

EERSTE RAMP SMELT VAN WEST-ANTARCTICA

Een reusachtige, maagdelijk witte plak ijs, dobberend in een baai. Dat is het bedrieglijk vriendelijke gezicht van wat klimaatexperts zien als een van de grootste bedreigingen voor de toestand op aarde. Niet voor niets heeft de zogenoemde Thwaitesgletsjer ook wel de bijnaam de 'doomsday glacier', de gletsjer des onheils. En raken wetenschappers die hem bezoeken soms rond-uit geëmotioneerd.

'Je ziet het ijs er letterlijk smelten. Je ziet het water er van de gletsjer stromen', aldus de Britse glacioloog Yixi Zheng van de universiteit van East-Anglia, onlangs in een podcast. 'Zeer aangrijpend. We stonden er in feite gewoon te huilen.'

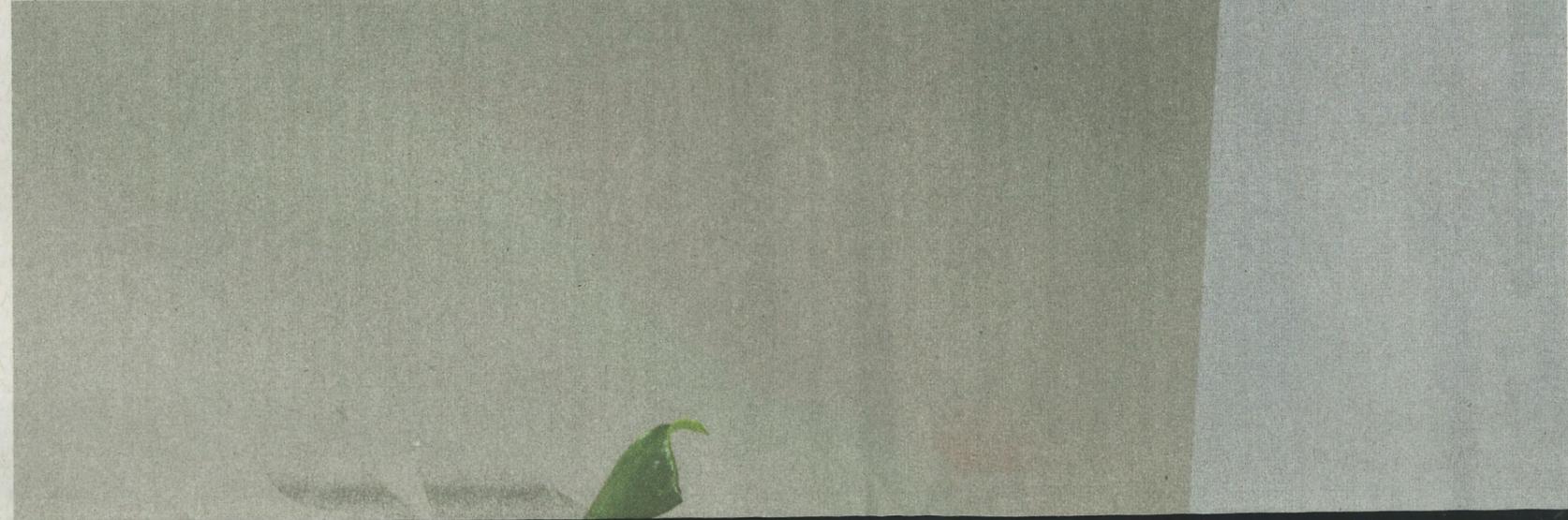
De Thwaitesgletsjer ligt dan ook op een gevoelige plek: voor de kust van westelijk Antarctica, op zo'n 2.500 kilometer van het uiterste puntje van Zuid-Amerika. De drijvende gletsjerpunt ligt als een soort blokade voor de opening van een baai. Mocht hij wegdooien, dan zou dat een kettingreactie teweeg kunnen brengen die niet meer is te keren. Een kettingreactie die uiteindelijk kan leiden tot een slordige 3 meter zeespiegelstijging wereldwijd.

 Klimaatwetenschap Kantelpunten

Geen weg terug

Meer dan 1,5 graad opwarming van de aarde is haast onvermijdelijk, bevestigde een VN-rapport deze week. Daarmee worden rampen reëel die het **klimaat** onomkeerbaar kunnen veranderen. Sommige zijn mogelijk al begonnen.

