

≡ Menu



1900 Wetenschappers zeggen 'Klimaatverandering niet veroorzaakt door CO2' – De echte milieubeweging is gekaapt

29/06/2025

artikelen, klimaat

0



Miljoenen mensen wereldwijd maken zich zorgen over klimaatverandering en geloven dat er sprake is van een klimaatnoodtoestand. Decennialang hebben de Verenigde Naties ons verteld dat de uitstoot van koolstofdioxide (CO2) door menselijke activiteiten rampzalige klimaatverandering veroorzaakt. In 2018 waarschuwde een rapport van het IPCC van de VN zelfs dat 'we nog 12 jaar hebben om de aarde te redden', wat miljoenen mensen wereldwijd in paniek bracht, [schrijft Mark Keenan](#).

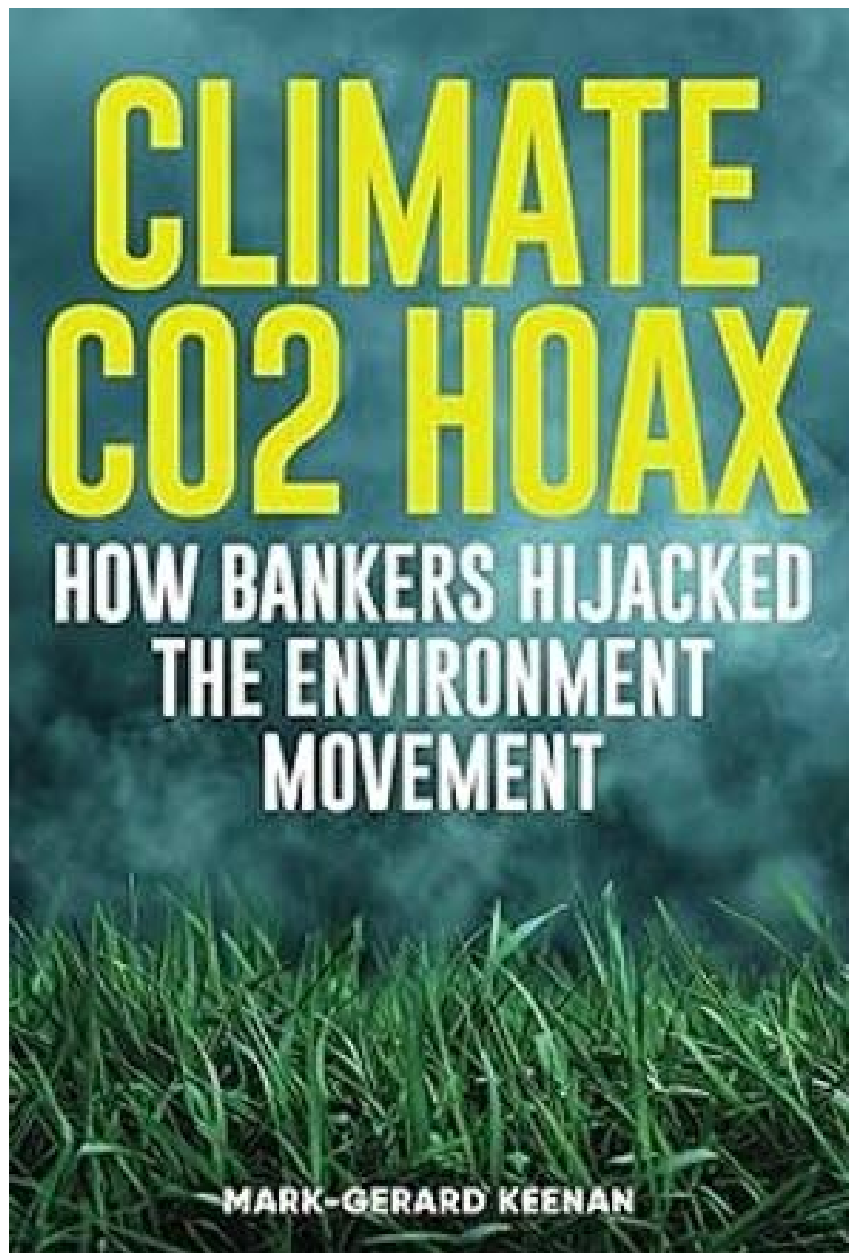
Vijfendertig jaar geleden richtten het Milieuprogramma van de Verenigde Naties (UNEP) en de (Wereld Meteorologische Organisatie) WMO het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) op om wetenschappelijk advies te geven over het complexe onderwerp klimaatverandering. Het panel werd gevraagd om, op basis van beschikbare wetenschappelijke informatie, een rapport op te stellen over alle aspecten die relevant zijn voor klimaatverandering en de gevolgen ervan, en om realistische responsstrategieën te formuleren. Het eerste evaluatierapport van het IPCC diende als basis voor de onderhandelingen over het Raamverdrag van de Verenigde Naties inzake klimaatverandering (UNFCCC). Overheden wereldwijd hebben dit verdrag ondertekend en daarmee een aanzienlijke impact gehad op het leven van de wereldbevolking.

Veel wetenschappers zijn het echter [niet eens met de door de VN gepromote theorie over door de mens veroorzaakte klimaatverandering](#), en veel mensen wereldwijd zijn verward over het onderwerp of kennen de volledige feiten niet. Staat u mij toe u wat informatie te geven waar u mogelijk niet van op de hoogte bent.

1. Slechts weinig mensen verdiepen zich daadwerkelijk in de data; ze accepteren simpelweg de IPCC-rapporten van de VN. Toch hebben veel zeer respectabele en vooraanstaande wetenschappers precies dat gedaan en ontdekt dat de door de VN gepromote theorie over door de mens veroorzaakte klimaatverandering ernstige gebreken vertoont. Weet u dat bijna 2000 van 's werelds meest vooraanstaande klimaatwetenschappers en -professionals in meer dan 30 landen een verklaring hebben ondertekend waarin staat dat er geen sprake is van een klimaatnoodtoestand en dat ze de beweringen van de Verenigde Naties met betrekking tot door de mens veroorzaakte klimaatverandering hebben weerlegd? Zie <https://clintel.org/world-climate-declaration/>

2. Ik heb deze verklaring ook ondertekend. Hoe kan ik een dergelijke bewering doen? Ik heb ervaring in het veld als voormalig wetenschapper bij het Britse ministerie van Energie en Klimaatverandering; en als voormalig medewerker bij het Milieuagentschap van de Verenigde Naties, waar ik verantwoordelijk was voor het beheer van het Pollution Release and Transfer Register Protocol, een multinationale milieuovereenkomst die betrekking heeft op de monitoring van verontreinigende stoffen in land, lucht en water wereldwijd. Er bestaat echte vervuiling, maar het probleem is niet CO2. De industriële globalisering heeft veel stoffen voortgebracht die als verontreinigende stof zijn geregistreerd, waaronder duizenden nieuwe door de mens gemaakte chemische verbindingen, toxines, nanodeeltjes en genetisch gemodificeerde organismen (ggo's) die in strijd zijn met het wetenschappelijke voorzorgsbeginnsel.

Een boek dat ik heb gepubliceerd, biedt ook ruimschoots bewijs en getuigenissen van gerenommeerde wetenschappers dat er geen sprake is van een 'door CO2 veroorzaakte' klimaatnoodtoestand. Het boek getiteld '[Climate CO2 Hoax – How Bankers Hijacked the Environment Movement](#)' is hier verkrijgbaar op Amazon.



3. Vervolgens wil ik de website van het **Irish Climate Science Forum (ICSF)** noemen, een waardevolle bron opgericht door Jim O'Brien. Ik ben het ICSF dankbaar voor hun uitstekende werk om de wetenschappelijke tekortkomingen in het klimaatverhaal van de VN aan het licht te brengen. Het ICSF biedt een uitgebreide lezingenreeks aan van gerenommeerde internationale wetenschappers die veel bewijs, analyses en gegevens leveren die de beweringen van de VN tegenspreken. De lezingen zijn beschikbaar op: <https://www.icsf.ie/lecture-series>

De wetenschappelijke visie van de ICSF komt overeen met die van de stichting Climate Intelligence (CLINTEL), die actief is op het gebied van klimaatverandering en klimaatbeleid. CLINTEL werd in 2019 opgericht door emeritus hoogleraar geofysica Guus Berkhout en wetenschapsjournalist Marcel Crok. Vanuit deze gemeenschappelijke overtuiging hebben 20 Ierse wetenschappers en verschillende ICSF-leden de CLINTEL World Climate Declaration "*There is No Climate Emergency*" (zie <https://clintel.org/ireland/>) ondertekend.

4. De realiteit is dat het klimaat altijd al aan het veranderen is geweest, dat het klimaat op natuurlijke wijze en langzaam verandert in zijn eigen cyclus, en dat CO2-uitstoot (en methaanuitstoot van vee, zoals koeien) geen dominante factoren zijn in klimaatverandering. In wezen heeft de onophoudelijke klimaathysterie, geproduceerd door de VN, de overheid en de media, met betrekking tot CO2-uitstoot (en ook methaanuitstoot van koeien) geen wetenschappelijke basis. Het lijkt mij dat het VN-narratief wederom een voorbeeld is van nepwetenschap die wordt gebruikt om een verborgen agenda te bevorderen; zie ook het boek [Godless Fake Science](#).

In werkelijkheid ben ik tegen 'echte' vervuiling, en de realiteit is dat de CO2-component geen vervuilende stof is. Helaas [rijden veel verkeerd geïnformeerde milieuactivisten rond in elektrische auto's](#), waarvan de productie van batterijen enorme hoeveelheden 'echte' vervuiling heeft veroorzaakt via de industriële winning en verwerking van zeldzame aardmetalen, en de daaruit voortvloeiende vervuiling van land, lucht en watersystemen. Zie ook dit [artikel](#). Merk op dat de VN zich niet richt op de duizenden echte vervuilende stoffen die de industriële globalisering van bedrijven creëert.

5. De conclusies van de Climate Intelligence Foundation omvatten het volgende:

Er is geen sprake van een klimaatnoodtoestand. Daarom is er geen reden tot paniek en alarm.

Zowel natuurlijke als antropogene factoren veroorzaken opwarming : het geologische archief onthult dat het klimaat op aarde al sinds de planeet bestaat, met natuurlijke koude en warme perioden. De Kleine IJstijd eindigde pas in 1850. Het is dan ook geen verrassing dat we nu een periode van opwarming doormaken.

De opwarming verloopt veel langzamer dan voorspeld : de aarde is aanzienlijk minder opgewarmd dan het IPCC voorspelde op basis van gemodelleerde antropogene invloeden. De kloof tussen de werkelijke wereld en de gemodelleerde wereld vertelt ons dat we klimaatverandering nog lang niet begrijpen.

Klimaatbeleid is gebaseerd op ontoereikende modellen: klimaatmodellen hebben veel tekortkomingen en zijn verre van plausibel als mondiaal beleidsinstrument. Ze overdrijven het effect van broeikasgassen zoals CO2. Bovendien negeren ze het feit dat het verrijken van de atmosfeer met CO2 gunstig is.

CO2 is plantenvoedsel, de basis van al het leven op aarde : CO2 is geen vervuilende stof. Het is essentieel voor al het leven op aarde. Fotosynthese is een zegen. Meer CO2 is gunstig voor de natuur en vergroent de aarde: extra CO2 in de lucht heeft de groei van de wereldwijde plantenbiomassa bevorderd. Het is ook goed voor de landbouw en verhoogt wereldwijd de opbrengst van gewassen.

De opwarming van de aarde heeft niet geleid tot meer natuurrampen : Er zijn geen statistische bewijzen dat de opwarming van de aarde orkanen, overstromingen, droogtes en vergelijkbare natuurrampen erger maakt of vaker voorkomt.

Het lijkt mij ook dat verschillende rampen die aan "CO2-geïnduceerde klimaatverandering" worden toegeschreven, helemaal niets van dien aard zijn. Ik zie de volgende artikelen:

[Koolstof is niet de vijand. Stop chemtrails!](#)

[Probleem. Reactie. Oplossing. Zijn bosbranden meer dan alleen door CO2 veroorzaakte klimaatverandering?](#)

[Ze branden van binnenuit." Robert Brame over de ongewone eigenschappen van de branden in Pacific Palisades](#)

6. In bovenstaand [boek](#) verwijs ik naar het relevante werk en de wetenschappelijke presentaties van enkele van 's werelds meest vooraanstaande klimaatwetenschappers. **Laten we eens kijken naar een deel van het werk en de getuigenissen van deze wetenschappers:**

"Een diepgewortelde, gebrekkige logica, verduisterd door sluwe en meedogenloze propaganda, stelde een coalitie van machtige belangengroepen in staat om bijna iedereen ter wereld ervan te overtuigen dat CO2 uit de menselijke industrie een gevaarlijke, plantenvernietigende gifstof was. Het zal de geschiedenis ingaan als de grootste massawaanzin in de wereldgeschiedenis – dat CO2, de levenskracht van planten, een tijdlang als een dodelijk gif werd beschouwd." – Professor Richard Lindzen, emeritus hoogleraar atmosferische wetenschappen aan het MIT.

Dr. Nils-Axel Möner was voormalig commissievoorzitter van het Internationaal Panel voor Klimaatverandering van de VN (IPCC). Hij was een expert die betrokken was bij de beoordeling van de eerste IPCC-documenten. Hij zegt dat het IPCC van de VN de mensheid misleidt over klimaatverandering. Hij probeerde te waarschuwen dat het IPCC leugens en valse informatie publiceerde die onvermijdelijk in diskrediet zouden worden gebracht. In een interview verklaarde hij: "Dit is het gevaarlijkste en meest angstaanjagende deel ervan. Hoe een lobbygroep, zoals het IPCC, de hele wereld voor de gek heeft kunnen houden. Deze georganiseerde en bedrieglijke krachten zijn gevaarlijk" en uitte zijn verbazing "dat de VN en regeringen kinderen op VN-klimaattoppen zouden laten paraderen als propagandamateriaal". Hij stelt:

"De zonneactiviteit is de dominante factor in het klimaat en niet CO2... er klopt iets niet in de hypothese die CO2 de schuld geeft... Deze werd meer dan 100 jaar geleden gelanceerd en vrijwel onmiddellijk toonden uitmuntende natuurkundigen aan dat de hypothese niet werkte.

Ik was voorzitter van de enige internationale commissie voor zeespiegelveranderingen en als zodanig werd ik verkozen tot expert-recensent voor het hoofdstuk over zeespiegelstijging (van het VN-IPPC). Het werd geschreven door 38 personen en niemand was een zeespiegexpert... Ik was geschokt door de lage kwaliteit; het leek wel een studentenpaper... Ik heb het doorgenomen en aangetoond dat het fout was, en fout, en fout... De wetenschappelijke waarheid staat aan de kant van de sceptici... Ik ken duizenden hooggeplaatste wetenschappers over de hele wereld die het erover eens zijn dat NEE, CO2 niet de drijvende kracht is en dat alles overdreven is.

In de natuurkunde weet 80 tot 90% van de natuurkundigen dat de CO2-hypothese onjuist is... Metrologen geloven hier natuurlijk in, omdat het hun eigen vakgebied is – ze leven ervan.... Ik vermoed dat de achter-de-schermen-promotors... een verborgen agenda hebben... Het is een

fantastische manier om de belastingen te controleren en mensen te controleren” – Dr. Nils-Axel Mörner, voormalig voorzitter van de commissie van het IPPC van de VN en voormalig hoofd van de afdeling Paleo-Geofysica en Geodynamica in Stockholm.

Een andere klimaatwetenschapper met onberispelijke referenties die de ranglijst heeft doorbroken, is **Dr. Mototaka Nakamura**. Hij beweert: “Onze modellen zijn Mickey Mouse-bespottingen van de echte wereld.” **Dr. Nakamura behaalde een doctorstitel in de wetenschappen aan MIT en specialiseerde zich bijna 25 jaar lang in abnormaal weer en klimaatverandering aan prestigieuze instituten zoals MIT, Georgia Institute of Technology, NASA, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, JAMSTEC en Duke University.** Dr. Nakamura legt uit waarom de databasis die de wetenschap over opwarming van de aarde ondersteunt “onbetrouwbaar” is en niet betrouwbaar is, en dat: “De gemiddelde wereldtemperaturen van vóór 1980 gebaseerd zijn op onbetrouwbare data.”

Professor John R. Christy, directeur Atmosferische en Aardwetenschappen aan de Universiteit van Alabama, heeft een gedetailleerde analyse van klimaatgegevens gemaakt. Ik vat de belangrijkste punten uit zijn analyse hieronder samen:

De gevestigde theorie over de opwarming van de aarde geeft een onjuist beeld van de impact van extra broeikasgassen; het weer dat mensen het meest treft, wordt niet extremer of gevaarlijker; de temperaturen waren in de jaren dertig hoger dan nu; tussen 1895 en 2015 vonden 14 van de 15 jaren met de hoogste hittereclen plaats vóór 1960; de temperaturen die we nu in 2021 ervaren, waren hetzelfde als 120 jaar geleden...

Het aantal grote tornado's bedroeg tussen 1954 en 1986 gemiddeld 56 per jaar, maar tussen 1987 en 2020 was het gemiddelde slechts 34 per jaar; tussen 1895 en 2015 was er gemiddeld geen verandering in het aantal zeer natte dagen per maand en geen verandering in het aantal zeer droge dagen per maand, en de 20 droogste maanden waren vóór 1988. Tussen 1950 en 2019 is het percentage landoppervlak dat te maken heeft met droogte wereldwijd niet toegenomen – de trend is vlak; het aantal bosbranden in Noord-Amerika tussen 1600 en 2000 is aanzienlijk afgenomen. De zeespiegel steeg 8000 jaar lang met 12,5 cm per decennium, daarna stabiliseerde de zeespiegel zich en nu stijgt hij nog maar met 2,5 cm per decennium. Je zorgen maken over een zeespiegelstijging van 30 cm in een decennium is belachelijk. Tijdens een orkaan krijgt de oostkust van de VS in 6 uur tijd een stijging van 6 meter, dus een stijging van 30 cm is makkelijk te verwerken!

In een lezing getiteld *De imaginaire klimaatcrisis – hoe kunnen we de boodschap veranderen?*, beschikbaar op de website van het Irish Climate Science Forum, zie Endnote [ii], vat Richard L. Lindzen, emeritus hoogleraar atmosferische wetenschappen aan het MIT, de strijd tegen de klimaathysterie als volgt samen:

“In de lange geschiedenis van de aarde is er vrijwel geen verband geweest tussen klimaat en CO2... de paleoklimaatgegevens tonen ondubbelzinnig aan dat CO2 geen controleknop is... het verhaal is absurd... het geeft regeringen de macht om de energiesector te controleren... al ongeveer 33 jaar strijden velen van ons tegen de klimaathysterie... Er waren belangrijkere leiders die er bezwaar tegen maakten, zij waren helaas ouder en inmiddels waren de meesten van hen dood...

Elites zijn altijd op zoek naar manieren om hun deugdzaamheid te promoten en hun gezag te laten gelden. Ze geloven dat ze het recht hebben om wetenschap te zien als een bron van gezag in plaats van als een proces, en ze proberen de wetenschap, op een gepaste en onjuiste manier vereenvoudigd, toe te eigenen als basis voor hun beweging.

"CO2... het is geen vervuilende stof... het is het product van alle plantenademhaling, het is essentieel voor plantenleven en fotosynthese... als je ooit een hefboom zou willen hebben om alles te controleren, van uitademing tot autorijden, dan zou dit een droom zijn. Het heeft dus een fundamentele aantrekkingskracht op [de bureaucratische mentaliteit](#)." – Prof. Richard Lindzen, emeritus hoogleraar atmosferische wetenschappen aan het MIT

Patrick Moore, medeoprichter van Greenpeace en zeven jaar lang voorzitter van Greenpeace Canada, zegt:

"De hele klimaatcrisis is niet alleen nepnieuws, het is nepwetenschap... Klimaatverandering bestaat natuurlijk al. Het gebeurt al sinds het begin der tijden, maar het is niet gevaarlijk en het wordt niet door mensen veroorzaakt... Klimaatverandering is een volkomen natuurlijk fenomeen en deze moderne opwarming begon eigenlijk zo'n 300 jaar geleden, toen de kleine ijstijd ten einde liep. Er is niets om bang voor te zijn en het enige wat ze doen is angst zaaien. De meeste wetenschappers die beweren dat het een crisis is, ontvangen een permanente overheidssubsidie.

*Ik was een van de oprichters van Greenpeace... halverwege de jaren 80... **werden we gekaapt door extreem-links, dat Greenpeace in feite van een op wetenschap gebaseerde organisatie naar een organisatie op basis van sensatiezucht, desinformatie en angst bracht** ... je hebt geen plan om 8 miljard mensen te voeden zonder fossiele brandstoffen of om het voedsel naar de steden te krijgen..." – Patrick Moore, medeoprichter van Greenpeace*

Professor William Happer van Princeton University, voormalig directeur Wetenschappen bij het Amerikaanse ministerie van Energie, is ook een fervent tegenstander van de mythe van door de mens veroorzaakte opwarming van de aarde. Hij stelt: "Meer CO2 is goed voor de aarde."

7. Het IPCC van de VN kiest selectief gegevens, gebruikt gebrekkige modellen en scenario's die op geen enkele manier verband houden met de echte wereld

De voorspellingen van de VN over de klimaatcrisis zijn niet gebaseerd op fysiek bewijs, maar op complexe computermodellen. Het modelleringsproces moet worden gedecodeerd en geanalyseerd om vast te stellen of de modellen geldig en nauwkeurig zijn, of dat ze duidelijke tekortkomingen vertonen. De overgrote meerderheid van wetenschappers, economen, politici en het grote publiek is er simpelweg van uitgegaan dat de modellen van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) van de VN accuraat zijn. Zeer weinig mensen hebben de tijd of de vaardigheden om deze modellen te analyseren, laat staan om ze daadwerkelijk te betwisten. Niettemin waren er veel senior en zeer vooraanstaande wetenschappers die precies dat deden – ze beweerden dat het VN-narratief onjuist was en dat er geen sprake was van een klimaatnoodtoestand. Hun stemmen zijn overstemd door een enorm, door geld gedreven, politiek en media-establishment van het geglobaliseerde 'systeem'. Het [uiterst belangrijke werk van enkele van deze gerenommeerde wetenschappers](#) wordt in het bovengenoemde [boek](#) aangehaald.

"De computermodellen maken systematisch dramatische fouten... ze zijn allemaal geparametriseerd... vervalst... de modellen werken echt niet" – Patrick J. Michaels, directeur van het Cato Institute Center for the Study of Science

Dr. Roger Pielke Jr. van de Universiteit van Colorado heeft een gedetailleerde wetenschappelijke review en analyse uitgevoerd van het AR6-rapport van het IPCC van de VN, zie eindnoot [iii]. Hij beschrijft dat het IPCC, met betrekking tot klimaatmodellering, de modellen loskoppelde van de sociaaleconomische plausibiliteit. Bij het opstellen van de modellen sloeg het IPCC deze essentiële stap over en sprong direct over op scenario's met stralingsforcering, in plaats van eerst integratieve beoordelingsmodellen (IAM's) te voltooien. Deze scenario's zijn dus niet gebaseerd op voltooide IAM's. Dit heeft een groot deel van de klimaatmodellering op het verkeerde spoor gezet. Ik citeer de volgende punten uit de analyse van Dr. Pielke:

"De vier IPCC-scenario's kwamen uit een grote familie van modellen, dus in plaats van de modellering af te splitsen van sociaaleconomische aannames, hadden de modellen de aannames al vervalst en ingebakken, omdat ze die aannames moesten hebben om de vereiste radiatieve forcering te produceren (om een gewenst 'crisisscenario' voor het klimaat te produceren).

In een andere noodlottige beslissing kwamen de 4 representatieve concentratiepaden (RCP's) voort uit 4 verschillende IAM's, wat een enorme vergissing was. Deze modellen staan volledig los van elkaar, maar de indruk is gewekt dat ze tot een gemeenschappelijke set behoren, die alleen verschillen in hun stralingsforcering. Dit was een enorme vergissing. Bovendien is niemand verantwoordelijk voor het bepalen of deze scenario's plausibel zijn. De klimaatgemeenschap heeft besloten welke scenario's prioriteit zouden krijgen en heeft de twee meest onwaarschijnlijke scenario's gekozen! Er zijn duizenden klimaataannames, maar slechts 8 tot 12 daarvan zijn momenteel beschikbaar voor klimaatonderzoek. Het IPCC-rapport stelt zelfs dat "er geen enkele waarschijnlijkheid wordt gehecht aan de scenario's in dit rapport". De waarschijnlijkheid wordt als laag beschouwd, geven ze toe – dit is een ongelooflijke bekentenis van het IPCC.

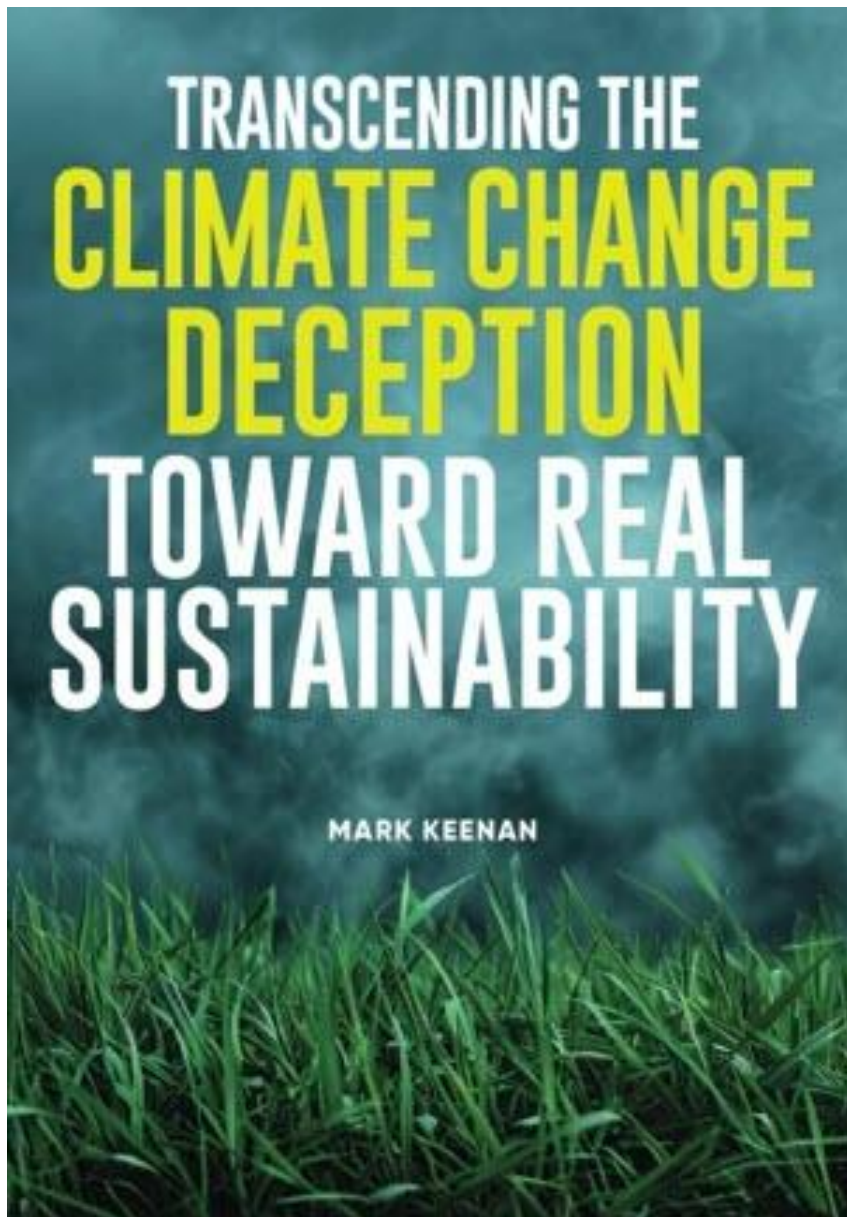
Deze extreem onwaarschijnlijke scenario's domineren de literatuur en het IPCC-rapport; het IPCC-rapport is daarom bevooroordeeld. De kern van de zaak is dat er enorme verwarring heerst. Richard Moss van het IPCC waarschuwde dat RCP 8.5 niet als referentie voor de andere RCP's gebruikt mocht worden, maar wereldwijd misbruiken 5800 wetenschappelijke artikelen het op die manier... Het hele proces is ernstig gebrekkig... De IPCC-scenario's vertegenwoordigen niets dat ook maar enigszins in de buurt komt van de werkelijkheid. De klimaatwetenschap heeft een enorm probleem! Het IPCC gebruikt momenteel RCP 8.5 als het 'business as usual'-scenario, maar RCP 8.5 is een wild fantasieland en heeft totaal niets te maken met de huidige realiteit... de klimaatwetenschap kampt met een wetenschappelijke integriteitscrisis." – Dr. Roger Pielke Jr., Universiteit van Colorado

8. De financialisering van de gehele wereldeconomie is nu gebaseerd op een levensgevaarlijke strategie van 'netto-nul'-uitstoot van broeikasgassen.

De [VN Agenda 2030](#) en de doelstelling van het Klimaatakkoord van Parijs om de CO2-uitstoot tot 2030 met 7% per jaar te verminderen, is in feite een plan dat ogenschijnlijk de huidige, op fossiele brandstoffen gebaseerde mechanismen van de industriële economie voor voedsel, energie en goederen die het leven en overleven van de mens mogelijk maken, zou uitschakelen. Toch is het verhaal behoorlijk hypocriet, want de

productie van groene energie-infrastructuur en de winning van zeldzame aardmetalen voor batterijen voor elektrische voertuigen is en blijft waarschijnlijk zeer fossiel-intensief. De globalisering heeft ertoe geleid dat een groot deel van de mensheid grotendeels afhankelijk is geworden van de transnationale industriële economie in plaats van van traditionele, meer zelfvoorzienende lokale/regionale economieën. Daarom moet men zich afvragen waar dit allemaal toe gaat leiden als de stekker er echt uit wordt getrokken? Bijna allemaal lijken we vast te zitten in, en afhankelijk te zijn geworden van, het huidige economische paradigma van de globalisering. Een systeem dat is gemanipuleerd door schuldgeld dat uit het niets is gecreëerd; gecreëerd en gecontroleerd door private megabanken en geldmeesters achter de schermen; en die [scenario's van economische opleving, ineenstorting en reddingsoperaties kunnen veroorzaken die een negatief effect hebben op de bevolking](#).

Opgemerkt moet worden dat dezezelfde politieke, overheids- en bedrijfsmachten decennialang de globalisering van de bedrijfseconomie en de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen ongebreideld hebben bevorderd. Tegelijkertijd hebben ze de financiering, oprichting of overheidssteun van meer zelfvoorzienende lokale gemeenschappen/regio's en lokale coöperaties actief belemmerd. Het grootste deel van de wereldbevolking werd daardoor afhankelijk van het geglobaliseerde, op fossiele brandstoffen gebaseerde systeem. Ik onderzoek dit onderwerp in de boeken [Demonic Economics and the Tricks of the Bankers](#) en [Transcending the Climate Change Deception Toward Real Sustainability](#).



Nul CO2-uitstoot betekent in essentie het stopzetten van de huidige systemen van industriële landbouw, transport, goederenproductie, elektriciteitsproductie, enz. Dit zou verschrikkelijke gevolgen kunnen hebben, met name in gebieden en landen die momenteel niet in staat zijn veel voedsel te produceren. In Ierland waren de [misleide groenen in de regering](#) van plan de kolencentrale Moneypoint te sluiten, in naam van het verminderen van de CO2-uitstoot. Toen de elektriciteitsprijs echter steeg en de opkomst van de zogenaamde 'groene energie' begon te verdampen als de Ierse ochtendmist, schrapte de regering dit plan in 2022 en besloot in plaats daarvan de centrale om te bouwen tot een oliegestookte installatie. De krant The Irish Times meldde:

Gezien de groeiende bezorgdheid over de energievoorzieningszekerheid in de staat, is de regering niet in staat om Moneypoint in de nabije toekomst te ontmantelen als brandstofcentrale. De Ierse regering heeft in 2022 bevestigd dat Moneypoint vanaf 2023 zal overschakelen op olieproductie.

De zogenaamde 'groene economie' (want die is in werkelijkheid niet milieuvriendelijk) en VN-Agenda 2030 leiden tot toenemende energiearmoede en een verminderde energieonafhankelijkheid voor de massa, terwijl ze tegelijkertijd biljoenen dollars genereren voor de achterliggende megabanken. "Stop met het verbranden

van kolen en houtblokken, want dat veroorzaakt klimaatverandering, weet je wel", vertelde mijn misleide buurvrouw me vorig jaar, nadat ze haar houtkachel had weggegooid en zonnepanelen had geïnstalleerd. Een typische winterstorm in Ierland vorige maand zorgde ervoor dat duizenden mensen bijna een week lang zonder elektriciteit of verwarming zaten, bibberend en verlangend naar een houtkachel, terwijl hun zonnepanelen in de winter nauwelijks elektriciteit produceerden.

9. Centrale bankiers financieren en controleren volledig de voortgang van het wereldwijde klimaatveranderingsproject

De beslissing om de CO2-uitstoot, een van de belangrijkste verbindingen voor het voortbestaan van al het leven, drastisch te verminderen, is geen toeval. Het is belangrijk om te benadrukken dat het de centrale bankiers van de wereld zijn die achter deze beslissing zitten en de voortgang van het wereldwijde project 'de strijd tegen door de mens veroorzaakte klimaatverandering' volledig financieren en controleren.

Dit project behelst een poging om de activiteiten van de gehele wereldbevolking te decarboniseren. In december 2015 richtte de Bank voor Internationale Betalingen (BIS) de Task Force on Climate-related Financial Disclosure (TCFD) op, die wereldwijd \$ 118 biljoen aan activa vertegenwoordigt. In essentie betekent dit dat de financialisering van de gehele wereldeconomie gebaseerd is op het behalen van onzinnige doelen zoals "netto-nul broeikasgasemissies". De TCFD bestaat uit sleutelfiguren van 's werelds grootste banken en vermogensbeheerders, waaronder JP Morgan Chase, BlackRock, Barclays Bank, HSBC, de Chinese ICBC-bank, Tata Steel, ENI Oil, Dow Chemical en meer.

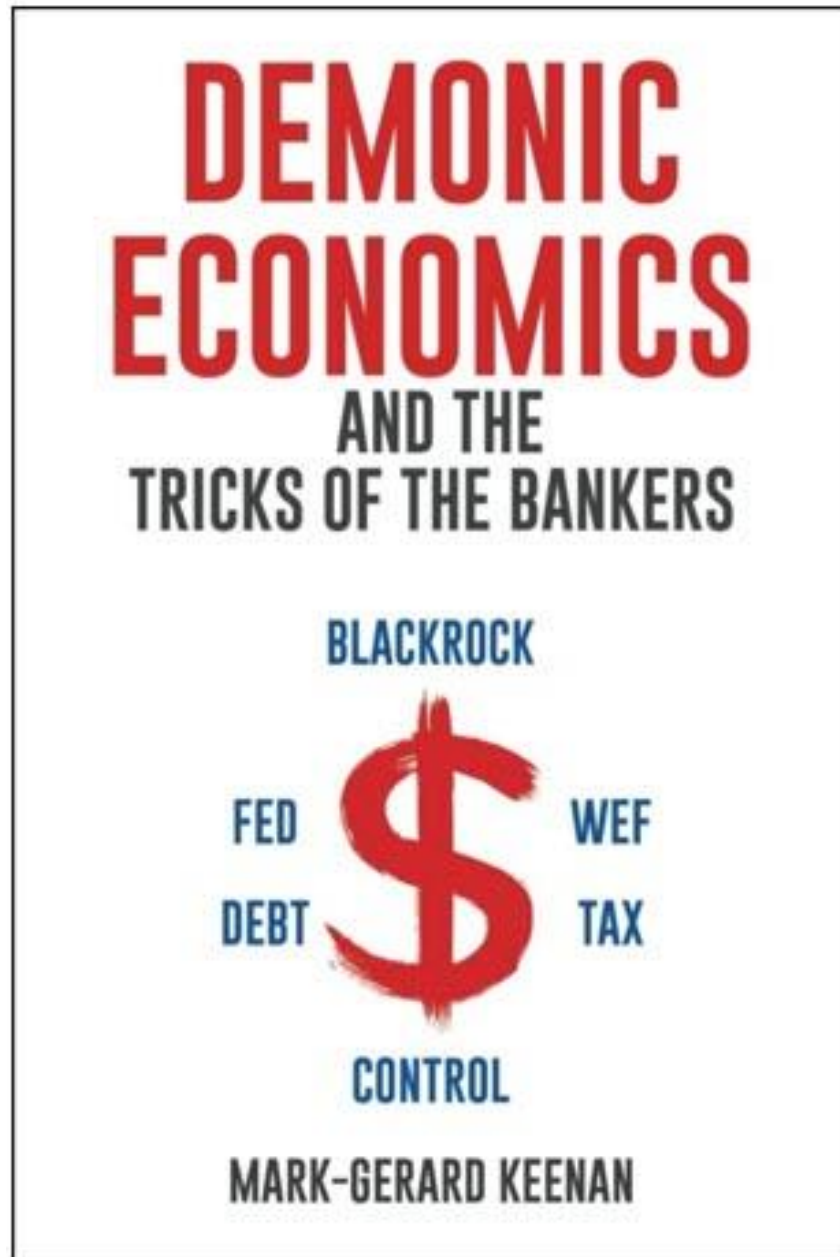
Het feit dat 's werelds grootste banken en vermogensbeheerders, waaronder BlackRock, Goldman Sachs, de VN, de Wereldbank, de Bank of England en andere centrale banken van de BIS, allemaal samenwerken om een vage, wiskundig onzinnige 'groene' economie te promoten, is geen toeval. Er speelt nog een andere agenda mee die niets met milieuactivisme te maken heeft. Wanneer de grootste banken, bedrijven en instellingen ter wereld zich allemaal verenigen om een klimaatveranderingsagenda te promoten die geen enkel bewijs heeft, zie je dat er achter de schermen nog een andere belangrijke agenda gaande is. Deze agenda probeert de gewone mensen te overtuigen om enorme offers te brengen onder het emotionele mom van "het redden van onze planeet". Terwijl bedrijven en banken voortdurend enorme winsten maken, implementeren politieke instellingen wereldwijde technocratische controlesystemen onder de vlag van het bestrijden van en zich aanpassen aan de zogenaamde door de mens veroorzaakte klimaatverandering.

"De banden tussen 's werelds grootste financiële groepen, centrale banken en internationale bedrijven en de huidige drang naar een radicale klimaatstrategie om de fossiele-brandstofeconomie te verlaten ten gunste van een vage, onverklaarbare groene economie, lijken minder te draaien om oprechte zorg om van onze planeet een schone en gezonde leefomgeving te maken. Het is eerder een agenda, nauw verbonden met de VN-Agenda 2030 voor een "duurzame" economie, en met het ontwikkelen van letterlijk biljoenen dollars aan nieuwe welvaart voor de wereldwijde banken en financiële giganten die de echte machthebbers vormen..." – F. William Engdahl, strategisch risicoconsultant en docent

In 2010 zei dr. Otmar Edenhofer, hoofd van Werkgroep 3 van het VN-IPCC, tegen een interviewer: "...men moet duidelijk stellen dat we de facto de wereldrijdheid herverdelen door middel van klimaatbeleid. We

moeten ons bevrijden van de illusie dat internationaal klimaatbeleid milieubeleid is. Dit heeft bijna niets meer met milieubeleid te maken.”

Om beter te begrijpen wat er ‘achter de schermen’ van de [klimaathoax](#) en de VN/WEF-agenda schuilgaat, is het ook nuttig om te kijken naar wat er in de decennia daarvoor is gebeurd. Het is belangrijk om de implicaties te begrijpen van de wereldwijde fraude met fractionele reserve-schuldgeldbankieren en het subtiele systeem van schuldslavernij dat al decennialang bestaat. Als u de website van de Wereldbank bekijkt, zult u zien dat vrijwel elk land op aarde enorme schulden heeft. Schulden aan wie, vraagt u zich misschien af? Het antwoord is: aan particuliere megabanken. Zie ook het boek [Demonic Economics and the Tricks of the Bankers](#).



Decennialang hebben de zogenaamde bank- en bedrijfselites volledige controle gehad over de bron van geldschepping en de toewijzing ervan, via het schuldgeldsysteem, en zijn daardoor in staat geweest om het hele wereldwijde spectrum van industrie, media, overheid, onderwijs, ideologische suprematie en oorlog te

financieren, en in toenemende mate te controleren en te manipuleren, naar eigen inzicht, agenda en voordeel. Mayer Amschel Rothschild (bankier) zou naar verluidt hebben gezegd:

“Geef mij de controle over de geldhoeveelheid van een land en het kan mij niet schelen wie de wetten maakt.”

10. Centrale bankiers hebben in 1992 de echte milieubeweging gekaapt en een nep-klimaatveranderingsagenda gecreëerd

Psychopaten kunnen elke ideologie gebruiken en deze van binnenuit veranderen in iets dat uiteindelijk volledig afwijkt van het oorspronkelijke doel. Ondertussen blijven de oorspronkelijke aanhangers en voorstanders nastreven wat zij als de oorspronkelijke ideologie beschouwen, maar worden ze geleidelijk aan [slechts pionnen in de agenda van een egoïstische elite](#). Helaas is dit de afgelopen decennia precies wat er in de milieubeweging is gebeurd.

Klokkenluider George Hunt was officieel gastheer op een belangrijke milieuconferentie in Denver, Colorado in 1987. Hij stelt dat David Rockefeller, Baron Edmund De Rothschild, de Amerikaanse minister van Buitenlandse Zaken Baker, Maurice Strong, een VN-functionaris en medewerker van de Rockefeller- en Rothschild-trusts, EPA-directeur William Ruckleshaus, VN-secretaris-generaal in Genève MacNeill, samen met functionarissen van de Wereldbank en het IMF aanwezig waren bij deze bijeenkomst. Hunt was verrast om al deze rijke elitebankiers op de bijeenkomst te zien en vroeg zich af wat ze daar op een milieucongres deden.

In een [video-opname die hier beschikbaar is](#), leverde Hunt later belangrijk bewijs uit de documenten van de Conferentie van de Verenigde Naties over Milieu en Ontwikkeling (UNCED), Rio de Janeiro, Brazilië, 3-14 juni 1992. Deze conferentie was de bekende VN-Earth Summit van 1992 en werd geleid door de UNCED. Volgens Hunt zette de VN via de Earth Summit een net, een agenda, op om de macht over de aarde en haar bevolking in eigen handen te leggen. Het wereldwijde private-bankingkartel bestaat uit dezelfde ultrarijke bankfamilies die een belangrijke rol speelden bij de oprichting van de Wereldbank, de VN en andere internationale instellingen [na de Tweede Wereldoorlog](#). Hun politieke cohorten omvatten Stalin (de leider van een [brutaal communistisch regime in de USSR](#) dat genocide pleegde op miljoenen mensen), de Britse premier Churchill en de Amerikaanse president Roosevelt. Hunt verwijst naar deze bankfamilies en hun financiële en internationale institutionele netwerken als:

“Dezelfde wereldorde die derdewereldlanden ertoe aanzette geld te lenen en enorme schulden op te bouwen... en die opzettelijk oorlog en schulden creëerde om samenlevingen onder hun controle te krijgen. De wereldorde-aanhangers zijn geen aardige groep mensen...” – George Hunt, klokkenluider, sprekend over de VN- Earth Summit van 1992

Als gevolg van de VN-Earth Summit lijkt het erop dat de echte milieubeweging, die zich daadwerkelijk bekommerde om de werkelijke vervuiling van land, lucht en water, politiek gekaapt is door machtige politieke en financiële belangen met een andere agenda. Maurice Strong, een VN-functionaris en medewerker van de Rockefeller- en Rothschild-trusts, riep in 1972 het eerste UNCED-congres bijeen in

Stockholm, Zweden. Twintig jaar later was hij de voorzitter en secretaris-generaal van UNCED. Hunt leverde ook videobewijs van de vierde UNCED-wereldcongresbijeenkomst in 1987, waarin een internationale investeringsbankier verklaarde:

Ik stel daarom voor dat dit niet via een democratisch proces wordt verkocht, dat te lang zou duren en veel te veel geld zou vergen om het kanonnenvoer dat helaas de aarde bevolkt, op te leiden. We moeten een bijna elitair programma hanteren...

De decreten die leidden tot de VN-top van 1992 werden dus gedicteerd zonder debat of mogelijkheid tot afwijkende meningen en zouden nationale wetten vervangen. Volgens Hunt werden de decreten tot stand gebracht door bankier Edmund de Rothschild, die deze belangrijke decreten zonder debat of aanvechting in de VN-resoluties van 1992 wist te krijgen. Hunt beweert dat hem door de voorzitter van de vergadering de mogelijkheid werd ontnomen om Rothschilds opmerkingen openlijk te betwisten; en dat de Rothschild Bank van Genève de kern vormt van de World Conservation Bank en dat de rijke elite via de private aandelenemissie van de Rothschilds in de bank is geïntegreerd.

11. Ondanks de bedrieglijke en valse milieufaçade die de VN heeft aangenomen, heeft zij de afgelopen 70 jaar de milieuvernietigende industriële mondialisering volledig onderschreven.

Het klimaatbeleid van de VN, gericht op duurzame ontwikkeling en een groene economie, is de afgelopen 30 jaar niets meer dan een [wereldwijde marketingtruc](#) die op tragische wijze heeft geleid tot een hersenspoeling van twee generaties jongeren. Zij begrijpen niet wat [de VN nu eigenlijk inhoudt en wie ze echt dienen](#).

Dit huidige geglobaliseerde systeem houdt in dat overtuigingen en nepwetenschap worden gepromoot die beweren onbetwistbare waarheden te zijn, maar in feite ideologieën zijn waarin bewijs wordt gemanipuleerd en verdraaid om de 'heersende gedachte' te bewijzen en zo de wereldwijde verspreiding ervan te bevorderen. Ze beginnen met de conclusie die ze willen trekken en manipuleren vervolgens het schaarse bewijs dat ze kunnen vinden om die conclusie te onderbouwen. De door de mens veroorzaakte klimaatverandering als gevolg van door de mens veroorzaakte koolstofuitstoot is hier een belangrijk voorbeeld van.

Instellingen als de VN, het Wereld Economisch Forum (WEF) en de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) zijn particuliere, niet-gekozen, niet-verantwoordelijke organisaties die worden aangestuurd door de bron van de schuldgeldschepping: het wereldwijde kartel van private banken. Ze zijn niets meer dan slimme marketinginstrumenten en politieke mechanismen om een corrupt wereldwijd systeem te implementeren en in stand te houden, [onder het slimme mom van 'de problemen van de wereld op te lossen'](#).

Deze machtige belangengroepen promoten al decennialang bepaalde 'ideologieën' om hun zakelijke en politieke doelen te bevorderen. Het woord 'duurzaam' werd decennia geleden gekaapt en wordt nu op bedrieglijke wijze gebruikt om de agenda's van globalistische megabedrijven te promoten die zich niets aantrekken van het milieu. Het doel is om de mensheid in de armen te katapulteren van [VN Agenda 2030](#) en het 'reset'-plan van het WEF, slimme marketingplannen die volledig zijn ontworpen door de zogenaamde elite megabedrijven van de WEF Davos-groep.

12. Bovendien vormen de huidige groene energie-/hernieuwbare technologieën die door de VN en het WEF worden gepromoot, geen haalbare oplossing voor de wereldwijde energievoorziening. Hoewel deze technologieën op bepaalde locaties en in bepaalde scenario's een beperkte levensvatbaarheid hebben, blijft het een feit dat het rendement op geïnvesteerde energie veel te laag is – in wezen is het hele proces wiskundig gezien gebrekkig. Dit blijkt uit het werk van wetenschappers, waaronder professor David MacKay (1967-2016), voormalig Regius Professor of Engineering aan de Universiteit van Cambridge en voormalig Chief Scientific Advisor bij het Britse ministerie van Energie en Klimaatverandering.

Samenvatting

Kortom, CO2-reductie is de belangrijkste focus van de door de VN gepromote klimaatveranderingshysterie die de wereldbevolking teistert. De verkondigde klimaatcrisis bestaat echter alleen in computermodellen. De cultus van 'door de mens veroorzaakte klimaatverandering' is een door de media en de VN politiek gepromote 'ideologie', die wordt gebruikt voor een bredere politieke en zakelijke agenda. Door de mens veroorzaakte klimaatverandering is niet gebaseerd op feiten en heeft reële milieuzorgen gekaapt.

Door de onophoudelijke, door de VN, de overheid en bedrijven gepromote klimaatveranderingspropaganda verkeren veel mensen in een door de media veroorzaakte staat van verwarring en nemen ze blindelings hun vooraf bepaalde rol in de maatschappij aan onder deze '[dictatuur van woorden](#)', zonder zich daar ook maar van bewust te zijn. De onaangename realiteit is dat de toegang van mensen tot energie en hulpbronnen opzettelijk wordt beperkt door middel van nep-klimaatbeleid, inflatie, aanhoudend geopolitiek theater en opzettelijk aangewakkerde oorlogen.

We kunnen niet begrijpen hoe we een werkelijk veerkrachtige samenleving kunnen creëren, tenzij we de huidige samenleving waarin we leven en hoe die is ontstaan, correct begrijpen. Als we de onwaarheden van het huidige paradigma niet erkennen, zelfs als het niet 'politiek correct' is, zullen we niet in staat zijn de juiste aanpassingen te doen aan onze gemeenschappen en lokale/regionale netwerken, of een werkelijk veerkrachtige, bloeiende samenleving te creëren. In deze geest van waarheid ontstaan wereldwijd nieuwe netwerken.

In tegenstelling tot propagandastructuren die door de Euro-Atlantische instelling worden gefinancierd, werkt Dissident dankzij de donaties van het publiek. Zonder uw hulp kunnen we niet overleven.

STEUN ONS WERK [HIER](#).

Geef censuurkoning Elon Musk een dikke vinger en volg ons op Telegram:

Telegram: t.me/dissidenteen

Klik op de tag [↓](#) om meer te lezen over

Het raadsel van de verdwenen hittegolven



Tweede editie oktober 2019

Colofon

Auteurs

Frans Dijkstra
Jan Ruis
Rob de Vos
Marcel Crok

Uitgever

Wij zijn een ad hoc gevormde groep onderzoekers en brengen dit rapport op persoonlijke titel uit. Onze motivatie was om de onderste steen boven te krijgen wat betreft de temperatuurcorrecties die het KNMI had doorgevoerd in De Bilt.

Website:

Het rapport kan gedownload worden op

www.klimaatgek.nl

www.destaatvanhet-klimaat.nl

Financiering

Dit rapport is tot stand gekomen op eigen initiatief van de onderzoekers. In de zomer van 2018 hebben we via onze eigen kanalen (website en social media) een crowdfunding pagina opgezet. Dat leverde ongeveer 6500 euro op gedoneerd door 140 mensen. In een laat stadium hebben we ook enige funding ontvangen via de pas opgerichte Stichting Climate Intelligence.

Donaties

De kosten van het onderzoek en het schrijven van het rapport zijn aanzienlijk geweest. Donaties worden dan ook alsnog zeer op prijs gesteld.

Doneren kan, onder vermelding van 'Rapport Verdwenen Hittegolven', als storting op de rekening van:

M. Crok

IBAN NL66INGB0000520595

Contact

Rob de Vos: rob@klimaatgek.nl

Frans Dijkstra: fydijkstra1946@kpnmail.nl

Jan Ruis: janruis30@gmail.com

Marcel Crok: marcel.crok@gmail.com

Telefoon

Marcel Crok: (06) 16236275

Stichting Climate Intelligence

De Stichting Climate Intelligence heeft als doel het genereren van kennis over en inzicht in omvang, aard, oorzaak en gevolgen van klimaatverandering en het klimaatbeleid dat hierop betrekking heeft. Hiertoe probeert de stichting helder en transparant te communiceren naar het brede publiek wat er aan feiten beschikbaar is over klimaatverandering en klimaatbeleid en ook waar feiten overgaan in veronderstellingen, aannames en inschattingen.

Tevens voert en stimuleert de stichting een publiek debat hierover en financiert zij onderzoeksjournalistiek werk op dit terrein.



Voorwoord

Gedurende de lange droge zomer van 2018 werden Nederlanders in de media geconfronteerd met berichten over de forse toename van het aantal hittegolven in ons land sinds 1901.

Na een ‘fact check’ bleek dat die toename niet zozeer het gevolg was van klimaatverandering maar van een ‘correctie’ die het KNMI kort daarvoor had toegepast. De gemeten temperaturen tussen 1901 en 1951 van het station De Bilt waren namelijk per 1 januari 2016 fors bijgesteld. Daardoor verdwenen in één klap veel ‘oude’ hittegolven uit de statistieken.

Die correctie was uitkomst van een zogenaamde homogenisatie die het KNMI heeft toegepast op de 5 hoofdstations in ons land. Vanwege het ontbreken van parallelle meetdata in De Bilt heeft het KNMI de temperatuurreeks van Eelde (Groningen) als referentiestation voor de homogenisatie van De Bilt gebruikt.

Het KNMI heeft over de homogenisatie een technisch rapport uitgebracht (Brandsma 2016a). Het voor u liggende rapport beschrijft onze poging tot reconstructie van de homogenisatie van De Bilt zoals die in het KNMI-rapport is beschreven. Bovendien wordt uitgebreid aandacht besteed aan de vraag of de homogenisatie van De Bilt wel nodig was en of de keuze van het referentiestation Eelde de juiste is geweest.

We danken alle mensen die ons tot steun zijn geweest bij het maken van het rapport!

Maart 2019,

Frans Dijkstra

Jan Ruis

Marcel Crok

Rob de Vos

Versie 2.0 (oktober 2019)

Versie 2.0 van dit rapport was nodig omdat na de verschijning van de eerste versie belangrijke data beschikbaar gekomen zijn over de parallelmetingen in De Bilt van 1947 tot 1950. Diverse figuren werden toegevoegd en bestaande figuren verbeterd, de tekst, samenvatting en literatuurlijst werden waar nodig aangepast. Tevens zijn enige technische fouten hersteld. De wijzigingen hebben geen invloed op de conclusies van de eerste versie.

