid te veranderen.

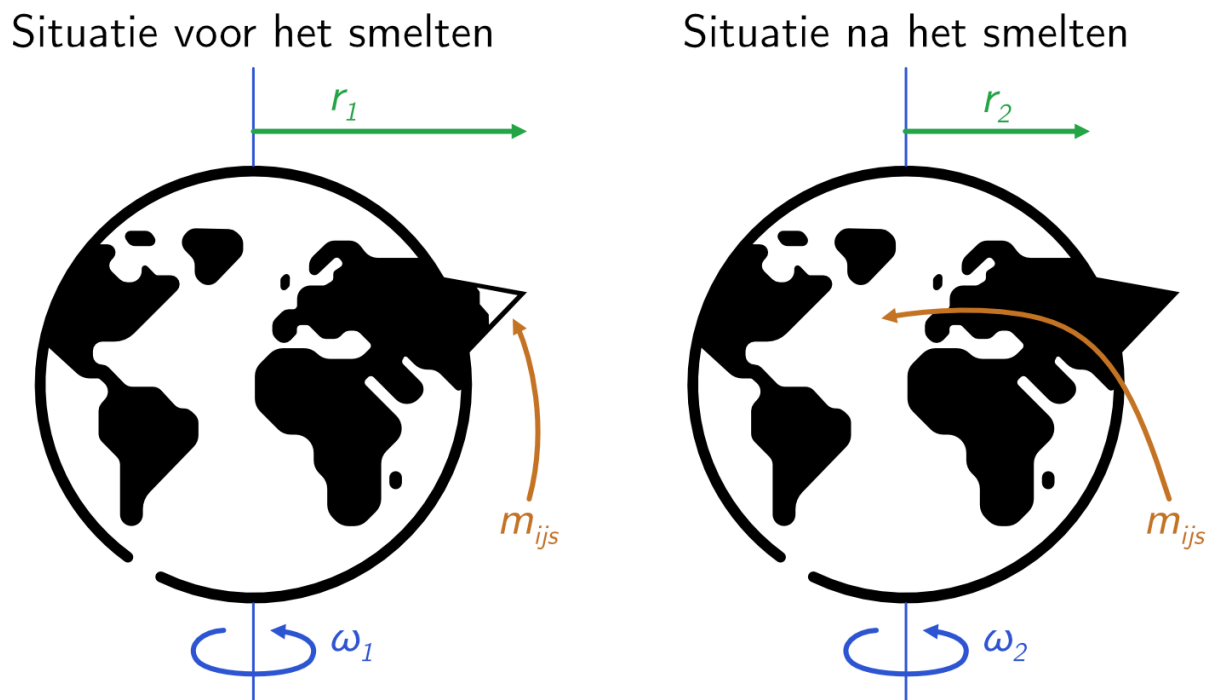
Het belangrijkste wat je moet onthouden van dit nogal technische verhaal is dit: wanneer er geen (extern) moment wordt uitgeoefend op een systeem, is het impulsmoment L altijd behouden. Dat is ook het geval voor de aarde. Verplaatst er dus massa dichter naar de draai-as van de aarde toe, dan krimpt het traagheidsmoment en moet de aarde sneller ronddraaien, ter compensatie.

Hoeveel korter worden dagen door het smelten van de Derde Pool?

Voor de liefhebbers: met enkele aannames is het ook mogelijk om uit te rekenen hoeveel korter een dag zal worden door het smelten van gletsjers in de Hindu Kush-Himayala-regio. Het impulsmoment van de aarde moet namelijk voor en na het smelten hetzelfde zijn:

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$$

We weten hoe snel de aarde nu ronddraait (ω_1), en kunnen de nieuwe hoeksnelheid ω_2 uitrekenen door beide kanten van de vergelijking te delen door het nieuwe traagheidsmoment van de aarde (I_2).



Afbeelding 5. Onze versimpelde berekening van het smelten van de Derde

Pool Door de verplaatsing van massa, zal de hoeksnelheid ω_2 nét iets groter zijn dan ω_1 , waardoor een dag net iets korter wordt. Deze tekening is natuurlijk niet op schaal en we maken hier veel vereenvoudingen, waaronder dat de kanteling van de draai-as van de aarde niet verandert. Afbeelding van Jans Henke

We kunnen ervan uitgaan dat – naast de verandering door het smelten van ijs – de rest van het traagheidsmoment van de aarde (I_{aarde}) hetzelfde blijft. Als we dan ook nog de vereenvoudiging maken dat al het smeltende ijs zich op één punt bevindt, dan krijgen we de volgende vergelijking:

$$(I_{aarde} + m_{ijs}r_1^2) \omega_1 = (I_{aarde} + m_{ijs}r_2^2) \omega_2$$

r_1 is hier de oude afstand van het ijs naar de draai-as van de aarde, en r_2 de nieuwe afstand

van het smeltwater naar de draai-as.

Het totale volume aan ijs in de Derde Pool [wordt geschat op 6000 km³](#). Als hier een derde van zou smelten, komt dit overeen met een gigantische massa van $1,8 \times 10^{15}$ kg. Ligt het ijs oorspronkelijk rond een hoogte van 5000 meter boven de zeespiegel, en eindigt het smeltwater in de zee bij dezelfde breedtegraad (30°N), dan zou een dag iets meer dan 0,12 miljoenste van een seconde (oftewel microseconde) korter worden.

De details van deze berekening staan in deze [Python code](#) - voel je vrij om hierin ook met de parameters te spelen.

Dit is natuurlijk maar een voorbeeld, vooral leuk om voor de lol uit te rekenen. Smeltende gletsjers zullen zoals we zien niet de belangrijkste reden zijn voor de bizar korte dagen die we de afgelopen jaren gehad hebben. Ter vergelijking: de verwoestende aardbeving van 2004 in de Indische Oceaan schaaftde (ook vanwege het verplaatsen van massa) [ongeveer 3 microseconden van onze dagen af](#).