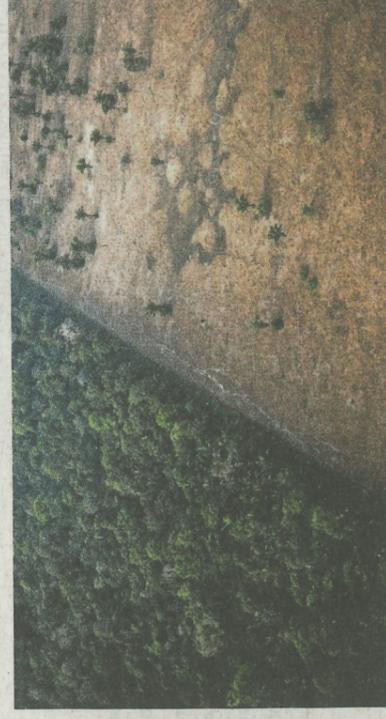
Door **Maarten Keulemans** Beeld **Eline van Strien**



Koraalverbleking in het rif bij de Genootschaps-eilanden van Frans Polynesië. Foto Getty



Bos en door branden verwoest land in het Amazonegebied in Brazilië. Foto Getty



De Thwaites-gletsjer in westelijk Antarctica, 'de gletsjer des onheils'. Foto ANP



voorbeeld. Een jaar of tien geleden namen wetenschappers nog aan dat West-Antarctica veilig zou zijn tot een wereldopwarming van een graad of 3,5. Nu schat men dat het omslagpunt eerder ergens tussen de 1 en de 3 graden ligt en boven de 1,5 graad zelfs waarschijnlijk wordt.

Niet best, want de aarde is, gerekend vanaf de 19de eeuw, 1,1 graad opgewarmd. Zo goed als zeker is dat we ergens rond het jaar 2030 de 1,5 graad passeren. Waarna we afkoersen op de 2 graden, ergens rond 2055. Daarmee is de West-Antarctische omwenteling een van de tien kantelpunten die volgens de huidige stand van kennis ineens reëel zijn geworden. Vijf kantelpunten zijn zelfs bij de huidige opwarming al denkbaar, zo schreef een internationale onderzoeksgroep onder leiding van de Britse hoogleraar klimaatverandering Timothy Lenton onlangs in *Science*. 'De aarde heeft voorbij de 1 graad opwarming misschien een veilige klimaattoestand verlaten', luidt de grimmige conclusie.

TWEDE RAMP SMELT VAN GROENLANDSE IJSKAP

'Het werd hoog tijd' om de kantelpunten van het klimaat opnieuw goed in kaart te brengen, vertelt milieuwetenschapper Arie Staal (Universiteit Utrecht), die meeschreef aan de nieuwe inventarisatie. Alweer veertien jaar geleden is het nu dat Lenton en collega's – toen nog zonder Staal – voor het eerst de kantelpunten in het systeem aanwezen, in een beroemd artikel dat sindsdien duizenden keren werd geciteerd. 'Maar tegenwoordig zijn we weer veel verder. Honderden onderzoeken zijn er verschenen', zegt Staal.

Zo zijn er kantelpunten bij gekomen of opgedeeld in meerdere deelkantelpunten, terwijl andere juist van de lijst verdwenen. Een keer een ijsvrije Noordpool in de zomer is niet langer een acuut omslagpunt waarvan daan er geen weg terug meer is, het wegblijven van de moessonregens in India lijkt van de baan, net als de abrupte ontgassing van het methaanijs op de zeebodems en ongeremde groei van het gat in de ozonlaag.

En de klok tikt. De gletsjer trekt zich terug met ongeveer een kilometer per jaar en is nog maar 30 kilometer verwijderd van de plek waar de gletsjertong loskomt van de zeebodem. Een cruciale zone, want heeft de gletsjer eenmaal dat punt bereikt, dan zal hij in steeds hoger tempo zeewaarts glijden – en met hem uiteindelijk de andere gletsjers die uitkomen op de ijsbaai waarin hij ligt.

'Als de Thwaitesgletsjer zich helemaal terugtrekt, zou hij een groot deel van West-Antarctica met zich meesleuren', aldus de vooraanstaande gletsjeronderzoeker Andrew Mackintosh van de Monash universiteit in Melbourne, dit najaar in *Nature Geoscience*. 'Uiteindelijk inke instorting is wellicht al onvermijdelijk', constateert een Europese onderzoeksgroep, in een evaluatie van al het beschikbare bewijs.