Inhoud

Colofon Auteurs	1
Samenvatting	5
1 Inleiding	9
2 Waarom homogeniseren?	15
3 Parallelmetingen op het KNMI-terrein	19
Hutwisseling	19
Locatiewisselingen in 1950 en 1951	22
Conclusies	26
4 De reconstructie van de homogenisatie van De Bilt	29
Methoden	29
Daggemiddelde temperatuur en dagelijkse minimumtemperaturen	34
Conclusies	36
5 Reconstructie van de homogenisatie op basis van de aanvullende informatie van het KNMI	37
Hoor en wederhoor	37
Driemaands gemiddelden	38
Vergelijkingsperiode 56 maanden	39
Maximale jaartemperatuur	40
Conclusies	41
6 De temperatuursprong en de correctie van het KNMI	43
Duitse stations als referentie voor de homogenisatie van De Bilt	44
Methode	44
Een nieuwe referentieset voor de homogenisatie van De Bilt	47
Vergelijking Tx De Bilt met Tx van de referentieset	51
Vergelijking Tx-zomer De Bilt met de referentieset	52
Conclusies	55
7 Effect van de keuze vergelijkingsstation op de homogenisatie	57
Werkwijze	58
Resultaten	58
Gemiddelde correctie Tx	59
Discussie	63
Conclusies	64
8 De verdwenen hittegolven	67
9 Literatuur	73
10 Appendix	75
BIJLAGE 1: Samenstelling referentieset	75
BIJLAGE 2: Detailgrafieken hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5	79
BIJLAGE 3: Vragen aan en antwoorden van KNMI	85

BIJLAGE 4: Smoothing voor dummies.....	93
--	----

Samenvatting

1. **Het KNMI corrigeerde in 2016 haar oude temperatuurmetingen van vóór september 1951. Het deed dat vanwege een verandering van de meethut in 1950 en een verplaatsing van het meetstation in 1951. Op de jaarlijkse gemiddelde temperatuur hadden de correcties nauwelijks invloed. Warme tot zeer warme dagen werden echter drastisch naar beneden bijgesteld, tot wel 1,9 °C bij dagen boven de 28 °C.** Als gevolg daarvan nam het aantal tropische dagen in de periode 1901-1951 in De Bilt af van 164 tot 76 en het aantal zomerse dagen van 931 tot 629. Van de 23 hittegolven die oorspronkelijk in de boeken stonden resteren er na de correcties (in jargon: de homogenisatie) nog maar 7. Als gevolg daarvan kon het KNMI in de warme zomer van 2018 claimen dat hittegolven nu veel vaker voorkomen dan een eeuw geleden.
2. **Dit rapport beschrijft onze pogingen – een viertal onafhankelijke onderzoekers - om de homogenisatie van de temperatuurmetingen in De Bilt te reproduceren. Tevens is gekeken naar de noodzaak om überhaupt te homogeniseren.** De KNMI-correcties zijn tot stand gekomen na vergelijking van De Bilt met station Eelde (nabij Groningen). We hebben eveneens onderzocht tot welke correcties vergelijking met andere stations in Nederland en/of Duitsland zouden leiden.
3. **Hittegolven worden in Nederland alleen bepaald door de metingen in De Bilt. Er is sprake van een hittegolf als het op minimaal vijf dagen 25 °C of warmer is, waarvan op minimaal drie dagen gelijk of warmer dan 30 °C. In de ongecorrigeerde metingen vinden er meer hittegolven plaats in de periode 1901 t/m augustus 1951 (23 hittegolven) dan in de periode september 1951 t/m 2018 (19 hittegolven).** Hoewel die eerste periode korter duurt dan de tweede (51 tegen 67 jaar). Na de homogenisatie is die verhouding volledig omgedraaid: 7 hittegolven tegen 19 hittegolven. Brandsma, de onderzoeker van het KNMI die de homogenisatie heeft uitgevoerd schreef in vakblad Meteorologica in 2016: “Bekende problemen zoals de neerwaartse sprong in Tx [de maximumtemperatuur, red.] rond 1950 in De Bilt en het relatief hoge aantal hittegolven in de eerste helft van de 20ste (...) zijn hiermee verleden tijd.” Blijkbaar werd het hoge aantal hittegolven vóór 1950 als ‘een probleem’ gezien.
4. **Er is een statistische reden die de homogenisatie in De Bilt verdacht maakt. Het percentage tropische dagen in de periode vóór de wijziging (1906-1951) ten opzichte van erna (1951-2016) zakt in De Bilt veel verder dan bij de overige vier hoofdstations in Nederland (De Kooy, Beek, Eelde en Vlissingen).** Na homogenisatie bedraagt dat percentage bij de overige vier hoofdstations tussen de 35 en 39% terwijl het in De Bilt zakt naar 26%. Deze verschillen zijn niet genoemd door het KNMI.
5. **Normaliter voeren onderzoekers bij de overgang naar een andere meetlocatie gedurende een periode parallelmetingen uit op zowel de oude als de nieuwe meetlocatie. Dat is bij de herlocatie op 27 augustus 1951 in De Bilt niet gebeurd. Wel zijn er van 25 maart 1947 t/m 31 augustus 1950 parallelmetingen verricht tussen de Pagodehut en een Stevensonhut. Het KNMI heeft geen gebruik gemaakt van die gegevens betreffende de hutwisseling van Pagodehut naar de nieuwe Stevensonhut in mei 1950.** De data van deze parallelmetingen zijn ons eind maart 2019 ter hand gesteld door het KNMI. Deze gegevens laten zien dat de Pagode op 65% van de gemeten dagen hogere temperaturen vertoont dan de Stevensonhut, op de resterende 35% van de dagen is de Stevensonhut warmer dan de Pagode. De verschillen in Tx tussen Pagode en Stevensonhut zijn het grootst in de maanden juni, juli en augustus: gemiddeld 0,37 °C. In de zomermaanden zijn van de 364 dagen er slechts 23 met een temperatuurverschil tussen Pagode en Stevensonhut van > 1 °C, waarvan 3 dagen >1,5 °C. Het KNMI corrigeert echter in dezelfde periode 132 zomerdagen met >1 °C en 54 dagen met >1,5 °C. De warmste dagen zijn vaak niet de dagen zijn waarop het temperatuurverschillen tussen Pagode en Stevensonhut het grootst zijn. De correctiemethode die het KNMI heeft toegepast corrigeert echter de warmste dagen het sterkst, tot 1,9 °C, waardoor een sterke overcorrectie ontstaat. We concluderen dat de hutwisseling van Pagode naar Stevensonhut geen zodanige verschillen teweeg heeft gebracht dat die de sterke correctie van Tx tot 1,9 °C rechtvaardigen.

6. **Het KNMI heeft van mei 2003 tot juni 2005 parallelmetingen uitgevoerd op een viertal testlocaties in De Bilt. Doel was onder meer om de testresultaten te gebruiken bij homogenisaties.** Die metingen vonden onder andere plaats op de oorspronkelijke meetlocatie (waar gemeten werd van 16 september 1950 tot 27 augustus 1951) en de locatie waarheen de Stevensonhut op 27 augustus 1951 werd verplaatst. De maximumtemperaturen in de zomer in de periode 2003-2005 op deze twee locaties verschillen niet significant van elkaar. Dit suggereert dat de verplaatsing in 1951 waarschijnlijk nauwelijks effect gehad op Tx. Brandsma concludeert recentelijk dat de correctie op de maximumtemperatuur in De Bilt rond 1950 voor een belangrijk deel het gevolg is van de overgang Pagode-Stevenson. De locatiewisseling lijkt de grote correcties van de maximumtemperaturen tot 1,9°C dan ook zeker niet te rechtvaardigen.
7. **Vanwege het vermeende gebrek aan parallelmetingen heeft het KNMI besloten om de dagwaarden van De Bilt te homogeniseren aan de hand van station Eelde dat 147 km ten noordoosten van De Bilt ligt. Daarbij is gebruik gemaakt van een statistische techniek, de *percentile matching method*. De keuze voor Eelde is saillant. Eerder, bij het tot stand komen van de Centrale Nederlandse Temperatuur (CNT), werd namelijk geconcludeerd dat Eelde daarvoor niet geschikt was.** Het KNMI-rapport waarin de homogenisatie wordt beschreven onderbouwt niet waarom alleen station Eelde geschikt was. Een nadeel van Eelde is dat metingen daar pas in 1946 begonnen. Daardoor konden slechts vier jaar aan data vóór de breuk (1946-1949) gebruikt worden en die werden vergeleken met vier jaar na de breuk (1952-1955). Uit ons onderzoek blijkt dat de methode gevoelig is voor de lengte van de periode.
8. **De methode verdeelt voor iedere maand de metingen onder in twintig percentielen. Met ‘slechts’ vier jaar aan data komt dat neer op ongeveer zes waarden per percentiel. Dat is weinig en leidt tot veel ruis in de resultaten. Het KNMI heeft daarom aansluitend middeling over verschillende maanden en percentielen toegepast om deze ruis te onderdrukken.** Uit ons onderzoek blijkt dat de uiteindelijke temperatuurcorrectie sterk afhankelijk is van de gekozen middeling. Het KNMI heeft echter niet laten zien hoe gevoelig het eindresultaat voor deze arbitraire keuzes is.
9. **Het lukte ons niet om op basis van de procedure zoals beschreven in het technische rapport van het KNMI de homogenisatie van het KNMI te reproduceren. Met name voor de maximumtemperaturen vinden wij afwijkende resultaten.** Voor de jaargemiddelde maximumtemperaturen wijken de uitkomsten van het KNMI 0,05°C tot 0,10°C af van onze reconstructie en de fluctuaties per jaar zijn in de KNMI-homogenisatie groter dan in onze reconstructie. Met name jaren met warme zomers worden door het KNMI sterk naar beneden bijgesteld. Bijvoorbeeld voor 1947 – een jaar met oorspronkelijk vier hittegolven – komt het KNMI tot lagere maximumtemperaturen dan wij in onze reconstructie.
10. **Het KNMI heeft door de homogenisatie met alleen Eelde als vergelijkingsstation het aantal tropische dagen en hittegolven vóór 1951 sterk verminderd: van 164 tropische dagen naar 76, en van 23 naar 7 hittegolven. Bij onze reconstructie van de homogenisatie blijven er vóór 1951 afhankelijk van het vergelijkingsstation 94 tot 121 tropische dagen over en 10 tot 16 hittegolven.** Dit betekent niet dat wij deze aantallen als ‘de juiste’ beschouwen. Onze conclusie is wel dat de homogenisatie van het KNMI heeft geresulteerd in een sterke overcorrectie van de temperatuur op warme dagen.
11. **Na contact te hebben gezocht met het KNMI om de verschillen tussen hun en onze resultaten te kunnen verklaren bleek ons dat het KNMI acht maanden extra had gebruikt (de eerste acht maanden van 1950) om de beginperiode zo lang mogelijk te laten duren. En er is een extra middeling toegepast van de percentielen over drie aansluitende maanden. Aanvullend onderzoek maakte duidelijk dat de extra middeling weinig effect had maar gebruik van de extra acht maanden wel. Onze resultaten kwamen nu dichterbij die van het KNMI. Maar de grote verschillen bij de maximumtemperaturen blijven aanwezig. Wij houden na de homogenisatie aanzienlijk meer tropische dagen en hittegolven over. Wij constateren opnieuw dat de homogenisatie van het KNMI heeft geresulteerd in een sterke overcorrectie van de**

temperatuur op warme dagen. Het gebruik van de extra acht maanden is volgens ons aanvechtbaar omdat deze maanden (jan-aug) daardoor zwaarder tellen dan de overige maanden.

12. **Het feit dat schijnbaar arbitraire keuzen in de methodiek (percentielberekening, middeling, lengte van de vergelijkingsperiode) veel invloed hebben op de uitkomsten van de homogenisatie, laat zien dat deze methode niet geschikt is om dagwaarden te corrigeren met de pretentie van een nauwkeurigheid van 0,1 graad.** Dat is statistisch onverantwoord. Als je al homogeniseert met deze methode, dan zou je gehomogeniseerde dagtemperaturen tenminste moeten afronden op hele graden.
13. **Het klopt dat temperatuurmetingen in De Bilt een behoorlijke daling laten zien in de periode 1949 tot 1956. Het is verleidelijk om die afkoeling grotendeels toe te schrijven aan de verandering van de meethut en de verplaatsing. Uit ons onderzoek blijkt echter dat die afkoeling in alle stations in Nederland en ook Duitsland optreedt. Die afkoeling is dus vooral klimatologisch van aard.** Wij hebben door vergelijking met een referentieset van Nederlandse en Duitse stations wel geconcludeerd dat De Bilt inderdaad relatief iets warmer was vóór 1950 en dat enige correctie in de jaren vóór 1950 verdedigd kan worden. Wij concluderen dat de door het KNMI toegepaste correcties op de maximumtemperaturen gemiddeld van 1931-1949 wel kloppen maar in de jaren daarvóór tot overcorrectie leiden. Voor jaren met recordwarme zomers (zoals 1947) past het KNMI een overcorrectie toe van naar schatting 50%. Voor de maanden mei-september is de geschatte overcorrectie 210% en voor de drie warmste zomermaanden zelfs ruim 260% op basis van vergelijking met de referentieset.
14. **We hebben tenslotte onderzocht hoe gevoelig de homogenisatie van De Bilt is voor de keuze van het vergelijkingsstation. Dat effect blijkt groot te zijn.** Met Beek als vergelijkingsstation vinden wij voor De Bilt minder grote correcties voor de maximumtemperaturen en meer tropische dagen. Met Aachen als vergelijkingsstation vinden we voor De Bilt geen correctie voor de maximumtemperaturen en veel meer tropische dagen. Met geen enkel representatief vergelijkingsstation noch het door ons geselecteerde Duits-Nederlandse ensemble vinden wij zo weinig tropische dagen in De Bilt als bij de door het KNMI gebruikte homogenisatie aan de hand van Eelde. We concluderen dat de *percentile matching method*, zoals door het KNMI toegepast, afhankelijk is van arbitraire keuzen en daarom niet geschikt is om de klimatologische geschiedenis ingrijpend aan te passen.
15. **Het moge duidelijk zijn dat wij de homogenisatie van De Bilt zoals die is uitgevoerd met behulp van station Eelde onverdedigbaar vinden. De uitkomst is veel te afhankelijk van arbitraire keuzes wat betreft de stations waarmee je vergelijkt, de gebruikte statistische methode, de lengte van de vergelijkingsperiode en de gebruikte middeling.** Het KNMI heeft in het technische rapport over de homogenisatie bovendien nagelaten om zelf deze gevoeligheden bloot te leggen. Tevens heeft het KNMI geen enkele moeite gedaan om te laten zien dat de afkoeling in de periode 1949-1956 grotendeels klimatologisch van aard kan zijn omdat die zich bij alle homogene reeksen in Nederland en Duitsland voordoet. Dit rapport heeft laten zien dat een kleine correctie wellicht verdedigbaar is maar de homogenisatie van het KNMI heeft geleid tot flinke overcorrecties, vooral van warme dagen. Het beste zou zijn om de homogenisatie ongedaan te maken en met een breder opgezet team (waaronder wetenschappers van buiten het KNMI) een nieuwe start te maken. Het KNMI zou zich voorlopig moeten onthouden van claims over een vermeende toegenomen trend in hittegolven in Nederland.

1 Inleiding

De Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen (KNAW) stelde op 15 januari 2018 voor dat het herhalen van experimenten heel gewoon moet worden (KNAW 2018). In veel vakgebieden staat onderzoek regelmatig ter discussie vanwege de toegepaste methodiek. Soms ook dikken onderzoekers hun conclusies aan om hun publicatie beter in het oog te laten springen. De beste remedie tegen foute conclusies uit zulk onderzoek is dat wetenschappers geregeld elkaars onderzoek herhalen.

We hebben het advies van de KNAW opgevolgd en in dit rapport geprobeerd de door het KNMI in 2016 uitgevoerde homogenisatie van de temperatuur op station De Bilt te reproduceren. Deze homogenisatie vond plaats wegens een verandering van de meethut in 1950 en een verplaatsing in 1951 waarvan men veronderstelde dat deze invloed zouden hebben op de meetwaarden. De temperatuurregistraties die vóór deze instrumentele veranderingen plaatsvonden zouden dan gecorrigeerd moeten worden.

Het betreft de gemiddelde temperatuur (T_g), minimumtemperatuur (T_n) en maximumtemperatuur (T_x) per etmaal over de periode van 1 januari 1901 tot 1 september 1951. De in deze periode geregistreerde temperaturen zijn door de homogenisatie in 2016 bijgesteld. In onze reproductie van die homogenisatie hebben we ons met name gericht op de dagelijkse maximumtemperaturen (T_x) in De Bilt omdat die het sterkst zijn bijgesteld, maar ook omdat de maximumtemperaturen in de media de meeste aandacht hebben getrokken.

Homogenisatie wordt vaak toegepast bij verplaatsing van meetapparatuur. Bij verplaatsing veranderen de omgevingsomstandigheden en daarmee de resultaten van de metingen. Brandsma, de auteur van het aan de homogenisatie ten grondslag liggende technische rapport (Brandsma 2016a), beschrijft de noodzaak van homogeniseren zo: *“Homogeneous time series of daily T_n , T_x and T_{mean} are indispensable for climate change and variability studies.”*



Figuur 1 Ligging 5 hoofdstations

De homogenisatie van De Bilt was onderdeel van een homogenisatie van alle 5 hoofdstations. Behalve De Bilt zijn dat Groningen/Eelde, Maastricht, Den Helder/De Kooy en Vliedingen/Souburg.

Op alle vijf hoofdstations was sprake van een herlocatie van de meetapparatuur. Groningen werd in 1951 vliegveld Eelde, zo'n 10 km ten Z van de stad. Den Helder werd in 1972 vliegveld De Kooy, gelegen ten ZO van Den Helder. Maastricht werd in 1951 vliegveld Beek, ruim 9 km ten NNO van Maastricht, en Vlissingen werd van 1947 tot 1958 vliegveld Souburg en daarna weer Vlissingen. Deze vier stations zijn gehomogeniseerd op basis van parallelle metingen. Bij verplaatsing heeft men gedurende enige tijd zowel op de oude als de nieuwe locatie gemeten.

De Bilt was een geval apart. Op 17 mei 1950 werd de grote Pagodehut vervangen door een Stevensonhut. Op 16 september werd die hut enkele tientallen meters westwaarts verplaatst vanwege bouwwerkzaamheden. Op 27 augustus 1951 werd de hut zo'n 300m naar het zuiden verplaatst, naar een meetveldje. In het technische rapport over de homogenisatie schrijft Brandsma: *"For the relocation in De Bilt in 1951 no parallel observations have been made because the relocation was unforeseen and after the relocation the old location was disturbed due to building activities in the neighborhood of the former screen. Therefore, data of Eelde (before the relocation and screen change and thereafter) has been used for the homogenization of the series."* Een aantal jaren vóór de hutwisseling in 1950 zijn parallelmetingen verricht tussen Pagodehut en een Stevensonhut. De uitkomsten daarvan zijn merkwaardig genoeg niet bij de homogenisatie gebruikt (Brandsma 2016a).

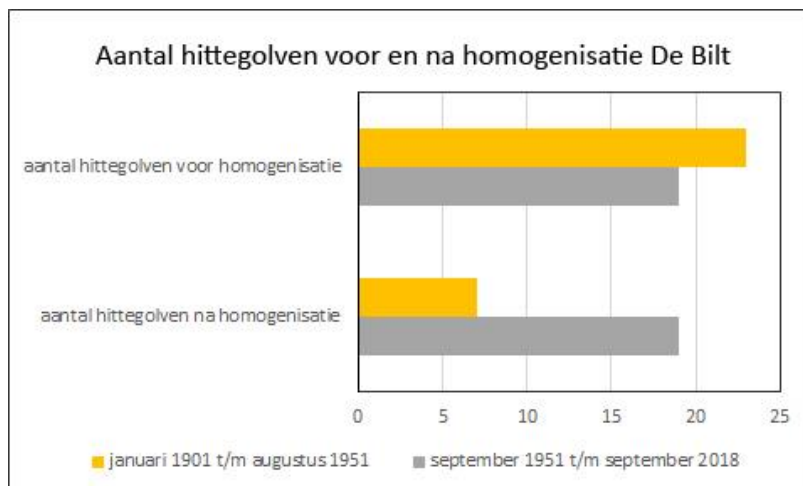
Voor de homogenisaties van de vijf stations maakt het KNMI gebruik van een statistische techniek genaamd *'percentile matching'*. Daarbij vergelijkt men de meetgegevens van de oude en de nieuwe locatie gedurende een overlapperiode. Vanwege het ontbreken van parallelle data bij De Bilt heeft het KNMI gekozen voor de data van station Eelde als referentie.

Wat is een hittegolf?

Van een hittegolf is sprake als in De Bilt in een periode van 5 dagen minstens 3 tropische dagen voorkomen en de overige dagen zomers zijn. Anders gezegd: vijf dagen lang moet de temperatuur in De Bilt boven de 25°C uitkomen, waarvan drie dagen boven de 30°C. Men spreekt van een 'landelijke hittegolf' als die zich in De Bilt voordoet. Indien op een andere plaats wordt voldaan aan de criteria kan men spreken over 'lokale hittegolven'. Deze worden niet officieel geregistreerd of geteld. Een hittegolf eindigt als op een dag de maximumtemperatuur van 25 °C niet meer bereikt wordt. Hittegolven kunnen dus langer duren dan 5 dagen.

Als na het einde van een hittegolf de maximumtemperatuur opnieuw boven de 25°C komt, begint de telling opnieuw. Een zomer kan daardoor meer dan één hittegolf tellen. De zomer van 2018 telde twee hittegolven die 6 en 9 dagen duurden. De zomer van 1947 telde volgens de oorspronkelijke metingen vier hittegolven van resp. 6, 6, 6 en 15 dagen.

De homogenisatie van De Bilt heeft geleid tot opvallend grote verschillen tussen de oude gemeten data en de nieuwe gehomogeniseerde data. Diverse media en internetsites berichtten al snel over deze opvallende grote correcties. De gevolgen van de homogenisatie werden nog beter zichtbaar in de warme zomer van het afgelopen jaar. Er werden in 2018 door het KNMI twee hittegolven geteld. Media berichtten dat hittegolven nu frequenter voor komen: van één keer in de twintig jaar een eeuw geleden tot elke twee tot drie jaar nu. De bron daarvan was het KNMI, dat zich baseerde op de gehomogeniseerde cijfers.



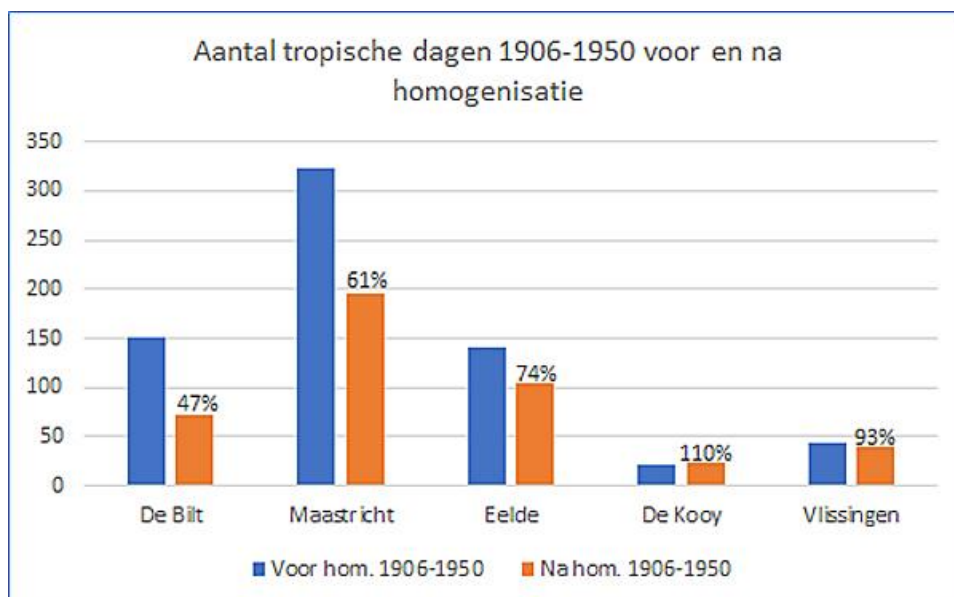
Figuur 2 Aantal hittegolven De Bilt voor en na homogenisatie

In Figuur 2 is te zien wat het effect van de homogenisatie is op het aantal hittegolven van 1901 tot 1951. Vanaf 1 september 1951 zijn de temperaturen niet gehomogeniseerd.

Onderzoeker Brandsma van het KNMI die de homogenisatie heeft uitgevoerd schrijft:
"Bekende problemen zoals de neerwaartse sprong in Tx rond 1950 in De Bilt en het relatief hoge aantal hittegolven in de eerste helft van de 20ste eeuw (...) zijn hiermee verleden tijd."
 Meteorologica, 2016-4, pag. 4

Met "neerwaartse sprong" bedoelt Brandsma kennelijk een trendbreuk in het Tx-verloop als gevolg van de verplaatsing en verandering van meethut. Een van de auteurs van het voorliggende rapport, Frans Dijkstra, heeft al in 2017 kritiek geleverd op de homogenisatie van Brandsma.

Dijkstra (2017) schreef in Meteorologica: *"De homogenisatie van de temperatuurreeksen voor De Bilt leidt voor Tx tot onverwachte uitkomsten die niet in lijn zijn met de uitkomsten bij de andere stations en die onvoldoende verklaard kunnen worden uit de overgang van een pagodehut naar een Stevensonhut. De sterke vermindering van het aantal tropische dagen in de periode 1906-1950 in De Bilt en de veel lagere classificatie van de zomer van 1947 stemmen niet overeen met gehomogeniseerde gegevens van de andere stations. De temperatuursprong rond 1950 doet zich ook voor bij andere KNMI-stations en ook bij stations in Engeland en België."*

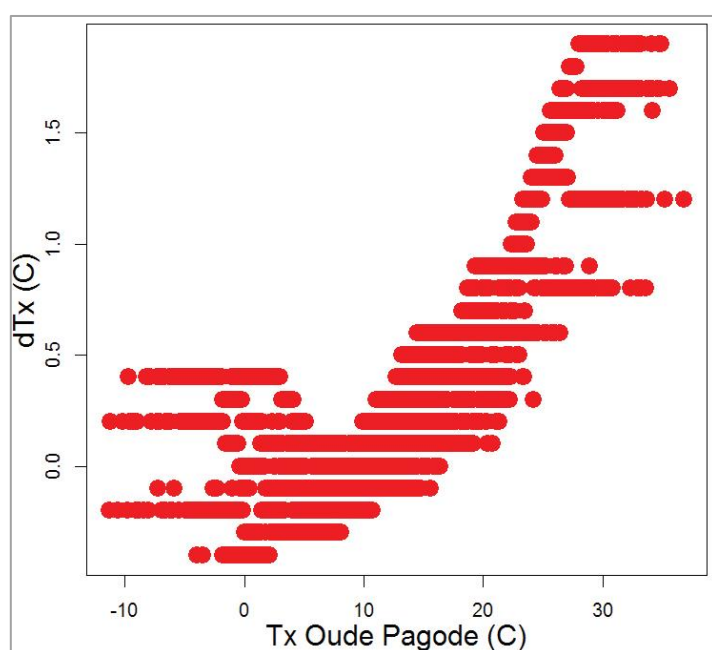


Figuur 3 Aantal tropische dagen op 5 hoofdstations voor en na homogenisatie

Ook in andere media is de homogenisatie omstreden (Rozendaal (2016,2017), Klimaatgek¹). Daarbij gaat het vaak om de meest opvallende gevolgen van de homogenisatie, namelijk de drastisch afname van zomerse en tropische dagen en hittegolven. Van de 931 zomerse dagen bleven er maar 629 over, en het aantal van 164 tropische dagen werd teruggebracht tot 76. Deze herschrijving van de meteorologische geschiedenis heeft tot gevolg dat er in deze periode door homogenisatie nog maar 7 hittegolven erkend worden, tegen 23 vóór de homogenisatie.

Afgezien van de vraag of de homogenisatie van De Bilt wel nodig was en of de gebruikte methode valide is, valt het op dat in De Bilt veel meer tropische dagen zijn geschrapt dan bij de andere KNMI-stations: in Maastricht, Eelde, De Kooy en Vlissingen worden na homogenisatie tussen 35,4 en 39,5% van de tropische dagen voor 1951 geteld, in De Bilt is dit slechts 26,4%. Het lijkt er sterk op dat De Bilt overgecorrigeerd is. In hoofdstuk 4 en 5 wordt daar aandacht aan besteed.

Oud-medewerker van het KNMI en emeritus hoogleraar Henk de Bruin (2016) schreef een kritisch artikel over de homogenisatie van De Bilt in Meteorologica. Uit dat artikel is onderstaande grafiek afkomstig die duidelijk de toegepaste correcties op de temperatuur weergeeft:

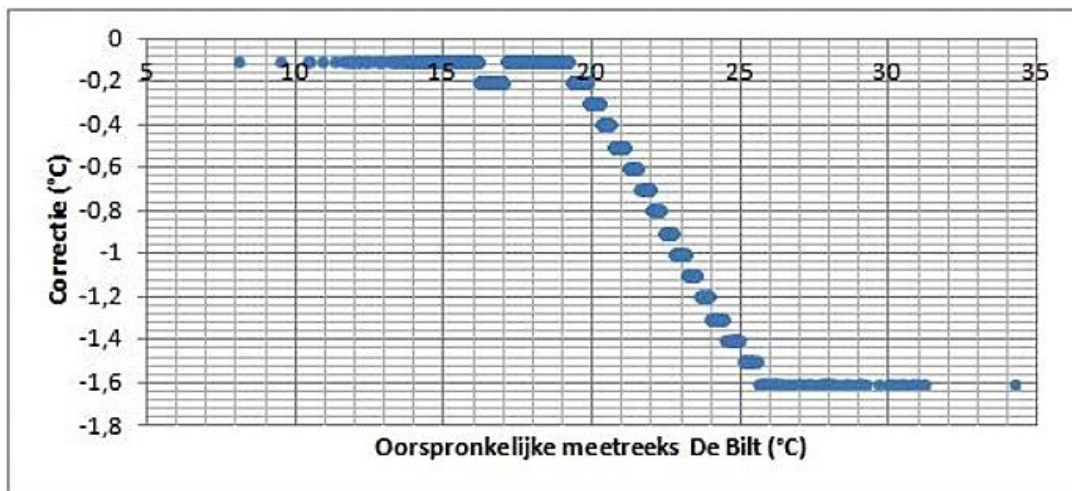


Figuur 4 Correctiewaarde dTx als functie van de gemeten Tx

Op de website Weerwoord heeft blogger 'Michiel'² specifiek gekeken hoe de homogenisatie uitpakt voor de maand september. In september zijn, net zoals de andere zomermaanden, alleen de warme dagen zwaar gecorrigeerd, maar de verdeling tussen correcties binnen september is zeer scheef. Figuur 5 toont de correctie per temperatuurinterval.

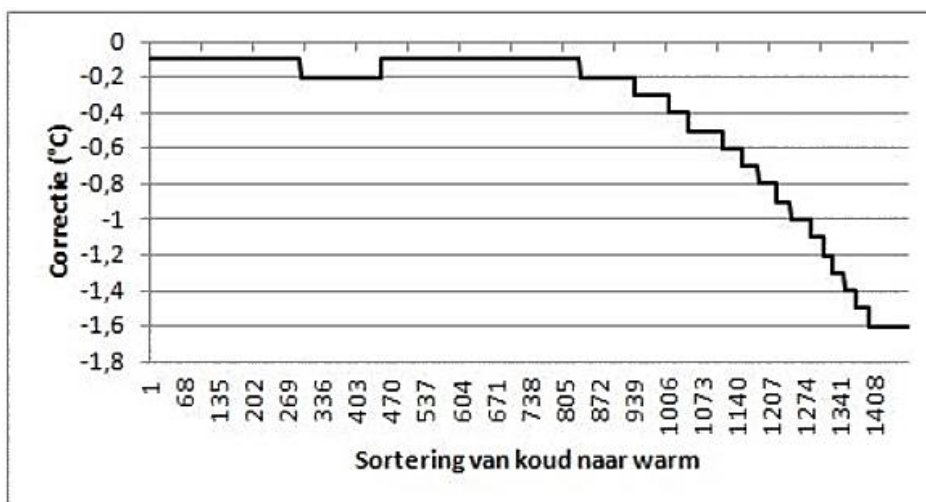
¹ <https://klimaatgek.nl/wordpress/2018/07/27/het-raadsel-van-de-verdwenen-hittegolven>

² <https://www.weerwoord.be/m/2227437>



Figuur 5 Correctie De Bilt per temperatuurinterval voor de maand september

In Figuur 6 is de correctie weergegeven over alle septemberdagen in de gehomogeniseerde periode. Meer dan de helft (939) van alle septemberdagen (totaal 1470) heeft een correctie van 0,1 en soms 0,2 graden gehad. Hier zitten ook veel zonnige dagen tussen, zelfs volledig windstille dagen zoals 14 september 1925.



Figuur 6 Correctie De Bilt voor alle septemberdagen in de gehomogeniseerde periode

Ook is specifiek een aantal dagen met elkaar vergeleken om te laten zien hoe door het negeren van de invloed van de zon en de wind de toegepaste homogenisatietechniek inconsistent wordt:

Het weer op vrijdag 3 september 1909 te De Bilt:

Oude temperatuur 19,2 °C, nieuwe temperatuur 19,1 °C

Duur zonschijn: 10,7 uur

Gemiddelde windsnelheid 4,6m/s

Het weer op woensdag 29 oktober 1913 te De Bilt:

Oude temperatuur 19,1 °C, nieuwe temperatuur 18,3 °C

Duur zonschijn: 2,4 uur

Gemiddelde windsnelheid 6,7m/s

Michiel constateert: "De homogenisatie doet hier exact het tegenovergestelde van wat het zou moeten doen. Beide dagen hebben bijna dezelfde temperatuur, maar 29 oktober 1913, een dag met

een veel lagere zonnestand (vergelijkbaar met half februari), meer wind, veel minder zonneschijnduur en veel minder absolute zonneschijnduur, heeft toch een correctie gekregen die 8x hoger is dan de septemberdag die juist in aanmerking had moeten komen voor een dergelijke correctie. “

In het technische rapport over de homogenisatie schrijft Brandsma: *“For Tx large positive corrections (up to 1.9°C) are found in summer for the largest percentiles. This is mainly a result (of) a combination of the pagoda which was open at the bottom and affected by reflected sunlight and the enclosed location till 1951.”* Het is daarom opvallend dat de genoemde ‘dominante’ fysische factoren, namelijk zonlicht en ventilatie, niet gebruikt werden bij de homogenisatie: de homogenisatie is een louter statistische exercitie geworden. Het lijkt erop dat dat geresulteerd heeft in een overcorrectie van met name de hogere temperaturen.

Brandsma lijkt zich daarvoor te excuseren als hij schrijft: *“... het is onrealistisch om van een homogenisatiemethode te verwachten dat ze de allerhoogste extremen (zoals het aantal tropische dagen per jaar) perfect corrigeert.”*
Meteorologica, 2017-4, pag. 16

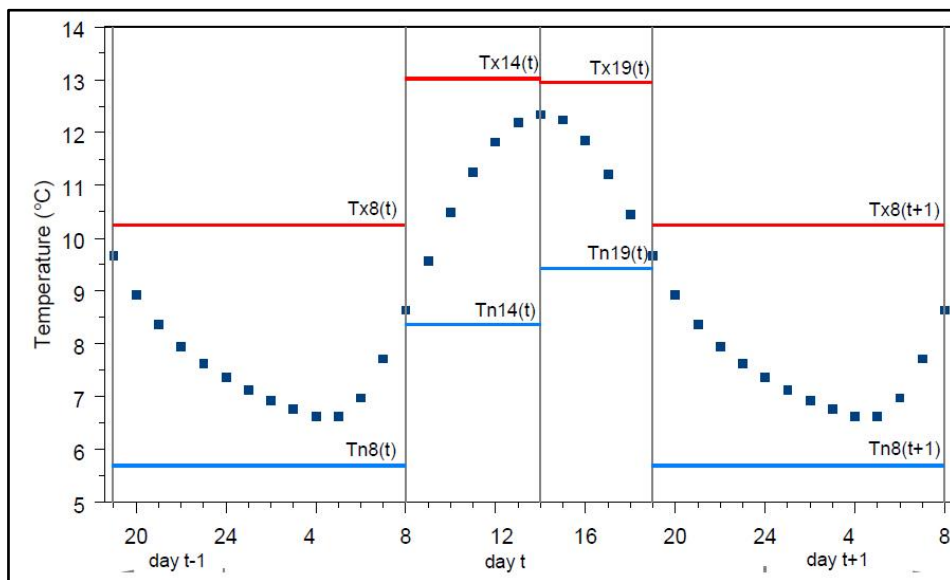
In het volgende hoofdstuk wordt onder andere ingegaan op de vraag of homogenisatie met behulp van een statistisch model, zonder daarbij de fysische factoren te betrekken, wel wetenschappelijk verantwoord is. En of homogeniseren vanuit meettechnische principes überhaupt wel mag.

2 Waarom homogeniseren?

Het KNMI kan een waarnemingsreeks homogeniseren als er veranderingen in waarnemomstandigheden hebben plaatsgevonden die een sprong of trendbreuk veroorzaken die niet klimatologisch van aard is. Te denken valt aan verplaatsingen van de stations en/of instrumenten, langzaam of abrupte veranderingen in de omgeving en veranderingen in instrumenten, meethutten en meetmethoden. De inhomogeniteiten kunnen volgens het KNMI zo groot worden dat een klimaatreeks zonder verdere correcties ongeschikt is voor klimaatonderzoek.³

Het KNMI vindt dat voor onderzoek naar klimaatverandering en variabiliteit het belangrijk is om deze inhomogeniteiten te corrigeren teneinde homogene datasets te verkrijgen. In de praktijk betekent dit dat men dat deel van de meetreeks dat inhomogeniteiten bevat homogeniseert. Die homogenisatie komt meestal neer op een wijziging van de meetgegevens met behulp van statistische technieken. De statistische techniek die toegepast is voor de homogenisatie van de dagelijkse temperaturen van De Bilt heet 'percentile matching' en wordt in hoofdstuk 4 nader toegelicht.

Een wisseling van meetinstrument zou geen inhomogeniteit mogen veroorzaken. De instrumenten dienen immers geijkt te zijn. Toch zijn er redenen om aan te nemen dat ijking van instrumenten niet altijd voldoende is. Sommige oudere thermometers waren op instrumenteel fysische grond niet nauwkeurig genoeg of hadden een langere reactietijd dan de moderne instrumenten. Ook de overgang van glazen vloeistofthermometers naar elektronische minimum-maximumthermometers leverde afwijkingen op. De elektronische meter geeft voor T_x lagere waarden aan, tot 0,5 °C.⁴



Figuur 7 Gemiddelde uurtemperaturen en gemiddelde waarden T_n en T_x De Bilt 1901-1970. Brandsma (2013)

Een bijzondere inhomogeniteit kan ontstaan door meetmethodiek. Tot en met 1932 werden T_n en T_x bepaald voor het interval van 8h tot 8h plaatselijke tijd, daarna tot 1971 van 19h tot 19h. Vanaf 1971 meet men van 0h - 0h UTC (gecoördineerde wereldtijd).

Deze verschillen beïnvloeden de gemiddelde waarden van T_n en T_x . Bovendien werden van 1946 tot 1971 twee waarnemingsmethodes naast elkaar gehanteerd, de synoptische (uurmetingen) en de klimatologische waarnemingen. Die laatste bestaan uit 3 metingen per etmaal van maximum- en minimumtemperatuur (om 8h, 14h en 19h) plus de papieren thermograafstroken. De metingen van

³ <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/gehomogeniseerde-tijdreeksen-dagwaarden>

⁴ <https://judithcurry.com/2014/07/07/understanding-adjustments-to-temperature-data/>

1901 tot 1971 werden vanaf 2014 gestandaardiseerd met behulp van de klimatologische data zodat ze vergelijkbaar zijn geworden met de data vanaf 1971.

Omdat bij standaardisatie geen meetdata veranderd worden maar een correctie wordt toegepast op de wijze waarop T_n , T_x en T_g worden berekend wijkt standaardiseren strikt genomen af van homogeniseren vanwege bijvoorbeeld verandering van meetlocatie. Wij gaan in dit rapport voor wat betreft de ongehomogeniseerde etmaaltemperaturen uit van de gestandaardiseerde waarden van de hoofdstations.



Figuur 8 Verplaatsing van de meethut op 27 augustus 1951 (rode lijn), over een afstand van ongeveer 300m

Figuur 8 toont de verplaatsing van de thermometerhut in de loop van de jaren. Op 17 mei 1950 werd de grote pagodehut vervangen door een Stevensonhut (locatie 1). Vanwege bouwwerkzaamheden werd de nieuwe hut op 16 september 1950 tijdelijk enige tientallen meters westwaarts verplaatst (2). Op 27 augustus 1951 werd de hut over een afstand van ongeveer 300m zuidwaarts verplaatst naar een nieuw meetveld (3). In 2008 kreeg de hut zijn huidige locatie (4).

Aanleidingen om tot homogenisatie over te gaan zijn verandering van instrument, type meethut of meetlocatie. Elke verandering rondom een meetpunt en elke verplaatsing, hoe klein ook, levert immers andere fysische omstandigheden op en dus verschillende meetdata. Men kan dan parallelmetingen inplannen.

Lastiger wordt het als er inhomogeniteiten vermoed of ontdekt worden in oude meetreeksen. Soms zijn er aanwijzingen in metadata van een station die wijzen op een mogelijke inhomogeniteit. Vaak echter vermoedt men een inhomogeniteit op basis van het verloop van een meetreeks. Er kan dan sprake zijn van een opvallende trend of een sprong. Statistische technieken om een afwijkende trend en temperatuursprongen te ontdekken worden dan toegepast. Bij de samenstelling van de CNT (Centraal Nederlandse Temperatuur) werd de waarnemingsreeks van één station vergeleken met die van een ensemble van andere stations in Nederland. Lokale afwijkingen zullen dan in het oog springen.

Op het toepassen van homogenisatie van waarnemingsreeksen is de afgelopen jaren de nodige kritiek gekomen. Die kritiek is meestal van fundamentele aard en gebaseerd op de basisregels van meten, ijken en statistiek. Zo is temperatuurmeting op een bepaalde plaats conditioneel, dat wil zeggen afhankelijk van allerlei, al dan niet regelbare, parameters. Wat de relatie van het meetresultaat met de omstandigheden is, is vaak onbekend of wordt onvoldoende begrepen. Een voorbeeld daarvan is de invloed van het vochtgehalte van het bovenste deel van de bodem, kort gemaaid of langer gras et cetera.

Door die ontbrekende kennis wordt (bijvoorbeeld bij een verandering van locatie) de correctie niet fundamenteel aangepakt. Fundamenteel zou zijn om de invloed van de omstandigheden exact te kwantificeren op basis van fundamentele fysische of chemisch kennis. Omdat we dat niet kunnen wordt achteraf via statistische technieken homogenisatie toegepast.

Vanuit een fundamenteel principe van het meten van een grootheid is het toepassen van correcties op individuele data alleen toegestaan als per meetresultaat de fysische aard en de grootte van de correctie precies kunnen worden gegeven. Om hele datareeksen door een statistisch filter te halen om zo een veelvoud van veranderende condities (locatie, apparatuur, meethut, begroeiing, verstedelijking et cetera) te “corrigeren” is vanuit meettechnische principes niet goorloofd.

De Amerikaanse statisticus William Briggs⁵ reageerde uitgebreid op de homogenisatie van De Bilt naar aanleiding van een artikel van Frans Dijkstra in de Volkskrant⁶. De huidige temperatuurreeks van De Bilt is volgens Briggs een collage van een aantal afzonderlijke waarnemingsreeksen, waarvan de eerste twee zijn gehomogeniseerd:

“In the notes to the data it said in 1950 there was “relocation combined with a transition of the hut”. Know what that means? It means that the data before 1950 is not to be married to the data after that date. Every time you move a thermometer, or make adjustments to its workings, you start a new series. The old one dies, a new one begins. If you say the mixed marriage of splicing the disjoint series does not matter, you are making a judgment. Is it true? How can you prove it? It doesn’t seem true on its face. Significance tests are circular arguments here. After the marriage, you are left with unquantifiable uncertainty. This data had three other changes, all in the operation of the instrument, the last in 1993. This creates, so far, four time series now spliced together.”

⁵ <http://wmbriggs.com/post/14718/>

⁶ <https://www.volkskrant.nl/columns-opinie/het-publieke-weergeheugen-werkt-misleidend~b8f77b3e/>

Er is nog iets merkwaardigs aan de praktijk van homogeniseren. Als bijvoorbeeld een trendbreuk door homogenisatie wordt gladgestreken, werkt die homogenisatie door op alle aan de trendbreuk voorafgaande data. Voor het doel dat de wetenschapper voor ogen heeft, namelijk het creëren van een lange, homogene temperatuurreeks, maakt het echter niet uit of de reeks vóór of ná de breuk wordt gecorrigeerd. Dat dat laatste niet gebeurt heeft te maken met de overtuiging dat de huidige metingen correct zijn. Deze veronderstelling is echter maar beperkt houdbaar, namelijk tot de volgende homogenisatie vanwege verandering van meetinstrument, hut of meetlocatie. De Bruin zegt terecht hierover: *“Dit (homogeniseren) ondermijnt het eigen gezag, want wie zegt het grote publiek dat er momenteel wel goed wordt waargenomen en dat er later niet opnieuw moet worden geharmoniseerd?”*

Ook het homogeniseren op basis van de meetresultaten van een ander station (in dit geval Eelde) is vanuit meettechnische principes niet geoorloofd. IJken doe je op een standaard en niet op de resultaten van een ander station, omdat er dan geen sprake meer is van onafhankelijke meetgegevens.

We zouden het hierbij kunnen laten, homogeniseren moet je niet doen, maar de werkelijkheid is dat homogeniseren van weergegevens op grote schaal voorkomt. Het KNMI stelt: *“De temperatuurreksen van de vijf hoofdstations Den Helder, De Bilt, Groningen, Vlissingen en Maastricht zijn door stationsverplaatsingen inhomogeen. Voor De Bilt speelt daarnaast een verandering van een pagodehut naar een Stevensonhut een rol. De afzonderlijke reksen zijn daardoor over hun volle lengte, zonder correcties, meestal ongeschikt voor het doen van uitspraken over klimaatverandering en -variabiliteit.”* (Brandsma 2016b)

De homogenisatie door Brandsma roept nog meer vragen op. Hoe weet Brandsma dat de trendbreuk in het Tx signaal van De Bilt niet natuurlijk is? En hoe weet hij dat het aantal hittegolven in De Bilt te hoog was? Om dat soort uitspraken te kunnen doen moet De Bilt worden vergeleken met een norm, een referentie. Het technische rapport geeft daar geen uitsluitsel over.

Of er werkelijk sprake is van een inhomogeniteit in het signaal van De Bilt rond 1950, of er aantoonbaar teveel hittegolven in de eerste helft van de 20ste eeuw geteld zijn en of de homogenisatie van De Bilt correct is uitgevoerd zullen we in de volgende hoofdstukken proberen te achterhalen.

3 Parallelmetingen op het KNMI-terrein

Het technische rapport (Brandsma 2016a) stelt: *“For T_x large positive corrections (up to 1.9°C) are found in summer for the largest percentiles. This is mainly a result (of) a combination of the pagoda which was open at the bottom and affected by reflected sunlight and the enclosed location till 1951.”*

De ‘neerwaartse sprong’ in de jaren ’50 in de temperatuurreeks van De Bilt werd door het KNMI gezien als een inhomogeniteit met twee oorzaken: de hutwisseling van Pagode naar Stevensonhut in 1950 en de verplaatsing over 300m van de hut in 1951.

Hutwisseling

Vanaf 1897 tot 1950 is de zogeheten Pagodehut gebruikt voor de temperatuurmetingen van station De Bilt. Het was een grote hut die aan de onderzijde open was, met een ventilerende dakconstructie. In Figuur 9 is direct achter de Pagodehut een Stevensonhut te zien. Die is daar begin 1942 geplaatst, op 4m afstand van de Pagodehut.

Brandsma (2011) vermeldt dat er parallelmetingen voorhanden zijn tussen Pagodehut en die Stevensonhut: *“The change in screen type was accompanied by parallel measurements. We digitized and analyzed these data and found that the screen transition explains about half (0.37 °C) of the downward jump in summer (April-September) maximum temperature.”*



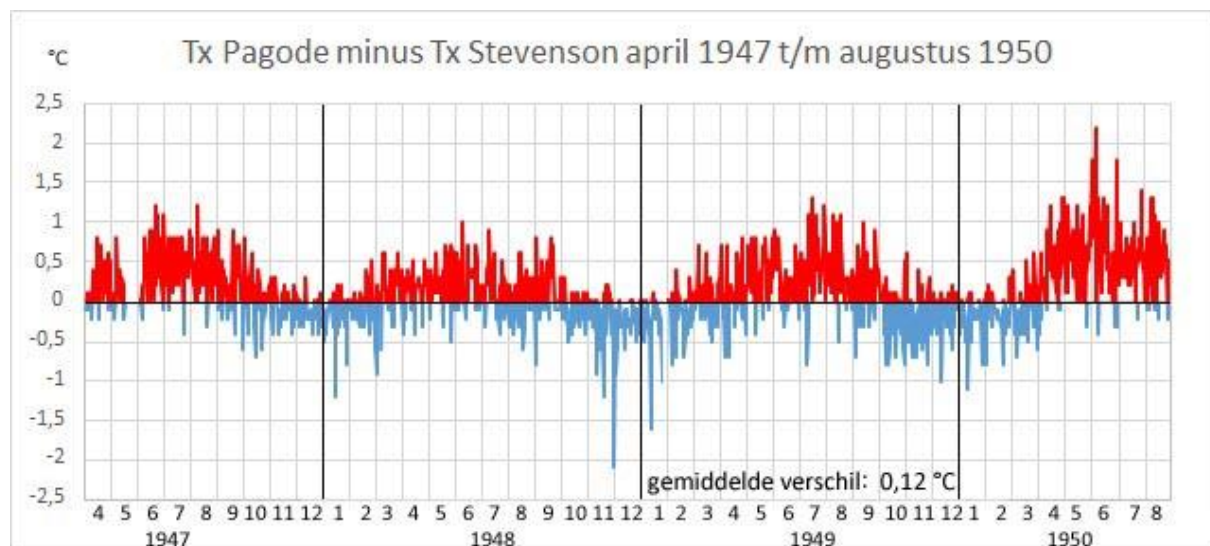
Figuur 9 De Pagodehut met rechts achter de Stevensonhut

Voorafgaand aan de hutwisseling van Pagodescherm naar Stevensonscherm op 17 mei 1950 zijn parallellmetingen van T_m , T_n en T_x verricht van 25 maart 1947 tot 31 augustus 1950. Brandsma (2019) rapporteerde dat de metingen in het Pagodescherm gemiddeld iets hoger waren dan in het Stevenson-scherm (ongeveer 0,3 °C), en dat de grootste verschillen *niet* werden gevonden op de warmste dagen.

Omdat deze gegevens voor ons onderzoek van belang kunnen zijn hebben we de data op 21 januari 2019 opgevraagd bij het KNMI. Helaas bleek het KNMI niet bereid om de gevraagde gegevens per ommekeer naar ons te sturen. Ze komen pas in maart 2019 beschikbaar, na publicatie van een artikel van het KNMI in Meteorologica (Brandsma 2019), terwijl het KNMI (Brandsma 2011) wel al in 2011 gebruik heeft gemaakt van die parallell metingen. Voor de eerste versie van dit rapport was

dat helaas te laat. De resultaten van de parallelmetingen van 25 maart 1947 tot 31 augustus 1950 werden door het KNMI niet gebruikt bij de homogenisatie. Dat is merkwaardig, omdat hiervoor al vermeld werd: “...found that the screen transition explains about half (0.37 °C) of the downward jump in summer (April-September) maximum temperature” (Brandsma 2011).

Vanaf april 1947 zijn de parallelmetingen tussen Pagode en Stevensonhut zijn grotendeels compleet: alleen van de Stevensonhut ontbreken 28 etmalen. In Figuur 10 is Tx-Pagode minus Tx-Stevenson weergegeven:



Figuur 10 Verschil tussen Tx gemeten in de Pagode en in de Stevensonhut.

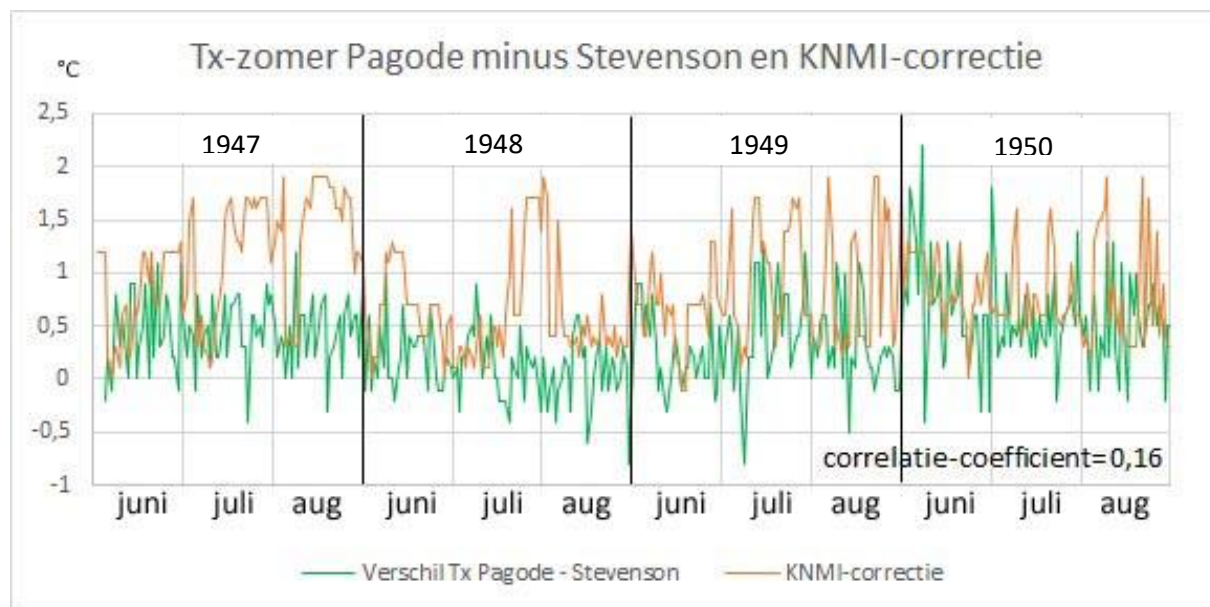
Duidelijk is in Figuur 10 de seizoenstrend te zien: van maart tot september is Tx van de Pagode over het algemeen hoger dan die van de Stevensonhut. Van oktober tot maart is de Stevensonhut over het algemeen warmer dan de Pagode. Over de gehele periode bezien is de Tx van de Pagode wat hoger dan die van de Stevensonhut, gemiddeld 0,12 °C. Als we naar de positieve extremen in de grafiek kijken dan zijn van de in totaal 1248 etmalen er 30 etmalen met een verschil > 1 °C, waarvan 3 etmalen met > 1,5 °C.

Vanwege de open onderzijde van de Pagodehut lijkt deze gevoelig te zijn geweest voor warmtestraling in de vroege morgen in combinatie met de lage windsnelheden in dit deel van de dag. Overdag zullen de verschillen waarschijnlijk gering zijn geweest vanwege de hogere windsnelheden (betere ventilatie in beide hutten). De oorzaak van de hogere Tx van de Stevensonhut in de perioden oktober tot maart blijft vooralsnog onduidelijk. Opvallend is dat de correctie die het KNMI toepast op Tx vrijwel uitsluitend betrekking heeft op de temperaturen waarbij Tx Pagode groter is dan Tx Stevensonhut. Dat was al duidelijk te zien aan de grafiek van Figuur 4 in hoofdstuk 1 over de correctiewaarde ΔTx als functie van de gemeten Tx: de hogere Tx van de Pagode worden gecorrigeerd met ΔTx van 0,1 t/m 1,9 °C, terwijl de te hoge Tx-waarden van de Stevensonhut worden gecorrigeerd met ΔTx van -0,1 t/m -0,4 °C.

Opvallend in de grafiek is dat de verschillen Tx-Pagode minus Tx-Stevensonhut in de warme maanden van 1950 groter zijn dan in de zomermaanden van de voorafgaande jaren. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat 1950 een warmere zomer kende dan de voorafgaande jaren, maar dat was niet het geval. Wel werd in de Stevensonhut vanaf april 1950 geforceerde ventilatie toegepast voor de natte-bolthermometer, waardoor de thermometer mogelijk lagere temperaturen weergaf. De temperatuursprong tussen maart 1950 en april 1950 in Figuur 10 is opvallend. Tijdens een zesjarig veldonderzoek tussen diverse meethutten werd tussen een geventileerde en een niet-geventileerde Stevensonhut gedurende de zomermaanden gemiddeld over zes jaren een verschil van 0,13 °C gevonden (Brandsma en Van der Meulen, 2008). Individuele jaren kunnen grotere verschillen tussen

geventileerde en niet-geventileerde hutten vertonen, waarbij met name bewolgingsgraad en windsnelheid een rol spelen.

Omdat de hoogste temperaturen en de hittegolven in de zomer voorkomen gaat de aandacht hier vooral uit naar de maanden juni, juli en augustus. In de grafiek van Figuur 11 is de Tx-Pagode minus Tx-Stevensonhut (groen) afgezet tegen de correctie (bruin) die het KNMI heeft toegepast op Tx De Bilt. Voor de weergegeven periode van in totaal 6 maanden is de correctie voor de meeste etmalen hoger dan het verschil tussen de Pagode en Stevensonhut.



Figuur 11 Verschil tussen Tx-Pagode minus Tx-Stevensonhut en de door het KNMI toegepaste correctie voor de etmalen in de zomers van 1947 t/m 1950.

De gemiddelde Tx gemeten in de pagode gedurende de weergegeven 12 maanden was 22,59 °C, de gemiddelde Tx van de Stevensonhut was 22,22 °C, een verschil van 0,37 °C. De gemiddelde correctie van het KNMI was in die maanden 0,84 °C. Dat betekent dat het resterende deel, te weten 0,84 °C minus 0,37 °C = 0,47 °C, de correctie voor de locatiewijziging zou moeten zijn.

De grafiek laat duidelijk zien dat de KNMI-correcties niet in de pas lopen met de verschillen die tussen Pagode en Stevensonhut zijn gemeten. Relatief kleine temperatuurverschillen tussen Pagode en Stevensonhut worden vaak sterk gecorrigeerd, terwijl op dagen waarbij de Pagode opvallend warmer is de correctie vaak gering is. In de zomermaanden zijn van de 364 dagen slechts 23 dagen met een temperatuurverschil tussen Pagode en Stevensonhut van > 1 °C, waarvan 3 dagen >1,5 °C. Het KNMI corrigeert echter in dezelfde periode 132 zomerdagen met >1 °C en 54 dagen met >1,5 °C !

Brandsma (2019) schrijft hierover: *“In de huidige versie van de homogenisatie van de vijf hoofdstations zijn de temperatuurcorrecties alleen afhankelijk van de temperatuur zelf. Op individuele dagen kan de werkelijke correctie daarom afwijken van de toegepaste correctie.”*

Bovenstaande cijfers laten echter geen normale afwijkingen zien, maar tonen een sterke overcorrectie. Deze overcorrectie is een gevolg van het feit dat de warmste dagen vaak niet de dagen zijn waarop het temperatuurverschil tussen Pagode en Stevensonhut het grootst zijn. De correctiemethode die het KNMI heeft toegepast corrigeert echter de warmste dagen het sterkt. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de correlatiecoëfficiënt tussen beide signalen in Figuur 11 zeer laag is: 0,16.

Een verklaring voor de bovenstaande overcorrectie kan zijn dat de tweede factor die in het spel is, namelijk de locatieverandering van de meethut in 1951, de hoge correctiefactoren kan

rechtvaardigen. Zoals we verderop in dit hoofdstuk zullen aantonen is dat niet het geval. Ook Brandsma (2019) sluit dat in zijn recente artikel in *Meteorologica* uit.

De Pagodehut is in De Bilt in 2016 herbouwd. Van september 2016 tot september 2018 zijn parallelle metingen verricht tussen deze herbouwde Pagode en een kunststof Stevensonhut. Die metingen vonden plaats op ongeveer 60 m noordelijk van meetlocatie DB260 (zie Figuur 8). Een overeenkomst tussen de oude parallelmetingen en deze nieuwe is dat ook deze recente metingen laten zien dat de Pagode gemiddeld warmer is dan de Stevensonhut en dat die verschillen het grootst zijn in de zomermaanden.

Maar er zijn ook opmerkelijke verschillen. Zo is in de recente metingen het verschil tussen de gemiddelde Tx-Pagode en Tx-Stevensonhut opmerkelijk groter dan in de metingen van 1947-1950, namelijk 0,31 °C tegen 0,12 °C bij de oude metingen. Een ander opvallend verschil is dat bij de recente metingen op 2% van alle meetdagen de Tx van de Stevensonhut hoger is dan in de Pagode, terwijl bij de oude metingen de Stevensonhut op maar liefst 35% van alle dagen een hogere Tx aanwijst dan de Pagode.

Oorzaken van deze verschillen kunnen velerlei zijn. Zo is in de recente metingen de Stevensonhut van kunststof en in de oude metingen van hout. Maar waarschijnlijk de belangrijkste verschillen zijn gelegen in het feit dat de locatie van de recente metingen sterk verschilt van die van de oude metingen. De locatie van de recente metingen was open, terwijl de oude locatie gelegen was in een parkachtige omgeving met hoge bomen en in de buurt van een groot KNMI-gebouw. Ongetwijfeld heeft dit gezorgd voor verschillen in instraling van zonlicht, warmtestraling van het gebouw en windsnelheid. Conclusie: de uitkomsten van de parallelmetingen tussen de nagebouwde Pagode en de Stevensonhut zijn niet vergelijkbaar met die van de parallelmetingen tussen 1947 en 1950.

Brandsma (2011) schrijft over de parallelmetingen van 1947 tot 1950: *“The change in screen type was accompanied by parallel measurements. We digitized and analyzed these data and found that **the screen transition explains about half (0.37 °C) of the downward jump in summer (April-September) maximum temperature.**”*. Opmerkelijk is dat Brandsma (2019) recentelijk echter stelt: *“Concluderend kunnen we stellen dat de **correctie in de maximumtemperatuur in De Bilt rond 1950 voor een belangrijk deel het gevolg is van de overgang pagode-Stevenson.*** De correctie in Tn is vooral het gevolg van de verplaatsing van locatie A/B naar C/D.” Blijkbaar is Brandsma met ons tot de conclusie gekomen dat de locatieverandering waarschijnlijk geen effect heeft gehad op Tx, zoals we in de eerste versie van dit rapport al aantoonden.

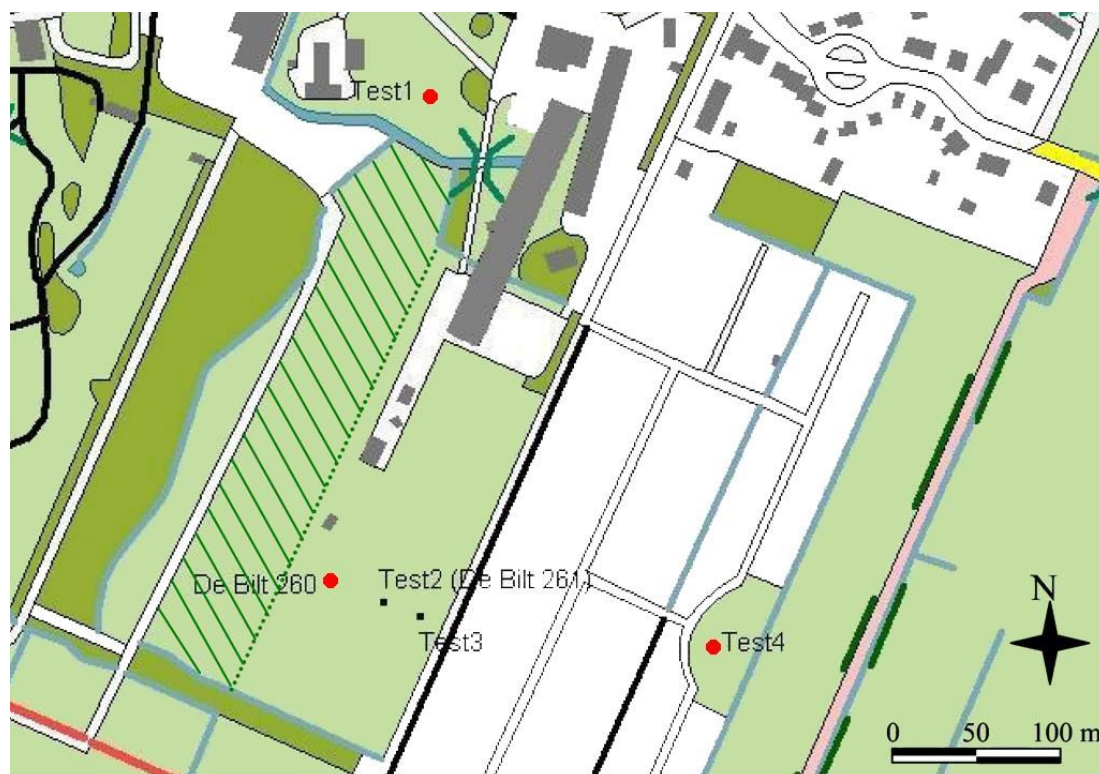
Locatiewisselingen in 1950 en 1951

Na de officiële ingebruikname van de Stevensonhut op 17 mei 1950 werd deze meethut binnen 16 maanden tweemaal verplaatst. Bij de eerste locatiewijziging op 16 september 1950 werd de hut 85 meter westwaarts verplaatst (van 1 naar 2, zie Figuur 8). De nieuwe omstandigheden moeten veel geleken hebben op de oude: de omgeving waarin de hut dan staat is hetzelfde halfopen park als voorheen. Alleen de afstand tot de KNMI-gebouwen is wat groter geworden. Parallelmetingen tussen A en B zijn niet aanwezig.

De tweede verplaatsing vindt plaats op 27 augustus 1951 naar een meetveld ongeveer 300 m ten zuiden van de oude locatie (van 2 naar 3, zie Figuur 8). De afstand is relatief groot en de omgevingsomstandigheden zijn anders. Geen halfopen park met hier en daar een hoge boom maar een open meetveld zonder directe nabijheid van gebouwen. Wel is er ten Z en ten W van de nieuwe meetlocatie hoge begroeiing (bomen) aanwezig. Deze nieuwe locatie heeft van 27 augustus 1951 tot 25 september 2008 onder de codenaam DB260 dienst gedaan als meetlocatie voor de officiële temperatuurreeks van De Bilt.

Ook van deze verplaatsing zijn zoals al geschreven is geen parallelmetingen voorhanden. Wel zijn in de periode van mei 2003 t/m juni 2005 parallelmetingen verricht tussen een vijftal locaties op het KNMI-terrein. Daarbij waren behalve de 'nieuwe' locatie van DB260 vanaf 1951 ook de oude (tijdelijke) locatie van de periode 1950-1951 betrokken.

Een van de redenen om deze parallelmetingen te verrichten was *"....to explore the possibility of using present-day parallel measurements to correct for inhomogeneities, caused by changes in the surroundings and a relocation of the thermometer screen in 1951."* (Brandsma 2011) In Figuur 12 zijn de vijf locaties aangegeven.



Figuur 12 Het testterrein voor de parallelmetingen tussen 2003-2005. Voor testlocaties verwijzen we naar de tekst.

Test1 is de locatie waar de Stevensonhut heeft gestaan van 16 september 1950 tot 27 augustus 1951, nadat de Pagodehut wegens bouwwerkzaamheden moest verdwijnen. DB260 is de locatie waar de meetopstelling op 27 augustus 1951 naartoe is verplaatst. Test4 is de huidige locatie van de meetopstelling, in gebruik genomen op 25 september 2008. Test1 en DB260 zijn de locaties die voor de homogenisatie van de temperatuur in De Bilt van belang zijn.

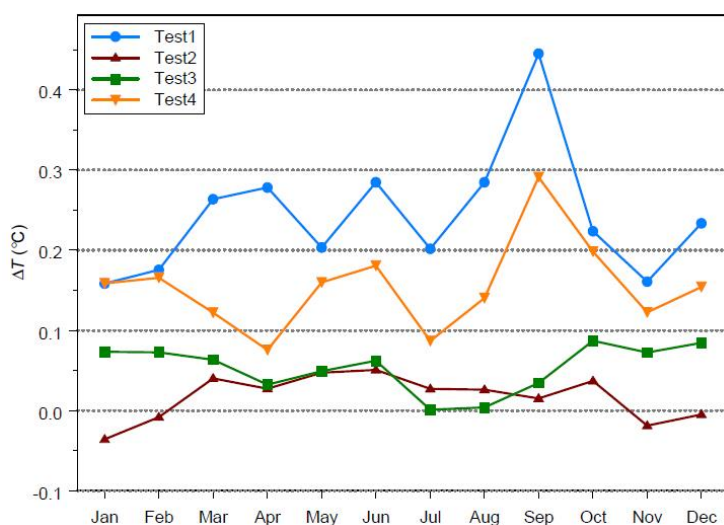
Gedurende het experiment vond een aanzienlijke verandering plaats in het gebied dat in Figuur 12 diagonaal groen gestreept is. Dit gebied was tot 1999 grasland geweest en vanaf die datum langzaam veranderd in ruderaal terrein met opschietende bosschages tot 3m hoog. In september en oktober 2004 werd dit ruderaal terrein veranderd in een park met waterpartijen en werden de struiken gerooid. Dit had tot gevolg dat er een inhomogeniteit ontstond in de meetreeks, het betreffende gebied was op slechts 12 m van de meetlocatie DB260 gelegen.

Om de vergelijking tussen de locaties Test1 en DB260 niet te laten beïnvloeden door genoemde ingreep hebben we gebruik gemaakt van de gegevens die in een interim-rapport (Brandsma 2005) verschenen zijn en waarvan de testgegevens lopen van mei 2003 tot mei 2004. Bijkomend voordeel is dat in dit interim-rapport DB260 als referentielocatie gebruikt wordt. In het definitieve rapport (Brandsma 2011) is Test4 de referentielocatie geworden. Redenen daarvoor waren de genoemde

inhomogeniteit in 2004 en het feit dat sinds 25 september 2008 Test4 de officiële meetlocatie van station De Bilt werd.

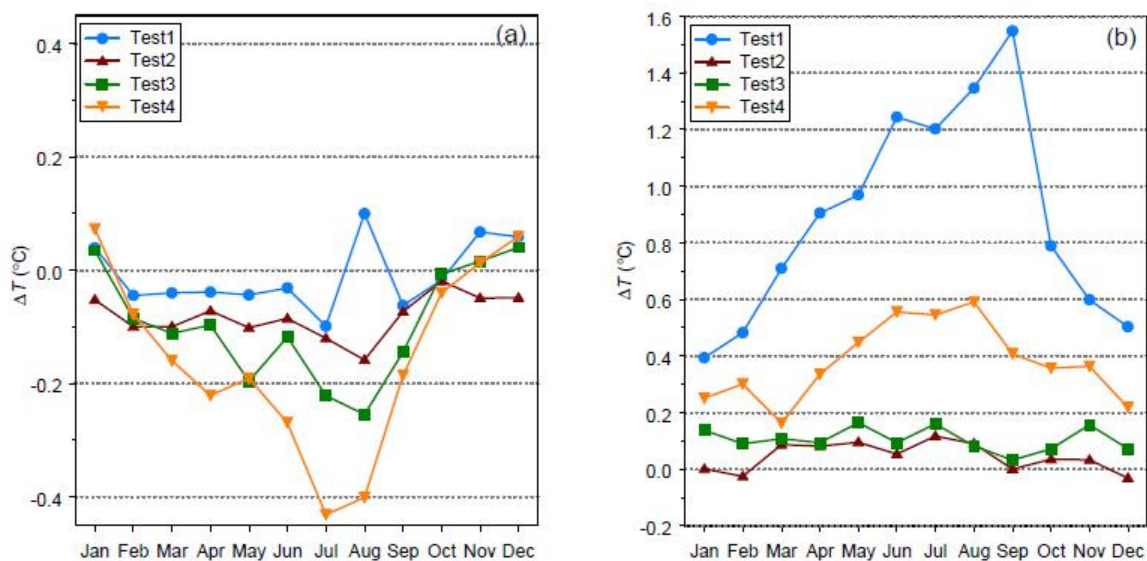
In Figuur 13 is de gemiddelde dagelijkse temperatuur per maand aangegeven voor de 4 testlocaties ten opzichte van DB260. De afwijking van elk van de testlocaties is dus de afstand tussen de gemiddelde dagelijkse temperatuur van elke locatie ten opzichte van de 0.0 lijn. Duidelijk is te zien dat de waarden van de Test1-locatie aanmerkelijk hoger liggen dan van DB260. De cijfers van Test1 zijn ook hoger dan van de andere testlocaties. Wel valt op dat het verschil tussen Test1 en Test4 het geringst is. Test4 is de huidige (vanaf 25 september 2008) officiële meetlocatie van de temperatuur van station De Bilt.

De verschillen tussen de locaties kunnen te maken hebben met verschillen in windsnelheid, zonlicht, straling door nabijgelegen gebouwen et cetera. Met name van de windsnelheid is bekend dat het vaak een belangrijke oorzaak is van temperatuurafwijkingen, vooral overdag.



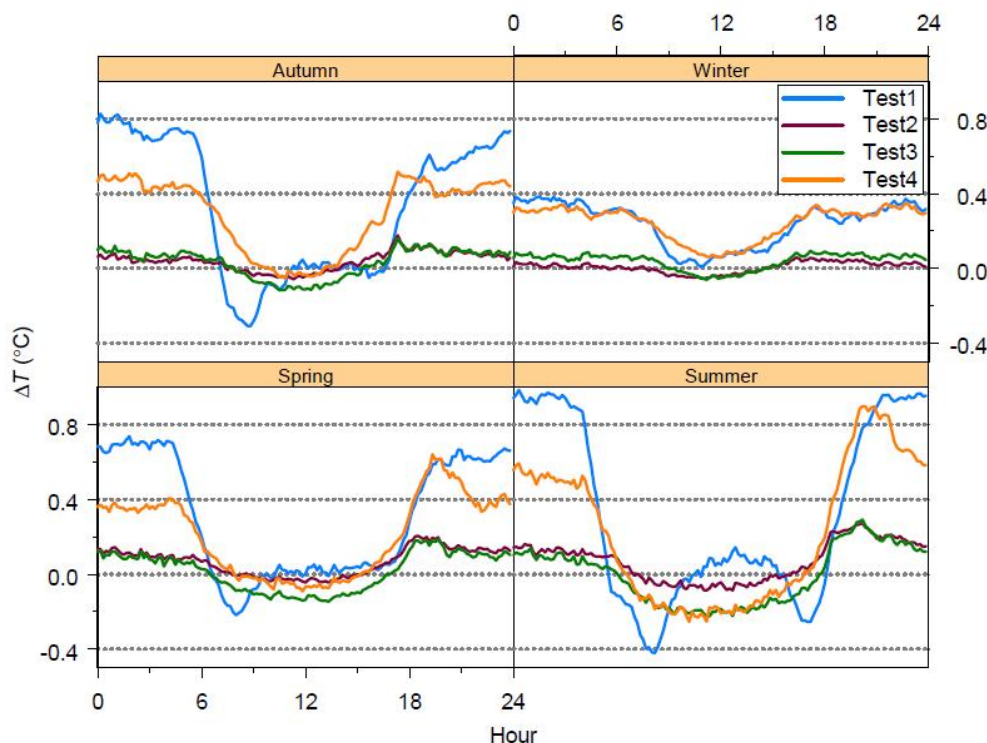
Figuur 13 Verschil tussen de gemiddelde dagelijkse temperatuur per maand van de 4 testlocaties ten opzichte van DB260

Bekijken we echter de gemiddelde dagelijkse maximum en minimum temperatuur per maand dan wordt het beeld heel anders:



Figuur 14 Verschil tussen de gemiddelde dagelijkse maximum (a) en minimum (b) temperatuur per maand van de 4 testlocaties ten opzichte van DB260

De gemiddelde Tx per maand van Test1 wijkt het minste af van die van DB260, terwijl de afwijkingen van de gemiddelde Tn van Test1 het grootst zijn. Om een verklaring te vinden voor die afwijkende minimum temperaturen op locatie Test1 heeft het KNMI de dagelijkse gang van de temperatuur ten opzichte van DB260 van de vier testlocaties in beeld gebracht:



Figuur 15 Verschillen tussen de 4 testlocaties en DB260 van de dagelijkse gang van de temperatuur

Te zien is dat de nachtelijke temperaturen van Test1 opvallend hoog zijn, met name in de zomer. Bovendien is te zien dat de temperatuur gedurende zonsopgang en zonsondergang fors daalt. Dat effect is het grootst in de zomer en het kleinst in de winter. Midden op de dag wijkt Tx van Test1 nauwelijks af van DB260.

De oorzaak van de hogere nachttemperaturen op Test1 moet niet gezocht worden in verschillen in windsnelheid, want de windsnelheid is 's nachts meestal geringer dan overdag. Mogelijk is de kleine 'sky view' een oorzaak: de locatie is omringd door hoge bomen. Door die beperkte 'sky view' wordt de nachtelijke warmte-uitstraling naar boven gehinderd. Ook de warmtestraling van de nabijgelegen bebouwing kan een rol spelen.

De oorzaak van de dip bij zonsopgang en -ondergang wordt gezocht in het feit dat door de omringende begroeiing en bebouwing de thermometerhut op die momenten van de dag in de schaduw ligt. Waar de andere testlocaties dan verwarmd worden door de zon, daalt de temperatuur van de Test1-locatie doordat de warmte-uitstraling op die momenten groter is dan de opwarming door de zon.

Tijdens het warmste deel van de dag zijn de temperaturen op Test1 in de lente en herfst ongeveer gelijk aan die van DB260. In de zomer en winter zijn deze iets hoger dan op DB260 (ongeveer 0,1 °C). Geconcludeerd mag worden dat de verplaatsing van de meethut in 1951 van de locatie Test1 naar de locatie DB260 geen noemenswaardig effect zal hebben gehad op Tx.

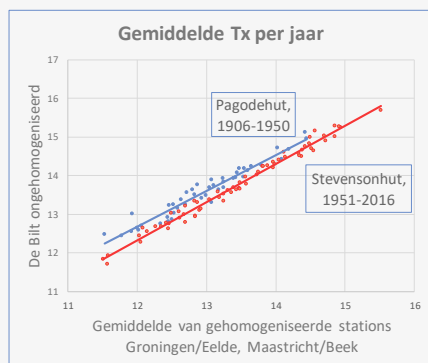
Conclusies

1. Het KNMI heeft voor de homogenisatie om onbekende redenen geen gebruik gemaakt van de parallelle metingen tussen de Pagode en Stevensonhut.
2. De parallelle metingen tussen 1947 en 1950 laten zien dat de Pagode op 65% van de dagen hogere temperaturen toont dan de Stevensonhut. Op de resterende 35% van de dagen is de Stevensonhut warmer dan de Pagode.
3. Het verschil tussen de gemiddelde Tx-Pagode en Tx-Stevensonhut bedraagt 0,12 °C. De verschillen in Tx zijn het grootst in de maanden juni, juli en augustus: gemiddeld 0,37 °C.
4. In de zomermaanden zijn van de 364 dagen er slechts 23 met een temperatuurverschil tussen Pagode en Stevensonhut van > 1 °C, waarvan 3 dagen >1,5 °C. Het KNMI corrigeert echter in dezelfde periode 132 zomerdagen met >1 °C en 54 dagen met >1,5 °C.
5. De warmste dagen zijn vaak niet de dagen zijn waarop het temperatuurverschillen tussen Pagode en Stevensonhut het grootst zijn. De correctiemethode die het KNMI heeft toegepast corrigeert echter de warmste dagen het sterkt, waardoor een sterke overcorrectie ontstaat.
6. Het KNMI corrigeert in de zomer Tx tot maximaal 1,9 °C naar beneden. We concluderen dat de hutwisseling van Pagode naar Stevensonhut geen zodanige verschillen teweeg heeft gebracht dat die de sterke correctie van Tx tot 1,9 °C rechtvaardigen.
7. Uit parallelle metingen (Brandsma 2008) blijkt dat gedurende het zomerhalfjaar de dagelijkse maximumtemperatuur (Tx) op de Test1-locatie (de locatie tussen 16 september 1950 en 27 augustus 1951) niet significant afwijkt van die van DB260, terwijl het verschil van de gemiddelde dagelijkse minimumtemperatuur in het zomerhalfjaar 1,2 °C bedroeg.
8. De verplaatsing van de meeteenheid van Test1 naar DB260 heeft waarschijnlijk nauwelijks effect gehad op Tx. Die locatiewisseling lijkt de grote correctie van Tx tot maximaal 1,9 °C dan ook zeker niet te rechtvaardigen. Brandsma concludeert recentelijk dat de correctie in de maximumtemperatuur in De Bilt rond 1950 voor een belangrijk deel het gevolg is van de overgang Pagode-Stevenson.

Homogeniseren voor dummies

Dummy 1. Vaste correcties voor alle dagen voor de inhomogeniteit.

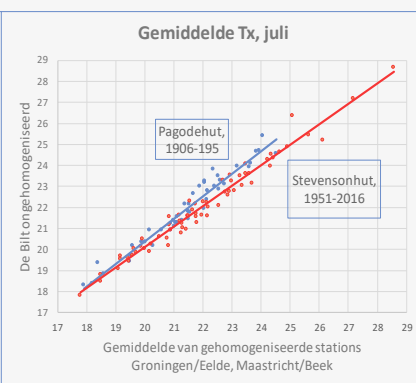
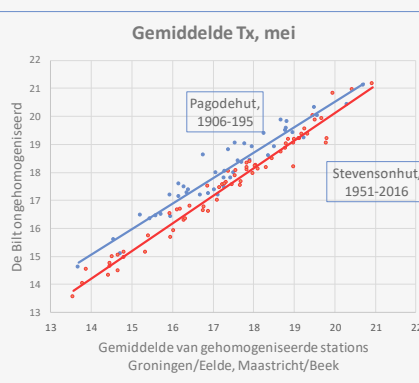
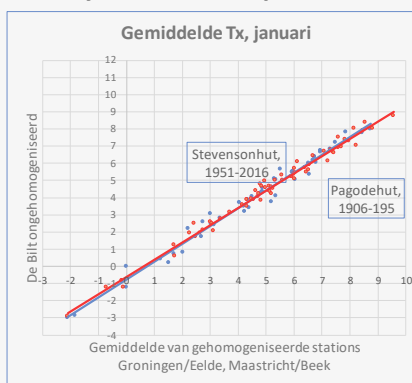
Omdat station De Bilt verdacht wordt niet homogeen te zijn, zetten we de gemiddelde temperatuur per jaar in De Bilt uit tegen de gemiddelde temperatuur van stations die gehomogeniseerd zijn.



De rode lijn geeft de metingen van De Bilt in de Stevensonhut, de blauwe lijn in de pagodehut. De blauwe lijn ligt ongeveer 0,3°C hoger dan de rode lijn. Dus was het in de pagodehut gemiddeld iets te warm. Hiervoor kan gecorrigeerd worden door van alle Tx-waarden 0,3°C af te trekken.

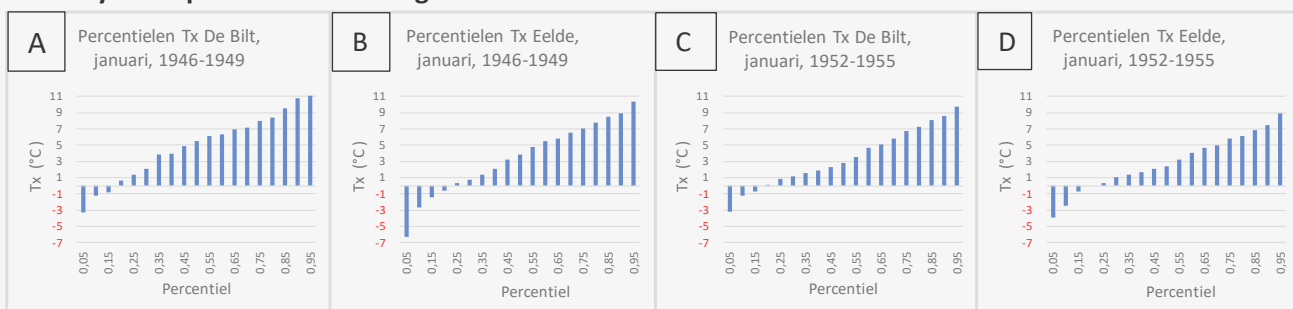
Maar het hangt ook van het seizoen af. Daarom herhalen we dit in **Dummy 2** voor alle maanden van het jaar. Hier worden alleen januari, mei en juli getoond.

Dummy 2. Correcties per maand.



In januari is het in de pagodehut niet warmer dan in de Stevensonhut, maar in mei is het in de pagodehut 0,5-0,8°C warmer. In warme julimaanden is het in de pagodehut ongeveer 0,8°C te warm, maar in koude julimaanden maakt het niet uit. Dat brengt ons op **Dummy 3**. Je moet het niet alleen per maand bekijken, maar ook onderscheid maken tussen koude en warme dagen: sorteert de dagelijkse temperaturen in twee vergelijkingsperioden van de koudste dag tot de warmste dag. De koudste 5% vallen onder het 5%-percentiel, de daarop volgende 5% vallen onder het 10% percentiel, enzovoorts. In **Dummy 3** wordt dit getoond voor de maand januari.

Dummy 3. De percentiel matching methode.



De reeks voor De Bilt heeft een inhomogeniteit rond 1950, de reeks voor Eelde is homogeen. De ruwe correcties voor De Bilt berekenen we per maand en per percentiel als volgt:

A-B = verschil tussen De Bilt en Eelde voor 1950.

C-D = verschil tussen De Bilt en Eelde na 1950.

(A-B) - (C-D) is het verschil tussen beide verschillen, waarmee per percentiel kan worden gecorrigeerd voor de verandering in De Bilt. Dit doen we voor alle 12 maanden. De ruwe correcties vertonen grote verschillen tussen aangrenzende maanden en aangrenzende percentielen. Daarom worden de correcties afgevlakt met een smoothing-filter.

4 De reconstructie van de homogenisatie van De Bilt

In dit hoofdstuk beschrijven we onze reconstructie van de homogenisatie die door het KNMI is toegepast op de etmaaltemperaturen van De Bilt. Die homogenisatie betreft Tg, Tn en Tx van 1 januari 1901 tot 1 september 1951. Het KNMI heeft de temperatuurreeksen van De Bilt gecorrigeerd voor de trendbreuk die in 1950/1951 zou zijn opgetreden. Een aantal detailgrafieken is te vinden in bijlage 2 (zie Appendix).

In het technische rapport van de homogenisatie schrijft het KNMI (Brandsma 2016a): *“For the investigated stations, it is known that there have been major relocations that caused inhomogeneities. In addition, for station De Bilt the relocation was accompanied by a major change in thermometer screen.”* Zowel de hutwisseling als de herlocatie in 1950 en 1951 zijn beschreven in hoofdstuk 1 en 3.

Omdat er volgens het KNMI geen parallelle metingen beschikbaar waren heeft men volgens het technische rapport als referentiereeks de data van Eelde gebruikt voor de periode 1946-1949 (vóór de veranderingen in De Bilt) en 1952-1955 (na de veranderingen in De Bilt). Eelde is ook gebruikt om de reeks van Groningen te homogeniseren bij de verplaatsing in 1951 vanuit de stad Groningen naar vliegveld Eelde, 10 km ten zuiden van de stad. We hebben gebruik gemaakt van de niet gehomogeniseerde maar wel gestandaardiseerde reeks (Brandsma 2013) van De Bilt.⁷ Met deze twee reeksen beschikken wij over hetzelfde basismateriaal als het KNMI.

Methoden

Het KNMI heeft de temperatuurreeksen gehomogeniseerd met de *percentiel matching methode*. Daarbij worden voor en na de transitie van een meetpunt gedurende een reeks van jaren parallelle metingen verricht, op grond waarvan voor elke maand percentielen in stappen van 0,05 van de gemeten temperaturen worden bepaald. Door de metingen per percentiel per maand vóór en na de transitie met elkaar te vergelijken kan een correctie worden berekend, waarmee de metingen van vóór de transitie kunnen worden aangepast.

Alle metingen tussen twee percentielen worden verminderd met de correctie die is berekend voor het dichtstbijzijnde hogere percentiel. In een periode van 4 jaar zijn er 113 - 124 dagen voor dezelfde maand. Dat betekent dat tussen twee percentielen in de vergelijkingsperioden gemiddeld ongeveer 6 metingen beschikbaar zijn. Dit leidt tot veel ruis in de data, doordat grote verschillen kunnen optreden tussen aangrenzende maanden en aangrenzende percentielen. Daarom heeft men de reeksen afgevlakt met een Loess smoother, waarvoor de span op 0,6 is gesteld op grond van *“a mixture of cross-validation and expert opinion.”*

Voor het berekenen van de percentielen verwijst het KNMI naar Hyndman en Fan (1996). Niet vermeld wordt welke methode er is gebruikt van de diverse mogelijkheden die door deze auteurs zijn genoemd. Volgens Wikipedia (2018) zijn er 5 hoofdmethoden om percentielen te bepalen, met een aantal subvarianten. In Excel zijn vanaf 2013 twee percentiel-functies beschikbaar: percentielen.exc en percentielen.inc. Het verschil zit in het wel of niet meetellen van de mediaan bij de beide helften van de populatie. Inclusieve percentielen liggen dicht bij de mediaan dan exclusieve percentielen en dit verschil neemt toe naarmate een getal verder van de mediaan af ligt. Wij hebben de inclusieve en de exclusieve methode gebruikt en het effect daarvan onderzocht op de resultaten van de

⁷ https://cdn.knmi.nl/knmi/map/page/klimatologie/gegevens/daggegevens/temp_260.txt

homogenisatie. Het KNMI-rapport vermeldt niet welke software gebruikt werd voor de Loess smoothing. Wij hebben de Loess utility voor Excel gebruikt volgens Peltier.⁸

De span van de smoothing kan worden uitgedrukt als de fractie van het aantal meetpunten dat wordt meegerekend in de smoothing. Er is geen objectieve maat voor de te gebruiken span. Gebruikt men een hoge span, dan wordt de ruis in de data sterk afgevlakt, maar verdwijnen fluctuaties op kortere termijn, die wel relevant kunnen zijn voor wat men wil laten zien. Gebruikt men een lage span, dan kan de ruis in de data zodanig overheersen dat men geen trend meer ziet.

Bij een span van 1,0 worden alle punten meegerekend. Bij korte reeksen moet een hoge span worden genomen, omdat anders de ruis domineert. Bij lange reeksen is een hoge span niet nodig. Bij een tijdreeks over meer dan 100 jaar (zie bijvoorbeeld Figuur 45 in hoofdstuk 8) is het voldoende 20 of hoogstens 30 punten mee te rekenen (de span is dan minder dan 0,2 of 0,3) om de ruis af te vlakken, maar toch relevante fluctuaties in de trend te blijven zien.

Bij de percentiel matching methode heeft men te maken met kleine reeksen: 19 punten voor de percentielen en 12 punten voor de maanden. De keuze van de span is daarbij van grote invloed op het resultaat. Wij hebben verschillende waarden van de span gebruikt en het effect van de span onderzocht op de resultaten van de homogenisatie. Bij de Loess utility in Excel is het minimaal aantal punten dat in de span kan worden meegerekend 5. Bij 12 maanden is de minimale span dus 0,417. Voor 19 percentielen is de minimale span 0,27.

Het technische rapport van het KNMI (Brandsma 2016a) vermeldt over de uiteindelijke correcties: *“The 5 and 95 percentiles are taken as the upper and lower limit, respectively. It was found that for the given number of days these are reasonable limits. For the final correction, temperature values more extreme than the limits are corrected using corrections of the nearest limit, so beyond the limits the correction remains constant.”* Wij interpreteren dit als volgt: temperaturen t/m het 5^e percentiel krijgen de correctie van het 5^e percentiel, temperaturen tussen het 5^e t/m en 10^e percentiel krijgen de correctie van het 10^e percentiel, etc., temperaturen boven het 90^{ste} percentiel en boven het 95^{ste} percentiel krijgen de correctie van het 95^{ste} percentiel. Deze interpretatie wordt bevestigd door het feit, dat de correcties van Brandsma in augustusmaanden 1,9 graad bedragen voor alle temperaturen boven 28 graden. Dat is in de augustusmaanden van 1946-1949 het 90^{ste} percentiel (zie Tabel 1).

We hebben in Excel een VBA-programma⁹ geschreven dat voor iedere dagtemperatuur van 1901 t/m 1950 eerst op grond van de percentielen voor De Bilt van 1946-1949 bepaalt onder welk percentiel van de betreffende maand die temperatuur valt, waarna de daarbij behorende correctie wordt toegepast. Een alternatief kan zijn, dat daarvoor de percentielen van 1952-1955 worden gebruikt. Wij hebben het verschil tussen beide methoden onderzocht. Voor de tropische dagen blijkt dit niets uit te maken, aangezien die allemaal in beide perioden in de twee hoogste percentielen vallen.

⁸ <https://peltiertech.com/loess-smoothing-in-excel/>

⁹ VBA = Visual Basic for Applications, de standaard programmeertaal voor macro's in Excel

Resultaten en discussie

Percentielen TX De Bilt 1946-1949 per maand													Percentielen TX Eelde 1946-1949 per maand												
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
5	-3,3	-4,7	0,8	9,2	11,2	15,2	16,6	17,2	16,1	7,2	3,3	-3,0	5	-6,4	-6,8	-0,8	8,0	10,4	14,4	15,8	17,2	14,8	6,1	2,7	-2,9
10	-1,3	-3,1	1,9	10,0	12,7	16,1	17,4	18,4	16,3	8,0	4,8	-0,2	10	-2,7	-5,0	-0,4	9,2	11,5	14,8	16,4	17,4	15,7	7,6	4,0	-0,7
15	-0,9	-2,0	2,7	11,0	13,6	16,4	17,9	19,1	17,1	9,2	5,6	2,2	15	-1,5	-4,2	0,4	9,8	12,6	15,5	17,0	18,0	16,5	8,3	5,0	1,1
20	0,6	-1,0	3,1	11,4	14,5	17,0	18,2	19,4	17,2	10,9	6,1	2,5	20	-0,6	-3,0	1,2	10,2	13,5	15,9	17,4	18,5	16,9	10,3	5,9	2,1
25	1,4	0,1	4,2	12,0	15,3	17,3	19,2	19,6	17,9	12,1	6,9	3,0	25	0,3	-1,9	2,0	11,0	14,6	16,1	18,4	18,9	17,4	11,6	6,6	3,0
30	2,1	1,1	5,2	12,2	16,1	18,0	20,2	20,0	18,2	13,0	7,6	3,8	30	0,8	0,9	2,9	11,3	15,0	16,5	18,9	19,3	17,9	12,0	6,9	3,5
35	3,8	2,7	6,5	12,8	16,5	18,3	20,3	20,2	18,5	13,3	7,9	4,3	35	1,4	2,8	4,0	11,6	15,4	16,9	19,6	19,7	18,3	12,7	7,6	4,0
40	4,0	4,2	7,5	13,3	16,9	18,6	20,9	20,7	19,2	14,1	8,2	4,8	40	2,1	3,5	5,6	11,9	16,0	17,3	19,9	19,9	18,6	13,1	7,9	4,3
45	4,9	5,3	8,9	13,9	17,6	19,1	21,2	21,1	19,7	15,0	8,7	5,3	45	3,3	4,5	6,7	12,5	16,4	17,7	20,3	20,2	18,9	13,6	8,2	4,8
50	5,5	6,4	9,6	14,3	18,3	19,5	22,2	21,8	20,1	15,4	9,0	6,0	50	3,8	6,0	7,6	13,4	16,9	18,2	21,1	21,0	19,6	14,5	8,5	5,2
55	6,1	7,4	11,0	15,3	19,2	20,0	23,2	22,0	20,5	15,7	9,3	6,3	55	4,8	6,6	8,5	14,1	17,5	18,5	21,3	21,6	19,8	15,0	8,8	5,7
60	6,3	7,8	12,1	16,0	19,3	20,2	23,7	23,2	21,2	16,2	10,0	6,8	60	5,5	7,1	9,7	14,4	17,9	19,1	22,0	21,9	20,1	15,3	9,2	6,2
65	7,0	8,3	12,3	16,4	20,0	20,8	24,5	24,1	22,7	16,3	10,3	7,5	65	5,8	7,5	10,5	15,2	18,6	19,5	22,4	22,4	20,8	15,8	9,6	6,9
70	7,2	8,7	13,0	16,9	20,5	21,2	25,6	24,7	23,3	17,0	11,1	8,0	70	6,5	7,8	10,6	15,6	19,5	19,8	23,0	23,0	21,8	16,2	10,2	7,5
75	8,0	9,0	13,5	17,3	21,4	22,1	26,9	25,3	24,0	17,5	11,9	8,3	75	7,1	8,4	11,7	16,2	20,2	20,3	24,9	23,8	22,6	16,6	10,8	8,2
80	8,4	9,4	14,8	19,1	22,3	23,2	28,2	26,0	24,9	18,0	12,2	9,2	80	7,8	8,8	12,5	17,4	21,5	21,5	25,7	24,0	23,6	17,4	11,3	8,6
85	9,6	10,0	15,3	20,9	23,9	25,6	29,0	26,7	25,3	18,9	12,5	9,9	85	8,5	9,2	12,9	19,1	22,0	23,2	26,8	24,9	24,0	17,9	11,7	8,9
90	10,8	10,5	16,6	21,8	25,3	28,8	30,3	28,0	26,1	19,3	13,2	10,6	90	8,9	9,6	14,7	20,9	23,5	27,6	27,7	26,7	25,2	18,6	12,3	9,8
95	11,2	12,3	17,8	24,1	27,2	31,2	32,0	29,6	28,2	20,2	14,1	11,3	95	10,4	10,8	15,8	23,2	25,8	29,6	31,1	27,6	26,7	19,7	13,0	10,9

Percentielen TX De Bilt 1952-1955 per maand													Percentielen TX Eelde 1952-1955 per maand												
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
5	-3,2	-0,8	1,7	8,3	10,4	13,7	15,9	16,6	12,6	8,6	0,8	0,3	5	-4,0	-3,4	0,2	7,3	9,5	12,8	15,9	16,1	12,4	7,2	0,1	-0,2
10	-1,2	-0,2	2,5	9,2	11,4	14,7	16,5	17,3	13,8	9,8	2,5	1,7	10	-2,5	-2,2	1,3	8,4	10,5	13,8	16,5	17,1	13,0	9,6	2,7	0,9
15	-0,7	0,1	3,7	10,0	12,3	15,4	17,1	18,2	14,7	11,0	4,7	3,1	15	-0,7	-1,3	2,0	8,9	11,5	14,5	16,7	17,5	13,8	10,3	3,7	1,8
20	0,1	0,9	4,5	10,2	12,6	15,9	17,5	18,8	15,4	11,8	5,5	3,7	20	0,0	-1,0	2,8	9,9	12,5	15,5	17,3	18,0	14,8	10,8	5,1	2,5
25	0,8	1,2	4,9	10,6	13,5	17,1	18,1	19,2	16,0	12,2	6,5	4,4	25	0,3	-0,6	3,8	10,0	12,7	15,9	17,5	18,6	15,6	11,2	6,7	3,0
30	1,2	1,9	5,9	11,0	14,0	17,3	18,4	19,5	16,2	12,8	7,5	4,9	30	1,1	-0,1	4,3	10,2	13,0	16,3	18,0	18,8	15,7	11,8	7,0	3,8
35	1,6	2,3	6,4	11,2	14,5	17,5	18,7	19,9	16,3	13,0	8,2	5,8	35	1,4	0,6	5,2	10,6	13,5	17,1	18,4	19,2	15,9	12,2	7,6	4,8
40	1,9	2,9	6,8	11,5	15,3	18,1	19,2	20,1	17,0	13,5	8,5	6,2	40	1,7	1,4	5,6	10,8	14,1	17,8	18,7	19,7	16,4	12,6	7,9	5,1
45	2,3	3,7	7,8	11,8	15,6	18,5	19,6	20,3	17,1	14,1	9,2	6,8	45	2,1	2,0	6,2	11,0	14,9	18,3	18,8	20,0	16,6	12,9	8,5	5,4
50	2,8	4,5	8,3	12,4	16,2	18,9	20,2	20,7	17,3	14,2	9,5	7,2	50	2,4	2,7	6,7	11,3	15,4	18,8	19,3	20,5	16,8	13,4	8,9	6,0
55	3,6	4,8	8,8	13,0	16,9	19,2	20,4	21,5	17,7	14,3	9,8	7,6	55	3,2	3,0	7,2	11,8	16,4	19,1	19,5	20,9	17,0	13,9	9,0	6,3
60	4,7	5,2	9,4	13,4	17,4	20,1	20,9	22,0	17,9	14,5	10,1	8,1	60	4,1	3,8	7,8	12,1	17,7	19,8	19,9	21,7	17,4	14,3	9,6	6,9
65	5,1	5,9	10,7	13,7	18,4	20,5	21,0	22,4	18,5	14,9	10,3	8,4	65	4,6	4,3	8,8	13,2	18,3	20,2	20,6	22,0	17,7	14,4	9,9	7,7
70	5,9	6,2	11,2	14,3	19,6	21,4	22,1	22,8	19,1	15,2	10,7	8,9	70	5,0	5,6	10,0	13,7	19,0	20,8	21,0	22,6	18,2	14,8	10,5	8,1
75	6,8	6,9	12,2	15,2	20,2	22,1	22,6	23,2	19,5	15,9	11,7	9,2	75	5,8	5,8	10,8	14,3	19,5	21,5	22,3	23,2	19,4	15,0	11,0	8,9
80	7,3	7,4	12,8	15,9	20,5	23,2	23,3	23,8	20,2	16,4	12,1	9,8	80	6,1	6,6	11,7	15,4	20,5	22,6	22,9	23,9	20,0	15,3	11,4	9,2
85	8,1	8,0	13,5	18,4	22,2	23,7	24,4	24,5	21,0	17,1	12,3	10,3	85	6,8	7,7	11,9	16,7	21,7	23,7	23,8	24,6	21,3	16,2	11,7	9,5
90	8,7	8,5	15,0	20,2	25,3	25,1	26,1	25,8	22,2	17,7	13,1	10,6	90	7,5	8,6	13,3	19,2	22,8	24,6	26,6	25,6	22,1	16,8	12,0	10,2
95	9,7	9,8	16,2	21,5	27,3	27,3	27,9	27,2	24,2	18,4	14,3	12,4	95	9,0	9,7	14,6	20,6	25,5	26,9	27,6	26,7	23,6	17,5	13,3	11,5

Tabel 1 Percentielen van de maximale etmaaltemperaturen per maand in de vergelijkingsperioden 1946-1949 en 1952-1955 in Eelde en De Bilt.

Tabel 1 laat de temperaturen per maand en per percentiel zien voor de twee stations in de twee vergelijkingsperioden. We hebben daaruit de correcties berekend zoals Brandsma beschrijft.

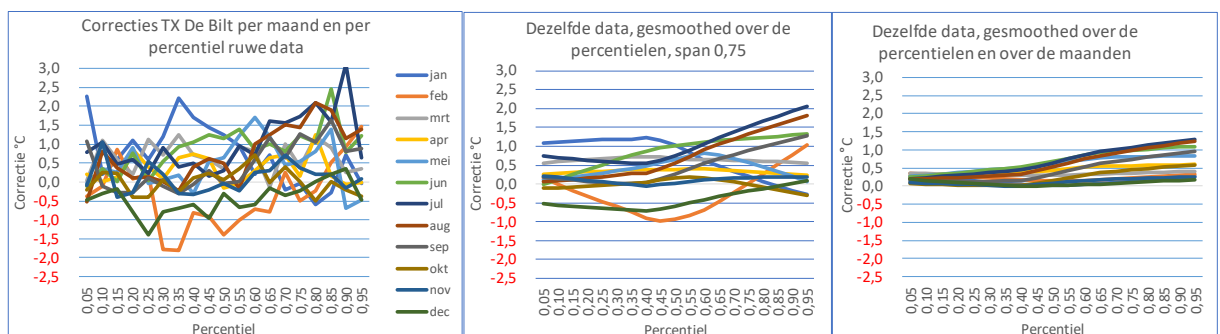
- 1) Voor elke maand is het verschil berekend tussen de overeenkomstige percentielen in De Bilt en Eelde in de twee perioden en vervolgens is het verschil tussen die twee verschillen berekend. Dat levert de ruwe correcties op die in Tabel 2 zijn weergegeven. De belangrijkste conclusie die uit Tabel 2 kan worden getrokken is, dat de ruis in deze data zeer groot is. Dat is niet verwonderlijk, omdat de basis van de correcties bestaat uit data uit twee zeer verschillende meteorologische perioden. Van 1946-1949 was er één extreem warme zomer (1947), één warme zomer (1948) en één extreem koude winter (1947). Van 1952-1955 waren er alleen koele zomers, drie zachte winters en één koude winter (1954). Tropische dagen kwamen van 1952-1955 weinig voor en geen enkel percentiel heeft in die periode in De Bilt of in Eelde een $T_x > 30^\circ\text{C}$. Bovendien liggen De Bilt en Eelde 147 km van elkaar. Door de gegevens van die stations in die perioden met elkaar te vergelijken kan het niet anders, dan dat men veel ruis genereert. Het is de vraag of daaruit betekenisvolle conclusies kunnen worden getrokken.

Correctie TX De Bilt per maand per percentiel: $\Delta T = \Delta T1 - \Delta T2$												
$\Delta T1$: temperatuurverschil De Bilt - Eelde voor de relocatie												
$\Delta T2$: temperatuurverschil De Bilt - Eelde na de relocatie												
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
5	2,3	-0,4	0,0	0,2	-0,1	-0,1	0,8	-0,5	1,1	-0,2	-0,1	-0,5
10	0,2	-0,1	1,1	0,0	0,3	0,4	1,1	0,8	-0,1	0,3	1,1	-0,3
15	0,6	0,9	0,6	0,1	0,2	0,0	0,5	0,4	-0,3	0,2	-0,4	-0,2
20	1,1	0,1	0,2	0,9	0,9	0,8	0,6	0,1	-0,3	-0,4	-0,3	-0,8
25	0,6	0,2	1,1	0,4	-0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	-0,4	0,6	-1,4
30	1,2	-1,8	0,7	0,1	0,1	0,5	0,9	-0,0	-0,1	0,1	0,2	-0,8
35	2,2	-1,8	1,3	0,6	0,2	0,9	0,4	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,7
40	1,7	-0,8	0,7	0,7	-0,3	1,0	0,5	0,4	-0,1	0,1	-0,3	-0,6
45	1,5	-0,9	0,6	0,6	0,5	1,3	0,1	0,6	0,3	0,2	-0,2	-1,0
50	1,3	-1,4	0,4	-0,2	0,7	1,2	0,3	0,5	-0,1	0,1	-0,0	-0,3
55	1,0	-1,0	0,9	-0,0	1,2	1,4	1,0	-0,2	0,0	0,4	-0,2	-0,7
60	0,2	-0,7	0,8	0,3	1,7	0,9	0,7	1,0	0,6	0,7	0,3	-0,6
65	0,7	-0,8	-0,1	0,6	1,2	1,0	1,6	1,3	1,2	-0,0	0,3	-0,2
70	-0,2	0,3	1,0	0,7	0,4	0,8	1,6	1,5	0,6	0,4	0,7	-0,4
75	-0,1	-0,5	0,4	0,2	0,5	1,2	1,7	1,5	1,3	-0,0	0,4	-0,2
80	-0,6	-0,2	1,2	1,2	0,8	1,0	2,1	2,1	1,0	-0,5	0,2	-0,0
85	-0,3	0,5	0,9	0,2	1,4	2,4	1,6	1,9	1,6	0,0	0,2	0,2
90	0,7	0,9	0,3	-0,1	-0,7	0,8	3,1	1,2	0,8	-0,2	-0,2	0,3
95	-0,1	1,5	0,3	-0,0	-0,5	1,2	0,7	1,4	0,9	-0,4	0,1	-0,5

Tabel 2 Correcties per maand en per percentiel als gevolg van vergelijking van de percentielen per maand in de vergelijkingsperioden.

- 2) Om tot bruikbare correcties per maand en per percentiel te komen is een sterke afvlakking van de verschillen tussen aangrenzende percentielen en maanden nodig. Daarvoor moet men in Tabel 2 eerst een smoothing uitvoeren over de kolommen (de percentielen), en vervolgens over de rijen (de maanden), of andersom. Figuur 16 laat het effect van de smoothing zien. De linker grafiek is de grafische weergave van Tabel 2, de middelste grafiek laat het resultaat zien van de smoothing over de percentielen, de rechter grafiek laat het resultaat zien na smoothing over de percentielen en over de maanden. Bij de smoothing over de maanden heeft het KNMI vóór januari de gegevens van december en november gekopieerd, en na december de gegevens voor januari en februari. Alleen op die manier kan worden voorkomen, dat deze maanden onbedoeld worden beïnvloed door het feit dat ze aan het begin of het einde van de reeks staan. Dat lijkt ons een juiste methode, omdat de smoothing aan het begin en het eind van een reeks minder nauwkeurig wordt. Wij hebben om deze reden 5 maanden toegevoegd aan het begin en het einde van een jaar, zodat ook zinvol gesmoothed kan worden over een periode van 10 maanden. De span is dan $10/12 = 0,83$.

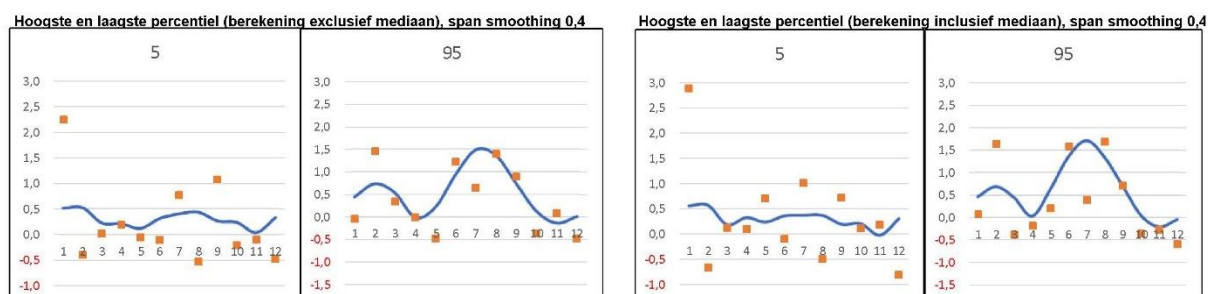
3)



Figuur 16 Correctiefactoren per maand en per percentiel. Links de data zonder smoothing, midden de data na smoothing over de percentielen, rechts de data na smoothing over de percentielen en over de maanden.

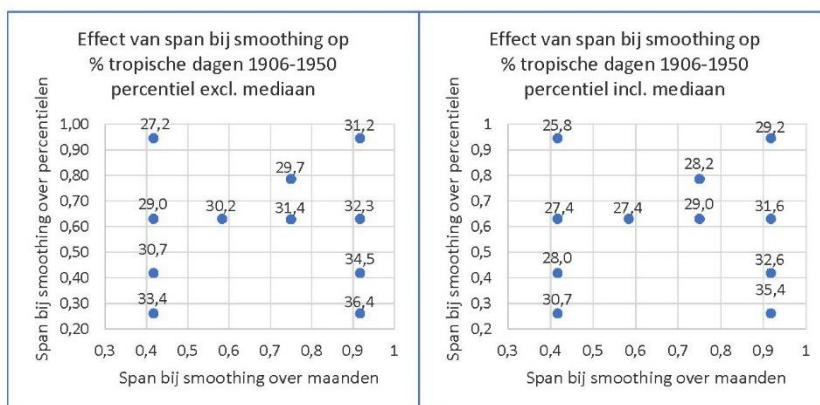
De correctiefactoren voor de 12 maanden zijn per percentiel in beeld gebracht in de Figuur 58 t/m Figuur 60 van bijlage 2. Daarbij zijn drie varianten gebruikt van de span van de twee smoothings: 0,4, 0,6 en 0,9. Deze percentielen zijn exclusief de mediaan. Uit deze figuren blijkt dat de span een grote invloed heeft op de omvang van de correcties. Het is dus mogelijk om door variatie van de span het resultaat te sturen in een gewenste richting. Het is moeilijk om op objectieve gronden een keuze te maken. Het KNMI schrijft dat men ‘*expert opinion*’ gebruikt. Wat die opinie inhoudt maakt men niet duidelijk, de keuze voor de span wordt niet gemotiveerd. Figuur 16 in het technisch KNMI-rapport (Brandsma, 2016a), hier weergegeven als Figuur 61 in bijlage 2 komt het meest overeen met onze Figuur 59 van bijlage 2 maar vertoont minder fluctuaties. Waarom het KNMI niet is uitgekomen op ongeveer dezelfde figuren als onze Figuur 59 of Figuur 60 in bijlage 2 is niet duidelijk.

Wij hebben de Figuur 58 t/m Figuur 60 in bijlage 2 ook berekend met percentielen inclusief de mediaan. Figuur 17 geeft correcties voor de hoogste en de laagste percentielen. Door te rekenen inclusief de mediaan worden de correcties voor het hoogste percentiel voor de zomermaanden groter.



Figuur 17 Effect van verschillende methoden om percentielen te berekenen op de correcties voor het hoogste en laagste percentiel van Tx in De Bilt. Links de percentielen berekend exclusief de mediaan, rechts de percentielen berekend inclusief de mediaan.

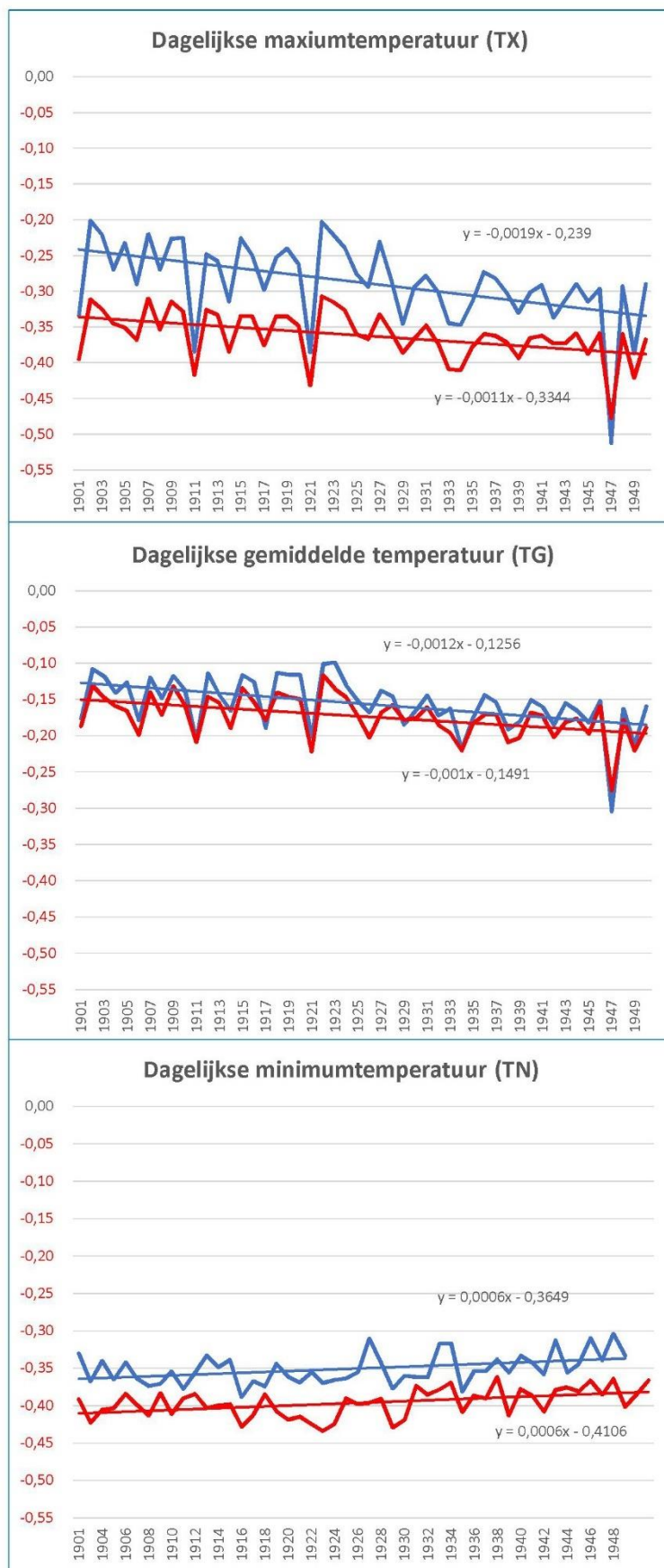
We hebben het effect van de span op de correcties diepgaander onderzocht. Voor een aantal varianten van de span voor de twee smoothings hebben we de Tx-reeks van De Bilt gecorrigeerd, de tropische dagen geteld en het percentage daarvan berekend dat vóór 1951 valt. Dat is gedaan met percentielen die zijn berekend exclusief de mediaan en inclusief de mediaan. Figuur 18 laat het resultaat zien. Hoe hoger de span van de smoothing over de percentielen, hoe minder tropische dagen voor 1951 geteld worden. Bij de smoothing over de maanden is het juist andersom: hoe hoger de span, hoe meer tropische dagen worden gevonden. Bij percentielen inclusief de mediaan zijn de verschillen het grootst. Bij een span van 0,6 in beide dimensies, zoals Brandsma specificeert in zijn technisch rapport, vinden wij ca 30% tropische dagen bij percentielen exclusief de mediaan en 27,4% bij percentielen inclusief de mediaan. Het getal 26%, waar de gehomogeniseerde reeks van het KNMI toe leidt, hebben we niet kunnen reproduceren.