Je geeft er een duw tegen en er komt een proces op gang dat niet meer stopt: ziedaar de zogeheten 'kantelpunten'. In de klimaatwetenschap groeiden ze de afgelopen decennia uit tot een van de prominente onderzoeksdossiers. Omdat ze de mogelijkheid scheppen dat er relatief snel belangrijke veranderingen plaatsvinden, zegt aardwetenschapper Anna von der Heydt (Universiteit Utrecht). 'Veel kantelpunten spelen zich regionaal af, maar kunnen toch belangrijke, wereldwijde gevolgen hebben.' De West-Antarctische omslag is daarvan een

Rampen zoals de instorting van de West-Antarctische ijskap zijn geen gebeurtenissen zoals een vliegtuigcrash of een aanslag. Eerder voltrekken ze zich geleidelijk, onopgemerkt haast. Zo kan een kantelpunt in de praktijk bestaan uit meerdere kleinere kantelpuntjes, die zich een voor een voltrekken, als barsten in een muur die op doorbreken staat.

En verwacht ook als de muur doorbreekt geen extra uitzendingen van het journaal. Denk eerder aan een gestage toename in het aantal verontruste berichten, in kranten en op congressen waar wetenschappers hun waarnemingen bespreken. 'Totdat men het erover eens wordt dat het omslagpunt achter ons ligt: niets meer aan te doen. Een beetje zoals we de afgelopen jaren vrijwel onopgemerkt de magische grens van de 1 graad opwarming passeerden.

Schreeuwend behoefte hebben wetenschappers dan ook aan graadmeters, om beter zicht op het fenomeen te krijgen, vertelt Von der Heydt. 'Als zo'n kantelpunt wordt overschreden, kunnen we het dan terugzien, in bijvoorbeeld veranderingen in weerpatronen of de zeespiegel?' Dat is nu een heel actuele vraag.

Ook eenmaal voorbij het kantelpunt gaat het vaak tergend langzaam. Hoewel het woord 'instorting' anders doet vermoeden, staat ervoor de smelt van West-Antarctica nog altijd honderden tot duizenden jaren. Of neem de smelt van nog zo'n joekel, de ijskap van Groenland. Volgens een recente berekening, door Nasa-wetenschappers, zou bij de huidige uitstoot van broeikasgassen in het jaar 3000 tot driekwart van de ijskap verdwenen zijn.

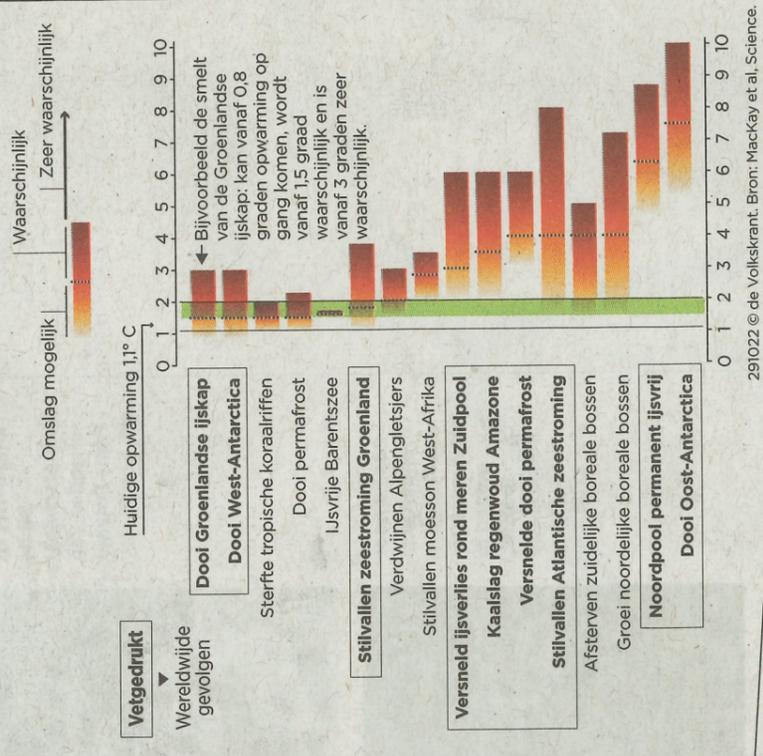
Dat lijkt dus mee te vallen – ware het niet dat er op Groenland genoeg ijs ligt voor ruim 7 meter zeespiegelstijging. En de grote, onomkeerbare dooi lijkt op sommige plaatsen al begonnen. Ook hier wordt het boven de 1,5 graad 'waarschijnlijk' dat er geen weg meer terug is, deduceren Lenton en Staal uit de onderzoeken van de afgelopen jaren.