Figuur 18 Effect van span van de smoothing op percentage tropische dagen vóór 1950. Percentielberekening exclusief mediaan (links) en inclusief mediaan (rechts).

Daggemiddelde temperatuur en dagelijkse minimumtemperaturen

Figuur 19 geeft de gemiddelde correcties per jaar voor Tx, Tg en Tn als gevolg van de homogenisatie van het KNMI en onze reconstructie. Op de Y-as is het verschil uitgezet tussen de ongehomogeniseerde, maar wel gestandaardiseerde data van De Bilt en de homogenisatie. De negatieve getallen betekenen dat de homogenisatie de oorspronkelijke waarden heeft verlaagd.



Figuur 19 Gemiddelde correcties per jaar als gevolg van de homogenisatie van Brandsma (blauw) en onze reconstructie van die homogenisatie (rood).

Bij Tx valt op dat onze reconstructie leidt tot gemiddeld grotere correcties dan de homogenisatie van het KNMI. Het verschil loopt van 1901-1950 af van 0,09 tot 0,05 graden. Maar voor 1947 komt het KNMI tot veel grotere correcties. Dat geldt in mindere mate ook voor 1911 en 1921. In warme zomers leidt de methode van het KNMI kennelijk tot extra grote correcties die niet uit onze reconstructie blijken. De fluctuaties in de correcties zijn bij het KNMI veel groter dan bij onze reconstructie. Waarom 1947 er bij het KNMI zo sterk uitspringt kunnen we niet verklaren. Ook het KNMI heeft daar desgevraagd geen verklaring voor gegeven.¹⁰

Bij Tg en Tn zijn de verschillen tussen de homogenisatie van het KNMI en onze reconstructie klein, gemiddeld over de periode 1901-1950 0,02-0,05 graden. Wel zijn de fluctuaties van de jaarlijkse Tg bij het KNMI wat groter dan bij ons. Bij Tg valt vooral 1947 sterk op doordat de homogenisatie van het KNMI voor dat jaar een veel hogere correctie oplevert. Dit hangt samen met de nog veel grotere correctie bij Tx.

De trend in de correcties in de periode 1901-1950 is bij het KNMI voor Tx sterk dalend en bij Tn licht stijgend. Voor Tg is de trend licht dalend. De sterke daling van de correcties bij Tx is in onze reconstructie niet aanwezig

Conclusies

1. De uitkomst van de homogenisatie met de percentiel matching methode, zoals door het KNMI (Brandsma 2016a) uitgevoerd, is sterk afhankelijk van de gebruikte span bij de smoothing en van de manier waarop de percentielen worden berekend. Zonder smoothing is de ruis in de data zo groot, dat geen conclusies per percentiel en per maand zijn te trekken.
2. Dit herhalingsonderzoek bevestigt niet dat bij homogenisatie het aantal tropische dagen en het aantal hittegolven voor 1951 in De Bilt zo sterk daalt als het KNMI claimt.
3. De statistische onzekerheden in de percentiel matching methode bij de door het KNMI gebruikte datareeksen van twee ver van elkaar verwijderde vergelijkingsstations zijn dermate groot dat het aanbeveling verdient andere vergelijkingsstations bij de homogenisatie te betrekken.
4. Zolang er geen algemeen geaccepteerde methode is gevonden om tot gehomogeniseerde daggegevens voor de Bilt te komen dient het KNMI zich in de media te onthouden van uitspraken over klimatologische records die in strijd zijn met de oude, niet gehomogeniseerde reeksen. Het is beter geen homogenisatie te hebben dan een verkeerde homogenisatie.

¹⁰ Correspondentie tussen F.Y. Dijkstra en A.M.G. Klein Tank, januari 2017

5 Reconstructie van de homogenisatie op basis van de aanvullende informatie van het KNMI

Het vorige hoofdstuk laat zien dat reconstructie van de homogenisatie op basis van de informatie uit het Technisch Rapport van het KNMI (Brandsma 2016a) niet tot dezelfde resultaten leidt. De jaargemiddelden van de gemiddelde en de minimumtemperaturen bleken vrij nauwkeurig reproduceerbaar te zijn, maar bij de maximumtemperaturen is er in de jaargemiddelden een substantieel verschil, dat niet in de tijd constant is en voor de jaren met hete zomers het grootst is. Met het aantal tropische dagen in de periode 1901-1950 wijkt onze reconstructie van de homogenisatie af van die van het KNMI. Dat leidde bij ons tot het vermoeden, dat door het KNMI nog andere bewerkingen van de data zijn toegepast, dan in het Technisch Rapport (Brandsma 2016a) zijn vermeld.

Hoor en wederhoor

We hebben geprobeerd hoor en wederhoor toe te passen en hebben het KNMI vroegtijdig in kennis gesteld van onze belangrijkste bevindingen. Ons voorstel om daarover een gesprek te hebben werd door het KNMI afgewezen. Wel wilde het KNMI schriftelijke vragen beantwoorden. In bijlage 3 staan onze vragen van 25 oktober 2018 en de op 9 november 2018 ontvangen antwoorden. Voor dit rapport zijn de volgende punten relevant:

- (1) Het KNMI blijkt een defaultmethode in de R-software te hebben gebruikt voor het bepalen van de percentielen. In hoeverre die methode afwijkt van de standaardmethoden van Excel (exclusief of inclusief mediaan) kunnen wij niet beoordelen. Het KNMI schrijft dat er geen reden was om een andere keuze te maken.
Wij hebben vastgesteld dat de keuze van de methode voor het bepalen van de percentielen invloed heeft op het aantal tropische dagen dat men vindt. Er kan dus wel degelijk een reden zijn om af te wijken van de defaultmethode van de R-software.
- (2) Op welke wijze de span van de smoothing is bepaald legt het KNMI in het technisch rapport niet uit, ook niet hoe men daarbij '*expert opinion*' heeft toegepast. Wel stelt het KNMI dat het effect van een kleine verandering van de span '*op het oog*' klein is.
Wij hebben vastgesteld dat het effect van de span op het aantal tropische dagen groot is en betreuren het, dat het KNMI hier niet verder op in is gegaan.
- (3) In het antwoord op onze derde vraag stelt het KNMI dat er geen aanvullende aanpassingen zijn gedaan op de data, die kunnen verklaren waarom wij niet dezelfde resultaten vinden. Vervolgens meldt het KNMI dat niet de data van 1946-1949 zijn vergeleken met die van 1952-1955, zoals in het rapport staat, maar de data van januari 1946- augustus 1950 met die van januari 1952 – augustus 1956. Dit is gedaan om zoveel mogelijk data van vóór de overgang op de Stevensonhut mee te nemen. Bovendien zijn de percentielen voor elke maand gebaseerd op lopende gemiddelden van drie maanden.
- (4) Over de statistische fout in de berekende correcties meldt het KNMI dat die moeilijk is te bepalen, maar dat men rekening houdt met een fout van een paar tiende graad op de grootste correcties.
Naar onze mening is deze opvatting niet onderbouwd. Wij vinden door variatie van percentielberekening, de span en de vergelijkingsstations veel grotere verschillen ten opzichte van de homogenisatie van het KNMI dan een paar tiende graad.

Het KNMI gaat nergens in op de gevolgen die de gemaakte keuzen hebben voor de uitkomsten van de homogenisatie. Het is ons dus onbekend of het KNMI de gevoeligheid van de methode voor die keuzen heeft onderzocht. Het meest opvallend zijn twee dingen die we hierna zullen onderzoeken:

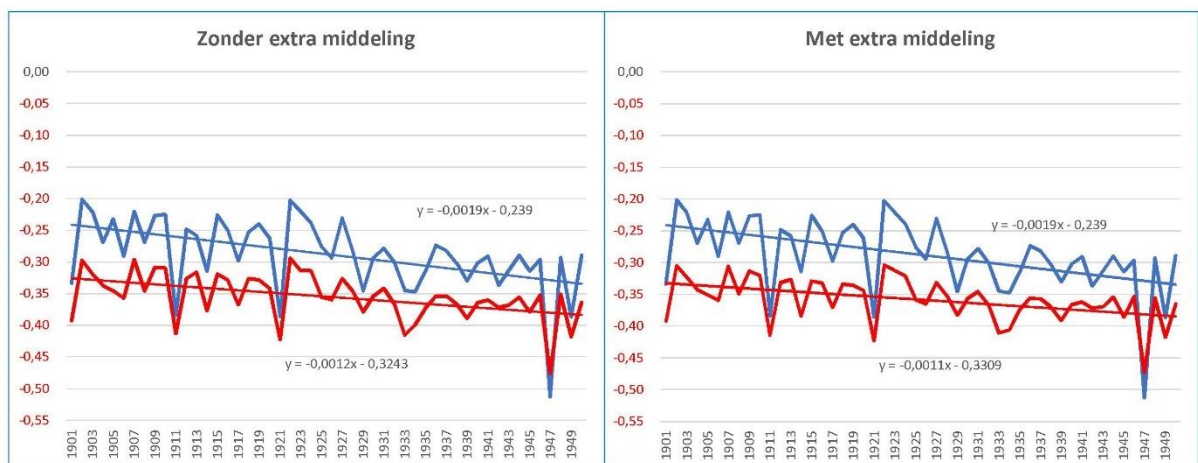
- percentielen gebaseerd op lopende driemaands gemiddelden en
- vergelijkingsperioden van 56 maanden in plaats van 48 maanden.

Driemaands gemiddelden

Door de percentielen te baseren op lopende gemiddelden van drie maanden wordt een derde afvlakking geïntroduceerd: eerst een driemaands gemiddelde over de percentielen, dan een smoothing over de verschillen tussen de percentielen in de oude en de nieuwe situatie, en vervolgens een smoothing van die uitkomsten over de maanden.

Bij een span van 0,6 berekent men een smoothing over de maanden op basis van 7 punten ($7/12 = \text{ca } 0,6$). Door uit te gaan van driemaands gemiddelden neemt men aan weerszijden van die 7 punten een punt extra, waardoor men in feite 9 punten meerekent. Ongeveer hetzelfde effect is te bereiken door bij de smoothing over de maanden uit te gaan van een span van 0,75.

We hebben geprobeerd de homogenisatie te reconstrueren op basis van lopende gemiddelden van de percentielen over drie maanden. Figuur 20 laat het effect zien op de jaargemiddelden van de correcties van Tx.



Figuur 20 Gemiddelde correctie Tx per jaar, 1901-1950, volgens de homogenisatie van het KNMI (blauw) en volgens onze reconstructie (rood). Links: de percentielen in onze reconstructie gebaseerd op percentielen per maand. Rechts: de percentielen in onze reconstructie gebaseerd op driemaands gemiddelden.

Het effect op de jaargemiddelden is gering, gemiddeld zijn de jaargemiddelden na de extra middeling 0,02 °C hoger, maar in de jaren met warme zomers gemiddeld 0,04 °C lager.

Figuur 62 in bijlage 2 laat de correcties per maand en percentiel zien, berekend met een lopend driemaands gemiddelde van exclusieve percentielen en een span van 0,6 bij de smoothings. Deze figuur is vergelijkbaar met Figuur 59 in bijlage 2. Het belangrijkste verschil tussen Figuur 62 en Figuur 59 is de spreiding van de meetpunten: die liggen door de extra middeling over 3 maanden, dichter bij de gesmoothde lijnen.

In Tabel 3 wordt het effect van de verschillende smoothings op de aantallen tropische dagen getoond. De middeling van de percentielen over drie maanden levert voor de periode 1906-1950 vier extra tropische dagen op, bij een span van 0,6. Instellen van de span op 0,75 levert nogmaals 2-3

extra tropische dagen op. Het geringe aantal tropische dagen in de homogenisatie van het KNMI kan dus niet verklaard worden uit de middeling van de percentielen over 3 maanden. Gezien het geringe effect van deze extra middeling zien we hier verder van af en gebruiken een span van 0,75.

Volgens KNMI		Reconstructie homogenisatie volgens dit rapport		
Originele metingen	Gehomogeniseerd	Span 0,6	Span 0,75	Span 0,6, extra middeling
164	76	92	91	94

Tabel 3 Aantal tropische dagen 1901-1950 volgens originele metingen en 4 varianten homogenisatie

Vergelijkingsperiode 56 maanden

Zoals hiervoor gemeld, heeft het KNMI in afwijking van wat in het technisch rapport staat, niet een periode van 48 maanden gebruikt voor de overappende periode, maar van 56 maanden, 1 januari 1946 t/m augustus 1950, om zoveel mogelijk metingen van voor de transitie van de meetapparatuur mee te nemen. Dit heeft een aantal bezwaren:

- (1) Hierdoor gaat de vergelijking niet over een heel aantal jaren. De maanden januari-augustus wegen daardoor zwaarder dan de maanden september-december.
- (2) Er wordt in de periode 1952-1956 een extra strenge winter meegerekend en een extra koele zomer. Wat dat voor gevolgen heeft voor de matching van de percentielen is niet eenvoudig te voorspellen. Uit diverse door ons uitgevoerde reconstructies met andere vergelijkingsstations in Nederland en Duitsland, en andere vergelijkingsperiodes (4 jaar, of 15 jaar) blijken onverwachte en soms grote effecten op te treden (zie hoofdstuk 6 en 7).
- (3) Het bezwaar dat de twee vergelijkingsperiodes meteorologisch onvergelijkbaar zijn wordt door de toevoeging van 8 maanden aan beide perioden niet opgeheven:
 - 1946-1950 telde 1 extreem strenge winter, 1 extreem warme zomer en 1 warme zomer, en daar komen door toevoeging van 8 maanden 1 warme zomer en een normale winter bij,
 - 1952-1956 telt na toevoeging van 8 maanden 1 koude winter, 1 strenge winter en alleen koele zomers.
 Die vergelijkingsperiodes blijven onvergelijkbaar. Bovendien sloeg omstreeks 1950 de AMO-index (Atlantic Multidecadal Oscillation) in de zomermaanden om, wat de inleiding was tot een lange periode met veel slechte zomers die tot 1975 aanhield.

Wij hebben de reconstructie van de homogenisatie herhaald met toevoeging van de door het KNMI genoemde 8 maanden. We hebben de homogenisatie uitgevoerd met exclusieve en inclusieve percentielen en een span van 0,75 voor de beide smoothings.

Figuur 63 in bijlage 2 laat de jaargemiddelden van de correcties van Tx, Tg en Tn zien met gebruikmaking van exclusieve en inclusieve percentielen. Bij vergelijking met Figuur 189 in hoofdstuk 4 valt het op, dat onze reconstructie voor Tx niet meer tot grotere correcties leidt dan de homogenisatie van het KNMI. Het verschil dat we in hoofdstuk 4 vonden kan dus blijkaar verklaard worden uit de toevoeging van 8 maanden aan de vergelijkingsperiode.

Toch blijven er grote verschillen tussen onze reconstructie en de homogenisatie van het KNMI. De grote fluctuaties van de correcties per jaar, die de KNMI-homogenisatie laat zien, vinden wij niet. Dit geldt in het bijzonder voor de grote correcties in jaren met hete zomers (1911, 1921 en 1947) die het KNMI vindt. Voor Tn zijn onze correcties iets groter dan in de homogenisatie van het KNMI. Tg neemt een middenpositie in, wat logisch lijkt. Onze reconstructies met exclusieve percentielen liggen dicht bij de KNMI-homogenisatie dan die met inclusieve percentielen.

We kunnen constateren, dat door toevoeging van de 8 extra maanden in 1950 en 1956 onze reconstructie dichter bij de homogenisatie van het KNMI komt, maar dat de verschillen in jaren met hete zomers blijven bestaan. Dat blijkt ook uit de aantallen tropische dagen, zoals Tabel 4 laat zien.

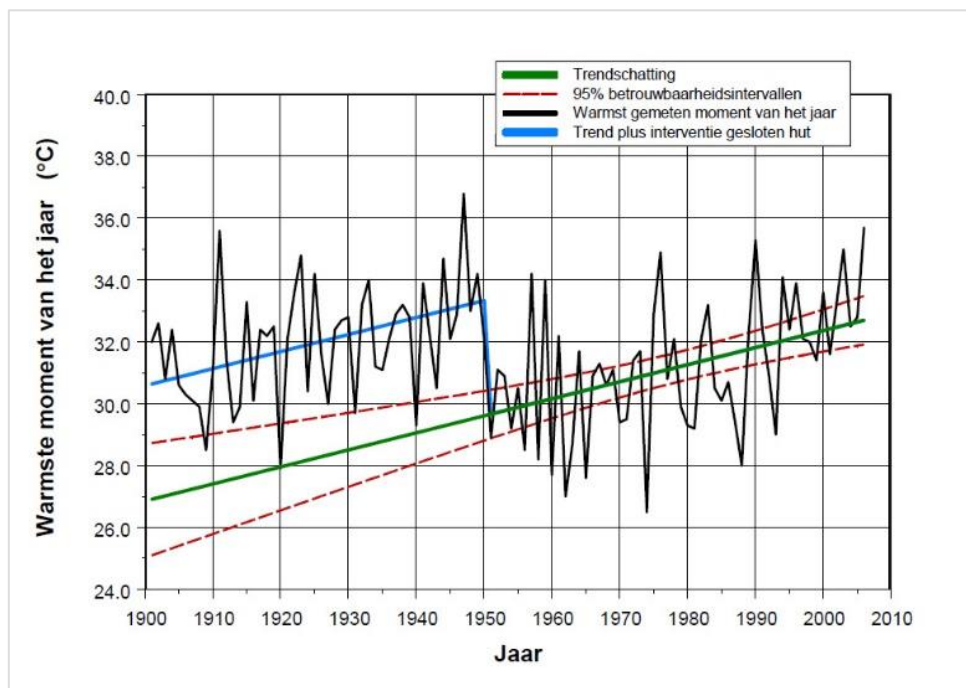
Volgens KNMI		Reconstructie homogenisatie volgens dit rapport			
Origineel	Homogenisatie	Span 0,6 excl.	Span 0,75 excl.	Span 0,60 incl	Span 0,75 incl
164	76	87	87	89	94

Tabel 4 Aantal tropische dagen 1901-1950 volgens originele metingen en 4 varianten homogenisatie met vergelijkingsperioden van 56 maanden

In alle varianten van onze reconstructie vinden wij meer tropische dagen vóór 1950 dan het KNMI: onze uitkomsten variëren van 87-94, tegen 76 volgens het KNMI.

Brandsma (2017) stelt in zijn weerwoord op Dijkstra (2017) dat het “*onrealistisch is om van een homogenisatiemethode te verwachten dat ze de allerhoogste extremen (zoals het aantal tropische dagen per jaar) perfect corrigeert.*” Dat kunnen we onderschrijven, maar in dat licht is het verbazingwekkend dat het KNMI en het PBL in de zomer van 2018 juist veel in de publiciteit zijn getreden met de sterke toename van hittegolven, tropische en zomerse dagen in de laatste 50 jaar, vergeleken met de periode daarvoor, meestal zonder te vermelden dat de cijfers van voor 1950 gecorrigeerd zijn. Aangezien het KNMI zelf toegeeft, dat het onrealistisch is om te verwachten dat deze correcties perfect zijn, zou op dit punt grote terughoudendheid verwacht mogen worden.

Maximale jaartemperatuur



Figuur 21 Ontwikkeling van de maximale jaartemperatuur volgens Visser (2007).

De ontwikkeling van de maximale temperatuur in Nederland (c.q. De Bilt) is iconisch geworden voor de hittegolven van de toekomst. Sommige auteurs (o.a. Mureau c.s., 2013) hebben de vraag gesteld ‘*wanneer bereiken we in Nederland de 40 graden?*’ Visser (2007) deed een poging de trend in de maximale jaartemperaturen van 1901-1951 te corrigeren voor de (vermeende) te hoge metingen in de pagodehut in De Bilt. Zie Figuur 21.

Door de hele temperatuursprong rond 1950 toe te schrijven aan de pagodehut, kwam Visser tot een correctie van 3,5 °C voor de maximale jaartemperaturen in de periode 1901-1950. Hij ging er daarbij

impliciet van uit, dat in Txx een lineaire trend zit over een periode van meer dan 100 jaar. Uit onze analyses volgt dat dit niet juist is: in werkelijkheid is er sprake van een golfbeweging. De temperatuursprong rond 1950 kan slechts ten dele worden toegeschreven aan instrumentele veranderingen en is grotendeels klimatologisch van aard, zoals in hoofdstuk 6 wordt aangetoond.

Conclusies

1. De door het KNMI toegepaste middeling van de percentielen over drie maanden heeft weinig invloed op de uitkomst van de homogenisatie.
2. Het verlengen van de vergelijkingsperiode van 48 tot 56 maanden heeft een duidelijke invloed op de uitkomst van de homogenisatie. Tx wordt daardoor gemiddeld 0,1 °C hoger, Tg 0,05 °C hoger en op Tn heeft het geen invloed.
3. Onze reconstructie van de homogenisatie komt door het verlengen van de vergelijkingsperiode van 48 tot 56 maanden dicht bij de homogenisatie van het KNMI, maar de verschillen tussen de jaren blijven bij de KNMI-homogenisatie groter dan bij onze reconstructie, in het bijzonder in jaren met hete zomers.
4. Het feit dat onze reconstructie dicht bij de homogenisatie van het KNMI komt betekent niet dat de vergelijkingsperiode van 56 maanden beter zou zijn dan 48 maanden. De eerder genoemde bezwaren tegen de vergelijkingsperiode van 56 maanden blijven van kracht.
5. Het aantal van 76 tropische dagen van 1901-1950 waar het KNMI op uitkomt wordt door onze reconstructie niet bevestigd. Wij vinden 87-94 tropische dagen met Eelde als vergelijkingsstation en exclusieve percentielen. Het is evident, dat daardoor ook meer hittegolven vóór 1950 berekend worden.
6. Het feit, dat schijnbaar arbitraire keuzen in de methodiek (percentielberekening, smoothing, lengte van de vergelijkingsperiode) veel invloed hebben op de uitkomsten van de homogenisatie, laat zien dat deze methode niet geschikt is om daggegevens te corrigeren met de pretentie van een nauwkeurigheid van 0,1 graad. Dat is statistisch onverantwoord.
7. Gehomogeniseerde dagtemperaturen dienen te worden afgerond op tenminste hele graden. Dan zou het KNMI van 1901-1950 ook 104 tropische dagen tellen, omdat 29,5 °C statistisch niet te onderscheiden is van de tropische waarde 30 °C. Het aantal hittegolven vóór 1950 zou dan niet 7 zijn maar 10 tot 12.

6 De temperatuursprong en de correctie van het KNMI

Hoofdstukken 4 en 5 toonden een reconstructie van de homogenisatie met de *percentiel matching methode* (verder afgekort tot PMM) die het KNMI op de temperatuur in De Bilt heeft toegepast met Eelde als vergelijkingsstation. In dit hoofdstuk en het volgende passen we een onafhankelijke methode toe. Die methode bestaat uit directe vergelijking van Tx in De Bilt met een representatieve referentieset. De vergelijking levert een schatting op van de grootte van de door de instrumentele veranderingen ontstane trendbreuk van Tx in De Bilt rond 1950. Die schatting vergelijken we met de toegepaste Tx correctie van het KNMI.

In een groot deel van NW-Europa deed zich in de zomer een neerwaartse temperatuursprong voor tussen 1947 en 1956. Die sprong is van klimatologische aard. De veronderstelde breuk in 1950/51 als gevolg van de instrumentele veranderingen valt dus binnen deze klimatologische neergang. Als we corrigeren voor die gemeenschappelijke klimatologische sprong dan moet er een trendbreuk detecteerbaar zijn in De Bilt die andere stations niet vertonen.

De beste methode om een trendbreuk of inhomogeniteit in de temperatuur te detecteren is vergelijking met parallelmetingen (zie hoofdstuk 3). Een andere mogelijkheid is vergelijking met naburige stations. Essentieel bij het detecteren van een breuk is de gebruikte referentiereeks. Gebruikt men een andere set van referentiestations dan zal het resultaat, zoals het tijdstip en de grootte van de breuk, waarschijnlijk anders uitpakken. De referentiereeks bestaat vaak uit het gemiddelde van de waarden van homogene nabijgelegen stations. Sprongen in een tijdreeks worden gedetecteerd op grond van het verschil met de homogene referentiereeks als de trend van de verschilreeks een breuk vertoont op een bepaald tijdstip.

Van der Schrier et al (2011a) gebruiken voor de samenstelling van de CNT (Centraal Nederlandse Temperatuur) een referentiereeks van een aantal langjarige Nederlandse temperatuurreksen om te bepalen of er in de temperatuurreksen van De Bilt sprake is van inhomogeniteiten. De homogeniteitstesten tonen breuken rond 1918-1920, 1950, 1968-1969 en 1976. Voor de breuk rond 1918-1920 is voor de samenstelling van de CNT niet gecorrigeerd en evenmin voor de breuk rond 1976; die breuken waren niet significant.

Over de breuk rond 1950 schrijven Van der Schrier et al in Meteorologica (2011b): *"..de breuk rond 1950 is duidelijk verwant aan een reeks aanpassingen die plaatsvonden in het begin van de 50-er jaren. Op 17 mei 1950 werd de Pagode vervangen door een Stevenson hut. Op 16 september 1950 is de opstelling in westelijke richting verplaatst, om op 27 augustus 1951 300 m naar het zuiden te verhuizen."* In hetzelfde artikel lezen we dat niet alleen gecorrigeerd werd voor de breuk rond 1950 maar ook voor een verlaging van de Stevensonhut in 1961 en de vervanging van de Stevensonhut door een schotelhutje in 1993. Wij konden niet achterhalen of en welke referentiestations daarbij werden gebruikt. Dat is overigens een euvel van meer KNMI-rapporten: wat men precies heeft gedaan wordt niet vermeld. De normale praktijk is, dat men parallelle metingen doet op dezelfde locatie met het oude instrument en het nieuwe instrument. Daar zijn geen referentiestations bij nodig.

In een eerder rapport van Van Ulden (2009) lezen we dat er twee breuken zijn gedetecteerd en niet vier, te weten in 1950 en 1976. Daarbij werden Den Helder, Groningen/Eelde, Oudenbosch en Maastricht/Beek gebruikt als referentiestations. De grootte van de trendbreuk in 1950 werd bepaald als het verschil van de gemiddelden tussen 1935-1949 en 1951-1965.

In dit hoofdstuk gaat het over de breuk rond 1950. Het KNMI (Brandsma 2016a) heeft voor de correctie van deze breuk slechts één reeks gebruikt als referentie: Eelde. Afgezien van het feit dat het gebruik van slechts één station als referentie statistisch gezien problematisch kan zijn is dat nog om

een andere reden opvallend. In het Scientific Report (Van Ulden 2009) wordt gesteld dat Eelde te sterk afwijkt van de meer centraal gelegen stations en daarom niet werd meegenomen in de CNT. Waarom het KNMI desondanks Eelde toch als referentie nam voor de homogenisatie van De Bilt is onduidelijk.

Duitse stations als referentie voor de homogenisatie van De Bilt

Voor het KNMI is de aanleiding om de dagelijkse temperaturen van De Bilt tussen 1901 en 1951 te corrigeren een breuk in de reeks als gevolg van hutwisseling en locatieverandering. Om te onderzoeken of er rond 1950 inderdaad sprake is van een instrumentele breuk hebben we een referentieset van meetstations samengesteld die geen correctie of homogenisatie hebben ondergaan. Om te vermijden dat we daarvoor de al of niet gehomogeniseerde stations in Nederland gebruiken (die bovendien onderling correleren omdat bij homogenisatie vaak dezelfde referentiesets worden gebruikt), hebben wij gekozen voor een volledig onafhankelijke referentieset die we het *Duits ensemble* noemen. Aan die eis voldeden zeven meetstations in Duitsland:

1. Aachen:	1930-2010
2. Münster:	1901-1991 (1945 en 1946 afwezig)
3. Solingen:	1936-2002
4. Geisenheim:	1935-2015
5. Jena Sternw:	1901-2015
6. Lindenberg:	1907-2015
7. Potsdam:	1901-2015

Tabel 5 De 7 stations van het Duitse ensemble

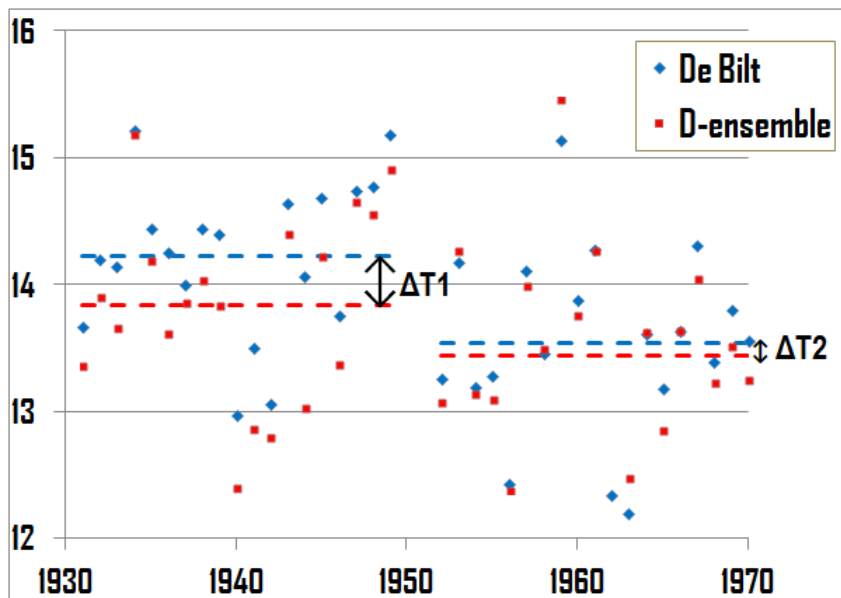
De stations zijn geselecteerd uit de verzameling van 1246 Duitse stations in de ECAD databank¹¹. Veel stations vielen af vanwege het ontbreken van teveel data (waarschijnlijk als gevolg van oorlogshandelingen), veel andere reeksen beginnen pas na 1950. De gebruikte etmaalreeksen van Tx zijn non-blended en voor zover we hebben kunnen nagaan ongehomogeniseerd. In deze studie zijn alleen de jaarlijks gemiddelden van de dagelijkse maximumtemperaturen gebruikt voor analyse. De 2 ontbrekende jaren 1945 en 1946 voor Münster werden opgevuld met die van het meest nabijgelegen station Winterswijk met een kleine correctie. De methode waarmee het Duitse ensemble werd samengesteld is beschreven in Bijlage 1.

Methode

Het feit dat de instrumentele veranderingen in De Bilt toevallig plaatsvonden tijdens een regionale klimatologische neergang kan leiden tot misverstanden, namelijk door de klimatologische neergang te identificeren met de instrumentele breuk. Maar een trendbreuk kan niet worden gedetecteerd door alleen het onderhavige station te bekijken zoals Visser (2007) deed (zie Figuur 21). In de PMM die Brandsma toepaste is de klimatologische neergang namelijk niet relevant, omdat die ook optreedt bij de vergelijkingsstations.

De grootte van de breukcorrectie is alleen afhankelijk van het verschil tussen De Bilt en de referentiestations over de tijdsintervallen voor en na de instrumentele veranderingen in 1950/51. Of de temperatuur na 1951 omhoog of omlaag gaat of gelijk blijft is niet relevant.

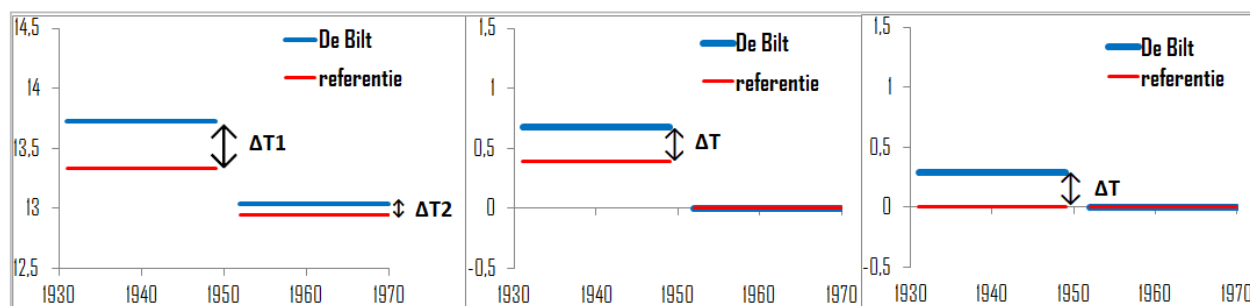
¹¹ <https://www.ecad.eu/>



Figuur 22: Jaargemiddelde T_x ($^{\circ}\text{C}$) van De Bilt en van het Duitse ensemble in de vergelijkintervallen 1931-1949 en 1952-1970. De horizontale streepjeslijnen zijn de gemiddelden over de beide vergelijkingsintervallen. De T_x neergang na 1950 in De Bilt is groter dan die in het ensemble: $\Delta T_1 = 0,21$ en $\Delta T_2 = -0,16$ $^{\circ}\text{C}$. De geschatte trendbreuk in De Bilt (ΔT_x) is dan $0,37^{\circ}\text{C}$.

De formule voor de T_x -correctie ($\Delta T_x = \Delta T_1 - \Delta T_2$; zie hoofdstuk 4) geldt voor de percentielen per maand maar zoals we verder zullen zien kunnen we als goede benadering voor ΔT_1 en ΔT_2 ook de gemiddelde T_x -en over de hele vergelijkingsintervallen nemen.

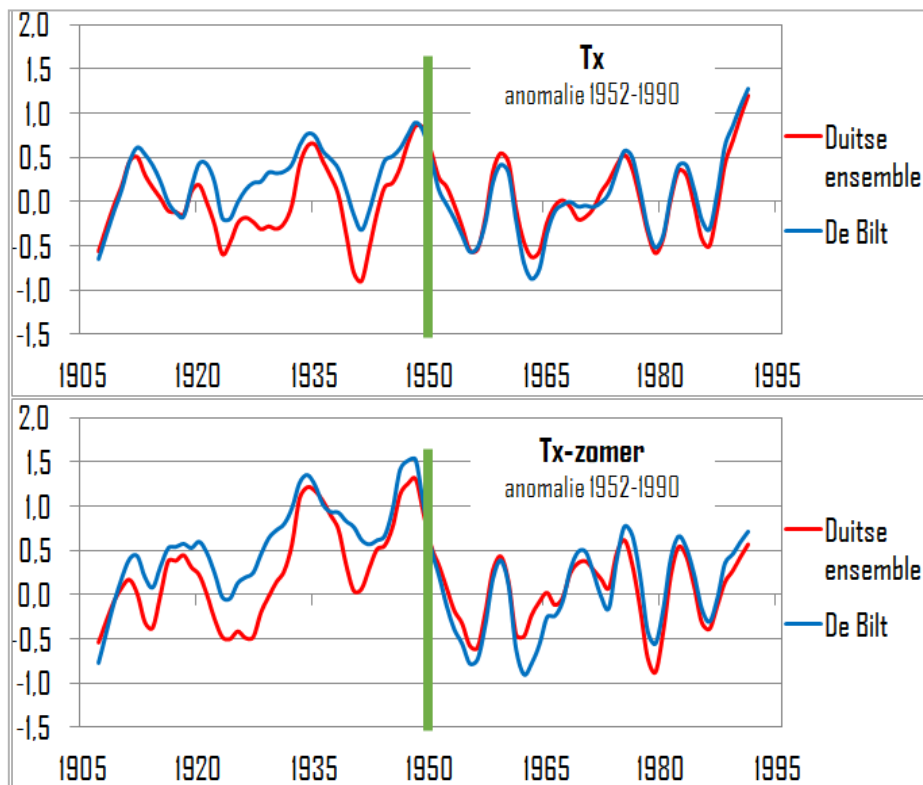
We willen nu een schatting maken van de benodigde T_x correctie in De Bilt en die vergelijken met de T_x correctie van het KNMI. Om het visuele aspect te vergemakkelijken zijn de temperatuurgrafieken uitgezet als anomalie van het gemiddelde over het interval 1952-1990. In Figuur 23 is de gevolgde methode schematisch weergegeven. De schatting van de benodigde T_x -correctie wordt gegeven door vergelijking van De Bilt met een representatieve referentieset:



Figuur 23: Methode (schematisch). Links: gemiddelde T_x -zomer in De Bilt (blauw) en idem voor de referentieset (rood) over de intervallen 1931-1949 en 1952-1970¹². De T_x neergang na 1950 is in De Bilt groter dan die in de referentieset. Midden: beide T_x reeksen nu uitgezet als anomalie van het gemiddelde over het interval 1952-1970. Rechts: de residue ΔT ($=\Delta T_1 - \Delta T_2$): de geschatte benodigde neerwaartse T_x correctie voor De Bilt.

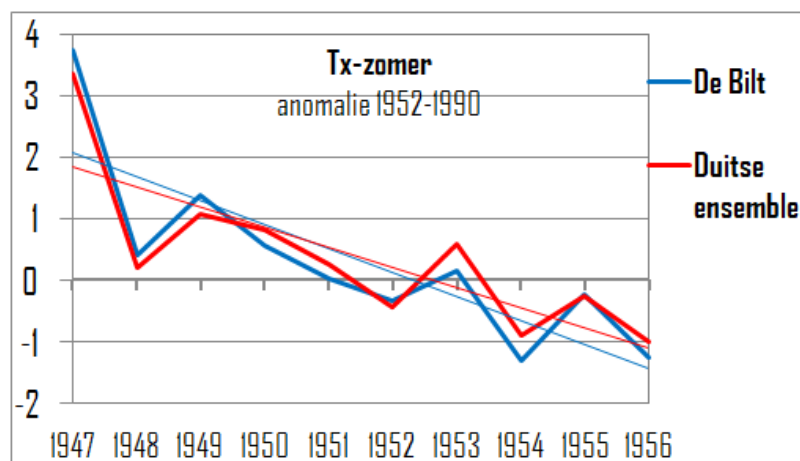
In Figuur 24 vergelijken we de jaargemiddelde T_x en T_x -zomer (mei t/m september) van de ongehomogeniseerde data van De Bilt met die van het Duitse ensemble. De T_x reeksen zijn gladgestreken met een Loess filter.

¹² Deze 18-jaars intervallen zijn gekozen om de meest betrouwbare schatting te krijgen voor ΔT



Figuur 24: Tx (boven) en Tx-zomer (onder) van De Bilt en het Duitse ensemble, beide uitgezet als anomalie van het gemiddelde over het interval 1952-1990 en Loess-gefilterd met span 8 jaar. De groene verticale lijn markeert het interval van de instrumentele veranderingen in 1950-1951. Boven: $\Delta T_x = 0,37 \pm 0,11$ °C; onder: $\Delta T_{x\text{-zomer}} = 0,40 \pm 0,14$ °C.

Vóór 1950 is Tx, en vooral Tx-zomer, in De Bilt relatief hoger dan die van het Duitse ensemble ($\Delta T_x = 0,37$ °C, $\Delta T_{x\text{-zomer}} = 0,40$ °C), na 1950 loopt De Bilt redelijk in de pas met het Duitse ensemble. De klimatologische neergang tussen 1947 en 1956, die zich vooral voordoet in Tx-zomer, verloopt in De Bilt niet anders dan bij het Duitse ensemble ondanks de instrumentele breuk rond 1950:



Figuur 25 Tx-zomer (°C, anomalie van 1952-1990) in het interval van de klimatologische neergang (1947-1956). De Bilt en het Duitse ensemble tonen kwalitatief en kwantitatief vrijwel dezelfde neergang.

De hutwisseling in 1950 en de herlocatie in 1951 veroorzaken geen detecteerbare trendbreuk binnen dit interval: Tx-zomer van de referentieset en De Bilt dalen met vergelijkbare hellingshoek. Het effect van de instrumentele veranderingen is binnen het interval van deze klimatologische neergang niet detecteerbaar, maar Figuur 24 toont dat Tx/Tx-zomer in De Bilt in de jaren vóór 1950 relatief hoger

is. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door de genoemde instrumentele veranderingen. In de zomermaanden is de klimatologische neergang overigens het markantst (zie Figuur 24).

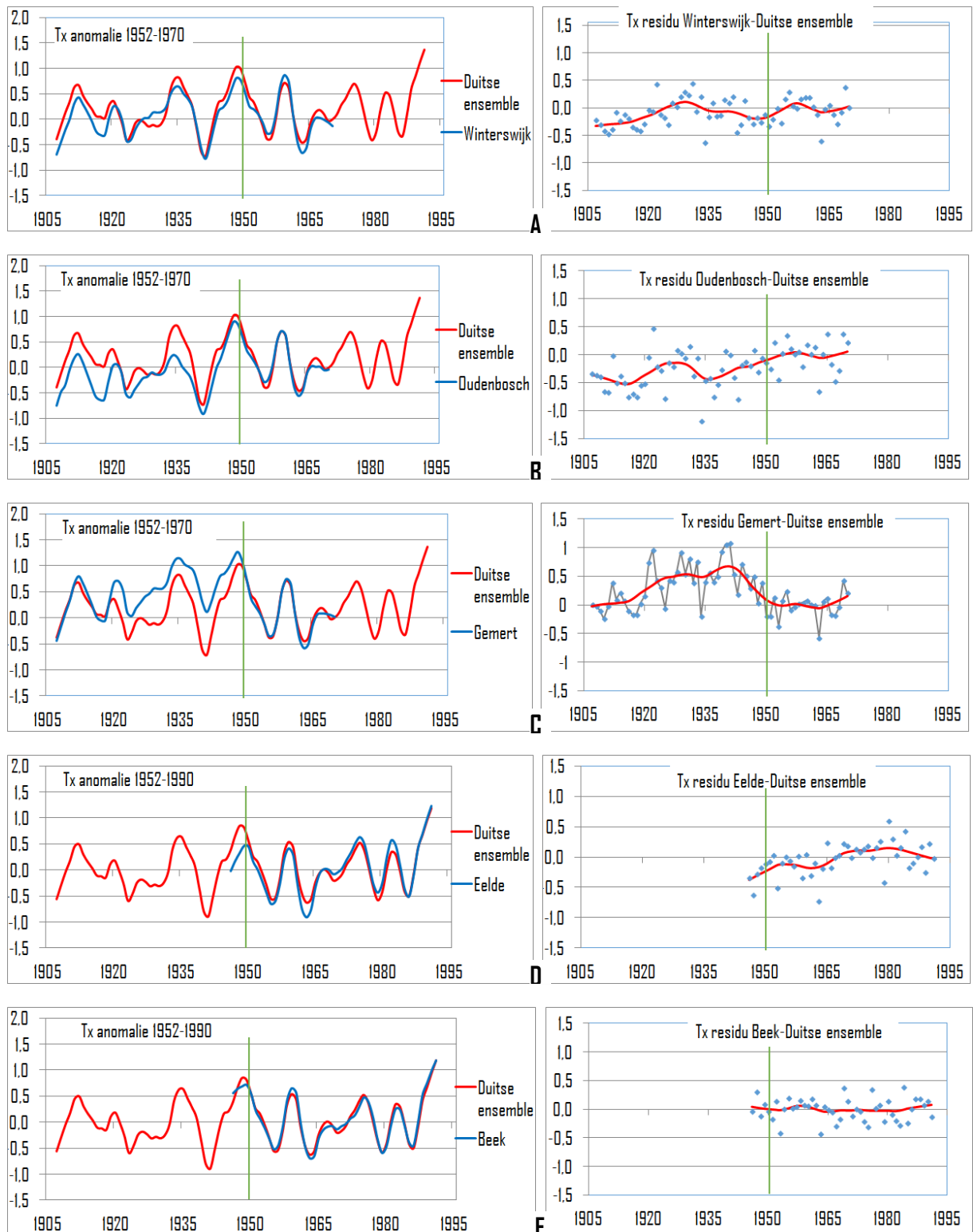
Een nieuwe referentieset voor de homogenisatie van De Bilt

Een aantal Duitse stations ligt wat ver van De Bilt en dat kan invloed hebben op de resultaten. Daarom gaan we met onverdachte Nederlandse stations en dichtbijgelegen Duitse stations een geschiktere referentieset samenstellen. Hiervoor werd al gerefereerd aan het feit dat het gebruik van slechts één referentiestation voor de homogenisatie van De Bilt uit statistisch oogpunt problematisch kan zijn. Het gebruik van één station wordt normaal gesproken beperkt tot een nabijgelegen locatie en uitgevoerd op basis van parallelmetingen gedurende een bepaalde periode. Zie hiervoor hoofdstuk 3.

Behalve Eelde had het KNMI bij de keuze van één of meer referentiestationen ook andere (ongecorrigeerde) stations kunnen betrekken, te weten Winterswijk, Oudenbosch, Gemert, Beek en Eelde. We hebben deze stations vergeleken met het Duitse ensemble om te beoordelen welke van deze stations in aanmerking komen om te worden opgenomen in de nieuwe referentieset.

Figuur 26 (linker grafieken) toont dat na 1950 de Tx'en van alle stations goed in de pas lopen met Tx van het Duitse ensemble. Oudenbosch (Figuur 26B) en Gemert (Figuur 26C) vertonen daarentegen grote systematische trendafwijkingen van het Duitse ensemble in de periode vóór 1950. De rechter grafieken in Figuur 26 tonen de residuen waarmee trendafwijkingen zichtbaar worden gemaakt. Winterswijk (Figuur 26A) vertoont geringe trendafwijkingen van het Duitse ensemble, afgezien van de neergang vóór 1920. In het Scientific Report (Van Ulden 2009) staat dat er kleine trendbreuken zijn in Winterswijk in 1940, 1950 en 1960 als gevolg van instrumentveranderingen. In Figuur 26A-rechts zijn die trendbreuken slechts klein, maar kunnen wel relevant zijn als alleen de kleine 4-jaars intervallen rond 1950 (1946-1949 en 1952-1955) voor homogenisatie worden beschouwd. Voor grotere vergelijkingsintervallen zoals die in dit hoofdstuk worden gebruikt (1931-1949 en 1952-1970) is het verschil met het Duitse ensemble marginaal ($\Delta T_x = 0,08^\circ\text{C}$).

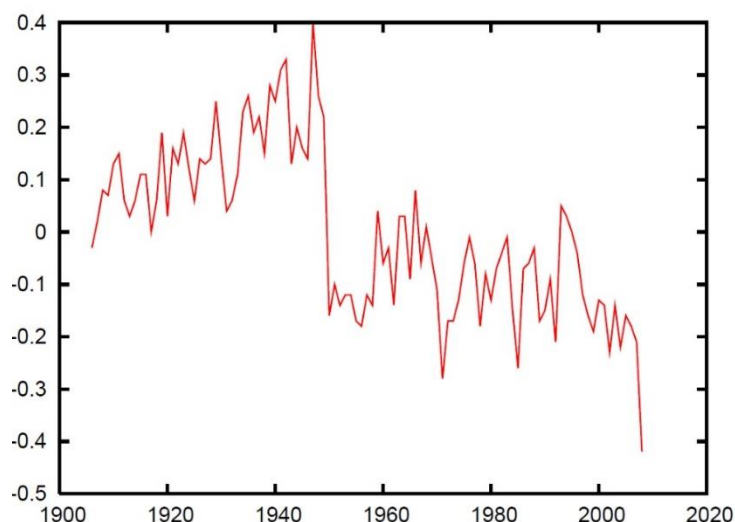
Oudenbosch vertoont veel meer opwarming dan de Duitse referentiereeks ($0,36^\circ\text{C}$ van 1907-1970). Hoe deze opwarming lokaal door natuurlijke factoren kan zijn ontstaan is vooralsnog onbekend. Het KNMI heeft in Oudenbosch alleen een trendbreuk rond 1966 en 1984 gedetecteerd als gevolg van verplaatsing, waarbij Rotterdam, Deelen, Gemert en de gehomogeniseerde reeks van De Bilt als referentie werden gebruikt.



Figuur 26. Figuren links: Tx van vergelijkingsstations en het Duitse ensemble, Loess-gefilterd met span 8 jaar. Figuren rechts: het verschil tussen de jaargemiddelde Tx-en van de vergelijkingsstations en die van het Duitse ensemble (de residuen). De rode lijn is een Loess filter met span 15 jaar door de punten.

Gemert (Figuur 26C) toont een opwarmende trend van 1907 tot 1940 waarna een sterke daling inzet. Metadata van Gemert vermelden een renovatie van het station in 1949. Het KNMI heeft een trendbreuk rond 1950 gedetecteerd met de referenties Oudenbosch, De Bilt en Winterswijk.

Ter vergelijking volgt hier de trendbreuk van Gemert zoals gepubliceerd door Van der Schrier et al in *Climate of the Past* en *Meteorologica* (2011):

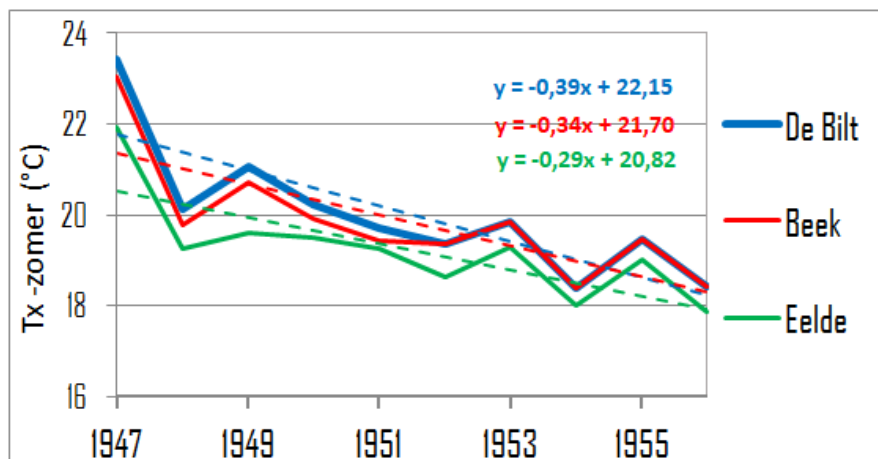


Figuur 27 Trendbreuk in de jaarlijks gemiddelde Tx van Gemert in vergelijking met een referentie, volgens Van der Schrier c.s. Vergelijk met Figuur 25C-rechts.

In Figuur 27 zien we een zeer scherpe inhomogeniteit in 1950 die in Figuur 26C-rechts afwezig is. In Figuur 26C-rechts is de piek rond 1940, niet 1950, bovendien daalt Tx geleidelijk van 1940-1952 en niet plotseling verticaal zoals in figuur 26. Het KNMI wijt de oplopende trend van 1907-1949 aan de geleidelijke vegetatiegroei. Het patroon in Figuur 26C-rechts bevestigt deze interpretatie niet.

Op basis van de voorgaande resultaten vallen Oudenbosch (zie ook bijlage 1) en Gemert af om te worden opgenomen in de nieuwe referentieset van nabije stations. Het KNMI heeft gekozen voor Eelde als het enige referentiestation. Waarom voor Eelde is gekozen wordt in het technisch rapport niet vermeld, en evenmin waarom niet méér referentiestations zijn gekozen zoals gebruikelijk is (zie bijlage 3 voor een antwoord van het KNMI op deze vraag t.a.v. Beek). Een ander nadeel is dat de metingen in Eelde pas beginnen in 1946.

Het residu van Eelde (Figuur 26D-rechts) toont de tekortkoming van Eelde als enig referentiestation: de meetreeks begint pas in 1946 waardoor er maar 4 hele jaren vóór 1950 beschikbaar zijn. De periode van 1946 t/m 1949 speelt een belangrijke rol in de homogenisatie van De Bilt. We zien ook dat deze 4 jaren een relatief lage Tx vertonen. Dat doet vermoeden dat de homogenisatie van De Bilt, waarbij de temperatuurreksen van Eelde van 1946-1949 en 1952-1955 als vergelijkingsintervallen zijn gebruikt, niet representatief is. Het residu van Beek (Figuur 26E-rechts) toont dat Beek beter in de pas loopt met het Duitse ensemble dan Eelde (Figuur 26D-rechts).



Figuur 28. Vergelijking van het verloop van de jaargemiddelde Tx-zomer (°C) in De Bilt, Beek en Eelde in het interval van de klimatologische neergang 1947-1956.

In Figuur 28 zijn voor de periode van de klimatologische neergang 1947-1956 behalve de Tx van De Bilt en Eelde ook die van Beek weergegeven. Omdat Eelde een gemiddeld lagere temperatuur heeft dan Beek en De Bilt, en Tx in De Bilt en in Beek van 1952-1956 vrijwel gelijk zijn, ligt een keuze voor Beek als referentiestation meer voor de hand dan van Eelde. Op basis van bovenstaande resultaten is een referentieset samengesteld uit de 3 Nederlandse stations Beek, Eelde en Winterswijk, en de 3 meest nabijgelegen stations uit het Duitse ensemble:

1	Winterswijk ¹³	1907 - 1970
2	Beek	1946 - 1991
3	Eelde	1946 - 1991
4	Aachen	1930 - 1991
5	Solingen	1936 - 1991
6	Münster	1907 - 1991

Tabel 6 De 3 Nederlandse en de 3 Duitse stations van de referentieset en de gebruikte jaren van Tx.



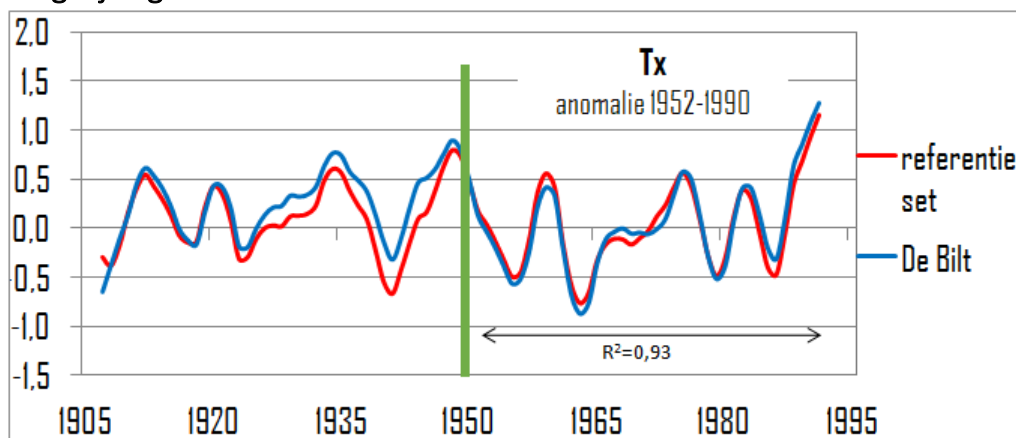
Figuur 29 De ligging van de 6 stations van de referentieset.

De afstand van Eelde tot De Bilt is vergelijkbaar met de afstanden van de overige stations in de referentieset. Het argument dat deze stations te ver noordelijk of te ver zuidelijk liggen voor een analyse lijkt niet erg valide, omdat het KNMI kennelijk geen bezwaar had tegen Eelde als referentie. Omdat de reeks van Münster in 1991 eindigt laten we de reeksen die verder doorlopen ook eindigen in 1991. Voor de analyse van de instrumentele breuk rond 1950 is een langere reeks ook niet relevant.

¹³ november 1944 afwezig, opgevuld met Münster november 1944 met kleine correctie

Deze stations zijn de basis voor onze nieuwe referentieset, hierna 'referentieset' genaamd. Op basis van deze referentieset van 6 stations hebben we een ensemble van de gemiddelde anomalie van de jaarlijks gemiddelde Tx bepaald. In Bijlage 1 is de methode beschreven om van deze stations, die verschillende perioden beslaan, één referentieset te maken voor de periode 1907-1990. We claimen overigens niet dat deze referentieset optimaal is voor vergelijking met De Bilt; uiteraard zullen er meteorologische verschillen zijn.

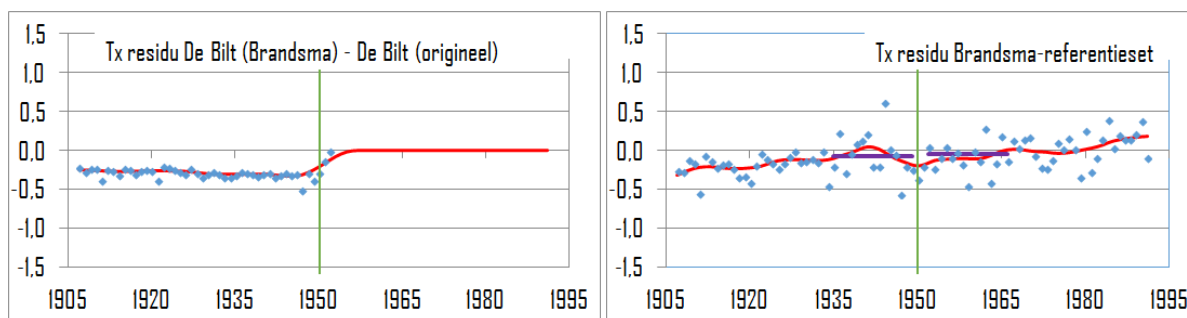
Vergelijking Tx De Bilt met Tx van de referentieset.



Figuur 30. Tx van De Bilt en van de referentieset, Loess-gefilterd met span 8 jaar. $\Delta Tx = 0,29 \pm 0,13$ °C over de vergelijkingsintervallen 1931-1949 en 1952-1970.

Figuur 30 toont dat ná 1950 de data van De Bilt goed in de pas lopen met de referentieset. De referentieset is daarom representatief voor vergelijking met De Bilt. Tx in De Bilt is relatief $0,29 \pm 0,13$ °C hoger dan de referentieset in het interval 1931-1949. De parallelmetingen (zie hoofdstuk 3) tonen een gemiddeld Tx-verschil voor de hutwisseling van $0,12$ °C over het interval april 1947 - augustus 1950. Het gemiddelde Tx-verschil tussen De Bilt en de referentieset over dit interval is $0,18$ °C en dit verschilt niet significant van het verschil dat de parallelmetingen aangeven.

De vraag is daarom of de breukcorrectie die het KNMI op Tx De Bilt heeft toegepast gelijk is aan de bovengenoemde instrumentele breuk ($-0,29 \pm 0,13$ °C). Figuur 31 toont de feitelijk toegepaste correctie, die wordt vergeleken met de referentieset.

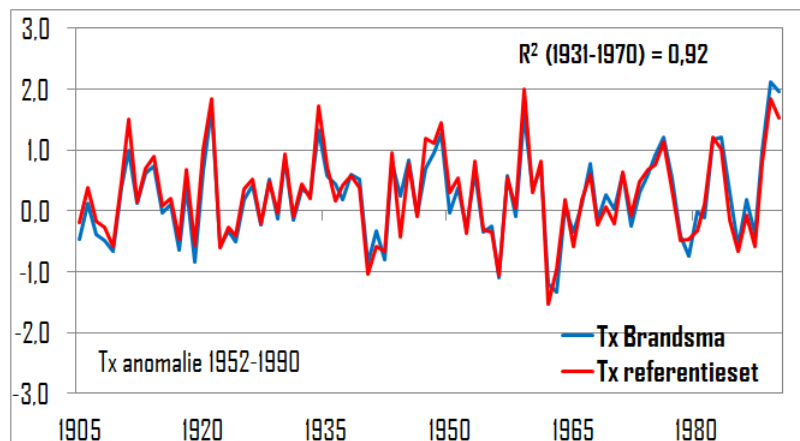


Figuur 31. Links: de toegepast breukcorrectie van het KNMI (blauwe dots). De breukcorrectie is variabel en bedraagt gemiddeld $-0,32 \pm 0,013$ °C in het interval 1931-1949. Rechts: de gehomogeniseerde Tx De Bilt minus Tx van de referentieset. De paarse lijnen stellen de gemiddelde residuen voor in de intervallen 1931-1949 en 1952-1970; het niveauverschil is nihil ($-0,03 \pm 0,08$ °C).

¹⁴ Standaardfout van het verschil tussen twee gemiddelden:

$$\sigma_{M_1 - M_2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$$

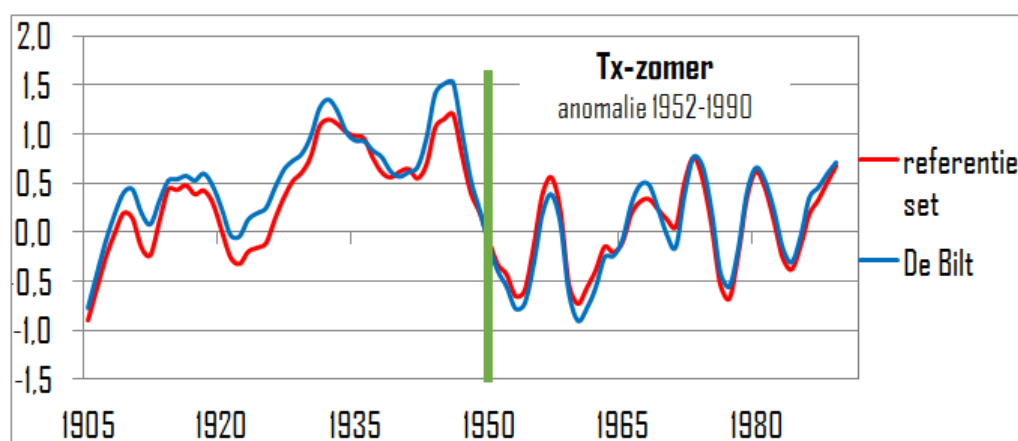
Figuur 31-links toont de correcties die het KNMI heeft toegepast op Tx. De correctie is variabel; in het interval 1931-1949 is de door het KNMI toegepaste correctie gemiddeld $-0,32 \pm 0,013$ °C. Figuur 31-rechts toont het resultaat van deze correctie op Tx De Bilt. De instrumentele breuk is vrijwel volledig gecompenseerd. De homogenisatie heeft niet geleid tot onder- of overcorrectie, althans wat de jaargemiddelden van Tx in het interval 1931-1970 betreft. De gehomogeniseerde Tx in De Bilt matcht goed met Tx van de referentieset, zoals Figuur 32 toont.



Figuur 32: de gehomogeniseerde jaargemiddelde Tx De Bilt en Tx van de referentieset.

Vergelijking Tx-zomer De Bilt met de referentieset

De invloed van de homogenisatie van de temperatuur van De Bilt is het grootst in de zomermaanden. Het technische rapport (Brandsma 2016a) stelt: *“For Tx large positive corrections (up to 1.9°C) are found in summer for the largest percentiles”*. Het is daarom van belang om de Tx-zomer van De Bilt te vergelijken met die van de referentieset. Tx-zomer is de gemiddelde maximale dagtemperatuur in de zomermaanden mei t/m september.

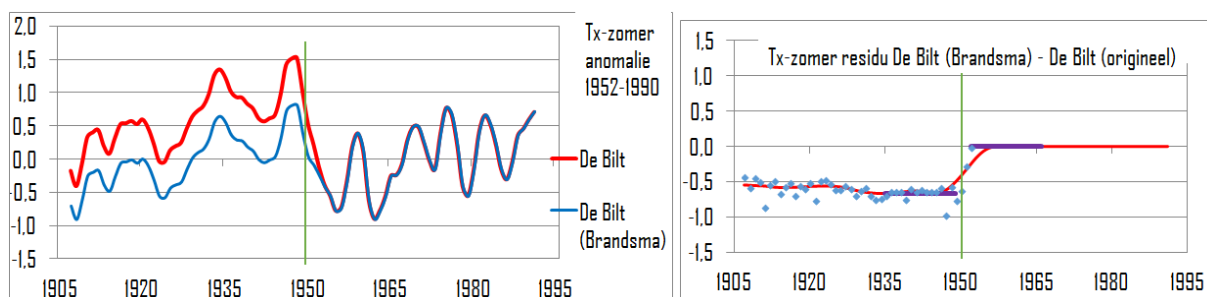


Figuur 33. Tx-zomer (°C, anomalie van het gemiddelde over 1952-1990) van De Bilt en de referentieset, Loess-gefilterd met span 8 jaar. $\Delta\text{Tx-zomer} = 0,22 \pm 0,09$ °C over de vergelijkingsintervallen 1931-1949 en 1952-1970.

Figuur 33 toont de resultaten van deze vergelijking. Vóór 1950 is Tx-zomer in De Bilt relatief hoger. De trendbreuk $\Delta\text{Tx-zomer}$ in De Bilt is gemiddeld $0,22 \pm 0,09$ °C.

In Figuur 34 evalueren we de door het KNMI toegepaste breukcorrectie op Tx-zomer. Tx-zomer van de gehomogeniseerde reeks van De Bilt is in het interval 1952-1991 uiteraard identiek aan dat van de

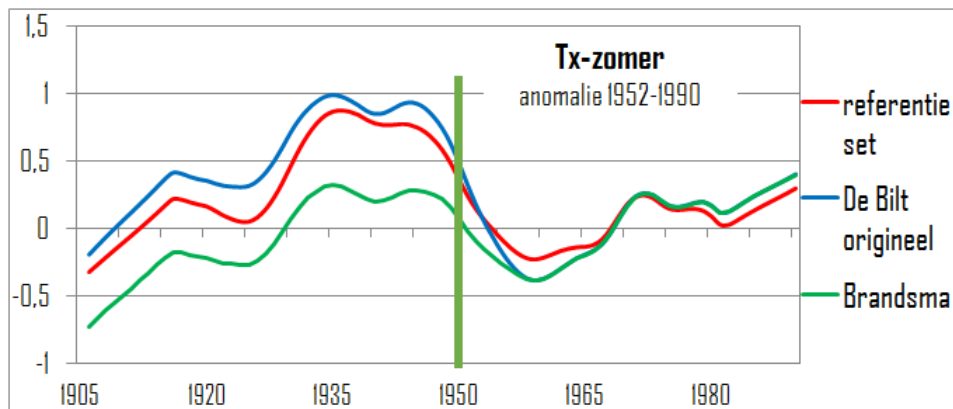
ongehomogeniseerde Tx-zomer van De Bilt; de homogenisatie-correctie was alleen toegepast op het interval 1901 - september 1951. De breukcorrectie voor Tx-zomer De Bilt bedraagt $0,67 \pm 0,02$ °C:



Figuur 34 Links: Tx-zomer (°C, anomalie van het gemiddelde over 1952-1990) van De Bilt en de gehomogeniseerde Tx De Bilt, Loess-gefilterd met span 8 jaar. Rechts: de verschilreeks van de grafieken in het linker plaatje. De paarse lijnen zijn de gemiddelde residuen in de intervallen 1931-1949 en 1952-1970; het niveauverschil is $0,67 \pm 0,02$ °C: de door Brandsma toegepaste correctie.

Figuur 34 toont dat de homogenisatie tot gevolg heeft dat Tx-zomer in het interval 1907-1950 een stuk lager is dan Tx-zomer van de referentieset. Volgens vergelijking met de referentieset was de benodigde breukcorrectie $-0,22$ °C (Figuur 33) maar de breukcorrectie van Brandsma is $-0,67$ °C (Figuur 34-rechts). Dat wijst op een *flinke overcorrectie* van $-0,45$ °C.

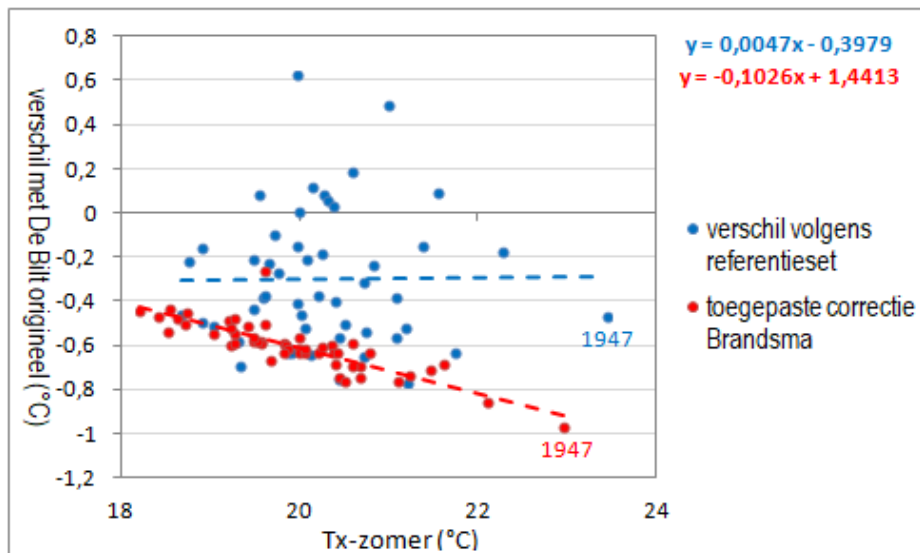
Om de grootte van de toegepaste breukcorrectie te evalueren vergelijken we de gehomogeniseerde Tx-zomer van Brandsma met de Tx-zomer van de referentieset en nemen we een grotere span van het Loess-filter om de visuele inspectie te vereenvoudigen.



Figuur 35 Tx-zomer (°C anomalie van 1952-1990) van de door Brandsma gehomogeniseerde De Bilt (groen), de originele De Bilt (blauw) en de referentieset(rood) , Loess-gefilterd met span 20 punten.

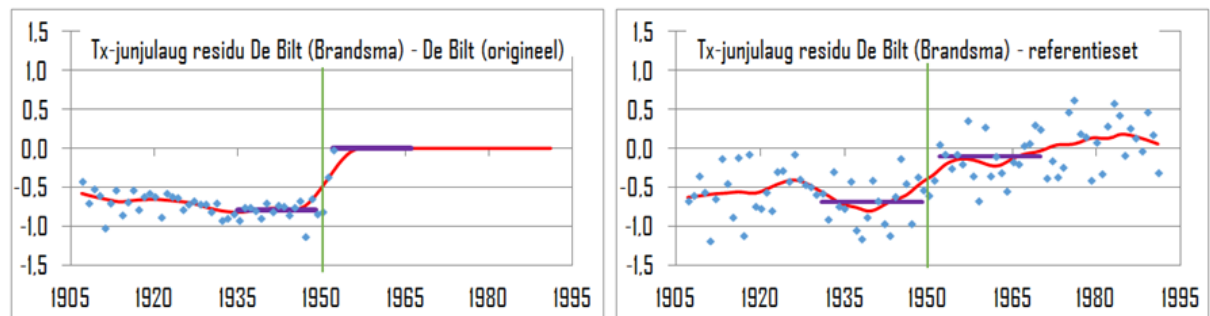
Figuur 35 toont dat de breukcorrectie van Brandsma voor Tx-zomer leidt tot een groot verschil met Tx-zomer van de referentieset in het interval 1907-1949. Dit in tegenstelling tot de breukcorrectie van Tx, getoond in Figuur 31, die vrijwel geen verschil oplevert met de referentieset.

Opmerkelijk is dat de trendbreuk van Tx-zomer in De Bilt ($\Delta Tx = 0,22 \pm 0,09$ °C, Figuur 33) vrijwel even groot is als die van Tx ($\Delta Tx = 0,29 \pm 0,13$ °C, Figuur 30). Maar de breukcorrecties van het KNMI zijn temperatuurafhankelijk: $0,32 \pm 0,013$ °C voor Tx en $0,67 \pm 0,02$ °C voor Tx-zomer. Wat ook opvalt is dat 1947, oorspronkelijk een recordzomer, met 1 °C is verlaagd en 1911, eveneens een warme zomer, met $0,86$ °C. Waarom de door het KNMI gevolgde homogenisatieprocedure recordwarme zomers relatief veel meer verlaagt dan andere jaren is ons niet duidelijk geworden.



Figuur 36: jaargemiddelde verschillen (°C, anomalie 1952-1970) van de gehomogeniseerde Tx-zomer in De Bilt met de originele Tx-zomer van De Bilt en idem die van de referentieset. Het betreffende jaar (1947) van de grootste verschillen is aangegeven bij de dot (blauw 1947: -0,35; rood 1947: -0,97 °C).

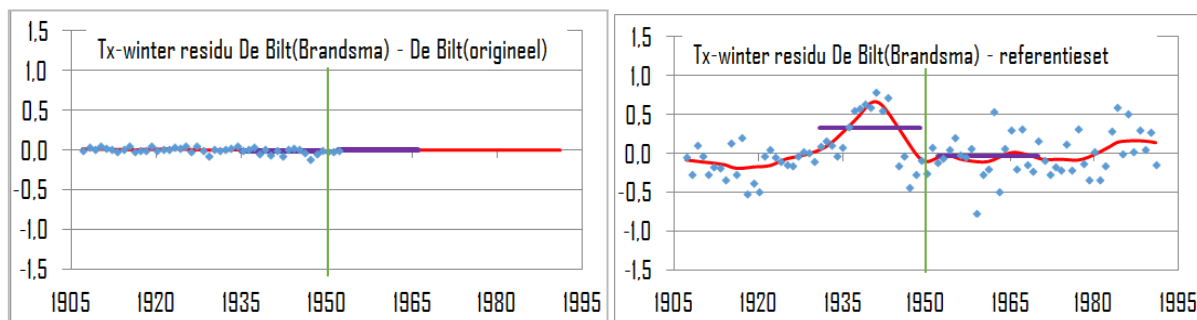
Figuur 36 toont de temperatuurafhankelijke correctie van Brandsma, die groter is bij hogere temperatuur, wat niet gesteund wordt door vergelijking met de referentieset. Als we de zomermaanden tot de warmste maanden juni, juli en augustus beperken dan is de overcorrectie nog groter, zoals Figuur 37 laat zien.



Figuur 37 Links: de door Brandsma toegepaste breukcorrectie op de gemiddelde Tx van juni, juli en augustus. De correctie bedraagt gemiddeld $-0,80 \pm 0,03$ °C. Rechts: gevolg van deze correctie: het verschil met de referentieset is gemiddeld $0,58 \pm 0,15$ °C over de paars gemarkeerde intervallen

De overcorrectie is nu groter: gemiddeld $0,58 \pm 0,15$ °C over de periode 1931-1970. De benodigde negatieve correctie was echter niet 0,80 °C maar $0,80 - 0,58 = 0,22$ °C. De parallelmetingen (hoofdstuk 3) geven een gemiddeld verschil aan voor de hutwisseling van 0,37 °C over de maanden juni, juli en augustus van 1947-1950. Over dit interval is het verschil tussen de originele data van De Bilt en de referentieset 0,33 °C (beide reeksen als anomalie 1952-1970), dus dat komt goed overeen. De parallelmetingen komen ruwweg overeen met de referentieset maar niet met de gehomogeniseerde reeks van Brandsma.

In de wintermaanden (november t/m maart) daarentegen is de door het KNMI toegepaste correctie op Tx marginaal, waardoor de wintermaanden een ondercorrectie vertonen in vergelijking met de referentieset:



Figuur 38 Links: de door het KNMI toegepaste correctie op Tx-winter ($-0,01 \pm 0,01$ °C). Rechts: verschil tussen Tx-winter van de gehomogeniseerde De Bilt en de referentieset. Het niveauverschil tussen de paarse horizontale lijnen is $0,37 \pm 0,14$ °C.

Figuur 38-rechts toont dat de ondercorrectie alleen geldt voor het interval 1931-1944.

T	ΔT_x volgens referentieset	Breukcorrectie KNMI
Tx	$-0,29 \pm 0,13$	$-0,32 \pm 0,01$
Tx-zomer	$-0,22 \pm 0,09$	$-0,67 \pm 0,02$
Tx-jul/jun/aug	$-0,22 \pm 0,09$	$-0,80 \pm 0,03$
Tx-winter	$+0,37 \pm 0,14$	$-0,01 \pm 0,01$

Tabel 7 Kolom 2 en 3: grootte van de instrumentele breuk ΔT_x (°C) in De Bilt volgens vergelijking met de referentie set. Kolom 3: de door het KNMI toegepaste correctie voor de instrumentele breuk.

Op basis van deze resultaten in Tabel 7 kunnen we concluderen dat de homogenisatie door het KNMI een *aanzienlijke overcorrectie* heeft opgeleverd in de zomermaanden en een *ondercorrectie* in de wintermaanden.

Conclusies

1. De trendbreuk in Tx in De Bilt, die volgens het KNMI veroorzaakt zou zijn door instrumentele veranderingen rond 1950, valt in het interval van een klimatologische neergang die zich voordeed in een groter deel van NW Europa tussen 1947 en 1956. Door de verschilreeksen te nemen van De Bilt met representatieve ensembles van andere stations werd bevestigd dat er zich in De Bilt inderdaad een residuele trendbreuk in Tx voordeed: Tx in De Bilt is vóór 1950 relatief te hoog. Hierbij werden twee vergelijkingsensembles gebruikt, het ene bestaande uit de gemiddelde Tx van 7 Duitse stations (het D-ensemble) en het andere uit de gemiddelde Tx van 3 nabijgelegen Duitse stations en 3 geschikte Nederlandse stations (de referentieset).
2. Voor de homogenisatie van De Bilt heeft het KNMI slechts één meetstation gebruikt: Eelde, waarvan maar vier hele jaren vóór 1950 beschikbaar waren en bovendien een relatief lage Tx vertoont. Beek ligt daarom meer voor de hand gezien het geringe temperatuurverschil. Daardoor zijn er twijfels of de homogenisatie met uitsluitend Eelde als referentie wel representatief is.
3. Om de door het KNMI toegepaste neerwaartse correcties op Tx De Bilt vóór 1950 te evalueren hebben we in deze studie een ruwe schatting gemaakt van de benodigde breukcorrectie. Die schatting kwam tot stand door vergelijking van de ongehomogeniseerde en gehomogeniseerde reeksen van De Bilt met de referentieset. Daarbij werden de vergelijkingsintervallen 1931-1949 en 1952-1990 gebruikt. De referentieset is representatief omdat deze het temperatuurverloop in De Bilt na 1952 in grote mate reproduceert.

4. Voor de jaargemiddelde Tx bleek de geschatte instrumentele breuk niet significant te verschillen van de door het KNMI toegepaste Tx correctie. De KNMI Tx correctie voor de wintermaanden (november t/m maart) is nihil waardoor deze een sterke ondercorrectie vertoont in vergelijking met het D-N ensemble. De KNMI Tx correctie voor de zomermaanden (mei t/m september) is daarentegen weer veel te groot: er is sprake van een overcorrectie van ruim 200%. Voor de drie warmste zomermaanden (juni, juli, augustus) loopt de overcorrectie zelfs op tot ruim 260%. Daarbij is ook gevonden dat de jaargemiddelde Tx in record warme jaren (1947 en 1911) door het KNMI relatief sterker naar beneden werden bijgesteld, hetgeen niet wordt gesteund door onze vergelijking met het referentie-ensemble.
5. De grootte van de breukcorrectie van het KNMI blijkt temperatuurafhankelijk te zijn, maar vergelijking van De Bilt met de referentieset rechtvaardigt niet dat hogere temperaturen een hogere neerwaartse correctie nodig hebben. Vooral recordwarme jaren, zoals 1947, zijn sterk neerwaarts gecorrigeerd.

7 Effect van de keuze vergelijkingsstation op de homogenisatie

Het KNMI (Brandsma 2016a) heeft gekozen voor Eelde als vergelijkingsstation voor de homogenisatie van de dagelijkse temperaturen van De Bilt. Voor Eelde is een homogene reeks beschikbaar vanaf 1 januari 1946, maar dit station ligt 147 km ten noordoosten van De Bilt. Andere stations met metingen die teruggaan tot 1946 of eerder en die dichterbij De Bilt liggen zijn: Gemert (65 km), Oudenbosch (75 km) en Winterswijk (105 km), maar die reeksen zijn door instrumentele veranderingen niet homogeen. Toch zijn deze stations wel gebruikt bij de constructie van de CNT-reeks (Van der Schrier c.s., 2011). Vliegveld Beek ligt iets dichterbij De Bilt dan Eelde (138 km). Van Beek is ook een homogene reeks beschikbaar vanaf 1 januari 1946.

Het KNMI motiveert haar keuze voor Eelde als volgt (KNMI, 2018): *“Eelde is beter geschikt als parallel station dan Beek.... Dit heeft te maken met de afwijkende hoogteligging van Beek (114 m boven Nap) en de directe nabijheid van het Maasdal. Daarnaast is voor de overheersende windrichting in Nederland (ZW-W) de afstand van De Bilt en Eelde tot grote wateroppervlakken vergelijkbaar.”*

Het KNMI heeft blijkbaar niet onderzocht hoe groot het effect van het hoogteverschil en de nabijheid van het Maasdal is. Het is waar dat De Bilt en Eelde bij de overheersende ZW-wind beter vergelijkbaar zijn, de stations liggen bij ZW-wind althans in elkaars verlengde. Maar het doel van de homogenisatie van het KNMI was mede om iets te doen aan het probleem van het grote aantal hittegolven vóór 1950 (Brandsma 2016a). Tijdens hittegolven is de overheersende windrichting niet ZW maar vaak ZO, en dan zou Beek beter geschikt kunnen zijn als vergelijkingsstation. De vraag moet dus gesteld worden wat het effect is van de keuze van geschikte alternatieve vergelijkingsstations.

Aangezien we hier alleen de referentieperiode 1946-1955 gebruiken voor de homogenisatie van De Bilt kunnen we vergelijkingsstations gebruiken die in ieder geval binnen deze periode geen homogenisaties hebben ondergaan. In H6 zagen we dat er vijf Nederlandse stations beschikbaar zijn met een meetreeks die tenminste de periode 1946-1955 omvat en geen homogenisaties hebben ondergaan, namelijk Oudenbosch, Gemert, Winterswijk, Eelde en Beek.

Uit vergelijking met het Duitse ensemble bleek in H6 dat Gemert een grote trendbreuk vertoont rond 1950, een breuk die eveneens door het KNMI gerapporteerd is. Het KNMI signaleerde voor Oudenbosch trendbreuken in 1966 en 1984 als gevolg van relocatie. Oudenbosch zou dus in principe wel in aanmerking kunnen komen als vergelijkingsstation omdat we ons beperken tot 1946-1955. In H6 bleek echter dat Oudenbosch grote trendafwijkingen vertoont in vergelijking met het Duitse ensemble. Om die reden werd Oudenbosch niet opgenomen in de referentieset. Als we in hoofdstuk 6 Figuur 26-rechts het Tx residu van Oudenbosch echter vergelijken met dat van Eelde tussen 1946 en 1955 dan wijken deze stations binnen deze periode weinig van elkaar af: het verschil tussen het gemiddelde 1946-1949 en het gemiddelde 1952-1955 is 0,16 °C. Voor Eelde is dit 0,22 °C. Het verschil is dus zeer klein. Omdat bovendien het KNMI voor Oudenbosch geen breuk heeft gedetecteerd rond 1950 kan voor ons doel hier Oudenbosch wel meegenomen worden als vergelijkingsstation.

Voor Winterswijk heeft het KNMI kleine inhomogeniteiten gevonden in 1940, 1950 en 1960. In Figuur 26A-rechts van H6 zien we dat het verloop tussen 1946 en 1955 relatief groot is (0,26 °C). In hoofdstuk 4 werd geconcludeerd dat de verschillen wel relevant zijn als alleen de kleine 4-jaars intervallen rond 1950 worden beschouwd; voor grotere vergelijkingsintervallen, zoals die in hoofdstuk 6 worden gebruikt (1931-1949 en 1952-1970) is het verschil met het Duitse ensemble marginaal (0,08 °C). Hoewel Winterswijk niet als het meest representatieve vergelijkingsstation geldt voegen we hem hier wel toe aan de lijst van vergelijkingsstations om te zien of dit station sterk afwijkende resultaten geeft ten opzichte van de andere vergelijkingsstations.

Tenslotte nemen we ook de referentieset mee. Deze referentieset bevat naast de bovengenoemde stations Eelde, Beek en Winterswijk ook de meest nabijgelegen Duitse stations Aachen, Solingen en Münster. Deze drie Duitse stations liggen niet veel verder van De Bilt dan Eelde. Bij hittegolven komt de wind vaak uit Duitsland, zodat de nabijgelegen Duitse stations wel relevant kunnen zijn voor Brandsma's probleemstelling.

Werkwijze

We hebben het effect van de keuze van het vergelijkingsstation onderzocht door de PMM toe te passen, zoals beschreven in hoofdstuk 4, met parallelle data voor alle stations waarvoor in de periode 1946-1955 daggegevens beschikbaar zijn. Dat zijn behalve de bovengenoemde Nederlandse stations Eelde, Beek, Oudenbosch en Winterswijk ook het meest nabijgelegen Duitse station Aachen en het Duits-Nederlandse ensemble.

Voor het vergelijken van het effect van de keuze van alternatieve vergelijkingsstations gebruiken we twee criteria:

- (1) het aantal tropische dagen in de periode 1906-1950 als percentage van het aantal tropische dagen in de periode 1906-2016
- (2) de gemiddelde correctie die Tx ondergaat als gevolg van de homogenisatie

Resultaten

Uit Tabel 8 blijkt dat de keuze van het vergelijkingsstation van grote invloed is op het aantal tropische dagen dat men vindt na homogenisatie van de data van De Bilt: bij een span van 0,6 (zoals Brandsma zegt te gebruiken) varieert het van 30,0% (Eelde) tot 41,1% (Aachen). Die percentages liggen ver boven de uitkomst van de homogenisatie van het KNMI met Eelde als vergelijkingsstation (26,4%). Maar daarbij is in feite een span van 0,75 gebruikt door een extra voortschrijdende middeling over driemaandelijke perioden.

Met een span van 0,75 vinden we percentages tropische dagen in De Bilt variërend van 29,7% (Eelde) tot 42,7% (Aachen). Met geen enkel alternatief vergelijkingsstation vinden wij van 1906-1950 zo weinig tropische dagen als het KNMI vindt met Eelde als vergelijkingsstation (26,4%).

		tropische dagen 1906-1950 / 1906-2016		gemiddelde correctie Tx 1906-1950	
Vergelijkingsstation(s)	Afstand tot De Bilt (km)	Span 0,6	Span 0,75	Span 0,6	Span 0,75
Eelde (Brandsma)	147	26,4%		-0,29	
Eelde (reconstructie Brandsma)	147	30,0%	29,7%	-0,36	-0,36
Beek	138	38,3%	38,3%	-0,09	-0,09
Winterswijk	105	35,0%	33,2%	-0,41	-0,41
Oudenbosch	75	35,8%	35,4%	-0,32	-0,32
Aachen	159	41,1%	40,9%	-0,02	-0,02
Referentieset		38,5%	37,6%	-0,14	-0,15

Tabel 8 Effect van representatieve vergelijkingsstations en span van de smoothing op homogenisatie Tx De Bilt.

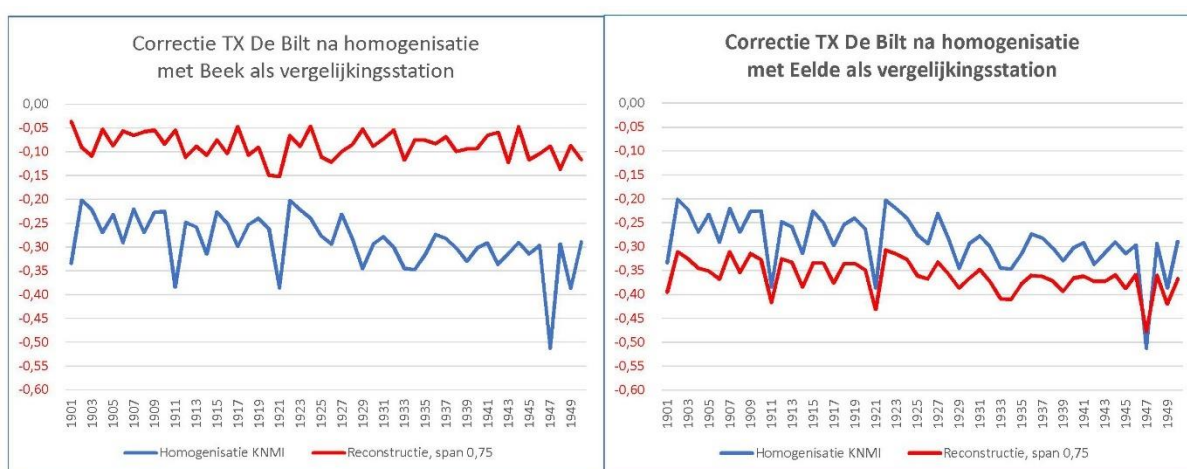
De keuze voor een span van 0,6 of 0,75 heeft in een aantal gevallen vrijwel geen invloed op het aantal tropische dagen, in een aantal andere gevallen is het verschil 1 tot 2 procentpunten, maar voor sommige stations in tegengestelde richtingen: het is niet altijd zo dat een hogere span tot meer

tropische dagen leidt.

Kijken we naar de uitkomst van de referentieset dan is het percentage tropische dagen van dezelfde orde van grootte als van de Nederlandse stations. Het percentage tropische dagen voor 1951 voor de meeste Nederlandse stations, varieert van 35-38%. Dit stemt overeen met wat Dijkstra (2017) vond voor de gehomogeniseerde data van de KNMI-hoofdstations. De homogenisatie met Eelde als vergelijkingsstation wijkt duidelijk af van die met alle andere stations, maar toch vinden wij met Eelde niet zo weinig tropische dagen als het KNMI.

Gemiddelde correctie Tx

De gemiddelde correctie van Tx door de homogenisatie varieert van -0,41 °C tot 0,02 °C, afhankelijk van het onderzochte vergelijkingsstation zoals vermeld in Tabel 8. Dit lijkt geen groot verschil, maar bij de hoogste percentielen lopen de grootste correcties op tot meer dan -1 °C. Brandsma vindt zelfs correcties van -1,9 °C voor de hoogste percentielen in augustus.



Figuur 39 Effect van de keuze voor Eelde of Beek als vergelijkingsstation op correctie Tx voor De Bilt

Figuur 39 toont hoe de homogenisatie uitwerkt voor de tijdreeks van de jaargemiddelden van Tx. De blauwe lijnen in de beide grafieken geven de correcties van de homogenisatie van het KNMI met Eelde als vergelijkingsstation. De rode lijnen geven onze reconstructies van de homogenisatie met Eelde dan wel Beek als vergelijkingsstation. Enige zaken vallen hierin op:

- (1) Onze reconstructie met Eelde als vergelijkingsstation komt gemiddeld lager uit dan die van het KNMI (-0,36 versus -0,29 bij het KNMI), terwijl onze reconstructie wel tot meer tropische dagen leidt dan de homogenisatie van het KNMI (zie Tabel 8).
- (2) De variatie tussen de jaren is bij het KNMI groter dan in onze reconstructie, met als grootste uitschieter het jaar 1947, waar het KNMI de gemiddelde Tx tweemaal zo sterk corrigeert als in onze reconstructie.
- (3) Onze homogenisatie met Beek als vergelijkingsstation komt gemiddeld hoger uit dan die van het KNMI (-0,09 versus -0,29 bij het KNMI).
- (4) De variatie tussen de jaren is bij onze homogenisatie met Beek als vergelijkingsstation kleiner dan met Eelde als vergelijkingsstation. Het jaar 1947 springt er bij homogenisatie met Beek niet meer uit.

Effect van andere Nederlandse en Duitse stations.

Wij hebben ook het effect onderzocht van minder representatieve en niet-representatieve vergelijkingsstations met als doel om de uitkomsten die de PMM met deze stations oplevert te evalueren.

Gemert is niet representatief gezien de grote trendbreuk rond 1950 (zie Figuur 27 in hoofdstuk 6). De verder gelegen Duitse stations zijn vanwege de afstand mogelijk minder representatief om te gebruiken voor de homogenisatie van De Bilt. Lindenberg ligt bovendien op grote hoogte. Tabel 9 vat de resultaten met deze vergelijkingsstations samen.

		tropische dagen 1906-1950 / 1906-2016		gemiddelde correctie Tx 1906-1950	
Vergelijkingsstation(s)	Afstand tot De Bilt (km)	Span 0,6	Span 0,75	Span 0,6	Span 0,75
Gemert	65	44,0%	44,5%	0,10	0,10
Geisenheim	343	36,4%	36,8%	-0,12	-0,11
Lindenberg	606	25,3%	25,3%	-0,37	-0,38
Potzdarn	542	31,2%	30,7%	-0,13	-0,23
Jena	467	34,1%	34,1%	-0,22	-0,23
Ensemble Duitse stations		36,0%	35,8%	-0,13	-0,14

Tabel 9 Effect van andere vergelijkingsstations en span van de smoothing op homogenisatie Tx De Bilt.

In Tabel 9 zien we dat Gemert tot een positieve correctie van Tx De Bilt leidt en een hoog percentage tropische dagen. Lindenberg leidt tot het laagste percentage. De overige vergelijkingsstations leveren percentages tropische dagen die iets boven of onder de in Tabel 8 genoemde 35-36% liggen. Het Duitse ensemble levert vrijwel dezelfde Tx-correctie op als de referentieset in Tabel 8 en een iets lager percentage tropische dagen.

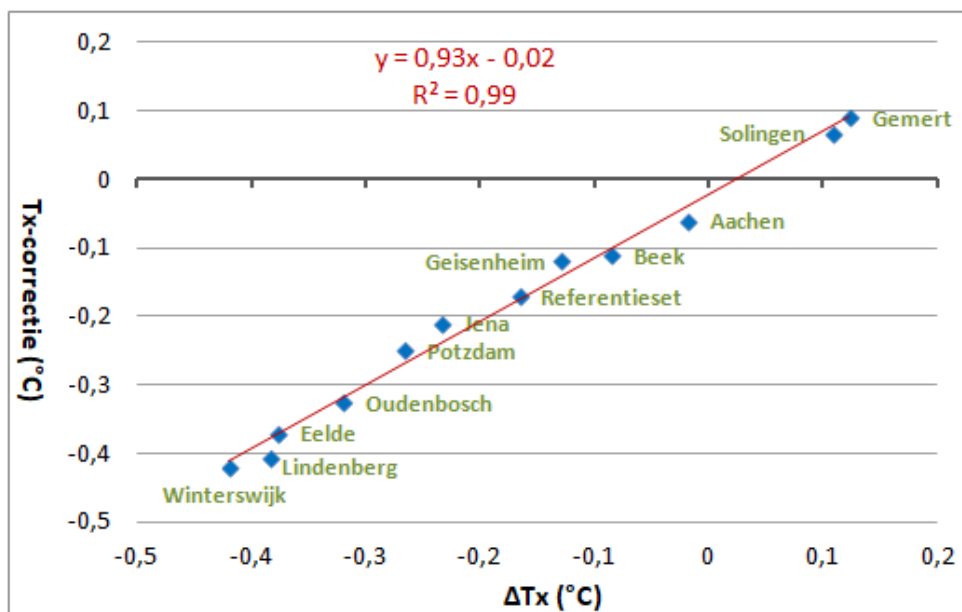
De resultaten in Tabel 9 zijn slechts illustratief en waarschijnlijk niet representatief als homogenisatie van De Bilt, maar kunnen wel gebruikt worden om de resultaten van de PMM met station Eelde te evalueren. Wij onderzochten of er een verband bestaat tussen de gemiddelde Tx correctie (genoemd in Tabel 8 en Tabel 9) en ΔTx .

In Tabel 10 is de Tx-correctie, zoals vermeld in Tabel 8 en Tabel 9, gezet naast ΔTx .

Vergelijkingsstation	afstand tot De Bilt (km)	vergelijkingsinterval (m)	ΔTx	Tx correctie De Bilt	Tropische dagen 1906-1950 De Bilt
De Bilt origineel					152
Gemert	65	48	0,123	0,091	161
Solingen	165	48	0,108	0,069	126
Aachen	159	48	-0,019	-0,059	137
Beek	138	48	-0,086	-0,11	118
Geisenheim	343	48	-0,129	-0,118	116
Jena	467	48	-0,234	-0,21	104
Potzdarn	542	48	-0,267	-0,249	92
Oudenbosch	75	48	-0,321	-0,325	113
Eelde	147	48	-0,377	-0,37	92
Lindenberg	606	48	-0,384	-0,406	68
Winterswijk	105	48	-0,419	-0,42	106
Referentieset	1473	48	-0,166	-0,17	121

Tabel 10 Combinatie van gegevens uit Tabel 8 en Tabel 9. $\Delta Tx = \Delta T1 - \Delta T2$ (zie Figuur 22). De Tx-correctie De Bilt en de aantallen tropische dagen zijn verkregen met de PMM.

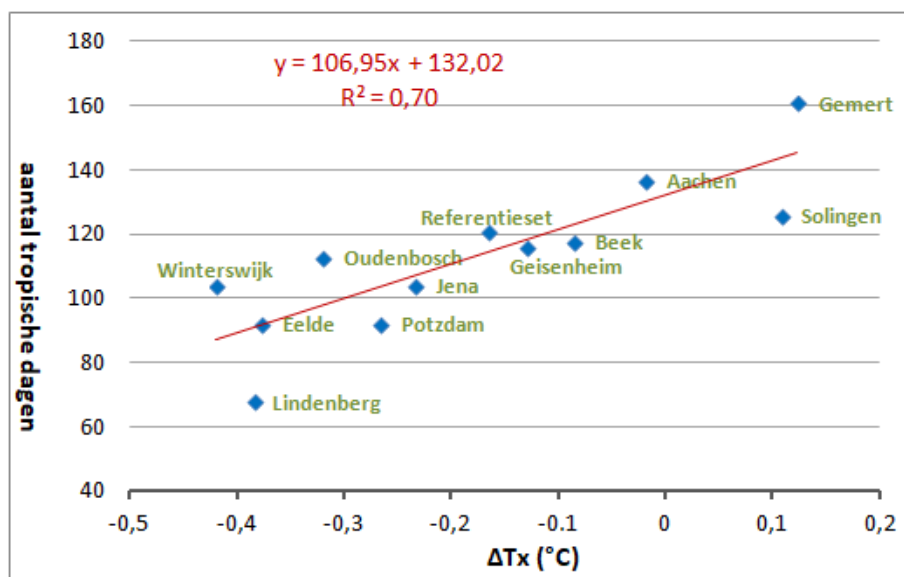
In Figuur 40 is de gemiddelde Tx correctie De Bilt uitgezet tegen ΔT_x :



Figuur 40 Relatie tussen ΔT_x (°C) en de met de PMM verkregen Tx correctie De Bilt voor alle vergelijkingsstations. Gegevens uit Tabel 10.

De vergelijking van de trendlijn in Figuur 40 is bij benadering van de vorm $y = x$. De totale variatie in de met de PMM verkregen Tx-correctie van De Bilt wordt voor 99% verklaard door ΔT_x : het gemiddelde temperatuurverschil tussen De Bilt en het vergelijkingsstation in de vergelijkingsperiode. De grafiek toont hoe sterk de Tx-correctie afhangt van het vergelijkingsstation. De Tx-correctie op basis van vergelijkingsstation Eelde of op basis van Beek verschilt aanzienlijk. Deze grafiek laat zien dat de PMM arbitrair is omdat het resultaat sterk afhankelijk is van de keuze van het vergelijkingsstation.

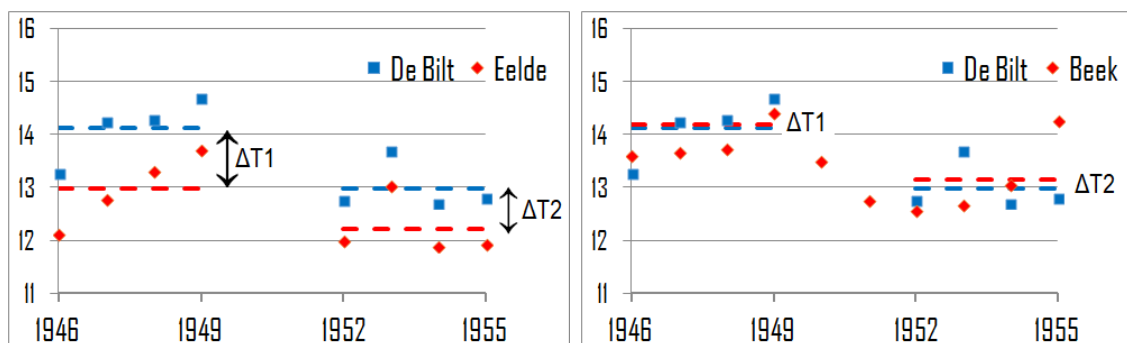
Dat de Tx-correctie van de stations zo mooi op een rechte lijn ligt en direct evenredig is met ΔT_x is onverwacht want in de PMM wordt ΔT_x berekend per maand per percentiel (Tabel 2). Kennelijk wordt de ΔT_x over de maanden, percentielen en jaren sterk uitgemiddeld. In Figuur 41 zien we dat het aantal tropische dagen eveneens afhankelijk is van ΔT_x , hoewel de correlatie minder sterk is.



Figuur 41 Relatie tussen ΔT_x en het aantal tropische dagen De Bilt voor alle vergelijkingsstations. Gegevens uit Tabel 10.

Figuur 42 laat zien waarom het gebruik van referentiestation Eelde tot een veel grotere Tx-correctie leidt dan gebruik van Beek. Dat ligt aan de formule Tx-correctie = $\Delta T_x = \Delta T_1 - \Delta T_2$ die weliswaar geldt voor de percentielen per maand maar zoals Figuur 40 toont geldt deze formule bij benadering ook voor de gemiddelden over de hele vergelijkingsintervallen. In Figuur 42 is $(\Delta T_1 - \Delta T_2)$ met Eelde groter dan $(\Delta T_1 - \Delta T_2)$ met Beek.

Uit Figuur 35 van hoofdstuk 6 bleek ook dat de breukcorrectie van het KNMI een aanzienlijke overcorrectie oplevert in vergelijking met de referentieset. Dat ligt aan Eelde als vergelijkingsstation. Zou Aachen of Beek als vergelijkingsstation zijn gebruikt dan zou Tx-zomer hoogstwaarschijnlijk geen overcorrectie opleveren.



Figuur 42 Jaargemiddelde Tx (°C) van De Bilt (origineel), Eelde en Beek in de vergelijkintervallen 1946-1949 en 1952-1956. De horizontale streepjeslijnen zijn de gemiddelden over de beide intervallen.

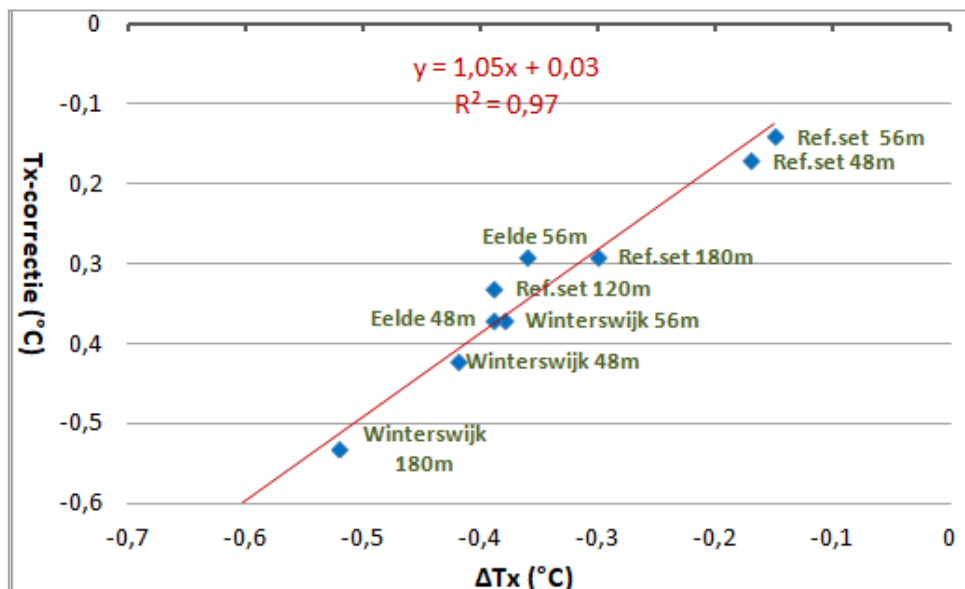
De PMM met Eelde als vergelijkingsstation is nog om een andere reden discutabel omdat de analyse zich noodzakelijkerwijs beperkt tot de beschikbare vergelijkingsperiode (56 maanden). Data van Eelde starten namelijk pas vanaf 1946. Maar Tx varieert sterk over de jaren en dus ook ΔT_x . Tabel 11 geeft het resultaat bij verschillende vergelijkingsperioden.

Referentiestation	Vergelijkings-Interval (m)	ΔT_x	Tx-correctie	Aantal tropische dagen
De Bilt (origineel)	48			152
Eelde	48	-0,377	-0,37	92
Eelde	56	-0,302	-0,29	88
Winterswijk	48	-0,42	-0,42	106
Winterswijk	56	-0,39	-0,37	104
Winterswijk	120	-0,619	-0,64	97
Winterswijk	180	-0,52	-0,53	108
Referentieset	48	-0,166	-0,17	121
Referentieset	56	-0,151	-0,14	112
Referentieset	120	-0,403	-0,33	142
Referentieset	180	-0,362	-0,29	176

Tabel 11 Invloed van de lengte van het vergelijkingsinterval (maanden) op ΔT_x , Tx-correctie en aantal tropische dagen.

Het maakt dus nogal wat uit voor de Tx-correctie en het aantal tropische dagen welke vergelijkingsperiode wordt genomen. Behalve dat de PMM methode de keuze toelaat voor een bepaald vergelijkingsstation laat het ook de keuze vrij voor welke vergelijkingsperiode men kiest. Dat maakt de methode wel erg arbitrair.

Als we de in Tabel 11 gegeven Tx-correctie uitzetten tegen ΔT_x krijgen we Figuur 43.



Figuur 43 Relatie tussen de Tx-correctie en ΔT_x van vergelijkingsstation bij verschillende vergelijkingsperioden. Gegevens uit Tabel 11

Het verband tussen Tx-correctie en ΔT_x is vrijwel 1:1. Het is overigens niet geheel onverwacht dat dit verband wordt gevonden: of men nu verschillende vergelijkingsstations neemt of verschillende vergelijkingsperioden, de berekening van de Tx-correctie is alleen afhankelijk van de relatieve temperatuurverschillen $\Delta T_1 - \Delta T_2$.

Discussie

De grootte van de correctie van Tx in De Bilt is sterk afhankelijk van het vergelijkingsstation. De uitkomst van de PMM is, wat de jaargemiddelden betreft, vrijwel gelijk aan ΔT_x , het verschil tussen De Bilt en het vergelijkingsstation over de beide intervallen van de vergelijkingsperiode. Omdat geen enkel vergelijkingsstation goed met De Bilt is te vergelijken en het temperatuurverschil grote fluctuaties vertoont, is de uitkomst van de PMM sterk afhankelijk van arbitraire keuzen voor het vergelijkingsstation en voor de lengte van de vergelijkingsintervallen.

Een beperking van vergelijkingsstation Eelde is dat er maar 4 jaar vóór 1950 beschikbaar zijn als vergelijkingsinterval. Gezien de variabiliteit van Tx van jaar tot jaar en daarmee ook de ΔT_x over verschillende vergelijkingsintervallen kan de homogenisatie met Eelde als niet representatief worden beschouwd.

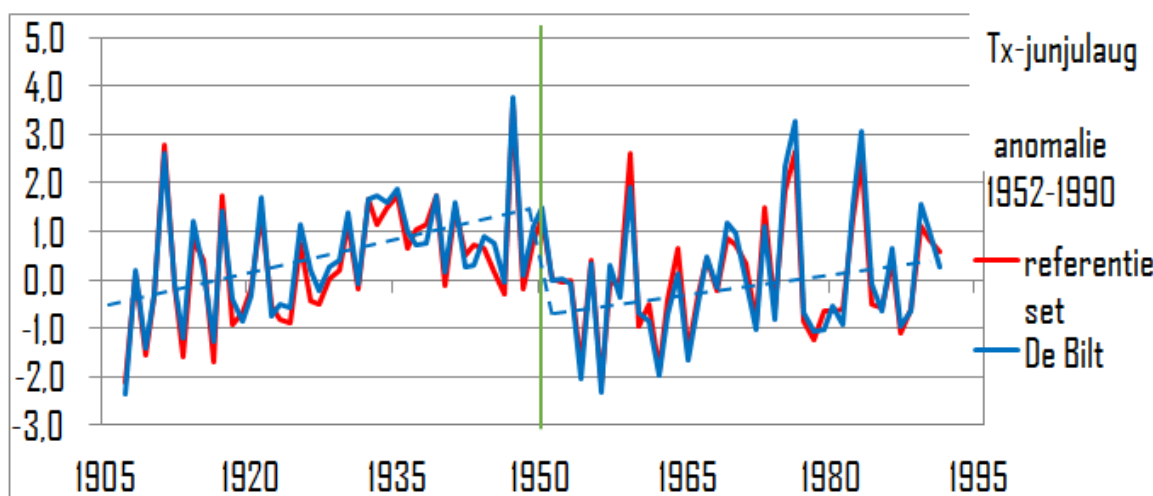
Een andere beperking van vergelijkingsstation Eelde is dat het leidt tot een grote overcorrectie van Tx in de zomermaanden in De Bilt. Dat komt omdat de Tx-zomer in Eelde relatief koel is in vergelijking met andere vergelijkingsstations. Andere vergelijkingsstations zoals Beek, Aachen en de referentieset leiden niet tot overcorrectie.

Bij deze conclusies past nog een voorbehoud: zoals blogger Michiel¹⁵ opmerkt is de PMM een puur statistische methode die geen rekening houdt met verschillende meteorologische omstandigheden. Het opwarmende effect van de pagode is vooral te verwachten op dagen met hoge zonnestand en weinig wind. De PMM houdt daar geen rekening mee en past op bewolkte, winderige, maar relatief warme dagen dezelfde correctie toe als op zonnige dagen met weinig wind met dezelfde temperatuur. Het is twijfelachtig of dit wetenschappelijk verantwoord is.

De methode van Visser (2007), die de grootte van de instrumentele breuk schatte door trendlijnen te trekken door de perioden voor en na 1950 (zie Figuur 21) is uiteraard onjuist. Daarom hopen we met

¹⁵ <https://www.weerwoord.be/m/2227437>

onderstaande Figuur 44 het misverstand uit de weg te ruimen. Het niveauverschil tussen de blauwe trendlijnen (De Bilt) rond 1950 is $\sim 2,1$ °C. Dat is wel de trendbreuk maar niet de instrumentele breuk in De Bilt. De referentieset vertoont namelijk een vergelijkbare, iets kleinere trendbreuk.



Figuur 44: de methode van Visser (2007) voor het bepalen van de grootte van de trendbreuk

De formule $\Delta T_x = \Delta T_1 - \Delta T_2$ voor de T_x correctie is eveneens discutabel. Die reden is de veronderstelling dat de temperatuurverschillen tussen nabijgelegen stations in de intervallen voor en na 1950/51 gemiddeld genomen gelijk zijn, zodat ΔT_x kan worden toegeschreven aan een trendbreuk als gevolg van instrumentele veranderingen. Die veronderstelling is onjuist want ΔT_x voor Beek en voor Eelde verschillen sterk van elkaar (zie Tabel 10). Maar beide stations zijn wel homogeen. De regionale klimatologische neergang rond 1950 kan voor Beek iets anders uitpakken dan voor Eelde; er zijn aanwijzingen dat bij hogere temperaturen Beek relatief wat warmer is dan Eelde.

Dus de veronderstelling dat 100% van de ΔT te wijten is aan de instrumentele trendbreuk is onjuist. De formule moet zijn: $T_x\text{-correctie} = \alpha \Delta T_x$, waarin α een ongespecificeerde grootheid is, niet gelijk aan 1 (zoals Brandsma impliciet veronderstelt) en verschillend per referentiestation en per lengte van de referentieperiode.

Conclusies

1. Het resultaat van de *percentiel matching methode* is sterk afhankelijk van de keuze van het vergelijkingsstation en van de keuze van het vergelijkingsinterval.
2. Bovenstaande, gevoegd bij de constatering dat het resultaat ook afhankelijk is van statistische procedures (percentielkeuze, smoothing) maakt de methode hoogst arbitrair.
3. Voor het bepalen van noodzakelijke correcties voor De Bilt op hete dagen ligt Beek als vergelijkingsstation meer voor de hand dan Eelde omdat tijdens hete zomerperioden de heersende windrichting in De Bilt niet ZW is maar Z/ZO.
4. Een 'beste' vergelijkingsstation dat in alle maanden en bij alle windrichtingen beter is dan de andere bestaat niet. De correctie voor De Bilt hangt af van de temperatuurontwikkeling bij een vergelijkingsstation in de vergelijkingsperiode en die ontwikkeling varieert sterk per vergelijkingsstation en per tijdsinterval.
5. Een ander bezwaar tegen het gebruik van Eelde is dat er maar 4 hele jaren vóór 1950 beschikbaar zijn terwijl blijkt dat vergelijkingsintervallen van verschillende grootten tot aanmerkelijk verschillende homogenisatie-resultaten leiden.

6. De uitkomst van de *percentiel matching methode* op de Tx correctie van De Bilt is, wat de jaargemiddelden betreft, bijna exact gelijk aan het gemiddelde temperatuurverschil tussen het vergelijkingsstation en De Bilt over de beide vergelijkingsintervallen.
7. De aanname in de *percentiel matching methode*, dat Tx-correctie = $\Delta T = \Delta T_1 - \Delta T_2$, is onjuist. Dat moet zijn Tx-correctie = $\alpha \Delta T$, want instrumentveranderingen vonden plaats tijdens een regionale temperatuurneergang (vooral duidelijk in Txx/ Tx-zomer) waarop verschillende stations verschillend kunnen reageren.
8. Het KNMI heeft Tx-zomer in De Bilt overgecorrigeerd zoals zowel blijkt uit onze herberekening als uit vergelijking met de referentieset. Dat is een belangrijke reden waarom hittegolven zijn verdwenen.