In de kern ligt dat simpel. Zo hoog ligt het ijs op Groenland, dat het meeste boven de vorstgrens uitsteekt. Door de opwarming ligt de vorst-



Kantelpunten

Processen die bij opwarming van de aarde op hol kunnen slaan



29/10/22 © de Volkskrant. Bron: Mackay et al., Science.

grens steeds hoger, terwijl de ijskap zelf door smelt juist zakt. Alweer een proces dat zichzelf versterkt: hoe kleiner de ijskap, des te meer er beneden de vorstgrens komt en des te harder hij smelt.

Maar dat is de versimpelde voorstelling. 'Vergis je niet in hoe complex het systeem is', waarschuwt Michiel van den Broeke, hoogleraar polaire meteorologie in Utrecht. Eerder dan met een grote omslag zal de ijskap waarschijnlijk struikelend van kantelpunt naar kantelpunt steeds meer ten onder gaan, het ene gebied sneller dan het andere, gedirigeerd door processen als afkalvende gletsjers en binnensijpelend smeltwater dat gletsjers instabieler maakt.

Van den Broeke verwacht dat de daling van Groenland de komende eeuw niet eens zo veel effect zal hebben. Minstens zo belangrijk is de steeds hogere sneeuwgrens. Droge, witte sneeuwvlokken weerkaatsen zonlicht beter. Met als gevolg dat plekken waar de sneeuw wegsmelt, of waar tegenwoordig regen valt in plaats van sneeuw, meer warmte absorberen.

'De veranderingen gaan daar zo ontzettend snel', zegt Van den Broeke.

DERDE RAMP ONTGASSING PERMAFROST

Van sommige kantelpunten is niet zeker of ze wel kantelpunten zijn. Neem de dool van de permafrost van Siberië, Alaska en Canada, dat nu al zichtbare proces dat wegen laat verzakken en hele gebouwen doet instorten. Ontegenzeggelijk onomkeerbaar, want weg is weg. Maar is het ook een kantelpunt? In de zin van: duwtje ertegen en het versnelt zichzelf?

In zekere zin wel. Permafrost zit vol opgespaarde organische rommel, van honderdduizenden jaren aan dode planten en dieren. Bij dooi gaat dat rotten. Met als gevolg een mossige stank - en de uitstoot van in totaal ongeveer net zoveel koolstof als er nu al in de dampkring zit. Het gevolg dáár weer van: meer opwarming.

Belangrijk zijn ook de kleinere kantelpunten in het systeem zelf. Zo zijn er plekken waar de dooi zichzelf op gang houdt, bijvoorbeeld doordat voorheen stijfveroren hellingen en rivierbeddingen steeds verder afbrokelen, of doordat er grote smeltgaten vallen in de bodem, die vollopen met water.

Verwacht dus ook hier eerder een periode waarin de dooi met horten en stoten verloopt dan een grote omwenteling, denken wetenschappers. Dat proces is in feite al begonnen, zal naar schatting zo'n honderd tot driehonderd jaar aanhouden en komt voorbij de 1,5 graad opwarming pas echt op stoom, volgens Lentons analyse. Mocht de aarde nog verder opwarmen, dan wacht er tusschen de 3 en 6 graden opwarming nog een kantelpunt, dat de nekslag kan zijn voor de meeste permafrost op aarde. Ondergronds kunnen er dan droge, warme plekken ontstaan, zogeheten 'compostbommen', waar de dooi zichzelf op gang houdt. Bij rotting komt immers warmte vrij, die ertoe kan leiden dat er meer permafrost dooit. Met als gevolg: nog meer rotting - tot de laatste prehistorische mammoet is ontdooid en de ijskoude bodem van Siberië en Alaska is veranderd in grasland, bos en hier en daar een moeras.

VIERDE RAMP DOOD VAN TROPISCHE KORALEN

Helemaal onomstreden zijn ze niet, die kantelpunten. Neem de dood van de tropische koralen, een kantelpunt dat wordt verwacht tussen de 1 en de 2 graden.