8 De verdwenen hittegolven

Hoewel geen enkel vergelijkingsstation ‘het beste’ is voor homogenisatie van de data van De Bilt met de PM methode, hebben we in het voorgaande laten zien, dat voor warme dagen beter Beek kan worden gebruikt dan Eelde, vanwege de in warme perioden dominerende windrichtingen tussen Zuid en Oost. Als we op die manier naar de gehomogeniseerde data kijken, dan blijken verschillende verdwenen hittegolven terug te komen.

In Figuur 45 en Figuur 46 zijn de aantallen tropische dagen en zomerse dagen van 1901-2019 weergegeven volgens drie reeksen: de oorspronkelijke reeks van De Bilt, de homogenisatie van het KNMI en onze reconstructie van de homogenisatie met Beek als vergelijkingsstation. In Figuur 47 zijn de hittegolven weergegeven volgens de drie reeksen. In alle gevallen is de conclusie dat door de homogenisatie van het KNMI de zomerse en tropische dagen voor 1951 te ver zijn teruggebracht. Ook de door het KNMI geclaimde reductie van het aantal hittegolven voor 1951 houdt geen stand: volgens het KNMI zouden slechts 24% (7) van de hittegolven voor 1951 hebben plaatsgevonden, tegen 42% (16) volgens onze herziening. Het lijkt geen twijfel dat de kans op hittegolven van 1901-2019 is toegenomen, maar door de homogenisatie van het KNMI wordt de toename van de trend met ongeveer 45% overschat.

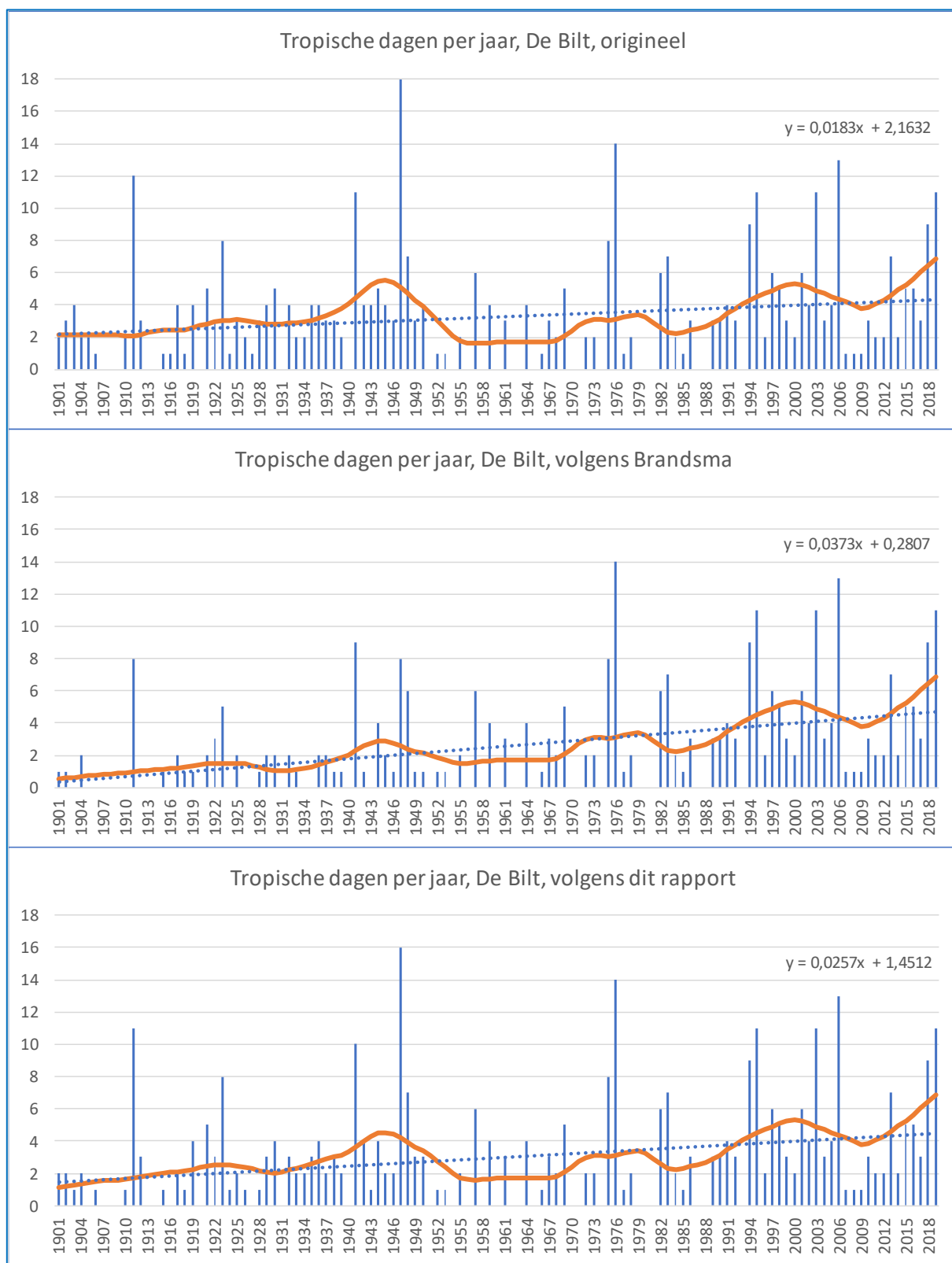
Op 21 augustus 2018 meldden de media dat volgens het KNMI het recordaantal zomerse dagen (51) op die dag zou zijn overschreden. Volgens onze herziening van de gehomogeniseerde reeks stond toen het recordaantal zomerse dagen nog steeds op naam van 1947: 61 en zonder homogenisatie 64. Uiteindelijk kwam 2018 op 13 oktober uit op 55 zomerse dagen, waarmee het record van 1947 volgens onze reconstructie van de homogenisatie niet is overschreden, maar nog 3 dagen onder de werkelijke metingen blijft. Ook na de hete zomer van 2019 blijft 1947 recordhouder van het aantal zomerse en tropische dagen.

Het vermoeden van Dijkstra (2017) dat bij de homogenisatie in De Bilt sprake is van overcorrectie wordt door deze reconstructie bevestigd. Het effect van de pagodehut, die tot 1951 werd gebruikt, en het effect van de verplaatsing in 1951 zijn waarschijnlijk overschat.

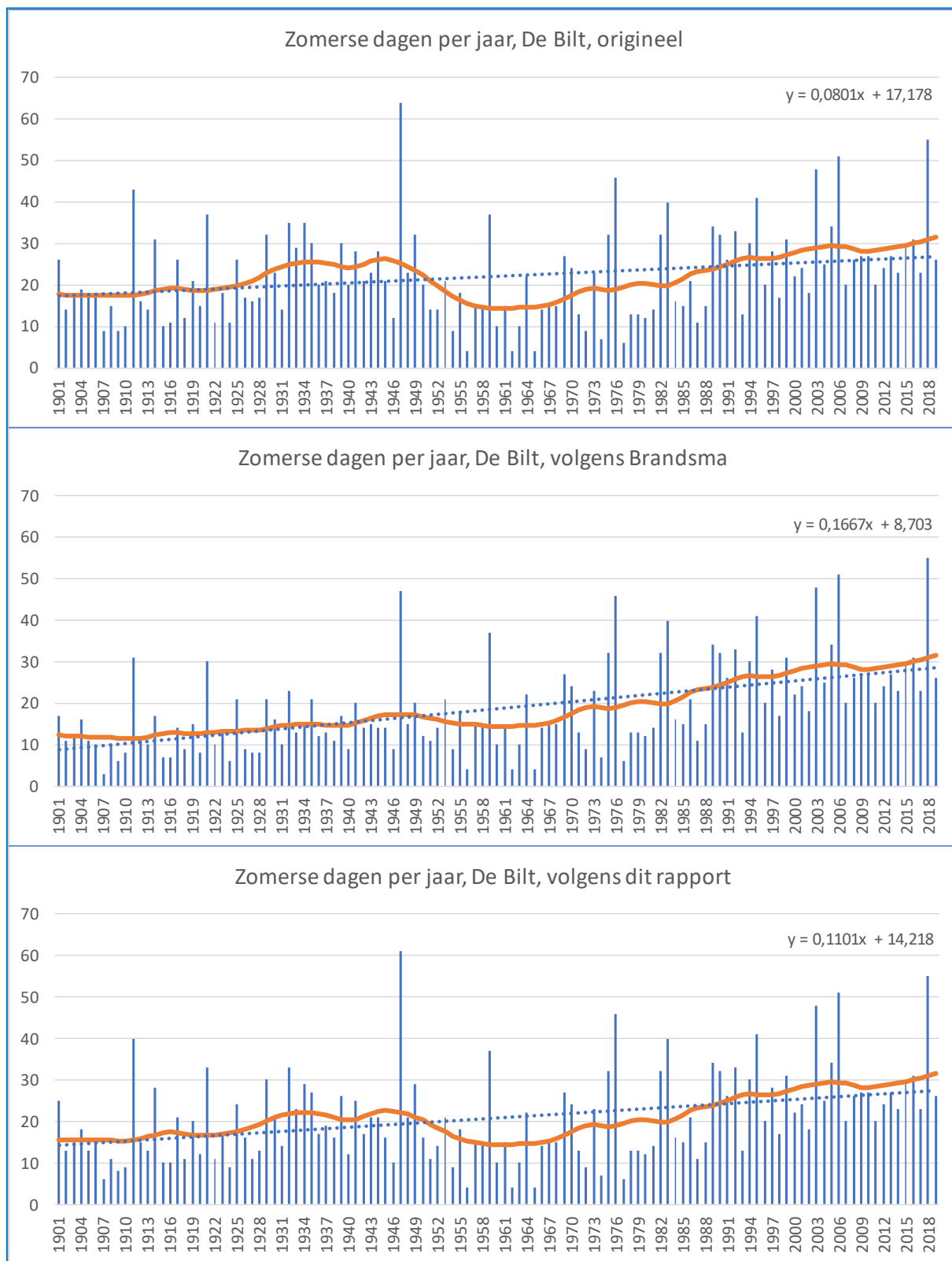
Figuur 48 laat het effect zien van de drie verschillende homogenisaties op het aantal ijsdagen. De trendlijnen zijn in deze figuur berekend met een span van 11 punten uit 118 (0,09), om een mogelijke relatie met de zonnecyclus zichtbaar te maken. De verschillen zijn op het eerste gezicht niet groot. Het KNMI telt vóór 1951 8 ijsdagen minder dan zonder homogenisatie.

Uit Figuur 45 en Figuur 46 kan worden geconcludeerd, dat het aantal zomerse dagen ($T_x \geq 25$) in De Bilt sneller stijgt dan het aantal tropische dagen ($T_x \geq 30$). In het aantal tropische dagen zijn golfbewegingen te zien, terwijl het aantal zomerse dagen een tamelijk constante stijging vertoont vanaf 1960. Vóór 1950 was het tamelijk constant en tussen 1950 en 1960 trad een duidelijke daling van het aantal zomerse dagen op. Beweringen die vaak in de media worden gedaan (ook door KNMI en PBL) dat het aantal zeer hete dagen in de toekomst sterker stijgt dan gemiddeld worden door de historische waarnemingen niet ondersteund. In werkelijkheid is de maximale jaartemperatuur tussen 1947 en 2018 niet gestegen. Alleen dankzij de homogenisatie kon het KNMI schrijven dat het op 27-7-2018 0,1 graad warmer werd dan op 27-6-1947 (35,7 versus 35,6). De werkelijk gemeten temperatuur op 27-6-1947 was 36,8. Volgens onze herziene homogenisatie had 1947 met 36,1 toen nog steeds het absolute record voor De Bilt. Het record van de maximale jaartemperatuur is uiteindelijk in De Bilt pas op 25 juli 2019 gebroken: 37,5 graden.

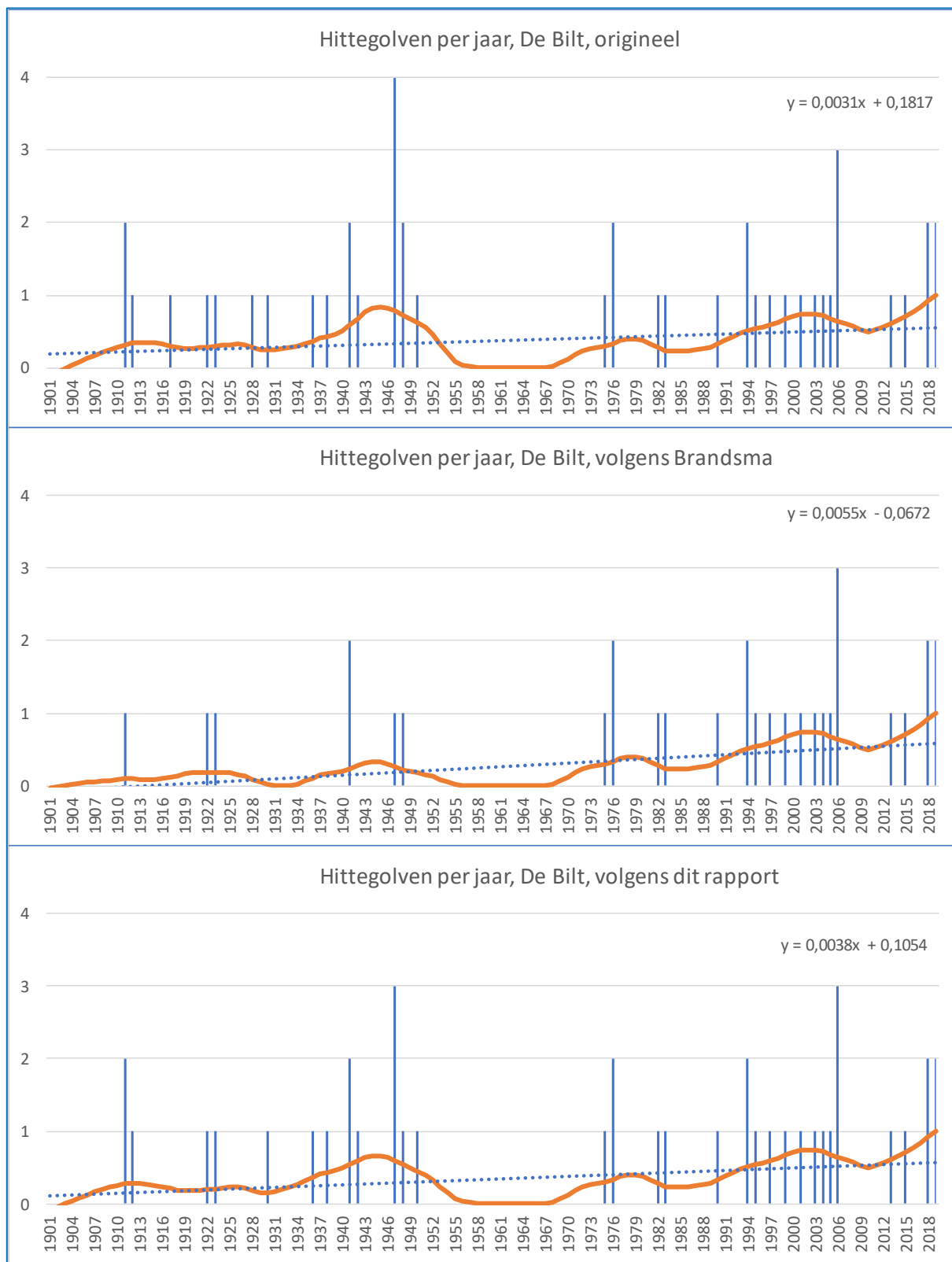
Figuur 49 laat het effect zien van de verschillende homogenisaties op de temperatuursprong rond 1950. Zonder homogenisatie is er een sprong in de maximale jaartemperatuur van 3 °C. Door de homogenisatie van het KNMI wordt de sprong gehalveerd tot 1,5 °C. Met onze reconstructies van de homogenisatie met Beek als vergelijkingsstation is de temperatuursprong 2,7 °C.



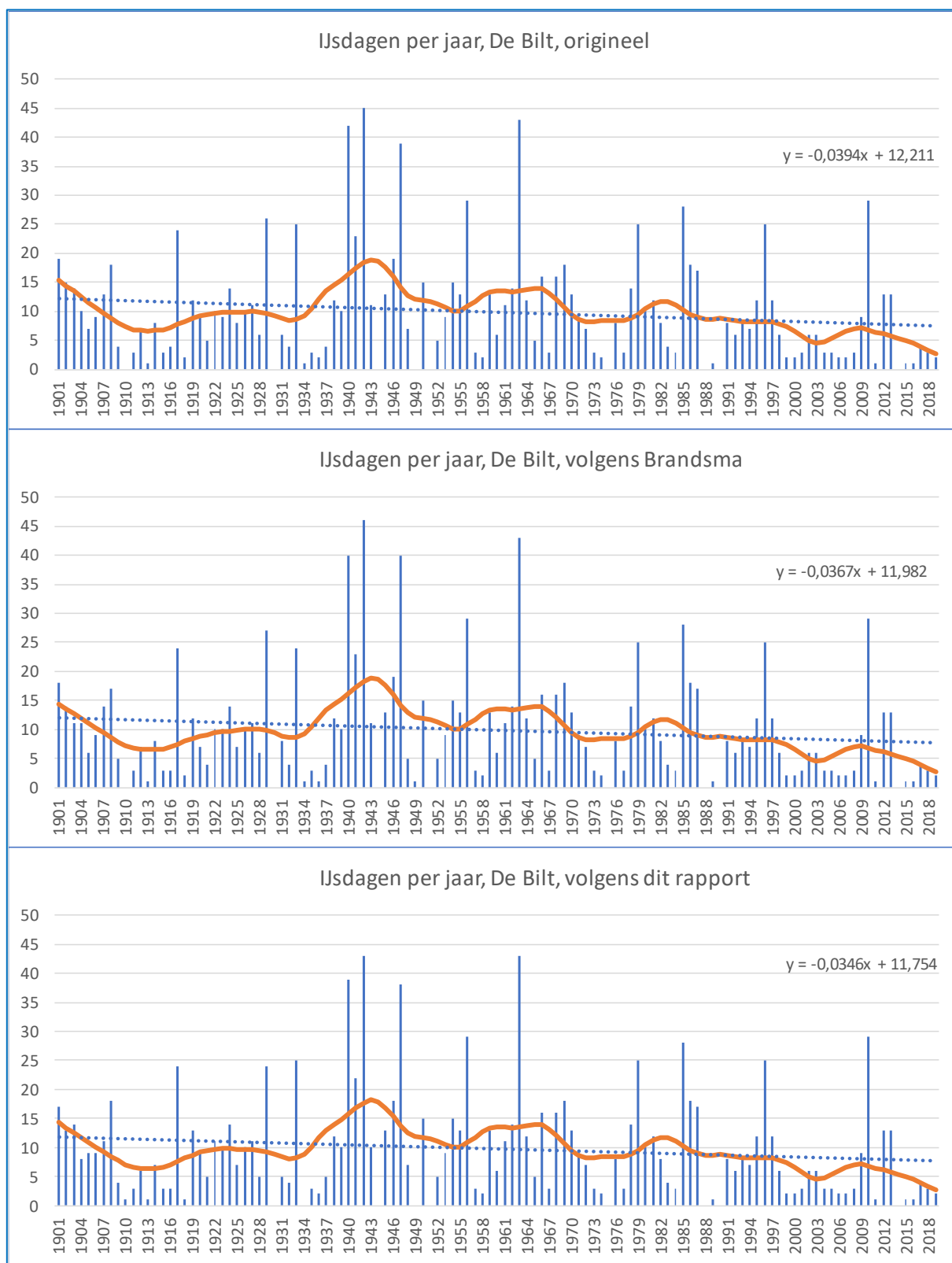
Figuur 45 Aantal tropische dagen per jaar in De Bilt volgens ongehomogeniseerde data, homogenisatie volgens Brandsma en herziene homogenisatie volgens dit rapport. De vloeiende lijn is een Loess-smoothing met een span van 20 punten uit 118 (0,17). De homogenisatie volgens dit rapport is gebaseerd op Beek als vergelijkingsstation (1946-1949 resp. 1952-1955). Gebruikte span bij de smoothings 0,75. De gestippelde lijnen zijn lineaire trendlijnen, met de bijbehorende vergelijkingen.



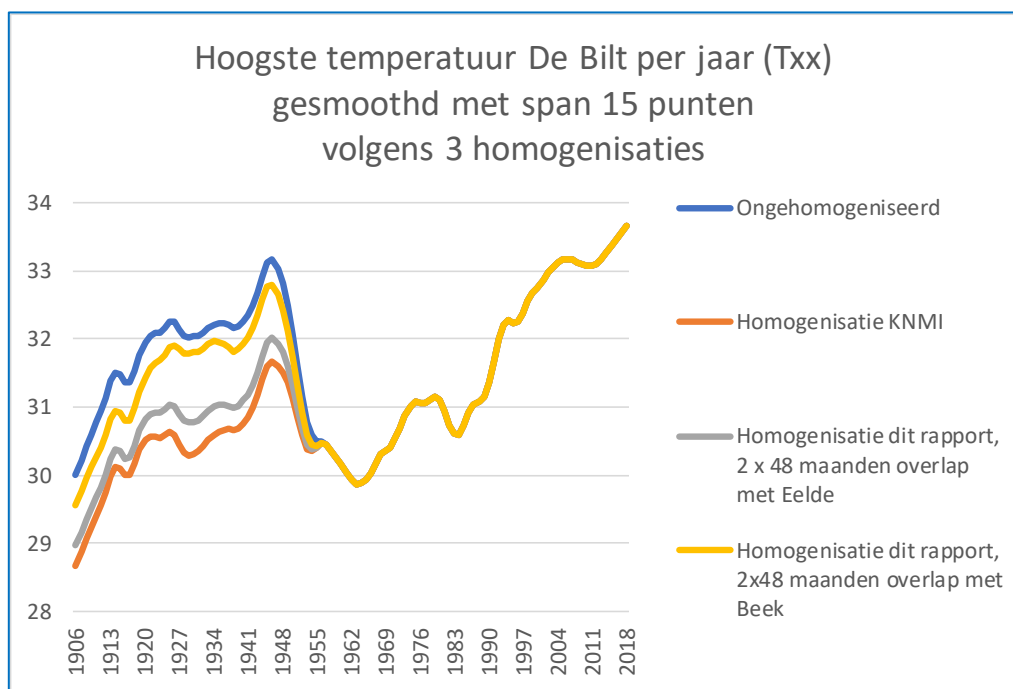
Figuur 46 Aantal zomerse dagen per jaar in De Bilt volgens ongehomogeniseerde data, homogenisatie volgens Brandsma en herziene homogenisatie volgens dit rapport. De vloeiende lijn is een Loess-smoothing met een span van 20 punten uit 118 (0,17). De homogenisatie volgens dit rapport is gebaseerd op Beek als vergelijkingsstation (1946-1949 resp. 1952-1955). Gebruikte span bij de smoothings 0,75. De gestippelde lijnen zijn lineaire trendlijnen, met de bijbehorende vergelijkingen.



Figuur 47 Aantal hittegolven per jaar in De Bilt volgens ongehomogeniseerde data, homogenisatie volgens Brandsma en herziene homogenisatie volgens dit rapport. De vloeiende lijn is een Loess-smoothing met een span van 20 punten uit 118 (0,17). De homogenisatie volgens dit rapport is gebaseerd Beek als vergelijkingsstation (1946-1949 resp. 1952-1955). Gebruikte span bij de smoothings 0,75. De gestippelde lijnen zijn lineaire trendlijnen, met de bijbehorende vergelijkingen.



Figuur 48 Aantal ijsdagen dagen per jaar in De Bilt volgens ongehomogeniseerde data, homogenisatie volgens Brandsma en herziene homogenisatie volgens dit rapport. De vloeiende lijn is een Loess-smoothing met een span van 11 punten uit 118 (0,17) om een mogelijke relatie met de zonnecyclus zichtbaar te maken. De homogenisatie volgens dit rapport is evenals die van Brandsma gebaseerd op de data van Eelde (1946-1949 resp. 1952-1955) als vergelijkingsstation. Gebruikte span bij de smoothings 0,75. De gestippelde lijnen zijn lineaire trendlijnen, met de bijbehorende vergelijkingen.



Figuur 49 Trend in de hoogste jaartemperatuur in de Bilt volgens originele metingen KNMI en drie homogenisaties.

9 Literatuur

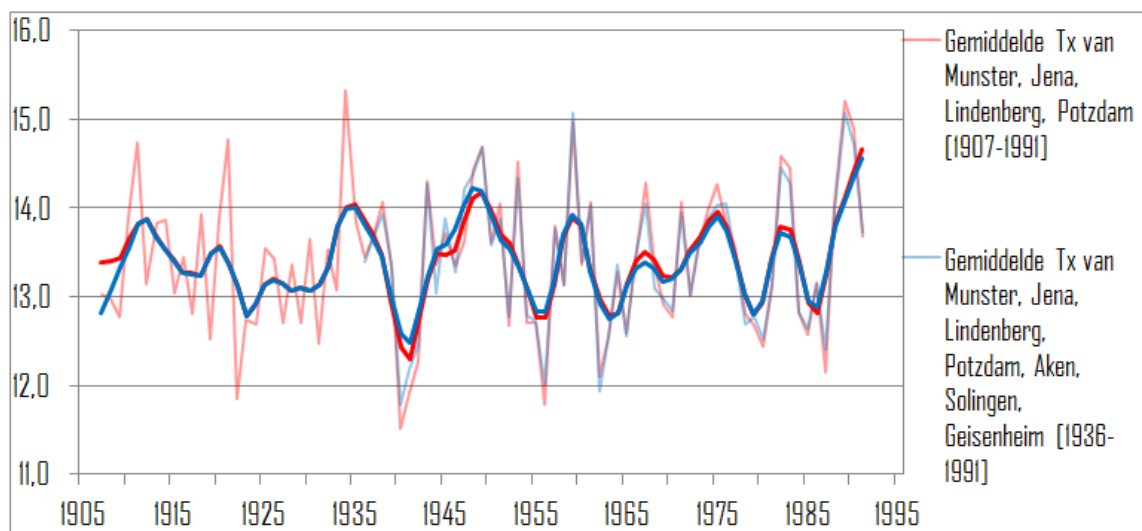
- Brandsma, T., 2005: Parallel air temperature measurements at the KNMI-terrain in De Bilt (the Netherlands) May 2003 – April 2005. KNMI-publicatie 207, HISKLIM 7.
- Brandsma, T., 2011: Parallel air temperature measurements at the KNMI observatory in De Bilt (the Netherlands) May 2003 – June 2005. KNMI Scientific Report, WR 2011-01.
- Brandsma T., Jilderda R. and Sluijter R., 2013: Standardization of data and methods for calculating daily Tmean, Tn and Tx in the Netherlands for the 1901-1970 period.
- Brandsma, T., 2016a: Homogenization of daily temperature data of the five principal stations in the Netherlands (version 1.0). KNMI Technical Report TR-356.
- Brandsma, T., 2016b: Homogenisatie van dagelijkse temperaturen van de KNMI hoofdstations. *Meteorologica* 25(2), 4-8.
- Brandsma T. and Van der Meulen J.P., 2007: Thermometer screen intercomparison in De Bilt (the Netherlands) – Part II: Description and modeling of meantemperature differences and extremes. *Int. J. Climatol.* 2007.
- Brandsma. T., 2019: Pagodemetingen in De Bilt. *Meteorologica* 28(1), 4-8.
- Bruin, H. de, 2016: De Oude Pagode en een kortebroekenheld. *Meteorologica* 26(3), 26-27.
- Dijkstra, F., 2017: Commentaar op de homogenisatie van dagelijkse temperaturen van de KNMI hoofdstations. *Meteorologica* 26(4), 12-15.
- Hyndman, R. J. and Y. Fan, 1996: Sample quantiles in statistical packages, *American Statistician* 50, 361–365.
- KNAW, 2018: Replication studies. Improving Reproducibility in the Empirical Sciences. Advisory Report KNAW, 15-1-2018.
- Kramer, C., Post, J.J. en Woudenberg, J.P.M., 1954: Nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van temperatuur- en vochtigheidsbepalingen in buitenlucht met behulp van kwikthermometers. *Mededelingen en verhandelingen KNMI*, nr. 60.
- Mureau, R., W. van den Berg, W. Hazeleger en E. Min, 2013: Vaker hoge maxima? *Meteorologica* 22(3), 26-29.
- Rozendaal, S., 2016: Creatief met cijfers: KNMI kan geen thermometer lezen. KNMI goochelt de tropische zomer van 1947 van 1 naar 6 in de toptien. Elsevier, 27 oktober 2016.
- Rozendaal, S., 2017: De hete pagode van De Bilt. Elsevier, 6 mei 2017.
- Schrier, G. van der, Ulden, A. van, Oldenborgh, G.J. van, 2011a: The construction of a Central Netherlands temperature. *Clim. Past*, 7, 527–542, 2011.
- Schrier, G. van der, Ulden, A. van, Oldenborgh, G.J. van, 2011b: De Centraal Nederland Temperatuurreeks. *Meteorologica* 20(4), 10-15.
- Ulden van, A., Van Oldenborgh, G.J., Van der Schrier, G., 2009: The Construction of a Central Netherlands Temperature. KNMI Scientific Report WR 2009-03.
- Visser, H., 2007: Kans op extreem warme dagen in Nederland. Milieu en Natuur Planbureau, rapport 550032010/2007.

10 Appendix

BIJLAGE 1: Samenstelling referentieset

Voor het samenstellen van een ensemble van de zeven Duitse stations moeten we rekening houden met het aantal jaren die stations gemeenschappelijk hebben. We kunnen een gemiddelde nemen van 4 stations voor het interval 1907-1991 (Münster, Jena, Lindenberg en Potsdam) en 3 extra stations vanaf 1936 (Aken, Solingen en Geisenheim). Het KNMI doet dat ook bij het samenstellen van de CNT, waarbij van 1901 tot 1950 het gemiddelde van 4 "gecorrigeerde" stations (CNT4) werd gekoppeld aan het gemiddelde van 6 stations (CNT6). Er werd "een kleine correctie" (helaas ongespecificeerd) toegepast voor de overgang van 4 naar 6 referentiestationen.

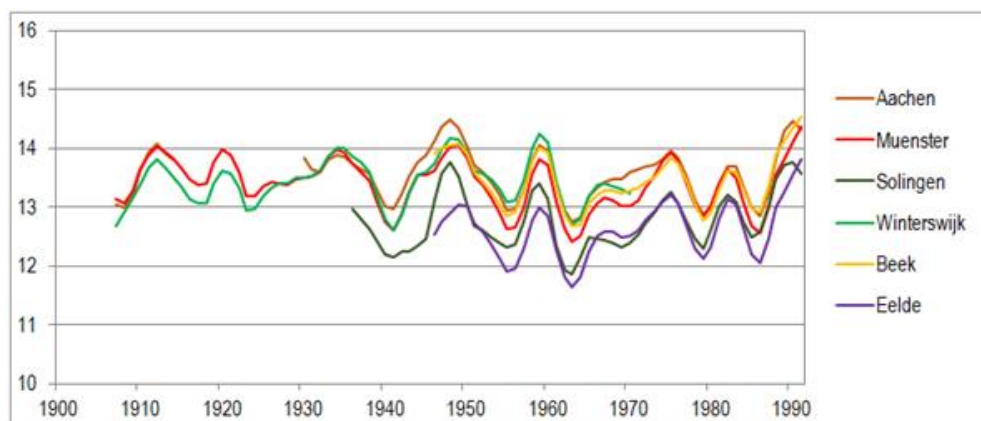
Wij hebben deze methode van het KNMI nagevolgd. In figuur 28 zijn de beide Tx reeksen uitgezet over de periode 1907-1991: rood: 4 stations; blauw dezelfde 4 stations plus 3 extra stations:



Figuur 50 Tx (°C) van 2 subsets bestaande uit de gemiddelden van 4 stations (rood) en van 7 stations (blauw). De dikke lijnen zijn verkregen met een Loess filter met span 8 jaren.

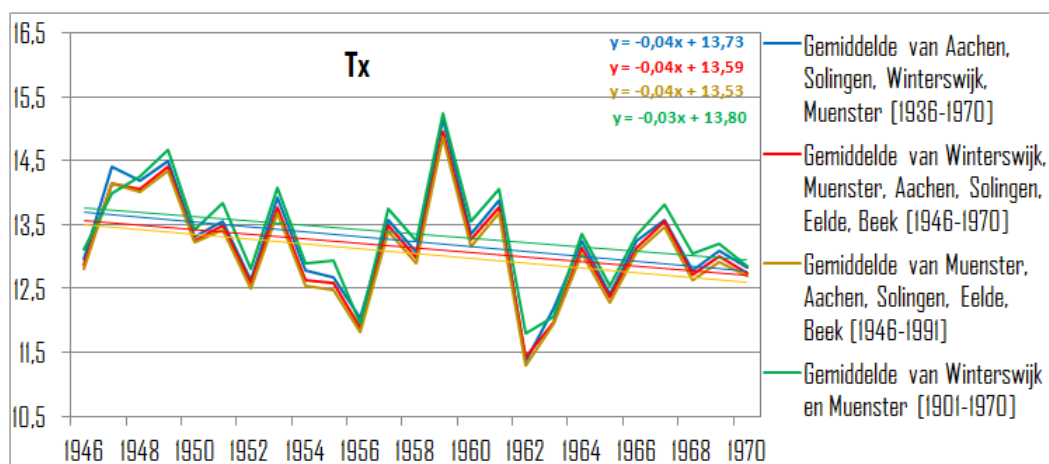
De richtingscoëfficiënt van Tx in het gemeenschappelijk interval 1936-1991 is exact hetzelfde voor het gemiddelde van de 4 stations en het gemiddelde van de 6 stations. Op de gemiddelde Tx van de 4 stations (rood) werd daarom alleen een kleine positieve correctie toegepast (0,049 °C) zodat de gemiddelden van de twee reeksen in de kalibratieperiode 1936-1991 gelijk zijn. Vervolgens werden de twee reeksen (rood: 1907-1935 en blauw: 1936-1991) aan elkaar gekoppeld tot één reeks: het Duitse ensemble.

Samenstelling referentieset



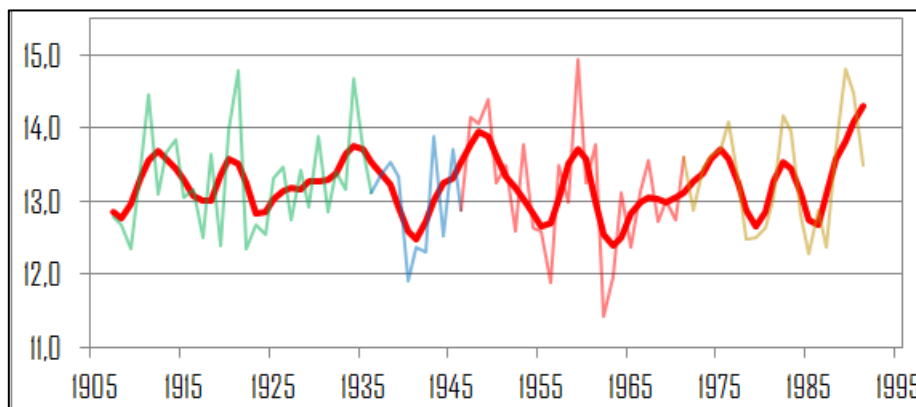
Figuur 51 Tx (°C) van de zes stations die gebruikt werden in het samenstellen van de referentieset, Loess-gefilterd met span 8 jaar.

Om de verschillende perioden van de stations aan elkaar te koppelen gebruiken we het interval dat alle 6 stations gemeenschappelijk hebben: 1946-1970 (de kalibratieperiode). We gebruiken het gemiddelde van alle 6 stations in deze periode om correcties toe te passen op drie subsets, te weten 1: Winterswijk en Münster (1907-1970), 2: Aachen, Solingen, Winterswijk, Münster (1936-1970), 3: Münster, Aachen, Solingen, Eelde, Beek (1946-1991):



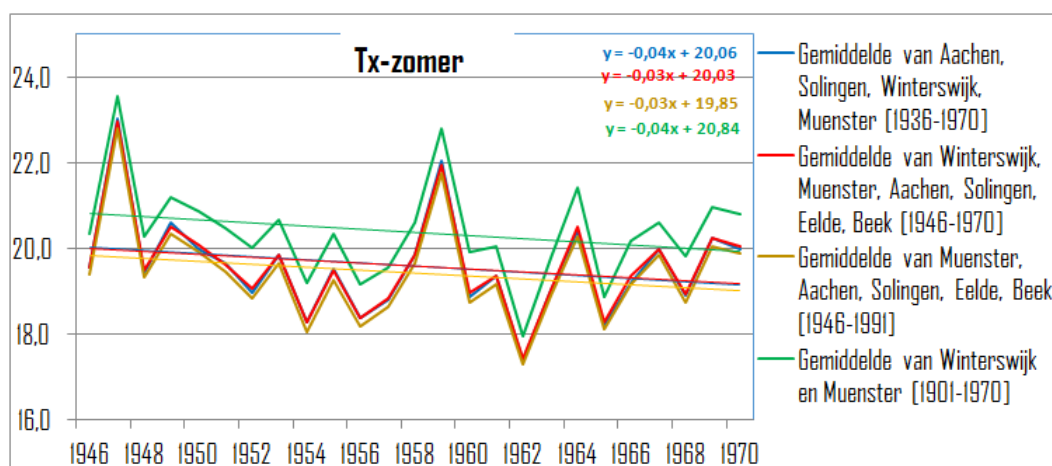
Figuur 52 Gemiddelde Tx (°C) van vier ensembles.

Basis voor de correcties is de rode lijn in Figuur 52 met het gemiddelde van alle stations (de hoofdataset). De richtingscoëfficiënten van de 3 subsets verschillen niet significant van die van de hoofdataset ($p > 0,9$). We corrigeren daarom alleen voor het verschil van de gemiddelde Tx van de 3 subsets met die van de hoofdataset. De blauwe lijn (subset 2) ligt gemiddeld $0,102\text{ °C}$ boven de rode lijn, de gele lijn (subset 3) ligt gemiddeld $0,076\text{ °C}$ onder de rode lijn en de groene lijn (subset 1) ligt gemiddeld $0,23\text{ °C}$ boven de rode lijn. Met deze correcties kunnen we nu de 4 reeksen aan elkaar koppelen. Subset 1 (groen) van 1907-1935; subset 2 (blauw) van 1936-1945; subset 3 van 1946-1970; subset 4 (geel) van 1971-1991:



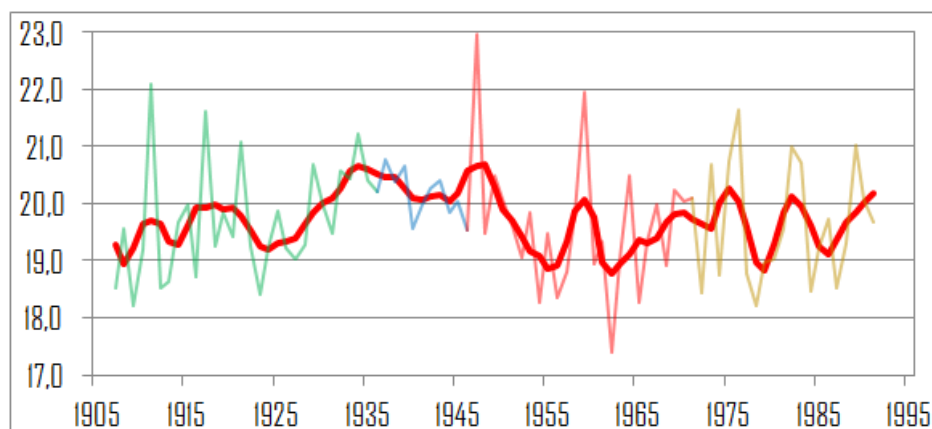
Figuur 53 Gemiddelde Tx (°C) van vier subsets samengevoegd tot een referentieset. De dikke rode lijn is verkregen met een Loess filter met span 8 jaar.

Voor de constructie van Tx-zomer werd dezelfde methode gevolgd als voor Tx:



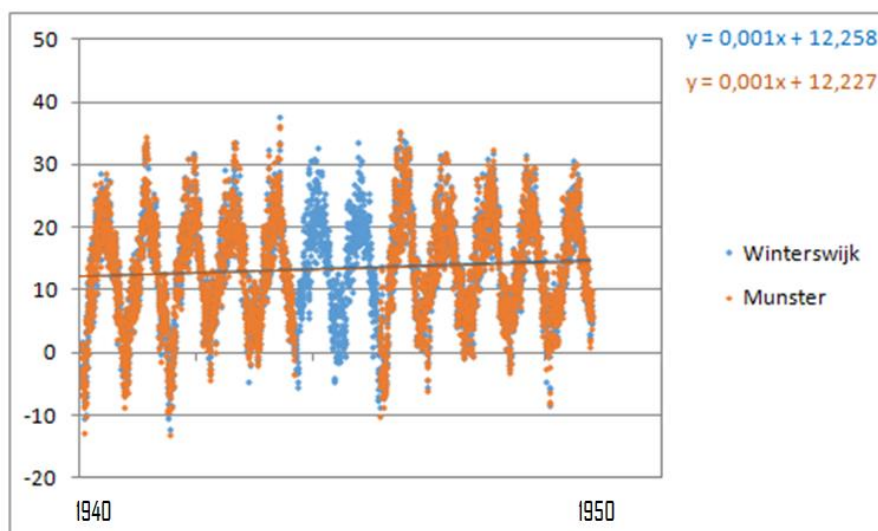
Figuur 54 Gemiddelde Tx-zomer (°C) van vier ensembles.

Aangezien de hellingshoeken van de 4 subsets in het interval 1946-1970 niet significant verschillen corrigeren we alleen voor het verschil van de gemiddelde Tx-zomer van de 3 subsets met die van de hoofdset op dezelfde wijze zoals hierboven beschreven voor Tx. Dit is het resultaat:



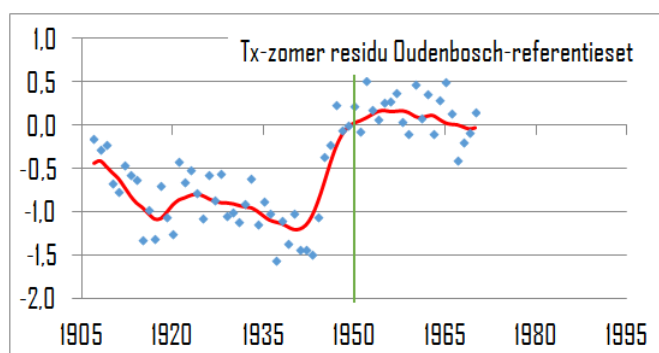
Figuur 55 Gemiddelde Tx-zomer (°C) van vier subsets samengevoegd tot een referentieset. De dikke rode lijn is verkregen met een Loess filter met span 8 jaar.

Voor Münster ontbreken de jaren 1945 en 1946. Voor het opvullen van deze jaren werden de gegevens van het dichtstbijzijnde station Winterswijk gebruikt. In Figuur 56 staan de dagelijkse Tx-waarden van Münster en Winterswijk in het gebruikte kalibratie interval 1940-1950. De Tx-waarden van Münster werden met een kleine correctie voor het niveauverschil van de trendlijnen ($-0,031\text{ }^{\circ}\text{C}$) gekopieerd naar Winterswijk.



Figuur 56 Dagelijkse Tx-waarden ($^{\circ}\text{C}$) van Winterswijk (blauw) en Münster (bruin) tussen 1940 en 1950.

Oudenbosch werd uitgesloten van de referentieset mede vanwege de merkwaardige trendbreuk die Tx-zomer in Oudenbosch vertoont:



Figuur 57 Verschil tussen Tx-zomer van Oudenbosch en de referentieset. Oudenbosch vertoont een grote trendbreuk van meer dan $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Het KNMI vermeldt deze opvallende trendbreuk niet. Oudenbosch is notabene gebruikt in de constructie van de CNT en is ook gebruikt als referentie bij diverse homogenisaties waardoor deze stations en de CNT zijn "vervuild". Oudenbosch is in de jaren vóór 1950 ruim een graad lager dan de referentieset.

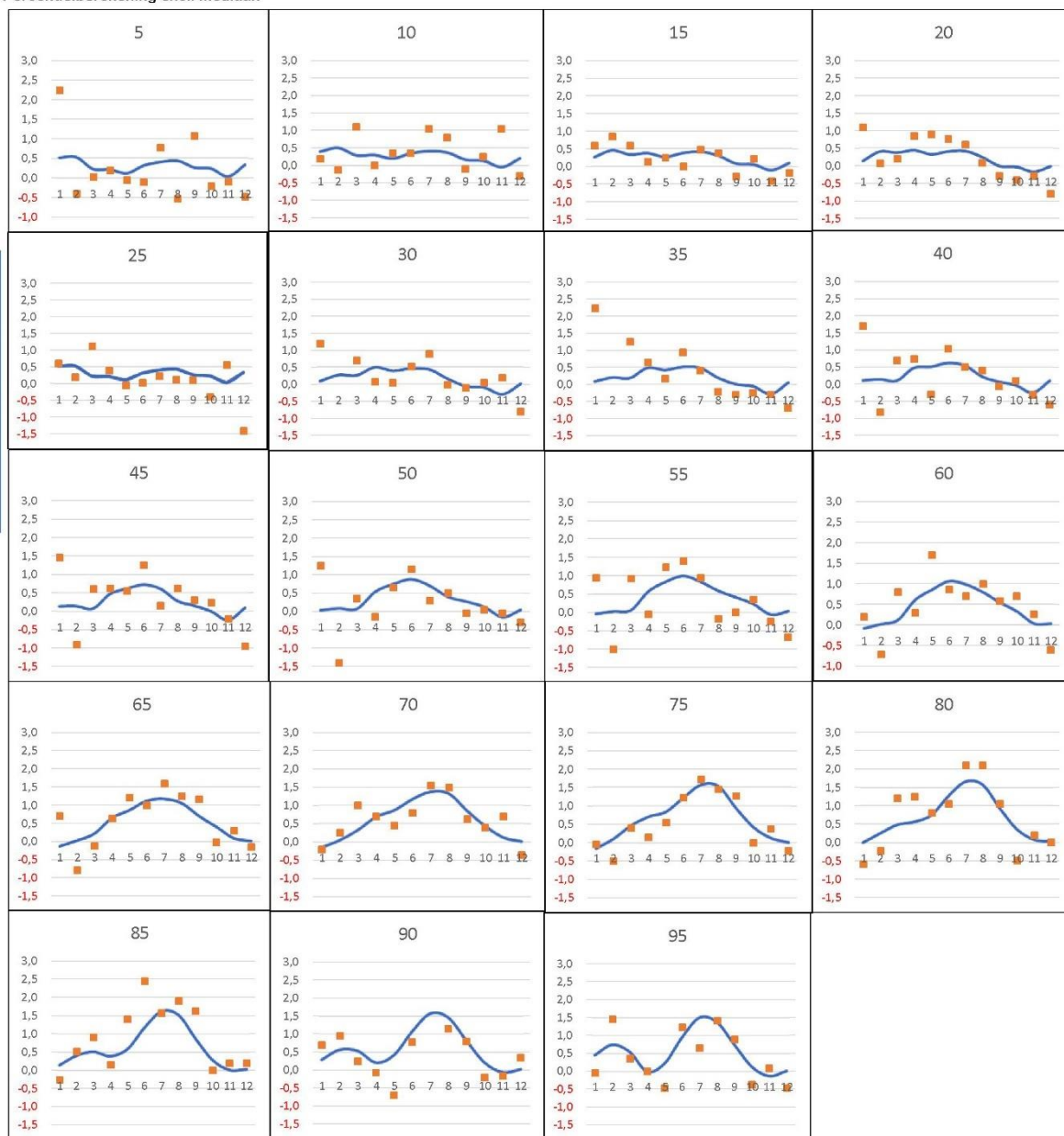
BIJLAGE 2: Detailgrafieken hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5

Span smoothing over percentielen:
Percentielberekening excl. mediaan

0,40

Span smoothing over maanden:

0,42



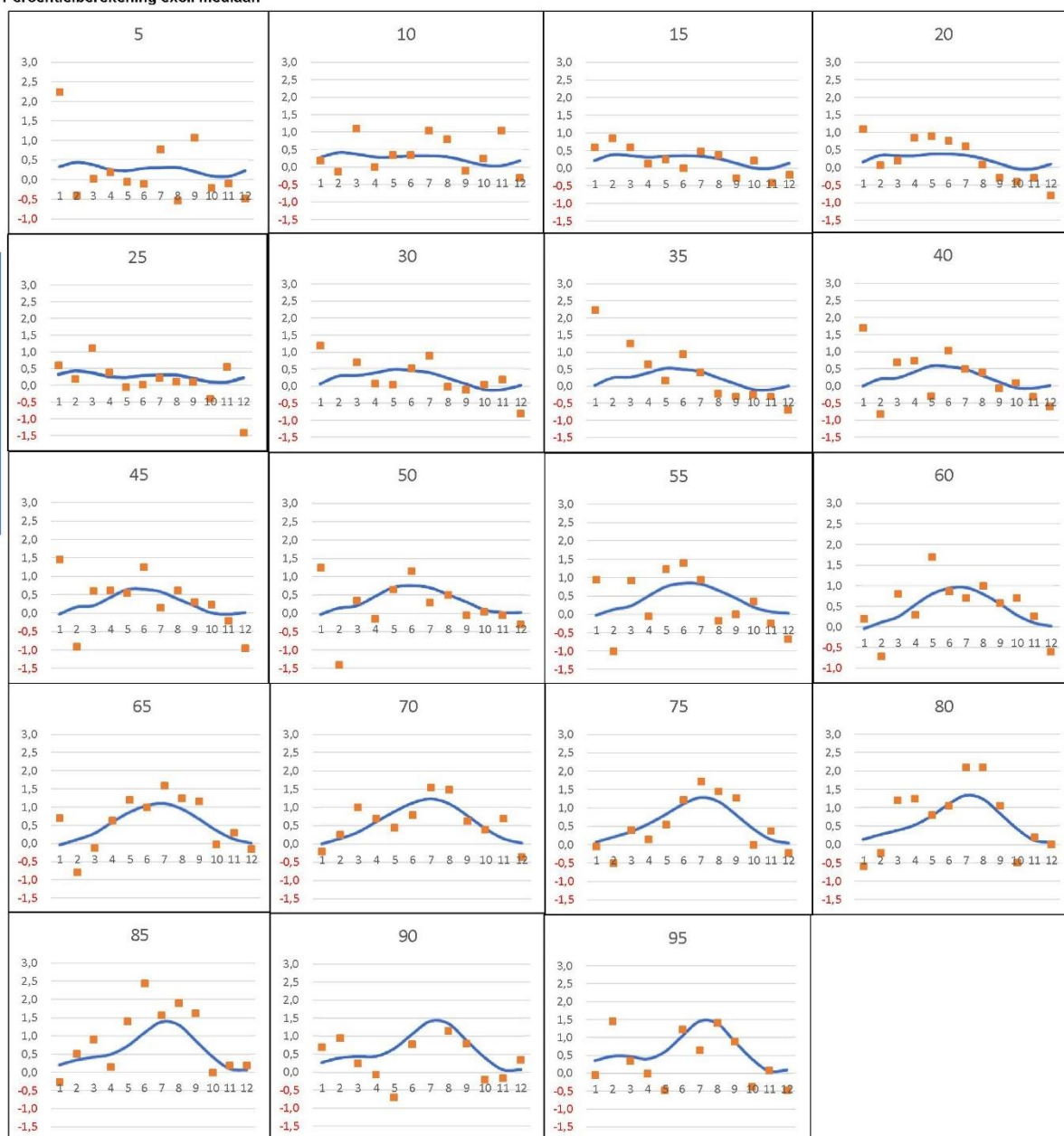
Figuur 58 Correcties Tx De Bilt, per maand en per percentiel, lage smoothing.

Span smoothing over percentielen:
Percentielberekening excl. mediaan

0,60

Span smoothing over maanden:

0,58



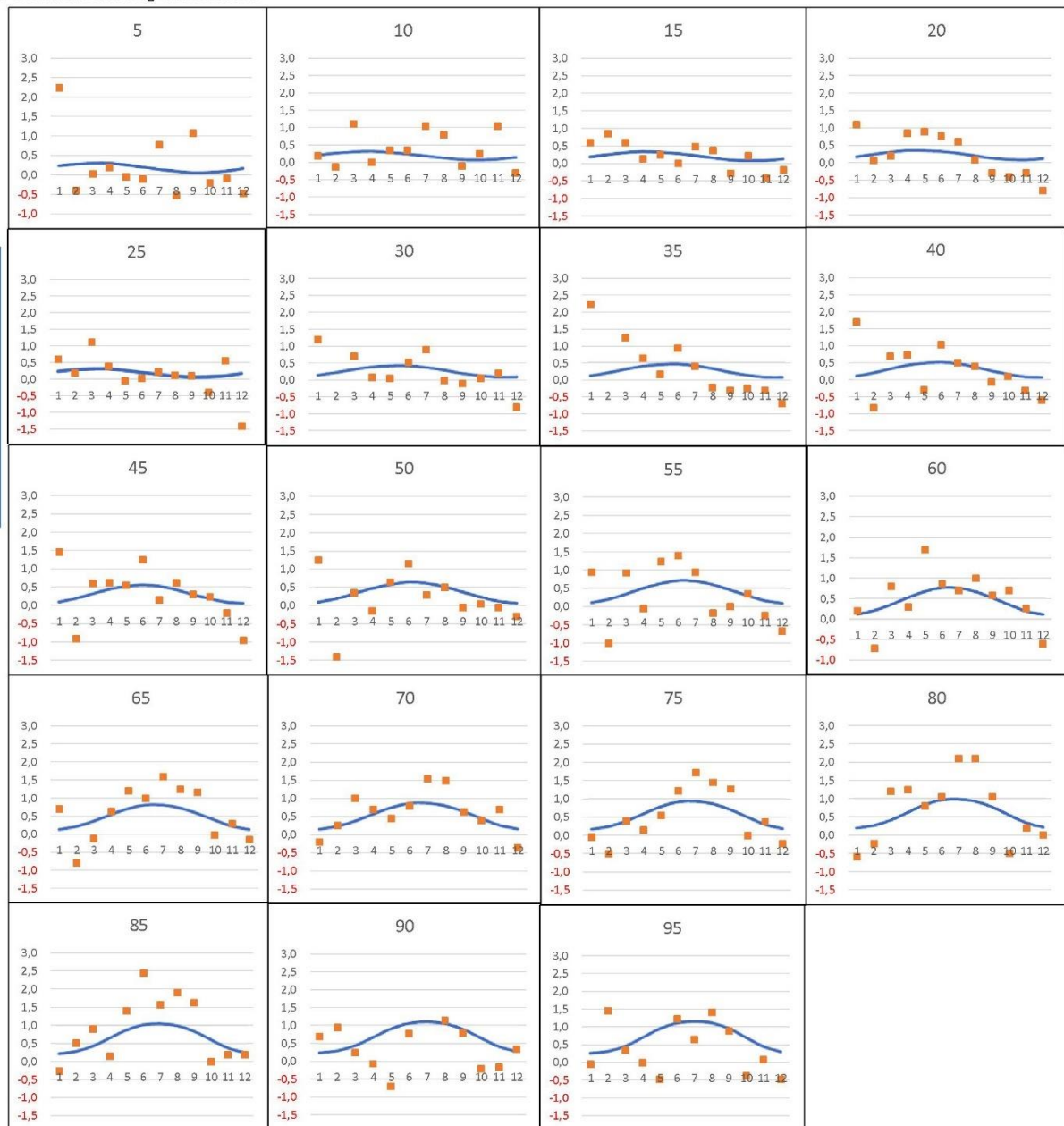
Figuur 59 Correcties Tx De Bilt, per maand en per percentiel, matige smoothing.

Span smoothing over percentielen:
Percentielberekening excl. mediaan

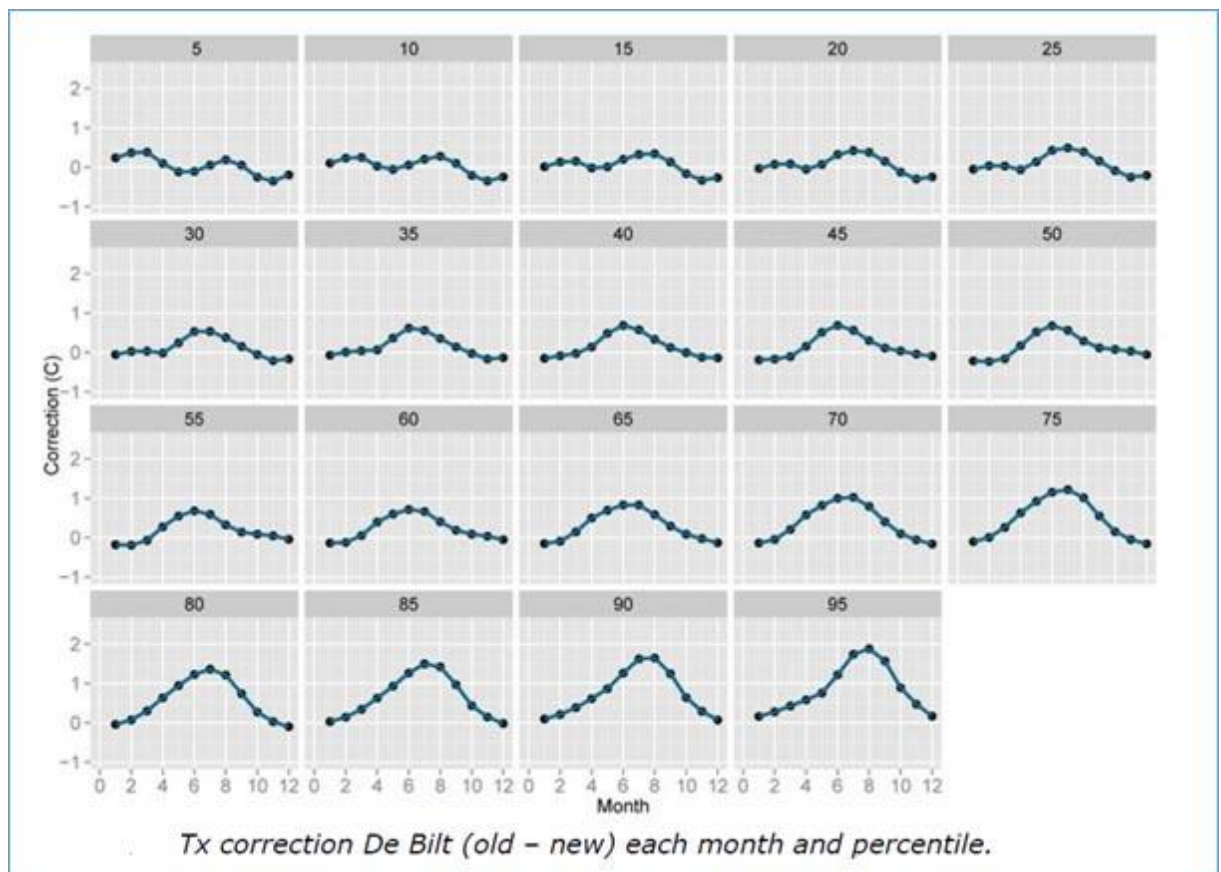
0,90

Span smoothing over maanden:

0,92



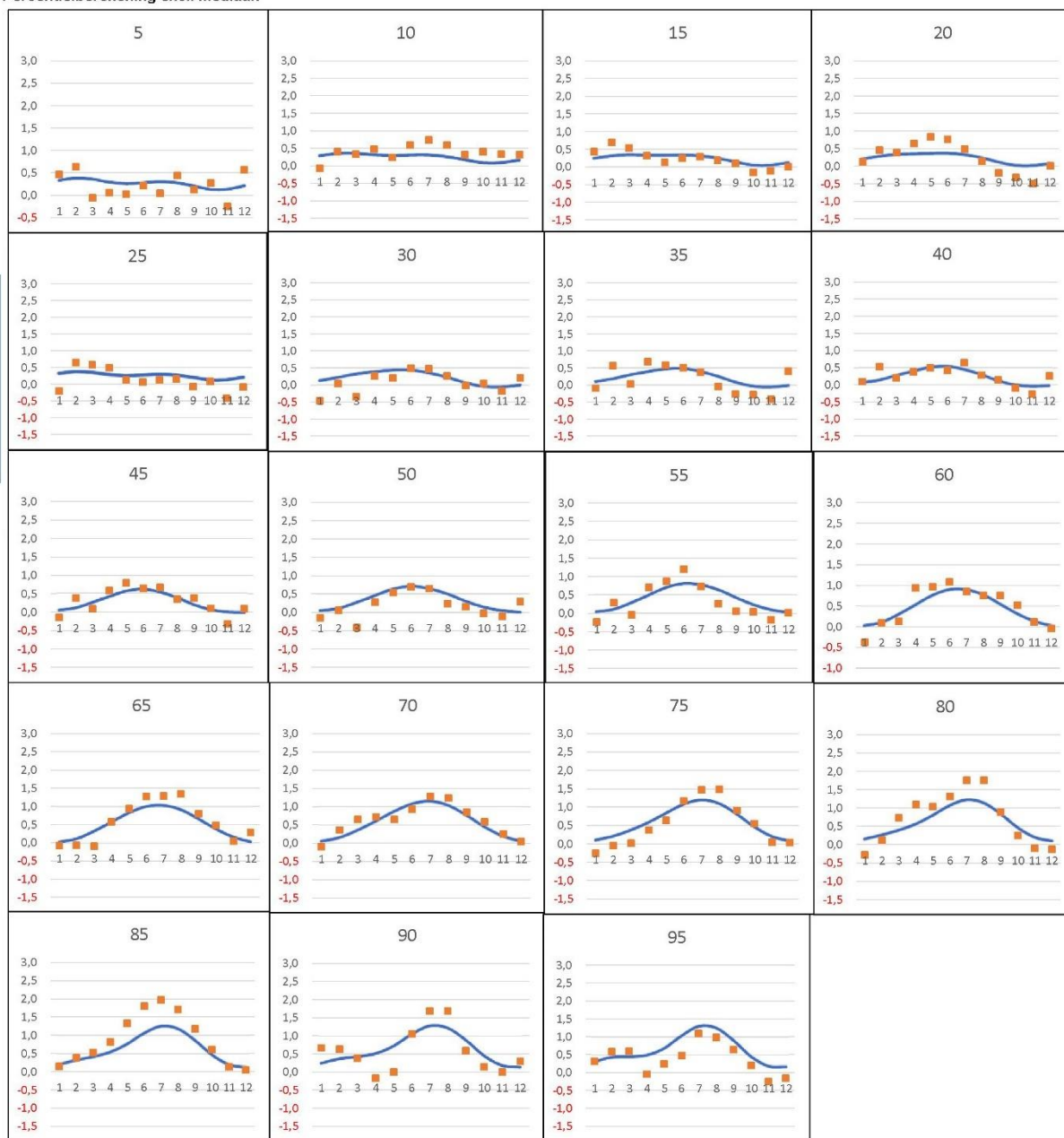
Figuur 60 Correcties Tx De Bilt, per maand en per percentiel, hoge smoothing.



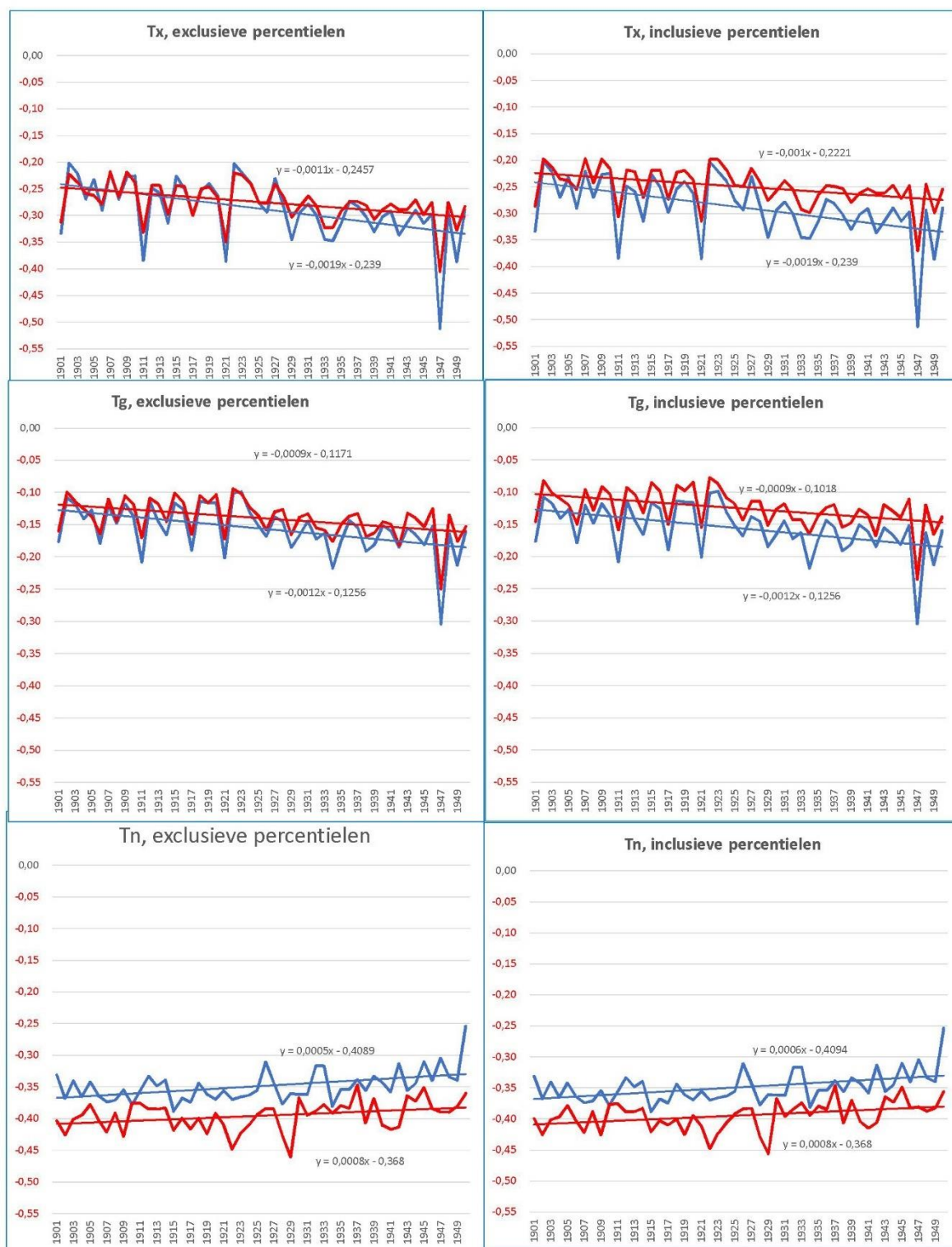
Figuur 61 Correcties Tx De Bilt, per maand en per percentiel volgens Brandsma (2016a), vergelijkbaar met Figuur 59.

TX De Bilt met Eelde als referentie, extra middeling over 3 lopende maanden in het begin
 Span smoothing over percentielen 0,60
 Percentielberekening excl. mediaan

Span smoothing over maanden: 0,58



Figuur 62 Correcties Tx De Bilt, per maand en per percentiel, met extra middeling van de percentielen over 3 lopende maanden. Vergelijkbaar met Figuur 59.



Figuur 63 Gemiddelde correcties van Tx, Tg en Tn per jaar volgens de homogenisatie van het KNMI (blauw) en volgens onze reconstructie (rood), vergelijkingsperiode van 56 maanden. Links: onze reconstructie gebaseerd op percentielen exclusief de mediaan, rechts: onze reconstructie gebaseerd op percentielen inclusief de mediaan.

BIJLAGE 3: Vragen aan en antwoorden van KNMI

Email naar Theo Brandsma van het KNMI

25 oktober 2018

Geachte heer Brandsma

Ondergetekenden zijn bezig met het reproduceren van de homogenisatie van de dagelijkse temperatuur-metingen in De Bilt van 1 januari 1901 tot 1 september 1951 zoals die door het KNMI is uitgevoerd.

Wij hebben de homogenisatie van Tg en Tx in De Bilt trachten te reproduceren aan de hand van de methode, zoals door Brandsma beschreven in het technisch rapport TR-356. De uitkomsten van die reproductie wijken op een aantal punten sterk af van die van het KNMI. Die afwijkingen kunnen het gevolg zijn van een te summiere beschrijving in het technische rapport van de gevolgde methode. Dat is dan ook de reden om onderstaande vragen te formuleren:

Voor het berekenen van de percentielen wordt verwezen naar Hyndman & Fan (1966), maar in die publicatie staan diverse methoden beschreven.

Bij het berekenen van de ruwe correcties (per percentiel en per maand: het verschil van de verschillen tussen Eelde en De Bilt, voor en na de relocatie in De Bilt) ontstaan data met grote verschillen tussen aangrenzende maanden en aangrenzende percentielen. Dat lost het KNMI op door tweemaal te smoothen, eerst over de percentielen en daarna over de maanden. Er wordt gekozen voor een span van 0,6 zonder deze te motiveren. Vermoedelijk wordt dezelfde span gebruikt bij het smoothen over 19 percentielen als over 12 maanden. Niet vermeld wordt wat het effect is van andere keuzen van de span. Wij hebben diverse combinaties van de span geprobeerd, en geconstateerd dat het uiteindelijke resultaat daar tamelijk sterk door wordt beïnvloed.

Uiteindelijk leidt dit tot correcties per maand en per percentiel. Voor Tx in De Bilt vindt het KNMI in het hoogste percentiel in de zomermaanden correcties van 1,9 °C. Onze herhaling van de homogenisatie leidt bij gebruik van dezelfde span als bij het KNMI tot aanzienlijk lagere correcties: 0,9-1,3 °C in de drie hoogste percentielen. Ook opmerkelijk is dat de hoogste correcties die wij vinden niet in de hoogste percentielen zijn, maar in het 85-percentiel.

Ook tussen onze homogenisatie en de door het KNMI gehomogeniseerde gemiddelde temperatuur (Tg) vinden wij verschillen. Zie figuur 1. Over het algemeen zijn het geen grote verschillen, behalve in 1911, 1921, 1934, 1947 en 1949. Vooral in 1947 corrigeert het KNMI Tg veel sterker dan uit onze reconstructie volgt. Bovendien is de trend in de correcties in de periode 1901-1951 bij het KNMI sterker dalend dan onze homogenisatie.

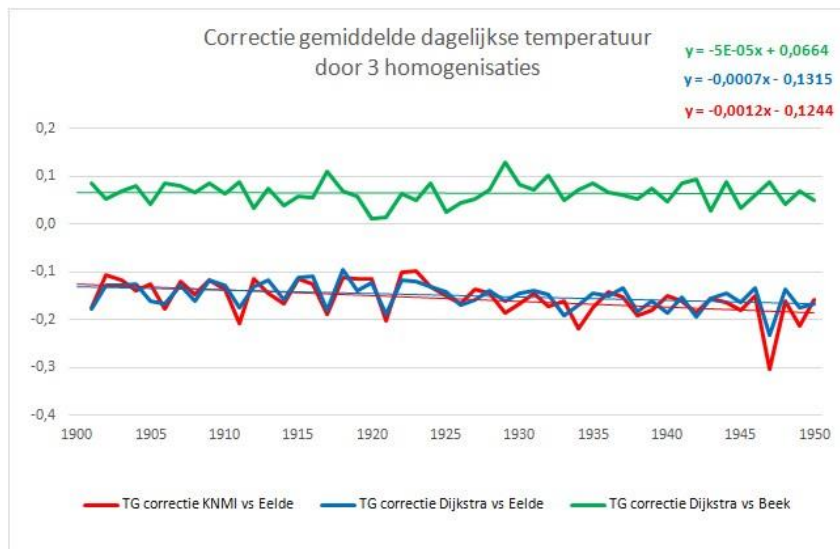
Het KNMI heeft besloten om de data voor De Bilt te homogeniseren met Eelde als referentiestation. Waarom voor Eelde is gekozen is in het technisch rapport niet verantwoord. Wij hebben dezelfde homogenisatietechniek ook toegepast met als referentiestation Beek, om te zien of deze keuze van invloed is op de uitkomsten. Dat was inderdaad het geval: de resultaten bij het gebruik van Beek wijken sterk af van die van Eelde. Zie figuur 1, 2 en 3.

Dit alles leidt tot een aantal vragen waar we graag een antwoord op zouden willen krijgen:

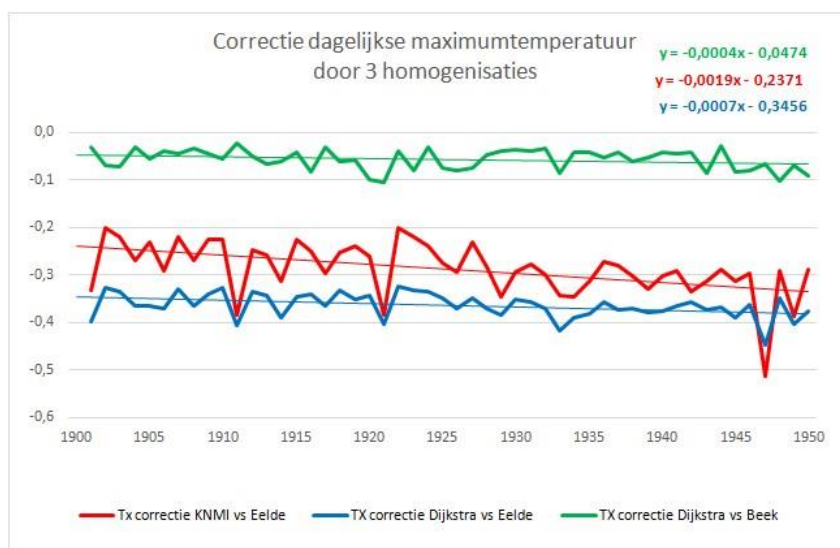
- 1) Welke methode van Hyndman & Fan is gebruikt om percentielen te berekenen, en waarom is voor die methode gekozen?
- 2) Waarop berust de keuze voor een span van 0,6? Is onderzocht wat het effect op de homogenisatie is bij andere keuzen van de span? Zo ja, wat kwam daaruit? Zo ja, waarom zijn deze resultaten niet gepubliceerd in TR-356?
- 3) Welke aanvullende correcties heeft het KNMI nog meer toegepast dan die omschreven worden in het technische rapport? Kunnen die verklaren waarom wij lagere correcties vinden in het hoogste percentiel dan het KNMI?
- 4) Zijn er andere stations dan Eelde gebruikt als vergelijkingsstation voor de homogenisatie van de data van De Bilt? Zo ja, welke en wat kwam daaruit? Waarom is dan toch voor Eelde gekozen?
- 5) Wat is de statistische fout in de berekende correcties?
- 6) Er zijn vele veranderingen geweest in instrumentarium, meetschema's en oprukkende bebouwing in de afgelopen eeuw. Waarom is nu juist de opstellingsverandering (pagode in de beschutte tuin -> Stevenson naar achterterrein) in 1950/1951 geselecteerd om een homogenisatie door te voeren in de reeks van de Bilt? Hoe (met welke statistische test) heeft het KNMI aangetoond dat deze overgang in 1950/1951 wel gehomogeniseerd moet worden en andere wijzigingen in het verleden niet?
- 7) Waarom is de toegepaste wetenschappelijke methode niet gepubliceerd in een peer-reviewed tijdschrift en alleen in een TR-rapport?
- 8) Waarom heeft het KNMI na de homogenisatie de ongecorrigeerde meetdata offline gehaald? Zouden niet, vanuit het oogpunt van transparantie, zowel de ongecorrigeerde als de gecorrigeerde data online moeten blijven staan? Is het KNMI bereid de ongecorrigeerde data weer online te zetten?

We danken u bij voorbaat voor uw medewerking.

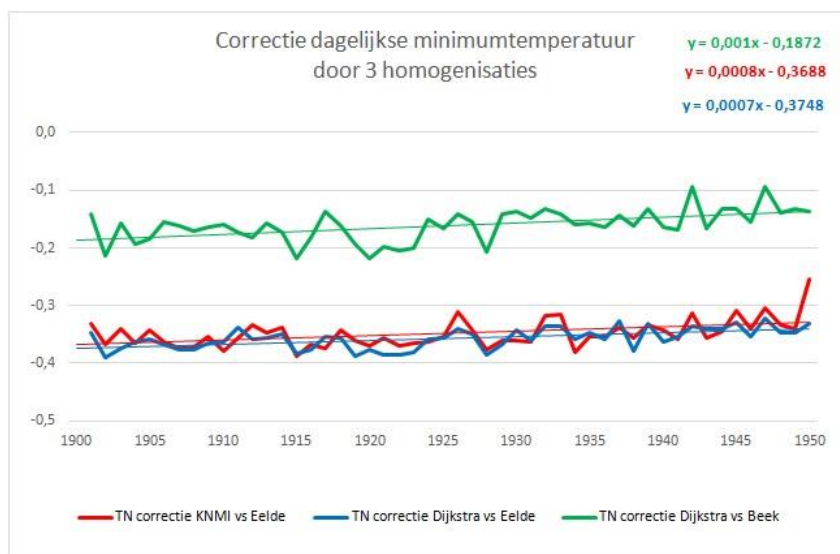
Frans Dijkstra, Rob de Vos, Marcel Crok, Jan Ruis, Henk de Bruin



Figuur 1 Correctie Tg De Bilt door 3 homogenisaties



Figuur 2 Correctie Tx De Bilt door 3 homogenisaties



Figuur 3 Correctie Tn De Bilt door 3 homogenisaties

De Bilt, 9 november 2018

Antwoorden op de vragen van Crok et al. (zoals verwoord in de mail van 25 oktober 2018)

1) *Welke methode van Hyndman & Fan is gebruikt om percentielen te berekenen, en waarom is voor die methode gekozen?*

We gebruiken R-software voor onze berekeningen. In R gebruiken we de functie `quantile` voor het berekenen van kwantielen. De documentatie zegt het volgende over deze functie:

“Quantile returns estimates of underlying distribution quantiles based on one or two order statistics from the supplied elements in `x` at probabilities in `probs`. One of the nine quantile algorithms discussed in Hyndman and Fan (1996), selected by type, is employed.

All sample quantiles are defined as weighted averages of consecutive order statistics. Sample quantiles of type `i` are defined by:

$$Q[i](p) = (1 - \gamma) x[j] + \gamma x[j+1],$$

where $1 \leq i \leq 9$, $(j-m)/n \leq p < (j-m+1)/n$, $x[j]$ is the j th order statistic, n is the sample size, the value of γ is a function of $j = \text{floor}(np + m)$ and $g = np + m - j$, and m is a constant determined by the sample quantile type.”

De tekst hierboven noemt negen algoritmen/methoden. Hier hebben we type 7 gebruikt met:

“ $m = 1-p$. $p[k] = (k - 1) / (n - 1)$. In this case, $p[k] = \text{mode}[F(x[k])]$.”

Dit is de default methode in R. Er was geen reden om daarvan af te wijken.

2) *Waarop berust de keuze voor een span van 0,6? Is onderzocht wat het effect op de homogenisatie is bij andere keuzen van de span? Zo ja, wat kwam daaruit? Zo ja, waarom zijn deze resultaten niet gepubliceerd in TR-356?*

Onderaan p.20 in TR-356 staat:

The smoothing is done using a so-called loess smoother (Cleveland, 1979). Using a mixture of cross-validation and expert opinion we determined a span of 0.6 (family = Gaussian and degree=2).

De keuze van de span is dus op basis van cross validation (generalized cross validation in dit geval). Voor afzonderlijke kwantielen en maanden geeft dat een iets andere span. We hebben gekozen om met één span te werken. De span van 0.6 bleek daarbij een goed compromis. Op het oog is het effect van een kleine verandering in span klein. We hadden daarom geen reden om het effect van de span op de gehele homogenisatie verder te onderzoeken.

3) *Welke aanvullende correcties heeft het KNMI nog meer toegepast dan die omschreven worden in het technische rapport? Kunnen die verklaren waarom wij lagere correcties vinden in het hoogste percentiel dan het KNMI?*

Het KNMI heeft geen aanvullende aanpassingen gedaan. Uitgangspunt zijn de gestandaardiseerde dagelijkse temperaturen van de vijf hoofstations zoals beschreven in TR-340.

Het rapport bevat voor De Bilt niet voldoende detail om de resultaten precies te reproduceren. Ten eerste, in een poging om voor De Bilt zoveel mogelijk data mee te nemen, hebben we voor sommige

maanden ook gebruik gemaakt van data in 1950 (t/m augustus, het moment voor de breuk door de overgang pagode/stevenson). Om voor en na de breuk intervallen van gelijke lengte te krijgen is de data na de breuk waar nodig aangevuld met data uit 1956. Ten tweede, vanwege de grote verschillen tussen aangrenzende maanden (zie figuur 4 uit TR-356) hebben we de berekening van de kwantielen voor elke maand steeds gebaseerd op lopende drie maanden. Dus voor de berekening van de januari kwantielen gebruiken we DJF, voor februari, JFM, etc. Dit zorgt voor een conservatieve schatting van de aanpassingen. Voor het tussenjaar (tussen de overgang naar Stevensonhut en de verplaatsing naar een open locatie 300 m naar het zuiden) is gebruik gemaakt van de helft van de aanpassing.

Onderstaande tabel geeft aan welke data voor welke maand gebruikt is. Daar waar maanden weggelaten zijn (omdat ze in het inhomogene interval vallen) is dat aangegeven.

Month	Before	After
jan	1946-50 (omit D 50)	1952-56 (omit D 56)
feb	1946-50	1952-56
mar	1946-50	1952-56
apr	1946-50	1952-56
may	1946-50	1952-56
jun	1946-50	1952-56
jul	1946-50	1952-56
aug	1946-50 (omit S 50)	1952-56 (omit S 56)
sep	1946-50 (omit SN 50)	1952-56 (omit SN 56)
oct	1946-49	1952-55
nov	1946-49	1952-55
dec	1946-50 (omit ND 50)	1952-56 (omit ND 56)

Achteraf gezien was het verstandig geweest deze detaillering als appendix op te nemen het rapport. Hopelijk lukt het met bovenstaande gegevens wel om de resultaten te reproduceren.

4) *Zijn er andere stations dan Eelde gebruikt als vergelijkingsstation voor de homogenisatie van de data van De Bilt? Zo ja, welke en wat kwam daaruit? Waarom is dan toch voor Eelde gekozen?*

Alleen Eelde is gebruikt als vergelijkingsstation voor de correctie van De Bilt. De twee kuststations Den Helder/De Kooy en Vlissingen vallen af door hun ligging dicht bij zee. Hierdoor zijn de stations op dagbasis slecht vergelijkbaar met De Bilt. Van de overige twee stations is Eelde beter geschikt als parallel station dan Beek (net als Eelde is er met Beek een overlap van 1946-1956). Dit heeft te maken met de afwijkende hoogteligging van Beek (114 m boven nap) en de directe nabijheid van het Maasdal. Daarnaast is voor de overheersende windrichting in Nederland (ZW-W) de afstand van De Bilt en Eelde tot grote wateroppervlakken vergelijkbaar.

Ook wat het aantal hittegolven betreft komt Eelde sterk overeen met De Bilt. In de gehomogeniseerde reeksen tellen beide stations 24 hittegolven t/m 2015. Eelde telt 9 hittegolven in de periode t/m 1950 tegenover 7 in De Bilt. Na 1950 telt Eelde 15 hittegolven tegenover 17 in De Bilt.

5) *Wat is de statistische fout in de berekende correcties?*

In de literatuur is weinig bekend over statistische onnauwkeurigheid bij aanpassingen in het kader van homogenisatie van reeksen van dagwaarden. Dit is een moeilijk probleem vanwege het gebruik van korte reeksen met autocorrelatie en de correlatie tussen de reeksen onderling. Recent is

wetenschappelijk onderzoek gestart naar het kwantificeren van onnauwkeurigheid (o.a. INDECIS (<http://www.indecis.eu/>)).

Op dit moment houden we rekening met een fout van een paar tiende graden op de grootste correcties.

6) *Er zijn vele veranderingen geweest in instrumentarium, meetschema's en oprukkende bebouwing in de afgelopen eeuw. Waarom is nu juist de opstellingsverandering (pagode in de beschutte tuin -> Stevenson naar achterterrein) in 1950/1951 geselecteerd om een homogenisatie door te voeren in de reeks van de Bilt? Hoe (met welke statistische test) heeft het KNMI aangetoond dat deze overgang in 1950/1951 wel gehomogeniseerd moet worden en andere wijzigingen in het verleden niet?*

Voorafgaand aan de homogenisatie is voor de vijf hoofdstations in 2013 een standaardisatie van de dagtemperaturen doorgevoerd beschreven in TR-340. Door de standaardisatie zijn de procedures om dag minima en maxima te berekenen gestandaardiseerd en wordt er gebruik gemaakt van uniforme databronnen.

Verschillen tussen de verschillende versies van de Stevensonhut en de moderne KNMI schotelhut zijn eerder onderzocht door het KNMI (Brandsma en Van der Meulen, 2008). Deze verschillen zijn bijna een orde kleiner dan die nu onderzochte verschillen.

Voor De Bilt is het effect van verstedelijking onderzocht (Brandsma et al., 2003). Ook dit effect is verwaarloosbaar op de totale temperatuurtrend in De Bilt.

Van De Bilt is vooral de inhomogeniteit rond 1950 in de maximumtemperatuur in de zomer bekend. Deze is makkelijk aan te tonen met willekeurige statistische test. Visser (2007) bijvoorbeeld analyseerde de breuk in Txx en vond een sprong van 3.7 ± 1.4 °C (95%-betrouwbaarheidsinterval). De grootte van de breuk is overigens wel afhankelijk van het model dat je fit voor en na de breuk. Het KNMI komt met een ander model op correcties die ongeveer de helft kleiner zijn. De breuk is ook duidelijk zichtbaar in de in de gemiddelde maandtemperaturen (zie bijv. Schrier et al., 2011).

Zoals in TR-356 aangegeven, zijn er nog verbeteringen mogelijk in de huidige homogenisatie. We verwachten echter niet dat dat zal leiden tot grote veranderingen in de belangrijkste temperatuurtrends.

7) *Waarom is de toegepaste wetenschappelijke methode niet gepubliceerd in een peer-reviewed tijdschrift en alleen in een TR-rapport?*

Voor publicatie in een peer-reviewed tijdschrift is het nodig dat onderzoek vernieuwend is. Dat is hier niet het geval. De percentile-matching methode is al eerder gepubliceerd en toegepast.

8) *Waarom heeft het KNMI na de homogenisatie de ongecorrigeerde meetdata offline gehaald? Zouden niet, vanuit het oogpunt van transparantie, zowel de ongecorrigeerde als de gecorrigeerde data online moeten blijven staan? Is het KNMI bereid de ongecorrigeerde data weer online te zetten?*

Gemeten waarden blijven naast de gehomogeniseerde beschikbaar en zijn uitgangspunt voor een eventuele volgende (verbeterde) homogenisatieslag. Via <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/gemeten-reeksen> zijn zowel de gehomogeniseerde reeksen als de gemeten reeksen beschikbaar. Ieder die dat wil kan gebruik maken van een of beide soorten reeksen. Het KNMI zelf gebruikt voor de voorlichting de gehomogeniseerde reeksen. Voor de relevante temperatuurindicatoren geven deze reeksen hetzelfde consistente beeld.

Literatuur

Brandsma, T., Homogenization of daily temperature data of the five principal stations in the Netherlands (version 1.0). KNMI Technical Report: TR-356, pp43, 2016.

Brandsma, T., R. Jilderda and R. Sluijter. Standardization of data and methods for calculating daily Tmean, Tn and Tx in the Netherlands for the 1901-1970 period. KNMI, Technical Report, TR-340, 45p., 2013.

Brandsma, T., G.P. Können and H.R.A. Wessels. Empirical estimation of the effect of urban heat advection on the temperature series of De Bilt (The Netherlands). *Int. J. Climatology*, 23, 829-845, 2003.

Brandsma, T. and J.P. van der Meulen. Thermometer Screen Intercomparison in De Bilt (the Netherlands), Part II: Description and modeling of mean temperature differences and extremes. *Int. J. Climatology*, 28, 389-400, 2008. doi:10.1002/joc.1524.

Schrier, G. van der, A.P. van Ulden and G.J. van Oldenborgh. The construction of a Central Netherlands temperature. *Climate of the Past*, 7, 527-542, 2011.

Visser, H. Kans op extreem warme dagen in Nederland: Een analyse van historische data, modelvoorspellingen en consequenties voor de volksgezondheid. MNP Rapport 550032010/2007, 2007.

BIJLAGE 4: Smoothing voor dummies

Smoothing is een statistische techniek waarmee fluctuaties in een reeks metingen worden afgevlakt, zodat de onderliggende trend zichtbaar wordt gemaakt.

De eenvoudigste manier om een trend zichtbaar te maken is de **regressielijn**. Dat is een rechte lijn die het best aansluit bij een reeks metingen. De vergelijking van zo'n regressielijn is een lineaire expressie van de vorm $y = ax + b$. De mate waarin de meetpunten gespreid zijn rond de lijn wordt uitgedrukt in de regressiecoëfficiënt. Meestal wordt het kwadraat daarvan vermeld: r^2 .

Vaak is een onderliggende trend niet lineair, maar is wel een gekromde lijn te vinden die beter aansluit bij een reeks metingen. De vergelijking van die lijn kan kwadratisch zijn, of derdegraads, of hoger. Men kan dan spreken van een **polynoomfunctie**. Andere varianten van gekromde lijnen kunnen een logaritmisch of exponentieel verband weergeven.

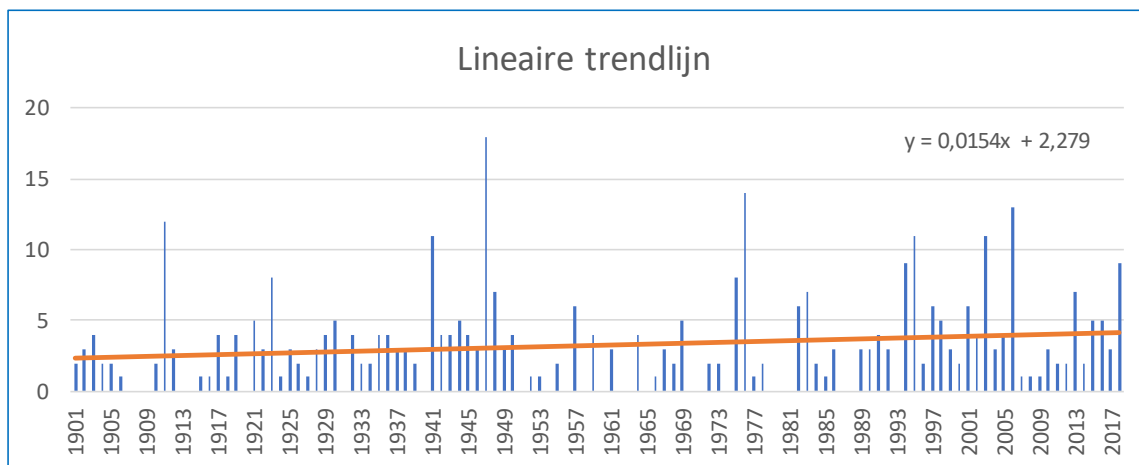
Als er geen wiskundig verband is binnen een meetreeks kan een fluctuerende trend zichtbaar worden gemaakt met twee technieken: **voortschrijdend gemiddelde** of **smoothing**.

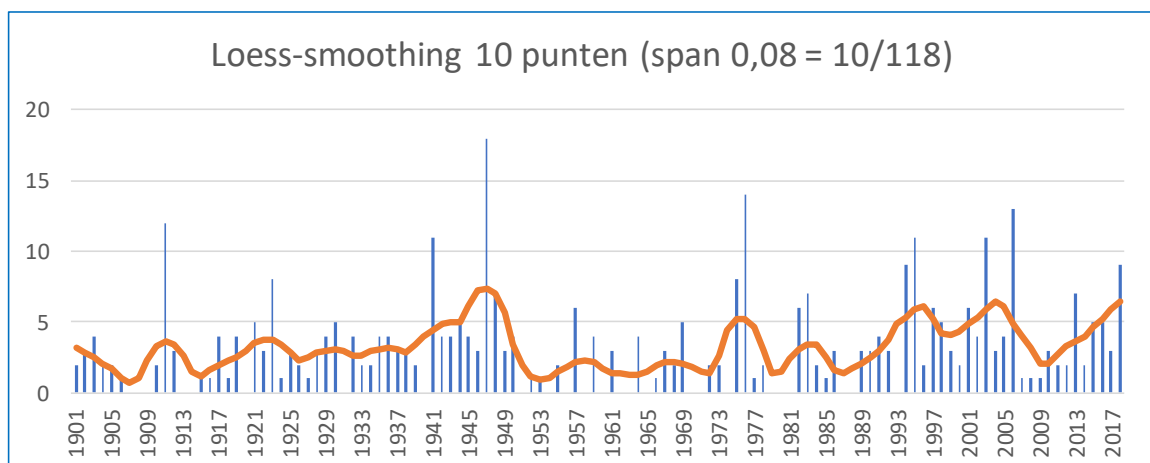
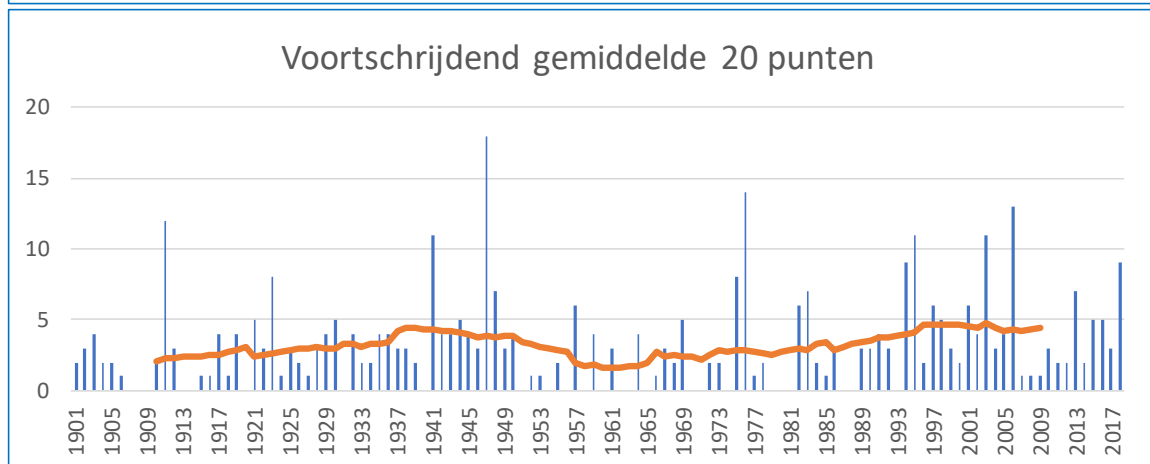
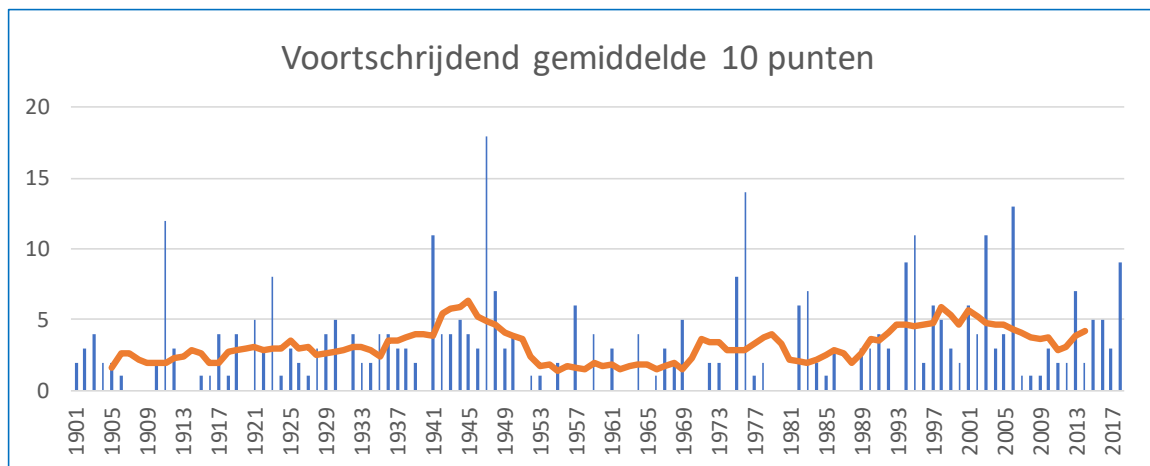
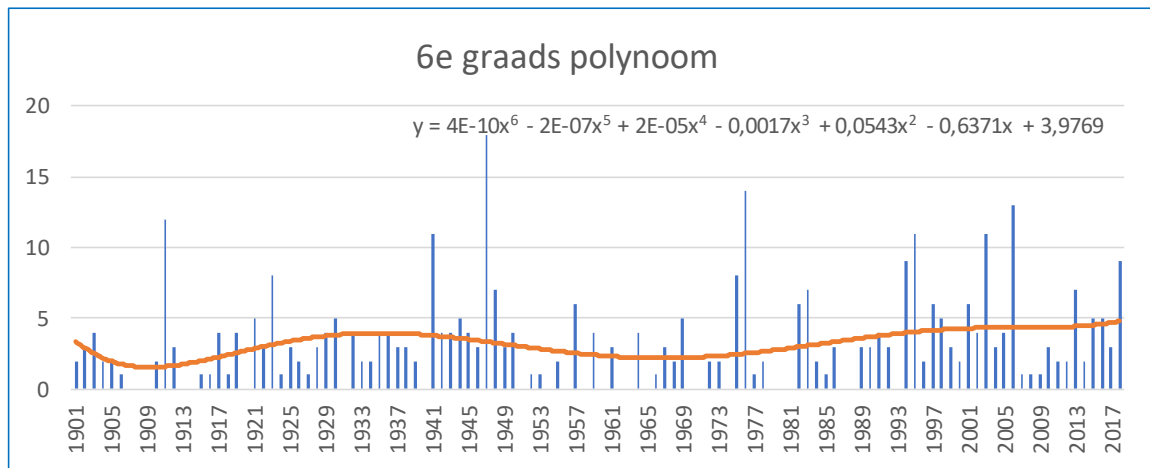
Het **voortschrijdend gemiddelde** is een lopend gemiddelde van een aantal metingen. Bij elk meetpunt wordt de gemiddelde waarde genomen van die meting en een aantal aan het meetpunt voorafgaande waarden en een even groot aantal er op volgende waarden. Het nadeel van een voortschrijdend gemiddelde is dat het niet aan het begin en het einde van de reeks kan worden berekend, omdat er geen metingen voor en na het einde van de reeks zijn. De mate waarin fluctuaties in de reeks worden afgevlakt hangt af van het aantal punten dat in het voortschrijdend gemiddelde wordt meegerekend.

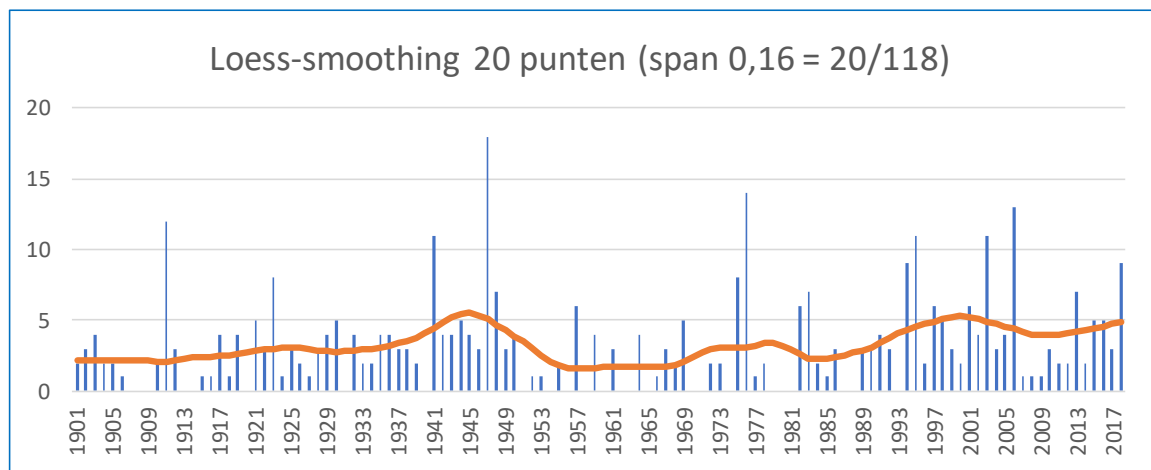
Voor **smoothing** bestaan diverse statistische methoden. De **loess-smoothing** maakt gebruik van een soort regressie rondom elk meetpunt (nadere uitleg is niet voor dummies). Het resultaat lijkt op een voortschrijdend gemiddelde, maar met een vloeiender curve van begin tot eind van de meetreeks. Net als bij het voortschrijdend gemiddelde hangt de mate waarin een fluctuaties in de reeks worden afgevlakt af van het aantal punten dat wordt meegerekend. Dat wordt de **span** genoemd. Het hangt van het statistische pakket af, in welke eenheid de span wordt uitgedrukt, meestal het aantal punten dat wordt meegerekend (de span is dan een heel getal), of de fractie van het aantal meegerekende punten van het totaal aantal punten (de span ligt dan tussen 0 en 1). In dit rapport wordt de span uitgedrukt in fracties van 0 tot 1.

Voorbeelden van smoothing.

De hierna volgende grafieken geven het aantal tropische dagen per jaar in De Bilt, volgens de ongehomogeniseerde reeks met verschillende trendlijnen volgens de hierboven beschreven technieken.









Waarom de KNMI-scenario's niet zullen uitkomen

Colofon

Dit rapport kwam tot stand op initiatief van wetenschapsjournalist Marcel Crok. Hij was betrokken bij het internationale discussieplatform climatedialogue.org. Een van de onderwerpen op dat platform luidde: *are regional models ready for prime time?* Deze discussie ging tussen Bart van den Hurk van het KNMI, die nauw betrokken is bij de KNMI-klimaatscenario's en Roger Pielke Sr., een Amerikaanse onderzoeker met veel ervaring maar ook kritiek op de manier waarop klimaatmodellen gebruikt worden. In de brochure die het KNMI uitbracht over de klimaatscenario's noch in het wetenschappelijke achtergronddocument dat het KNMI publiceerde is er ook maar iets te vinden over deze Climate Dialogue dan wel over de vele papers die Pielke Sr. over dit onderwerp publiceerde. Dat is een gemis. Donateurs van de Groene Rekenkamer brachten 3000 euro bijeen. Verdere financiering is niet gezocht. In een later stadium raakte Rob de Vos bij het onderzoek betrokken.

Marcel Crok

Marcel Crok is een freelance wetenschapsjournalist die woont en werkt in Amsterdam. Hij werkte in het verleden voor het populairwetenschappelijke maandblad Natuurwetenschap & Techniek (NWT, tegenwoordig de Nederlandse editie van New Scientist). In 2005 publiceerde Crok in NWT een lang artikel over de hockeystickgrafiek, waarin de kritiek van Stephen McIntyre en Ross McKittrick uitgebreid aan de orde kwam.

Crok publiceerde in 2010 het boek *De Staat van het Klimaat*. Na Climategate en de commotie over fouten in het vierde IPCC-rapport vroeg de Nederlandse overheid hem om het vijfde IPCC-rapport als expert reviewer te reviewen. Samen met het KNMI en PBL (Planbureau voor de Leefomgeving) heeft Crok tevens een internationaal discussieplatform opgezet, www.climatedialogue.org, dat een constructieve dialoog faciliteerde tussen klimaatonderzoekers met verschillende visies.

In 2014 publiceerde hij samen met de Britse onderzoeker Nic Lewis het rapport *A Sensitive Matter*, dat in vertaling bij de Groene Rekenkamer verscheen onder de titel *Een Gevoelige Kwestie, Hoe het IPCC goed nieuws over klimaatverandering verborg*. Beide versies van het rapport zijn gratis te downloaden via www.thegwpf.org/category/gwpf-reports/ en www.groenerekenkamer.nl/rapporten/.

Rob de Vos

Rob de Vos is geograaf en ondernemer en al geruime tijd woonachtig in het zuiden van het land. Als geograaf - gespecialiseerd in klimaat en landschapsgenese - is hij vele jaren werkzaam geweest als docent aardrijkskunde in het voortgezet onderwijs. Hij heeft zijn leerlingen naast kennis en inzicht in geografische processen ook altijd een kritische houding ten opzichte van informatie proberen bij te brengen. Uit de behoefte van zijn leerlingen aan een betrouwbare informatiebron over klimaatverandering komt de website

www.klimaatgek.nl voort, waarvan hij redacteur is. In eerste instantie opgezet als hulp en naslagwerk voor examenkandidaten is de website inmiddels uitgegroeid tot een veelgelezen kritische klimaatblog.

De Groene Rekenkamer

Objectiviteit en neutraliteit behoren vanzelfsprekend te zijn bij lastige beleidskwesties.

Cijfermatige controle van resultaten, vrij van emotie en een vooringenomen standpunt is de enige manier om een doeltreffend beleid te kunnen vormen.

De Groene Rekenkamer voert deze controle uit, op eigen initiatief of op verzoek, en vrij van politieke voorkeur en absoluut onafhankelijk van wie dan ook. De Groene Rekenkamer stelt zich strikt neutraal op bij verzoeken om cijfermatige controle. In elke overeenkomst met een opdrachtgever staat daarom dat deze geen invloed heeft op de uitkomsten. Dit is de kracht van de Groene Rekenkamer.

Artikel 1 van de Statuten zegt immers: Het doel van de stichting is het kritisch volgen van het overheidsbeleid op het gebied van milieu, gezondheid, technologie en verwante gebieden en te bevorderen dat dit wordt gebaseerd op wetenschappelijke analyses van risico's en kosteneffectiviteit van maatregelen.

Inhoud

Waarom de KNMI-scenario's niet zullen uitkomen	0
Colofon	2
Inhoud	4
Samenvatting.....	6
Inleiding.....	11
1. Weer versus klimaat	15
2. Mondiale klimaatverandering, waar staan we?	19
Business as usual of worst case?	20
Zijn broeikasgassen dominant?	24
De stagnatie.....	28
Tropen	38
Wolken en neerslag.....	42
De oceanen.....	44
Klimaatgevoeligheid	49
De toekomst	57
Goed of slecht?.....	59
3. Klimaatverandering in Nederland	60
Temperatuur en het onduidelijke CO ₂ -effect	64
Dimming en brightening.....	66
Temperatuursprong rond 1988.....	71
Verstedelijking.....	83
De Noordzee.....	93
Conclusies.....	98
4. Neerslag: méér en extremer?	102
Meetproblemen	108
Temperatuur	112
Luchtcirculatie	114
Verstedelijking.....	118
Zware neerslag: etmaalsommen.....	122
Extreme buien: uursommen	125
Conclusies.....	132

5. Zeespiegelstijging: business as usual	135
Mondiale zeespiegelstijging	136
Satellietmetingen	138
Getijdemetingen.....	1412
Getijdemetingen versus satellietmetingen	143
Getijdemetingen Nederland.....	145
Conclusies.....	148
6. Epiloog en aanbevelingen	152

Samenvatting

- 1) Dit rapport heeft als titel “Waarom de KNMI-scenario’s niet zullen uitkomen”. De stelligheid van deze titel is een knipoog naar de brochure over de KNMI-scenario’s waarin het KNMI diverse claims presenteert die veel te stellig zijn, zoals “[d]e temperatuur in Nederland zal verder stijgen” en “[o]p jaarbasis ligt de opwarming in Nederland tussen 1,0 en 2,3°C rond 2050”. Het KNMI erkent in achtergronddocumentatie dat aan de KNMI-scenario’s geen kansen verbonden zijn. Het is dus niet te zeggen of de kans op 1-2,3°C aan opwarming in 2050 1% of 99% of welk percentage dan ook zal zijn. Het taalgebruik van het KNMI suggereert echter een 100% zekerheid dat de opwarming in de range 1-2,3°C zal liggen en dat is onjuist.
- 2) De belangrijkste aanname voor het nut van klimaatscenario’s is dat de uitstoot van antropogene broeikasgassen (door met name het gebruik van fossiele brandstoffen) op dit moment het klimaat domineert en ook van dominante invloed zal zijn op het klimaat in de 21e eeuw, zowel wereldwijd als in Nederland. Het KNMI doet weinig moeite om deze aanname te onderbouwen, wellicht omdat deze visie in lijn is met die van het IPCC en derhalve beschouwd wordt als ‘algemeen aanvaard’. Het bewijs achter deze aanname rust echter op dezelfde klimaatmodellen waarmee de scenario’s worden gedaan. Dit rapport laat zien dat het bewijs voor een dominante invloed van broeikasgassen op het klimaat nog altijd zwak is. Het rapport documenteert tevens dat diverse andere factoren – deels natuurlijke, deels antropogene – onderbelicht blijven.
- 3) Modellen simuleren weliswaar de toename van de wereldwijde temperatuur tussen 1975 en 2000 heel redelijk, maar vallen in andere periodes door de mand. Zo onderschatten diezelfde modellen een vrijwel identieke opwarming tussen 1917 en 1944 met een factor drie. Ook zagen modellen de afvlakking van de opwarming na 2000 niet ‘aankomen’. Dit heeft tot gevolg dat de IPCC-modellen de opwarming tussen 1979 en 2017 wereldgemiddeld al met zo’n 35% overschatten. De opwarming van de oceanen wordt in dezelfde periode met bijna een factor twee overschat en de zogenoemde *hot spot* hoog in de tropische atmosfeer wordt zelfs met een factor drie overschat. Modellen zijn ook niet goed in staat om natuurlijke schommelingen in het klimaat (zoals de Atlantic Multidecadal Oscillation) te simuleren. Deze *mismatches* tussen modellen en waarnemingen zijn niet genoemd door het KNMI.
- 4) Er is inmiddels een goede en logische verklaring waarom modellen de opwarming sinds 1979 aanzienlijk overschatten. Modellen zijn ‘overgevoelig’ voor broeikasgassen en genereren dus te veel opwarming als CO₂ in het model toeneemt. Observatoire schattingen voor klimaatgevoeligheid (opwarming na een verdubbeling van de CO₂-concentratie), gebaseerd op de waargenomen wereldwijde opwarming sinds 1850 en die aannemen dat vrijwel al die opwarming door broeikasgassen veroorzaakt is, komen aanzienlijk lager uit dan diezelfde klimaatgevoeligheid afgeleid van klimaatmodellen. Bij de zogenoemde overgangsgevoeligheid (TCR), die vooral van belang is voor de opwarming in deze

eeuw, is de observationele schatting 1,3 graden Celsius terwijl modellen op 1,8 graden Celsius zitten. Het KNMI bespreekt deze belangrijke kwestie niet.

- 5) De 'goede' overeenkomst tussen modellen en de wereldgemiddelde temperatuur in de periode 1975 en 2000 is zeer waarschijnlijk het gevolg van een 'verkeerde' combinatie van factoren. Modellen onderschatten de natuurlijke opwarming in deze periode, onder andere het periodiek warmer worden van de Atlantische Oceaan. Tegelijkertijd overschatten modellen de opwarming door broeikasgassen en overschatten ze het afkoelende effect van aerosolen (luchtverontreinigingsdeeltjes). De 'toevallige' overeenkomst tussen modellen en wereldgemiddelde temperatuur in deze relatief korte periode is derhalve onvoldoende bewijs om overtuigd te zijn van een dominante invloed van CO₂ op het klimaat. Het IPCC is hier in onze ogen dan ook te stellig over.
- 6) Het KNMI gebruikte twee van de vier IPCC-scenario's als uitgangspunt voor de KNMI-scenario's, het RCP4.5- en het RCP8.5-scenario. RCP4.5 is de basis voor het "Gematigde" KNMI-scenario (GH en GL) en RCP8.5 de basis voor het "Warme" KNMI-scenario (WH en WL). Het KNMI omschrijft RCP8.5 als een *business-as-usual*-scenario, maar dat is anno 2017 niet langer houdbaar. RCP8.5 is echter veel meer een *worst case*-scenario. Een manier om in 2100 op RCP8.5 uit te komen is bijvoorbeeld dat de wereld dan tien keer zoveel steenkool gebruikt als tegenwoordig. Dat is zeer onwaarschijnlijk. Een recente studie stelt dan ook dat RCP8.5 een onaannemelijk scenario is dat eigenlijk niet meer als referentie gebruikt zou moeten worden voor beleidsstudies. De bovengrens van 2,3°C aan opwarming in 2050 in de KNMI-scenario's is gebaseerd op dit onaannemelijke RCP8.5-scenario.
- 7) De gemiddelde temperatuur in Nederland is sinds 1900 gestegen met zo'n 1,8°C. Het is verleidelijk om een groot deel van deze opwarming toe te schrijven aan de uitstoot van CO₂ en het KNMI doet dat dan ook (stilzwijgend). Dit rapport stelt echter dat de aanname dat broeikasgassen een dominante invloed hebben op het Nederlandse klimaat nog altijd voorbarig is. De meest in het oog springende verandering in de afgelopen eeuw was een plotselinge sprong in de temperatuur van ruim 1°C eind jaren '80. Die sprong is terug te vinden in grote delen van West-Europa en zelfs in de zeewatertemperaturen langs de Europese kusten. Het KNMI rept noch in de brochure noch in het wetenschappelijke achtergrondrapport over deze 'sprong'. Een plotselinge sprong in opwarming is niet zomaar te koppelen aan de geleidelijke toename van broeikasgassen en klimaatmodellen weten deze sprong ook niet te simuleren.
- 8) De afgelopen decennia is de veranderde luchtcirculatie misschien wel de belangrijkste factor geweest voor de toename van de temperatuur in ons land. Een grotere aanvoer van zachte lucht vooral in de winter (meer zuidwestenwind) leidde tot een snelle toename van de temperatuur vanaf eind jaren '80. Ook het schoner worden van de lucht boven ons land heeft ervoor gezorgd dat vanaf de jaren '80 de hoeveelheid zonnestraling met maar liefst 10% is toegenomen (gemiddeld een uur meer zon per dag). Het is aannemelijk dat ook deze zogenoemde *brightening* een rol gespeeld heeft bij de opwarming. Het KNMI noemt beide fenomenen maar maakt

niet aannemelijk hoe verandering in luchtcirculatie iets met de toegenomen CO₂-concentratie te maken kan hebben.