Bij opwarming kunnen koralen soms uitbleken, als de kleurrijke micro-algen die er normaal in leven tijdelijk wegtrekken. Het gevaar is dat de koralen, voordat ze zich kunnen herstellen, overwoekerd raken door slijmerige en vlezig groene algen. Na een koraalverbleking in de Seychellen in 1998 bleken er van de 21 koraalriffen die wetenschappers volgden er negen zo'n 'regimeverandering' te ondergaan: een kantelpunt waarna er geen weg terug meer is.

Dramatisch natuurlijk, maar de vraag is of het wel eindelijk is om het te vergelijken met fenomenen zoals de dooi van Groenland. De teloorgang van tropische koralen zou immers wel de lokale bevolking en ecologie verstoren, maar verandert niets aan het wereldklimaat. Los nog van de vraag hoe definitief de teloorgang is: er zijn ook klimaatbestendiger koralen.

De wetenschap gebruikt die kantelpunten gewoon als ordinair drukmiddel, om het klimaat hoger op de politieke agenda's te krijgen, is een van de veelgehoorde



Al die kantelpunten zijn zeker geen aanleiding om dan maar niets meer te doen, zegt **Arie Staal**, milieuwetenschapper aan de Universiteit Utrecht.

kritieken op de kantelpunkunde. De omslagpunten zouden in die optiek vooral een stok achter de deur zijn: pas op, anders maken we de 'slappende reuzen' wakker, zoals kantelpunten soms ook wel worden genoemd.

Inderdaad is enig activisme Lentons groep niet vreemd. 'Ons overzicht geeft sterk wetenschappelijk bewijs voor urgente actie om klimaatverandering tegen te gaan', luidt de hoofdconclusie. En bij de wetenschappelijke analyse zit een uitgebreid betoog over wat er allemaal dreigt te gebeuren, 'als de gematigde ambitie van het huidige klimaatbeleid niet wordt verbeterd'.

Maar de motivatie voor het in kaart brengen van kantelpunten is toch echt wetenschappelijk, bezweert Staal. 'Kantelpunten betekenen non-lineariteit in het systeem. Een beetje opwarming kan dan tot extra opwarming leiden, of meer zeepiegelstijging. Het is nuttig om die effecten in kaart te brengen. Anders kom je voor verrassingen te staan.'

Koralen zijn inderdaad 'een beetje een vreemde eend in de bijt', erkent hij. 'Dit zal niet terugkoppelen naar het klimaat zelf, dat is waar. Maar het kantelpunt hoort wat ons betreft toch op de lijst, omdat ook dit een belangrijke omganging is die wordt veroorzaakt door klimaatverandering. Er is geen weg terug, ook niet als je de temperatuur weer zou herstellen.'

Kritiek uit heel andere hoek, die van het klimaatactivisme, is er ook. Al die kantelpunten, de moed zinkt je in de schoenen, luidt die kritiek: mensen zouden hun dadendrang erdoor kunnen verliezen en wegzinken in onverschilligheid.

Ook dat ziet Staal anders. 'Er is zeker geen aanleiding om de handen in de lucht te gooien en niets meer te doen. Elke tiende graad opwarming die je kunt voorkomen vermindert de ernst van klimaatverandering en het risico op kantelpunten.'

Wat klimaatkantelpunten bestaán, is overigens onomstreden. Het schoolvoorbeeld, zegt Van der Heydt, is een reeks scholsgewijze opwarmingen die wetenschappers aanduiden als de zogeheten 'Dansgaard-Oeschger-events', tijdens de laatste ijstijd, zo'n 100-tot 30 duizend jaar geleden. In die periode schoot de temperatuur nu en dan op eens omhoog, soms in slechts tientallen jaren tijd. Een duidelijke aanwijzing dat er iets 'omviel' in het klimaatsysteem.

VIJFDE RAMP WEGVALLEN ATLANTISCHE ZEESTROOM

Zeer losjes werd de ramp al eens verteld in de Hollywoodfilm *The Day After Tomorrow* (2004): het stilstaan van de Atlantische

zeestroming, die warmte vanaf de evenaar naar onder meer Europa en Noord-Ame-



rika brengt. Dat zal niet, zoals in de film, uitmonden in een plotsse ijstijd, maar wel degelijk leiden tot een regionale temperatuurdaling, van wel 4 tot 10 graden - die overigens deels weer wordt gecompenseerd door de opwarming. In Europa zouden we warempel weer strengere winters krijgen. Met Elfstedentochten en schaatspartijen op de meren en grote rivieren.

Hoewel de ramp deze eeuw naar verwachting nog niet aan de orde is, kan de eerste stap ervan al wél voor de deur staan. Daarbij gaat het om een zeestroming tussen Groenland, IJsland en Ierland die bekendstaat onder de naam de 'subpolaire ring'. Modelstudies die de toekomst nabootsen op de computer voorzien dat de ring vanaf ongeveer 1,1 graad opwarming kan stilvallen. Met als gevolg: 2 tot 3 graden afkoeling in onze regio, een verschuiving van de weerpatronen en meer noodweer en strenge winters bij ons.

En van de vragen waarover wetenschappers speculeren, is of er ook zoiets bestaat als een 'wereldkantelpunt', een temperatuur waarboven het complete wereldklimaat in een andere toestand schiet. Aanwijzingen daarvoor zien wetenschappers voorlopig niet. 'In de geschiedenis van de aarde zien we in elk geval geen episodische waarin het systeem opeens helemaal is weggelopen', zegt Van der Heydt.

ZESDE RAMP DOOD VAN DE BOSSEN

Vanaf ongeveer 1,5 graad opwarming blijkt in de computermodellen ook de ontbossing op hol te slaan - ronduit 'waarschijnlijk' wordt dat vanaf 4 graden. Eerst hoog in het noorden, in de uitgestrekte wouden van Canada, Alaska en Siberië.

Door kevers, uitdroging en bosbranden zal steeds meer van het boreale bos veranderen in grasland. Waardoor het droger wordt, zodat er weer meer bos afsterft, enzovoorts. Een kantelpunt dat uiteindelijk gek genoeg zal leiden tot klimaatverkoeling, omdat boreale bossen meer warmte vasthouden dan open grasland.

Een grotere ramp dreigt intussen in de Amazone. Ook daar kan de ontbossing regionaal onomkeerbaar op hol slaan, waarschuwt Staal, als het verdwijnende regenwoud leidt tot droogte, die op zijn beurt weer verdere afsterfing in gang zet. 'Dat wil niet zeggen dat de hele Amazone zichzelf oprolt', benadrukt hij. 'Maar het zou goed kunnen dat delen van de Amazone in grasland veranderen, door droogte, bosbranden en menselijke kap, die allemaal op elkaar inwerken.'

Intussen komen er ook bossen bij door de opwarming. In het hoge noorden kan er een kantelpunt optreden dat leidt tot snelle uitbreiding van de taiga naar de poolcirkel. Meer warmte en dooi geven de boomgroei meer kans, waarna de bossen zelf voor meer warmte zorgen, waardoor er weer meer boomgroei mogelijk is.

DIE ENE MEEVALLER DUURZAME KANTELPUNTEN

Gelukkig is er, bij alle ellende, ook hoop. Misschien zitten er ook kantelpunten in de manier waarop mensen duurzame technieken omarmen, stelt een nieuwe, modieuze denkriching in de meer maatschappelijk gerichte klimaatwetenschap.

Neem auto's, gaf de naar Schotland uitgeweken Nederlandse hoogleraar systeeminnovatie Frank Geels vorige maand als voorbeeld op een congres in Exeter. Wereldwijd werd de opmars van de elektrische auto aangejaagd doordat batterijen goedkoper werden. Het gevolg: meer investeringen van fabrikanten, dalende prijzen - en nog meer elektrische auto's. Rond 2016 was er een omslagpunt, schetst Geels, 'door zowel meer momentum van de nieuwe innovatie zelf als door de destabilisatie van de oude toestand'.

Dat is een wel erg vrije interpretatie van de harde natuurkunde waarop kantelpunten uiteindelijk zijn gebaseerd, vinden critici. Al was het maar omdat mensen zoals zonnepanelen, windmolens en duurzame investeringen zich niet gedragen als natuurkundige objecten zoals ijskappen of zeestromingen. En al was het maar omdat iemand het systeem toch een duw zal moeten geven, naar het kantelpunt.

Maar toch: zo bezien klinken kantelpunten ineens wel een stuk vriendelijker. Geen naderende storm, eerder bakens van hoop. ●