- 9) De invloed van de toenemende verstedelijking is een andere, wellicht onderschatte factor die van invloed is op de temperatuurontwikkeling in Nederland. Niet alleen de mate van verstedelijking maar ook de voor Nederland kenmerkende versnippering van de verstedelijking heeft waarschijnlijk meer invloed dan tot nu toe wordt verondersteld.
- 10) Ook de temperatuur van het Noordzeewater voor de kust nam eind jaren '80 sterk toe. Een relevante studie van Van Aken (2010) kon vrijwel alle veranderingen in de zeewatertemperaturen 'verklaren' met een combinatie van veranderde luchtcirculatie, persistentie (het fenomeen dat een warme zee wel even warm blijft) en de toename van zonnestraling. De toename van CO₂ was in dit statistische model niet eens opgenomen. Het KNMI verwijst niet naar deze studie.
- 11) In tegenstelling tot de beeldvorming (namelijk van een versnelde opwarming) warmt Nederland de laatste twintig jaar nagenoeg niet op. In dezelfde periode is het CO₂-gehalte van de atmosfeer met ruim 11,5 % gestegen. Het is dan ook de vraag wanneer de opwarming in Nederland opnieuw op gang zal komen. De KNMI-scenario's veronderstellen immers dat Nederland tot 2050 gemiddeld iedere tien jaar 0,18 °C (het gematigde scenario) tot maar liefst 0,42 °C (het warme scenario) warmer zou moeten worden. Het KNMI zou meer aandacht moeten besteden aan het vergelijken van modeloutput met de recente veranderingen in het Nederlandse klimaat.
- 12) De hoeveelheid neerslag in Nederland is sinds 1910 toegenomen. Onduidelijk is echter met hoeveel procent. Het KNMI zelf geeft op haar website en in documenten verschillende percentages, waaronder 26% en 18%. Het is niet duidelijk waar die verschillen vandaan komen.
- 13) Het KNMI koppelt de neerslagtoename aan de toename van de temperatuur. Het idee is dan dat opwarming meer verdamping geeft en uiteindelijk dus ook meer neerslag. Maar zelfs wereldwijd gaat dit verhaal (nog) niet op. Het IPCC drukt zich dan ook zeer voorzichtig uit over trends in neerslag sinds 1900. Ook het Global Precipitation Climatology Project dat neerslag vanuit satellieten meet laat geen trends zien sinds 1979. Ook is er nog geen wereldwijde langetermijntrend aangetoond in de hoeveelheid waterdamp. Een toename van waterdamp fungeert in de modellen echter als positieve feedback, het versterkt de opwarming.
- 14) Dit rapport laat zien dat veranderde luchtcirculatie (meer zuidwestenwind) een logischere kandidaat is om trends in de Nederlandse neerslag te verklaren. Neerslagtrends in Nederland en Engeland zijn sterk aan elkaar gekoppeld wat ook pleit voor een grote invloed van grootschalige circulatie. Daarnaast is er een duidelijk waarneembaar stadseffect op de neerslag in ons land. De grote stedelijke agglomeraties Amsterdam, Utrecht, Den Haag en Rotterdam registreren meer neerslag dan landelijke gebieden. Onderzoek in West-Nederland laat zien dat niet alleen de grote steden hogere neerslagcijfers vertonen, maar dat dit ook geldt voor

de kleinere steden en zelfs voor de benedenwindse rurale gebieden. Opvallend is overigens dat de neerslag piekte in het jaar 2000 en sindsdien weer behoorlijk is afgenomen, tot op een niveau van ongeveer 800 mm/jaar. Dat is het niveau dat we uit de jaren '60 van de vorige eeuw kennen.

- 15) Het is algemeen geaccepteerd in het Nederlandse publieke debat over klimaatverandering dat extreme neerslag in Nederland steeds extremer aan het worden is. Een analyse van de data wijst uit dat het aantal dagen met extreme neerslag inderdaad is toegenomen, zoals het KNMI ook opmerkt. Maar uit diezelfde data blijkt dat extreme neerslag niet extremer is geworden. De gemiddelde neerslagintensiteit van etmaalsommen ≥ 50 mm is sinds 1950 niet gestegen. Ook bij de claim van het KNMI dat extreme buien steeds extremer worden kunnen vraagtekens gezet worden. Het vermoeden bestaat dat het KNMI in de val getrapt is van wat onderzoekers *sampling bias* noemen. Het aantal stations dat uurmetingen doet in Nederland is pas de laatste twintig jaar flink aan het toenemen. De kans om extreme buien 'op te pikken' neemt daarmee toe. Het KNMI legt grote nadruk op een handvol zware buien in recente jaren (bijvoorbeeld een zware bui in Herwijnen in 2011) maar die buien werden alle door relatief nieuwe stations gemeten. De uursommen in De Bilt laten sinds 1951 niets bijzonders zien. We concluderen dan ook dat noch de etmaalsommen noch de uursommen bewijzen dat de neerslag extremer wordt.
- 16) De zeespiegel langs de Nederlandse kust steeg de afgelopen 150 jaar in een tempo van ongeveer 18 cm/eeuw (ofwel 1,8 mm/jaar). Toevallig komt dit ongeveer overeen met de wereldgemiddelde stijging van de zeespiegel in dezelfde periode. De KNMI-scenario's voor 2050 gaan uit van een zeespiegelstijging van 15 tot maximaal 40 cm en van 25 tot maximaal 80 cm in 2085. Omgerekend komt dat neer op een stijging van 2,7 mm/jaar tot 7,3 mm/jaar tot aan 2050 en van 2,8 mm/jaar tot 8,9 mm/jaar tot aan 2085. Dit soort versnellingen hebben zich de afgelopen eeuw langs de Nederlandse kust niet voorgedaan, ook niet na 1950, de periode waarin volgens het IPCC de uitstoot van broeikasgassen het merendeel van de wereldwijde opwarming veroorzaakt zou hebben. Het KNMI gaat er dus vanuit dat er een historisch gezien ongekende versnelling van de zeespiegel gaat plaatsvinden langs de Nederlandse kust. Die versnelling is niet waarneembaar in de data. Extrapoleren we de historische trend naar 2050 dan komt de zeespiegel lager uit dan de ondergrens van het gematigde KNMI-scenario.
- 17) Klimaatmodellen kunnen regionale veranderingen in temperatuur en neerslag in de 20e eeuw niet goed simuleren. Het KNMI erkent dit ook in diverse wetenschappelijke papers. In de door het KNMI en PBL georganiseerde Climate Dialogue over regionale modellen stelt de Amerikaanse onderzoeker Roger Pielke Sr. dat regionale scenario's beleidsmakers op het verkeerde been zetten omdat ze de illusie wekken dat we het toekomstige klimaat kunnen 'voorspellen'.
- 18) Samenvattend: wij achten het niet aannemelijk dat de KNMI-scenario's zullen uitkomen. Historische ontwikkelingen van het Nederlandse klimaat zijn ook goed te

‘verklaren’ zonder (grote) invloed van broeikasgassen. Meer zon en een veranderde luchtcirculatie hebben vermoedelijk een aanzienlijke invloed gehad evenals de toenemende verstedelijking. Het ‘warme’ scenario van het KNMI is gebaseerd op het RCP8.5-scenario van het IPCC. Dit scenario gaat uit van een vertienvoudiging van steenkoolgebruik in 2100 en wordt door experts momenteel als onrealistisch bestempeld. De klimaatmodellen zelf zijn waarschijnlijk ‘overgevoelig’ voor CO₂ en overschatten daarmee de (toekomstige) opwarming. Klimaatmodellen zijn voorts niet goed in staat om natuurlijke variaties in het klimaat te simuleren. De opwarming in Nederland staat de laatste twintig jaar ‘stil’. Neerslag is na een piek in 2000 terug op het niveau van de jaren ’50 van de vorige eeuw. De zeespiegel stijgt weliswaar, maar al anderhalve eeuw in hetzelfde monotone tempo.

Inleiding

Het KNMI publiceerde in 2014 nieuwe klimaatscenario's voor Nederland, de zogenoemde KNMI Next scenario's. Deze scenario's geven aan hoe het klimaat in Nederland zich de komende eeuw mogelijkwerijs zal gaan ontwikkelen en worden gebruikt om na te denken over klimaatadaptatie. De uitkomsten van de KNMI-scenario's laten weinig aan de verbeelding over. Hieronder enkele passages uit de brochure die bij de lancering van de scenario's werd uitgebracht:

“De temperatuur in Nederland zal verder stijgen.”

“Op jaarbasis ligt de opwarming in Nederland tussen 1,0 en 2,3 °C rond 2050 en kan oplopen tot 3,7 °C in 2085. De toekomstige winters in Amsterdam kunnen meer gaan lijken op de huidige winters in Bordeaux.”

“De hoeveelheid neerslag zal gemiddeld verder toenemen.”

“Het tempo van de zeespiegelstijging neemt toe. (...) Voor 2050 zal er een stijging tot 40 centimeter zijn ten opzichte van 1981-2010. Rond 2085 zal de zeespiegel aan de Nederlandse kust tot 80 centimeter hoger liggen.”

Horeca-uitbaters aan de Hollandse kust zullen de vlag wellicht uithangen als deze prognoses uitkomen, hoewel ze liever zullen hebben dat de Nederlandse zomers op die van Bordeaux gaan lijken in plaats van de winters. Het taalgebruik in bovenstaande claims suggereert vaststaande feiten. Terwijl we van wetenschappers altijd veel mitsen en maren en waarschijnlijkheden verwachten. Waar zijn de nuanceringen? In de brochure niets van dat al: de temperatuur *zal* stijgen, de opwarming in 2050 *ligt* tussen de 1,0 en 2,3 °C, de neerslag *zal* toenemen en de zeespiegel *gaat versnellen*.

Tijdens de presentatie van de KNMI-scenario's bij het KNMI in De Bilt vroeg een van ons¹ aan het KNMI-panel hoe groot de kans is dat de temperatuur in Nederland in 2050 gelijk is aan die in 2014? Het antwoord van het KNMI was iets in de trant van: daar kunnen we niets over zeggen, we kunnen daar namelijk geen kans aan hangen. Dat antwoord is heel interessant. Als je geen kans kunt hangen aan de mogelijkheid dat Nederland niet opwarmt tot 2050, kun je dan wel een kans hangen aan de claim dat Nederland tussen de 1 en 2,3 °C opgewarmd zal zijn in 2050? Het enige logische antwoord is uiteraard 'nee'. Het KNMI kan niet zeggen hoe waarschijnlijk het is dat de opwarming in die range van 1 tot 2,3 °C zal vallen. Desalniettemin schrijft het: “Op jaarbasis ligt de opwarming in Nederland tussen 1,0 en 2,3 °C rond 2050”. Het woordje 'ligt' suggereert hier een 100% zekerheid dat de temperatuur in 2050 in die range zal vallen. Die is er echter niet. Het KNMI stelt zich in de scenariobrochure dus veel zekerder op dan op wetenschappelijke gronden verantwoord is.

¹ Marcel Crok

Nu krijgen wetenschappers vaak het verwijt dat ze overdreven genuanceerd zijn en dat het prettig zou zijn als ze in hun vertaalslag naar het publiek alle mitsen en maren nou eens achterwege laten zodat de hoofdboodschap niet ondergesneeuwd raakt. Dat is in dit geval goed gelukt. Toch mag je dan verwachten dat de gebruikers van de scenario's wel in duidelijke bewoordingen al die mitsen en maren meekrijgen. In dit rapport onderzoeken wij of dat gebeurd is. Hint: nee.

Als knipoog naar het veel te zekere taalgebruik van het KNMI in haar brochure hebben wij dit rapport de titel "Waarom de KNMI-scenario's niet zullen uitkomen" meegegeven. Waarom is dit een knipoog? Omdat wij hierbij exact dezelfde fout maken als het KNMI, we zijn te stellig in onze woorden. Wij kunnen immers onmogelijk bewijzen dat de scenario's niet zullen uitkomen, simpelweg omdat het hier de toekomst betreft en die is ongewis. Dus strikt genomen had er moeten staan: Waarom wij denken dat de KNMI-scenario's niet zullen uitkomen. Maar dat is geen pakkende kop natuurlijk. Het enige dat je kunt doen als het om het voorspellen van de toekomst gaat is je aannames daarbij zo transparant mogelijk opschrijven. En dat is wat wij in dit rapport getracht hebben te doen. Wij zullen daarbij laten zien dat er enerzijds niet zoveel bijzonders aan de hand is met het Nederlandse klimaat en anderzijds dat andere factoren dan CO₂ wel eens een grotere invloed zouden kunnen hebben dan het KNMI (vaak stilzwijgend) veronderstelt.

In het jaar voordat de KNMI-scenario's werden gepubliceerd was Marcel Crok samen met het KNMI en het PBL betrokken bij een internationaal discussieplatform, climatedialogue.org. De aanpak bij deze dialogen (er zijn er zes georganiseerd) was telkens om een klimaatscepticus en een of meerdere mainstream klimaatonderzoekers met elkaar in dialoog te brengen over een controversieel thema. Een van de discussies die op dat platform georganiseerd werd ging over het gebruik van regionale klimaatmodellen en -scenario's. *Are regional models ready for prime time?* was de titel van deze dialoog. 'Ready for prime time' kan in dit verband begrepen worden als 'goed genoeg om voor je klimaatbeleid te gebruiken'. De klimaatscepticus in dit geval was de Amerikaanse onderzoeker Roger Pielke Sr. en zijn gesprekspartner was Bart van den Hurk van het KNMI, die, niet verwonderlijk, nauw betrokken was bij de KNMI-scenario's.

Pielke's standpunt is dat klimaatscenario's nog niet 'ready for prime time' zijn en hij stelt zelfs dat zulke scenario's beleidsmakers op het verkeerde been (kunnen) zetten omdat ze de illusie wekken dat we weten wat er zal gaan gebeuren. Van den Hurk, niet verwonderlijk, vindt dat ze wel bruikbaar zijn voor beleid in de zin dat ze ons een beeld schetsen van een mogelijke toekomst. In het wetenschappelijke achtergronddocument dat het KNMI publiceerde bij de klimaatscenario's is niets terug te vinden over de Climate Dialogue tussen Pielke en Van den Hurk. Een tweede doel van dit rapport is daarom om de belangrijkste argumenten uit de Climate Dialogue over regionale klimaatscenario's op een rijtje te zetten.

Marcel Crok neem inmiddels ruim tien jaar actief deel aan het klimaatdebat in Nederland en daarbuiten. In die tien jaar heeft hij kunnen volgen hoe het KNMI opereert in dat sterk gepolariseerde en gepolitiseerde debat. Een aspect dat daarbij is opgevallen en dat relevant is voor de klimaatscenario's is dat het KNMI vaak de rol heeft van 'eenooig koning'. Het KNMI maakt nu eenmaal de klimaatscenario's en geen enkele andere partij in Nederland doet dat, simpelweg omdat er geen middelen beschikbaar zijn of vrijgemaakt worden om die exercitie door twee of meer partijen te laten uitvoeren. Dat is logisch en onvermijdelijk maar er schuilt uiteraard een gevaar in. Want wie controleert het KNMI? Het KNMI doet veel moeite om de gebruikers van de scenario's duidelijk te maken hoe de scenario's geïnterpreteerd dienen te worden en ook kunnen stakeholders vragen en wensen indienen.

Maar een Roger Pielke Sr., die op een fundamenteel niveau aankaart hoe betrouwbaar de klimaatscenario's eigenlijk zijn en of ze überhaupt wel een rol zouden moeten spelen in het beleid, is er in Nederland niet. Het KNMI heeft met de scenario's een monopoliepositie. De overheid vraagt het KNMI om die scenario's te maken – en betaalt daarvoor. Diezelfde overheid gebruikt die scenario's vervolgens om beleidsbeslissingen op te baseren. Ingenieursbureaus krijgen dan te horen dat het ontwerp van een dijk of een spuisluis moet voldoen aan klimaatscenario X of Y. Die ingenieursbureaus hebben er geen belang bij om al te kritische vragen te stellen over het realiteitsgehalte van het scenario want dan lopen ze alleen maar kans in de toekomst geen of minder opdrachten te krijgen. Zo ontstaat er een hele keten, waarin doorgaans slimme en hoogopgeleide mensen werken, waarbinnen de klimaatscenario's voor zoete koek (moeten) worden geslikt.

Gelukkig zijn wij Nederlanders wel zo nuchter dat we niet halsoverkop draconische maatregelen treffen, puur en alleen op basis van klimaatscenario's. Zo is bijvoorbeeld het concept 'adaptief deltamanagement' geïntroduceerd, dat beoogt om zo lang het mogelijk is 'no-regret-maatregelen' te nemen. Toch kan het geen kwaad heel kritisch naar de fundamenteën van de klimaatscenario's te kijken. Tal van vragen zullen daarbij aan bod komen. Een cruciale aanname bij de scenario's is dat broeikasgassen de bepalende factor zijn voor het klimaat in de komende eeuw. Waarop is die aanname gebaseerd en hoe aannemelijk is die? Hoe goed doen modellen het in het verleden, zowel mondiaal als regionaal? Zijn er ook alternatieven voor het gebruik van klimaatscenario's?

Dit rapport zou je kunnen beschouwen als een vorm van wat Ravetz en Funtowicz (1992) "extended peer review" noemen. Het IPCC schreef daar in haar laatste rapport het volgende over (nadruk van ons):

"To achieve legitimacy, institutions charged with linking science to policy must also open themselves up to public input at one or more stages in their deliberations. This process of "extended peer review" (Funtowicz and Ravetz, 1992) is regarded as necessary, though insufficient, for the production of "socially robust knowledge", that is, knowledge that can

withstand public scrutiny and scepticism (Gibbons, 1994). Procedures that are sufficient to produce public trust in one political context may not work in others because national political cultures are characterized by different “civic epistemologies”, i.e., culturally specific modes of generating and publicly testing policy-relevant knowledge (Jasanoff, 2005a).”²

Uiteraard is dit rapport, dat tot stand kwam met een zeer bescheiden budget, geen uitputtend assessment van de klimaatscenario's. Dat zou onmogelijk zijn. Het rapport is meer te beschouwen als een discussiestuk, waarin wij gebruikers van de scenario's willen wijzen op de kanttekeningen die je bij die scenario's kunt plaatsen. We proberen het blikveld van de lezer wat dat betreft vooral te verbreden en we hopen dat het KNMI met onze suggesties aan de slag zal gaan.

Marcel Crok en Rob de Vos, december 2017

² Kunreuther H., S. Gupta, V. Bosetti, R. Cooke, V. Dutt, M. Ha-Duong, H. Held, J. Llanes-Regueiro, A. Patt, E. Shittu, and E. Weber, 2014: Integrated Risk and Uncertainty Assessment of Climate Change Response Policies. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

1. Weer versus klimaat

Mark Twain: "Climate is what you expect, the weather is what you get"

Klimaat is wat je verwacht, weer is wat je krijgt. Deze uitspraak wordt toegeschreven aan de beroemde Amerikaanse schrijver Mark Twain. Het wordt vaak genoemd in discussies rondom klimaatverandering. Iedereen heeft in zijn of haar leven proefondervindelijk geleerd dat dit in beginsel opgaat. Als het langjarige gemiddelde voor juni 22 °C is, dan 'verwacht' je dat het komende juni ook weer ongeveer 22 °C zal zijn. Gerrit Hiemstra noemt dit in het weerbericht 'de normaal' en die is gebaseerd op de meeste recente 'referentieperiode' van dertig jaar, namelijk 1981-2010. Maar een willekeurige junidag kan in Nederland wel een graad of tien afwijken van dat gemiddelde. Dus het kan bloedheet worden of herfstachtig fris, dat is dus 'het weer dat je krijgt'.

Weersvoorspellingen zijn de afgelopen vijftig jaar aantoonbaar beter geworden. Dat heeft meerdere oorzaken. Meteorologen beschikken tegenwoordig over veel meer metingen om hun weermodel te initialiseren. De modellen zelf zijn beter geworden, niet in de laatste plaats omdat de weersvoorspellingen dagelijks getoetst kunnen worden. Het model kan dus steeds verbeterd worden. Ondanks die aantoonbare vooruitgang houdt het nog altijd na een dag of zeven op. Daarna neemt het onvoorspelbare gedrag van de atmosfeer zodanig toe dat weermodellen er flink naast kunnen zitten.

Als het weer niet langer dan een dag of vijf redelijk goed te voorspellen is, hoe zit het dan met klimaat? Het klimaat voorspellen lijkt dan nagenoeg onmogelijk. Strikt genomen wel, erkent ook het IPCC. Een voorspelling begint bij het goed kennen van de begintoestand. Dat is bij het weer redelijk goed mogelijk omdat je grotendeels kunt volstaan met metingen uit de atmosfeer. Veranderingen in de oceanen en in de biosfeer zijn op de tijdschaal van een paar dagen niet zo invloedrijk. Maar bij klimaat is dat heel anders. De meeste mensen denken bij de definitie van klimaat aan "het gemiddelde weer over een periode van dertig jaar". Die dertig jaar is gekozen door de WMO (World Meteorological Organization), de overkoepelende organisatie van de Verenigde Naties op het gebied van weer, klimaat en water) maar is verder tamelijk arbitrair. Klimaatscenario's proberen dan te verkennen hoe dit gemiddelde weer gaat veranderen in de toekomst.

Maar er is ook een andere veel bredere definitie van klimaat, namelijk 'gewoon' de staat van de atmosfeer, de oceanen, de biosfeer en de cryosfeer.³ Wie een klimaatvoorspelling wil doen zal de begintoestand van het klimaat zo goed mogelijk moeten kennen, de staat van de wereldwijde atmosfeer van het oppervlak tot op grote hoogte, de staat van de oceanen, niet alleen aan het oppervlakte maar ook enkele kilometers de diepte in, de staat van het land en hoe dat gebruikt wordt (stad, landbouw, graslanden, bos, savanne etc.), de staat van de

³ Zie voor een discussie over verschillende klimaatdefinities bijvoorbeeld:

<https://pielkeclimatesci.wordpress.com/2005/07/11/what-is-climate-why-does-it-matter-how-we-define-climate/>

bodem en met name het vochtgehalte daarin, en de staat van sneeuw- en ijsbedekking zowel op land als in de oceanen. Ondanks de vele miljarden die we wereldwijd investeren in de monitoring van het klimaat, bestaat zo'n gedetailleerde beschrijving van de begintoestand simpelweg niet. Neem alleen al de oceanen, die twee derde van het aardoppervlak bestrijken. Sinds een jaar of tien zwemmen er meer dan 3000 zogenoemde ARGO-boeien rond in de oceanen. Die duiken ook volautomatisch naar beneden tot wel twee kilometer diepte en meten temperatuur en zoutgehalte. Een fantastische dataset, onmisbaar voor een beter begrip van de oceanen, maar nog altijd is maar een fractie van de oceanen bemonsterd.

Maar stel dat je zou beschikken over een perfect bepaalde beginsituatie, dan nog is het doen van een klimaatvoorspelling geen haalbare kaart. Want je zou niet alleen moeten weten hoe factoren die van invloed zijn op het klimaat in de toekomst veranderen (zon, vulkanen, samenstelling van de atmosfeer, veranderd landgebruik etc.), ook zullen veranderingen in het klimaatsysteem leiden tot ontelbare interacties (feedbacks).

Het klimaat is een chaotisch systeem en in zulke systemen treden ook spontane veranderingen of fluctuaties op. De Amerikaanse klimaatwetenschapper Roy Spencer heeft er meermalen op gewezen dat een spontane afname in het wereldwijde wolkendek met slechts 1% voldoende kan zijn om een opwarming van een graad te verklaren. Natuurlijk kan zo'n verandering ook de andere kant op gaan en het effect van broeikasgassen 'maskeren'.

Klimaatwetenschappers noemen zulke spontane veranderingen natuurlijke of interne variabiliteit. Het speelt een sleutelrol in klimaatdiscussies want hoe kom je erachter hoe groot die natuurlijke variabiliteit is. Bij de KNMI-scenario's berekent het KNMI wat de natuurlijke variabiliteit in bijvoorbeeld de temperatuurreeks van De Bilt zou zijn. Die natuurlijke variabiliteit is veel kleiner dan de opwarming die in Nederland heeft plaatsgevonden, wat de KNMI-onderzoekers sterkt in hun overtuiging dat er een 'broeikassignaal' zichtbaar is in de meetreeks. Hier spelen allerlei aannames – bijvoorbeeld statistische – een rol en we zullen daar later dan ook op terugkomen.

Naast al die ontelbare spontane veranderingen, invloeden en interacties, moeten klimaatonderzoekers het doen met imperfecte modellen. Vrijwel geen enkel proces in klimaatmodellen is geheel numeriek op te lossen. Dit komt enerzijds doordat veel fysische processen in het klimaat überhaupt niet exact te beschrijven zijn en anderzijds doordat de modellen een bepaalde rasterafmeting hebben, van bijvoorbeeld 100 bij 100 kilometer. De meeste processen spelen zich af op een schaal die kleiner is dan dat en moeten daarom 'geparametriseerd' (geschat) worden. Dus straling, zowel binnenkomend als uitgaand, luchtvochtigheid, mate van bewolking, temperatuur, neerslag, het moet allemaal bepaald worden voor een gebied van 100 bij 100 kilometer. En bij een klimaatsimulatie worden veranderingen in al deze parameters iedere bijvoorbeeld 15 minuten opnieuw becijferd.

Klimaatvoorspellingen zijn dus onmogelijk en het is gegeven het inherent chaotische gedrag van het klimaat sterk de vraag of we ooit in staat zullen zijn om enigszins betrouwbare

voorspellingen te doen op een termijn van jaren tot decennia. Bij de KNMI-scenario's verscheen een lijvig (maar helaas niet zo gemakkelijk leesbaar) achtergronddocument waarin al meteen op de eerste pagina het volgende staat (vet door ons aangebracht): **"The variability of the system poses limitations to the predictability of the climate state. Internal variations of the climate system beyond monthly time scales apart from the contribution from the positive multidecadal surface temperature trend that is currently eminent (Oldenborgh et al. 2012) and oceanic variability (Hazeleger et al. 2013), are difficult to predict and at time scales of 30 – 100 years useful predictions are basically impossible."**⁴

Dertig tot honderd jaar, dat is precies de periode waarin de nieuwe KNMI-scenario's vallen. Als voorspellen van het klimaat simpelweg niet mogelijk is, waarom doen we dan scenario's? Goede vraag! Het IPCC en het KNMI denken – uiteraard – dat scenario's ons op de een of andere manier toch een blik in de toekomst geven. Het idee is dat als je heel vaak klimaatmodellen runt met verschillende begintoestanden, en dan de concentratie aan broeikasgassen in de modelatmosfeer laat toenemen, dat je dan een beeld krijgt van de 'klimaatrespons'. Als hetzelfde patroon nu maar optreedt in verschillende klimaatmodellen, dan is deze klimaatrespons 'robuust' (een woord dat aan populariteit wint in klimaatkringen). Alle klimaatmodellen waarin je de CO₂-concentratie instantaan verdubbelt of geleidelijk laat toenemen warmen op. Dit is ook wat je verwacht op basis van de fysica. Gemiddeld over alle modellen is die opwarming bij een verdubbeling van de CO₂-concentratie ruim drie graden Celsius.

Dit is precies wat de IPCC-scenario's voor de wereld en de KNMI-scenario's voor Nederland doen. Die gaan ervan uit dat broeikasgassen op dit moment en in de komende eeuw allesbepalend zijn voor het klimaat. Dus een belangrijke aanname is dat andere factoren als de zon, vulkanen en de eerdergenoemde natuurlijke variabiliteit op een tijdschaal van 30-100 jaar in het niet vallen bij deze verwachte 'klimaatrespons' door broeikasgassen. En een tweede belangrijke aanname is dat modellen (blijkbaar) goed genoeg zijn om het klimaat enigszins realistisch weer te geven. Beide aannames worden maar mondjesmaat genoemd in de stukken van het KNMI.

In dit rapport onderzoeken we in feite hoe goed deze aannames onderbouwd zijn dan wel te onderbouwen zijn. Dat komt neer op het eindeloos vergelijken van modellen met de meetgegevens waarover we beschikken. En telkens de vraag stellen: zijn er ook andere verklaringen mogelijk dan de invloed van broeikasgassen om de waarnemingen te 'begrijpen'?

⁴ KNMI (2014): KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective; by Bart van den Hurk, Peter Siegmund, Albert Klein Tank (Eds), Jisk Attema, Alexander Bakker, Jules Beersma, Janette Bessembinder, Reinout Boers, Theo Brandsma, Henk van den Brink, Sybren Drijfhout, Henk Eskes, Rein Haarsma, Wilco Hazeleger, Rudmer Jilderda, Caroline Katsman, Geert Lenderink, Jessica Loriaux, Erik van Meijgaard, Twan van Noije, Geert Jan van Oldenborgh, Frank Selten, Pier Siebesma, Andreas Sterl, Hylke de Vries, Michiel van Weele, Renske de Winter and Gerd-Jan van Zadelhoff. Scientific Report WR2014-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands. www.climatescenarios.nl

Terug naar weer en klimaat. Het klimaat is zeer complex en verandert op alle tijdschalen. Voorspellingen zijn niet mogelijk, dat erkent iedereen. Toch leeft er onder de huidige generatie klimaatonderzoekers een sterke overtuiging dat we ‘weten’ dat het de komende eeuw een paar graden warmer zal worden en dat dit grote consequenties kan/zal hebben voor bijvoorbeeld extreem weer. Niet geheel toevallig – denken we – reageren klimaatmodellen heel lineair op ‘forcing’ (bijvoorbeeld de toename van broeikasgassen).

Omdat klimaatwetenschappers nu eenmaal geen experimenten kunnen doen met de aarde als geheel (hoewel sommigen cynisch opmerken dat we met de uitstoot van broeikasgassen een heel gevaarlijk ‘experiment’ uitvoeren) zijn ze sterk afhankelijk van het werken met modellen. In modellen kan je experimenten nabootsen. Patrick Michaels⁵ publiceerde onlangs een inventarisatie van de klimaatliteratuur en concludeerde dat zeker 50% van de klimaatpublicaties gebaseerd is op klimaatmodellen. Modellen zijn dus zeer dominant aanwezig in het werk van onderzoekers en dit beïnvloedt de visie die zij hebben op klimaatverandering.

Er verschijnen zo nu en dan wel relativerende stukken over het onderscheid tussen weer en klimaat.⁶ Zo stelde Lovejoy (2013) dat inderdaad ‘climate is what you expect, weather is what you get’ dicht in de buurt komt van de visie die de meeste klimaatonderzoekers hebben op weer en klimaat. Maar, stelde Lovejoy, voor klimaat geldt eigenlijk hetzelfde als voor weer, dus ook voor klimaat zou je moeten zeggen: climate is what you get.

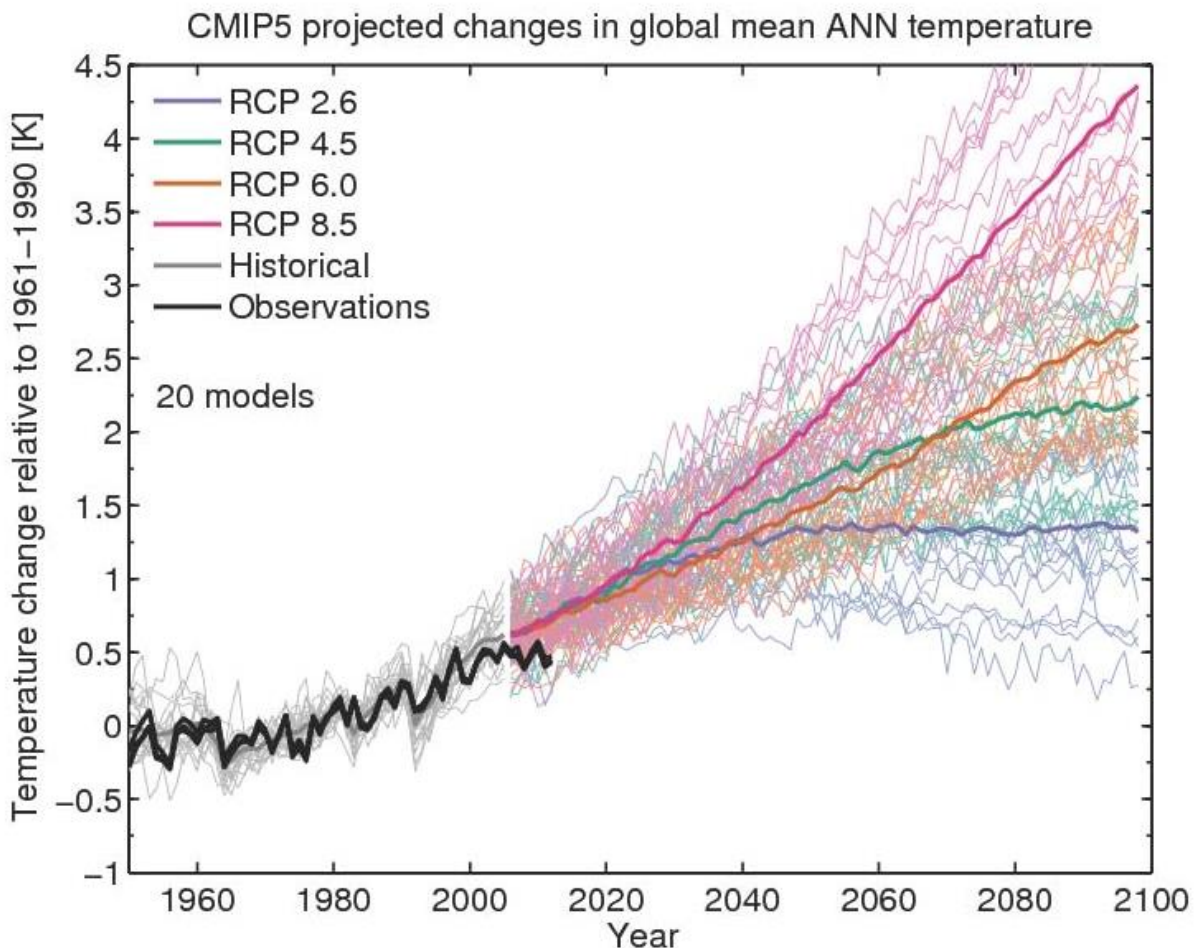
⁵ <https://www.cato.org/blog/climate-modeling-dominates-climate-science>

⁶ Lovejoy S (2013) What is climate? EOS 94(1) 1 January, pp 1–2

2. Mondiale klimaatverandering, waar staan we?

Klimaatverandering wordt nog altijd gezien als een van de grootste uitdagingen van de mensheid voor de komende eeuw(en). In december 2015 sloten alle landen in de wereld een klimaatakkoord in Parijs dat als hoofddoelstelling heeft om de mondiale opwarming van de aarde te beperken tot 2 graden Celsius. Een kleine graad daarvan hebben we al te pakken, dus de aarde 'mag' volgens deze doelstelling nog maar ruim een graad opwarmen de komende eeuw.

Volgens berekeningen met klimaatmodellen zal dat waarschijnlijk niet gaan lukken. Het IPCC laat in het vijfde IPCC-rapport uit 2013 de volgende projecties zien van de mondiale temperatuur tot 2100:



Figuur 2.1: Projecties van de mondiale temperatuur op basis van vier scenario's.

Het IPCC gebruikt in het vijfde rapport vier verschillende scenario's. De scenario's heten Representative Concentration Pathways en de getallen verwijzen naar de zogenoemde stralingsforcering die in 2100 bereikt zal worden, dus $8,5 \text{ W/m}^2$ in het geval van RCP8.5. Stralingsforcering is simpel gezegd het effect van broeikasgassen en andere stoffen op de stralingsbalans van de aarde. Een positieve forcering door broeikasgassen leidt tot

opwarming, een negatieve forcering, bijvoorbeeld door aerosolen die zonlicht reflecteren, tot afkoeling. De toename aan vooral broeikasgassen (koolstofdioxide, maar ook bijvoorbeeld methaan, ozon en lachgas) in de atmosfeer heeft volgens het IPCC geleid tot een toename van de forcering sinds 1750 met $2,3 \text{ W/m}^2$. In het hoogste scenario van het IPCC komt daar deze eeuw dus nog eens ruim 6 W/m^2 bij.

De emissies van broeikasgassen zitten momenteel boven het hoogste scenario, RCP8.5. De concentraties, en daar gaat het bij het broeikaseffect vooral om, zitten echter ergens tussen RCP4.5 en RCP6.0 in. Het startjaar voor deze scenario's was 2005 en het is nog te vroeg om te stellen welk scenario wat betreft concentraties het meest realistisch zal zijn. Deze figuur heeft 1961-1990 als referentieperiode. Die periode was $0,3$ graden warmer dan 1850-1900, de periode die het IPCC beschouwt als 'pre-industrieel'. De twee gradengrens ligt in deze grafiek dus bij $1,7^\circ\text{C}$. Uit de grafiek valt af te lezen dat als het klimaat daadwerkelijk reageert op scenario RCP8.5 zoals gesimuleerd wordt door klimaatmodellen, dat we dan rond 2040 al over de twee gradengrens heen zullen gaan. Dit gegeven is misschien wel de belangrijkste reden waarom wetenschappers en beleidsmakers publiekelijk de noodklok luiden en stellen dat het dus 2 voor 12 is (of al 10 voor half 2 zoals sommige onderzoekers met gevoel voor drama).

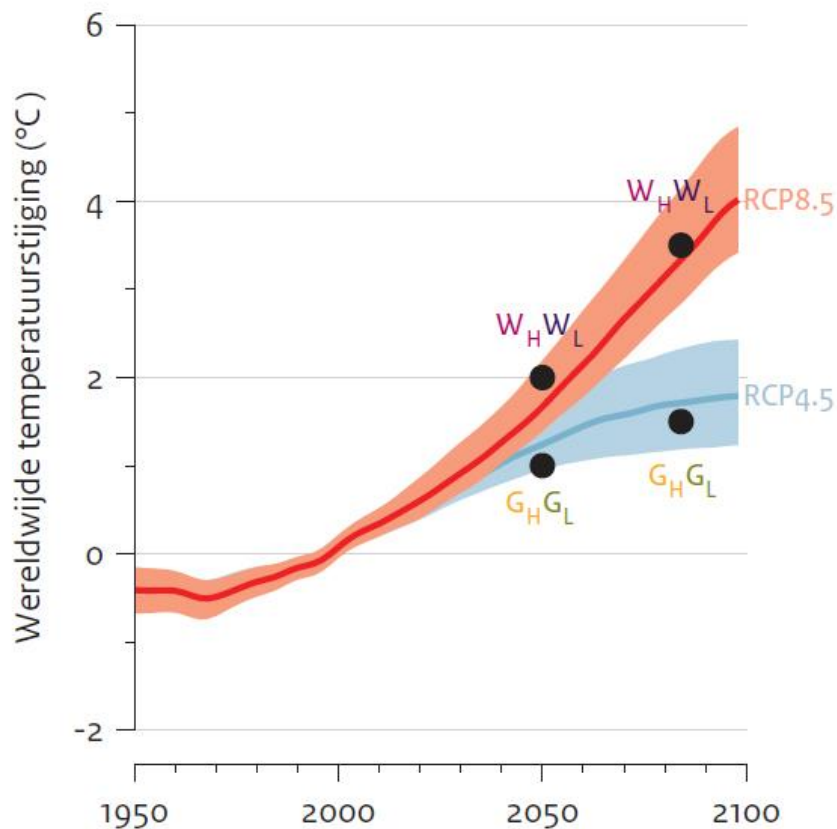
Ook kun je op basis van deze modellen berekenen hoeveel CO_2 er nog uitgestoten mag worden in de wereld voordat de twee gradengrens bereikt wordt. Ook die berekeningen komen erop uit dat we in het huidige tempo van emissies (zo'n tien gigaton aan koolstof per jaar) over een jaar of 25 ons 'koolstofbudget' hebben opgestookt. Op basis van deze constatering concluderen vele onderzoekers en beleidsmakers in binnen- en buitenland dat de twee gradengrens niet meer haalbaar is.

Wil je toch binnen de twee gradengrens blijven zal je tamelijk draconische maatregelen moeten nemen. Het verklaart waarom Europa al in 2050 haar CO_2 -uitstoot met 80 tot 95% wil reduceren. Daar komt ook de druk vandaan op oliebedrijven om hun olievoorraden in de grond te houden. Ook maatregelen als ondergrondse CO_2 -opslag, die weer extra energie kosten en kostbaar zijn, komen dan in beeld.

Business as usual of worst case?

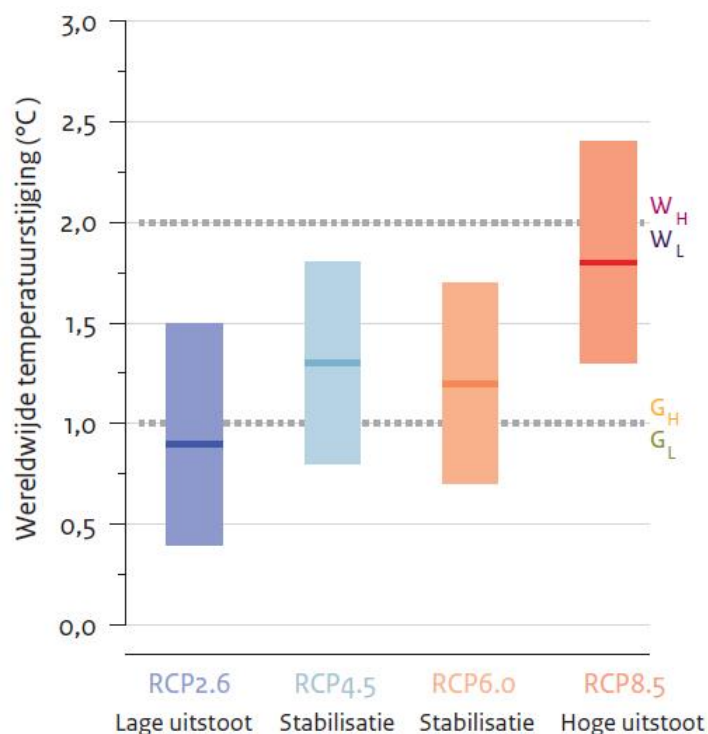
Hoe verhouden die mondiale scenario's van het IPCC zich nu tot de regionale klimaatscenario's van het KNMI? Welnu, het KNMI gebruikt twee IPCC-scenario's als basis voor de KNMI Next Scenario's, namelijk het RCP4.5 en het RCP8.5 scenario.⁷

⁷ http://www.klimaatsscenarios.nl/faq_klimaatsscenarios/range_knmi14.html



Figuur 2.2: In rood en blauw de twee scenario's van het IPCC, in zwart met punten de modelruns die als uitgangspunt zijn genomen voor de KNMI voor Nederland.

Het KNMI combineert deze twee IPCC-scenario's met twee varianten voor veranderde luchtcirculatie en zo komt het tot de vier KNMI'14 scenario's WH, WL, GH en GL (waarbij W staat voor warm, H voor hoog, G voor gematigd en L voor laag). In de brochure laat het KNMI in afbeelding 25 zien hoeveel opwarming de vier IPCC-scenario's zouden kunnen geven in 2050 en hoe die mondiale opwarming zich verhoudt tot de door het KNMI verwachte opwarming in Nederland op basis van de vier scenario's:



Figuur 2.3: Geschatte mondiale opwarming bij de verschillende IPCC-scenario's en met stippellijnen de door het KNMI verwachte opwarming in 2050 voor Nederland.

Aangezien RCP4.5 en RCP6.0 qua verwachte opwarming in 2050 weinig van elkaar verschillen is het niet zo vreemd dat het KNMI slechts een van deze twee scenario's heeft gebruikt. Dus het heeft daarnaast RCP8.5 gebruikt en omschrijft dat in deze figuur als een scenario met "hoge uitstoot". Wat heet? In dit scenario gebruikt de wereld in 2100 tien keer zoveel steenkool als tegenwoordig en stijgt de wereldbevolking naar 12 miljard mensen.⁸ RCP8.5 gaat daarnaast uit van een behoorlijke extra forcing ($1,7 \text{ W/m}^2$) door andere broeikasgassen dan CO_2 zoals methaan en lachgas.

Desalniettemin wordt dit scenario door diverse onderzoekers en beleidsmakers aangeduid als een business as usual scenario. Ook het KNMI schrijft op haar website (onze nadruk): "RCP8.5 is a **business-as-usual scenario** with increasing greenhouse gas emissions over time, leading to high greenhouse gas concentration levels."⁹ En in de Nederlandse samenvatting van het laatste IPCC-rapport schrijven KNMI en PBL (onze nadruk): In het hoogste emissiescenario (**business-as-usual**) blijft de uitstoot onverminderd stijgen.¹⁰

Een belangrijk criterium bij de KNMI-scenario's is dat de scenario's een beeld schetsen van een 'plausible future'. Het KNMI schrijft ter verantwoording in het wetenschappelijke achtergronddocument bij de scenario's het volgende: "The important question to answer is:

⁸ <http://www.rationaloptimist.com/blog/more-growth-less-warming/>

⁹ https://climexp.knmi.nl/help/atlas_scenario.shtml

¹⁰ KLIMAATVERANDERING, Samenvatting van het vijfde IPCC-assessment en een vertaling naar Nederland, PBL en KNMI, 2015.

what are the criteria that need to be satisfied to consider climate scenarios to be useful? In the KNMI'06 project the criteria for useful climate scenarios were plausibility, internal consistence and relevance. Plausibility and internal consistence imply that the scenarios are physically consistent and well understood, and are supported by quantitative evidence obtained from models and observations.”¹¹

KNMI-scenario's doen geen uitspraken in termen van kansen (probabilities). “Similarly, Von Storch (2008) describes climate scenarios as possible, **plausible**, and internally consistent, but not necessarily **probable**, developments.” De scenario's zijn dus ‘plausibele verhaallijnen’ waaraan geen kansen gehangen kunnen worden. Maar ja, wie bepaalt wat plausibel is en wat niet? Volgens het KNMI moet het RCP8.5 scenario wel plausibel zijn, waarom zou je het anders gebruiken voor de KNMI-scenario's? In toenemende mate wordt echter duidelijk dat RCP8.5 een verre van plausibel scenario is. De voornaamste reden is dat dit scenario een onwaarschijnlijke terugkeer naar steenkool zou inluiden. Een recent gepubliceerd artikel in de Journal Energy vat de onwaarschijnlijkheid van dit scenario samen.^{12,13} Het stelt (onze nadruk): “These four lines of evidence (i-iv) collectively indicate **that RCP8.5 no longer offers a trajectory of 21st-century climate change with physically relevant information for continued emphasis in scientific studies or policy assessments.** Though IAMs could possibly re-imagine pathways that achieve RCP8.5 in the context of modern coal economics, this level of forcing was chosen as an SSP-RCP end-point based on scenarios that applied the most extreme version of the return to coal hypothesis [2,7,15,35]: an implausible outlook for a vast coal backstop [50,51].”

IAMs staat voor Integrated Assessment Models, dat zijn de economische modellen waarmee bijvoorbeeld ook de schade van toekomstige klimaatverandering doorerekend kan worden. Het artikel maakt aannemelijk dat een terugkeer naar steenkool in de komende eeuw niet aannemelijk is en dat daarmee ook RCP8.5 een zeer onwaarschijnlijk scenario is. Uit de conclusie: “This evidence indicates RCP8.5 does not provide a physically consistent worst case BAU [Business As Usual] trajectory that warrants continued emphasis in scientific research. Accordingly, it does not provide a useful benchmark for policy studies [e.g. 113].” De bekende Amerikaanse onderzoeker Roger Pielke Jr becommentarieerde de paper op zijn blog:¹⁴ “The paper argues that the IPCC's scenario for future emissions of carbon dioxide most often characterized as “business-as-usual” (technically called RCP 8.5) should be considered implausible.” En ook de Amerikaanse blogger Larry Kummer heeft er diverse malen op gewezen dat RCP8.5 niet beschouwd kan worden als een business as usual

¹¹ Wetenschappelijke achtergronddocument bij de KNMI'14 Scenario's.

¹² Richie, J., Dowlatabadi, H. 2017. Why do climate change scenarios return to coal? Energy 140(1): 1276 – 1291. Te downloaden via: <https://cedmcenter.org/wp-content/uploads/2017/08/Why-do-climate-change-scenarios-return-to-coal.pdf>

¹³ Commentaren van de onderzoeker over dit onderzoek staan in dit artikel: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-05-24/misleading-coal-estimates-may-have-skewed-climate-projections>

¹⁴ <https://theclimatefix.wordpress.com/2017/11/16/pielke-on-climate-7/>

scenario en dat het scenario misbruikt wordt om paniekverhalen over klimaatverandering te voeden.¹⁵

Er is veel kennis in Nederland over de RCP-scenario's omdat het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) nauw bij de totstandkoming van deze scenario's betrokken is geweest. Het is daarom vreemd dat dergelijke nuanceringen rond RCP8.5 in den lande niet te horen zijn. Sterker nog, zoals we hierboven lieten zien verwijst het KNMI naar RCP8.5 als een business as usual scenario.

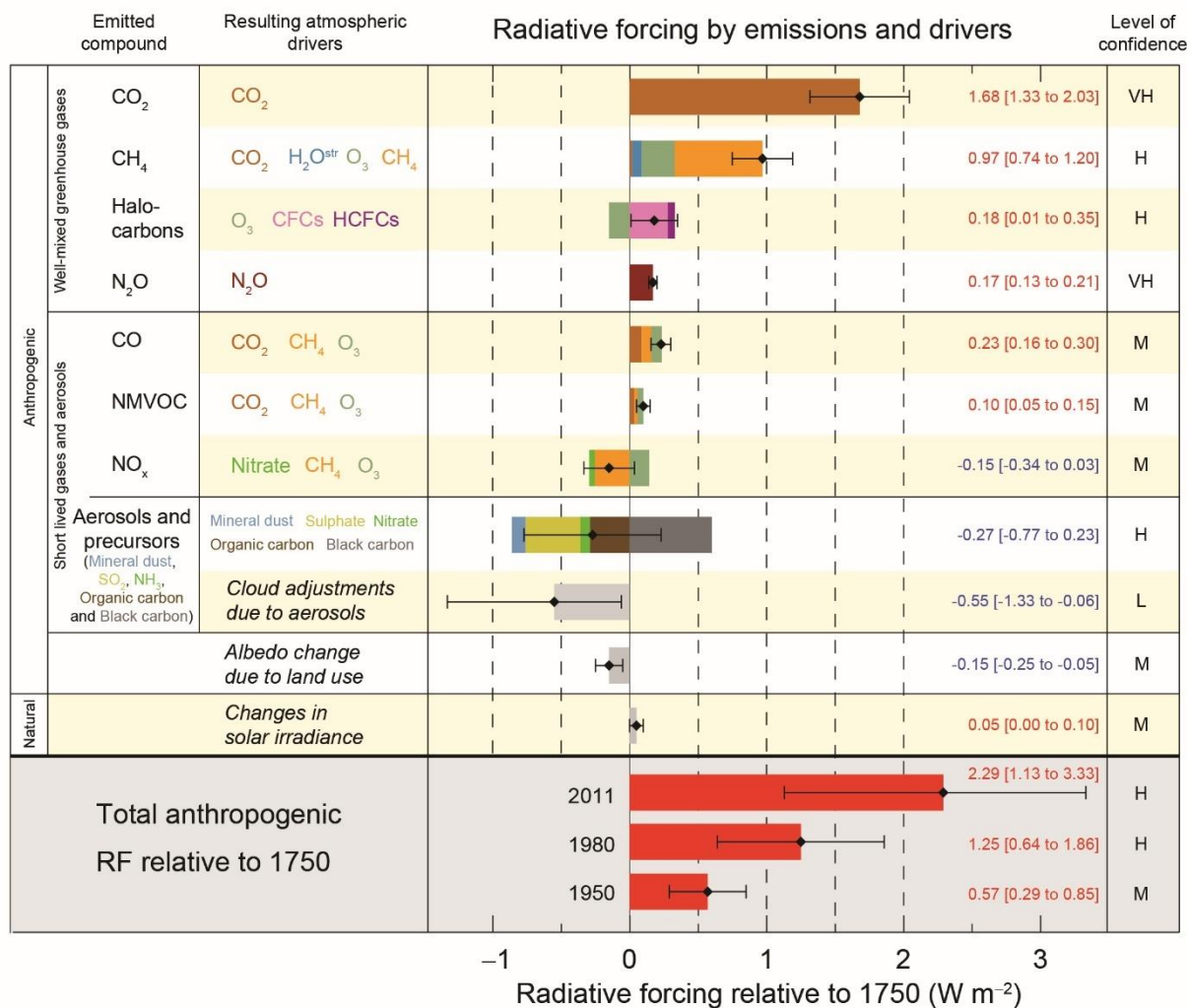
RCP8.5 is de basis voor het WH en het WL-scenario. Deze scenario's voor Nederland moeten dan ook alleen al op basis van socio-economische gronden als onwaarschijnlijk bestempeld worden. De KNMI-klimaatscenario's suggereren dat Nederland in 2050 1 tot 2,3 graden Celsius zal opwarmen. Die bovenwaarde van 2,3 graden Celsius is echter afkomstig van het RCP8.5 scenario en dus onrealistisch.

Zijn broeikasgassen dominant?

Een cruciale aanname bij niet alleen de mondiale maar ook de regionale klimaatscenario's is dat broeikasgassen op dit moment verreweg de meeste invloed hebben op de ontwikkeling van het klimaat. Het IPCC gaat er bijvoorbeeld van uit dat variaties in de zon een verwaarloosbaar effect hebben op het klimaat ten opzichte van het effect van broeikasgassen. Dit is niet gebaseerd op klimaatmodellen maar op het ingeschatte effect van de zon op de stralingsbalans van de aarde.¹⁶

¹⁵ <https://fabiusmaximus.com/2015/11/05/visions-of-dark-climate-future-90153/>

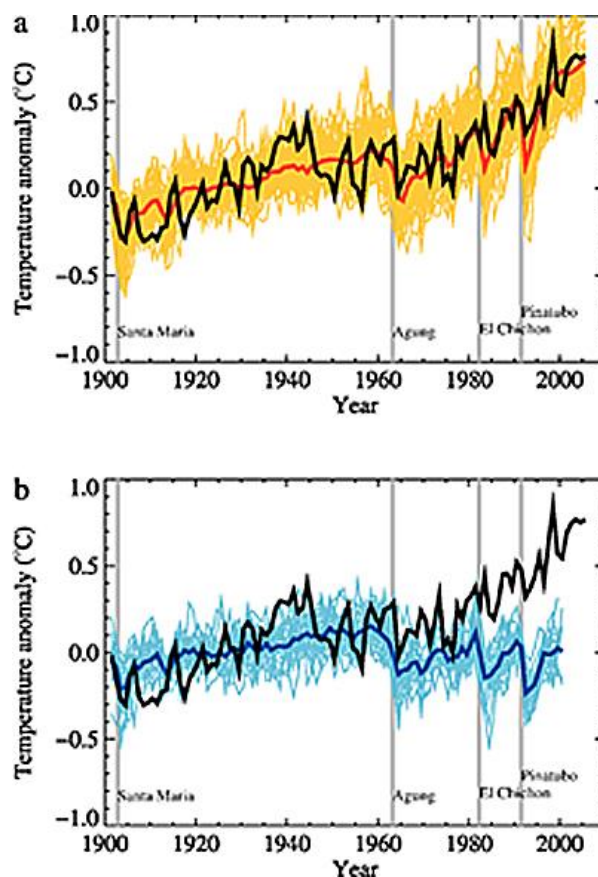
¹⁶ http://www.climatechange2013.org/images/figures/WGI_AR5_FigSPM-5.jpg



Figuur 2.4: Natuurlijke en antropogene veranderingen in de stralingsforcering sinds 1750. Bron: vijfde IPCC-rapport.

Puur afgaand op deze tabel is er geen speld tussen te krijgen. CO₂ en methaan staan fier bovenaan. Het effect van de zon is slechts 0,05 W/m² volgens het IPCC en dat is slechts 2% op het totaal van 2,29 W/m². Natuurlijke fluctuaties in het klimaat vinden we niet terug in deze tabel. Het IPCC gaat ervan uit dat zulke fluctuaties relatief kortdurend zijn (maximaal enkele decennia) en beschouwen ze daarom als ruis zodra het gaat om de lange-termijnontwikkeling van het klimaat. Is dit nu het bewijs dat wij als mens de aarde opwarmen? Ja en nee. Als je ervan uitgaat dat stralingsforcering inderdaad bepalend is en dat onze kennis daarover vrij gedegen is, dan kan alleen deze tabel al voldoende zijn om overtuigd te zijn van een dominante invloed van broeikasgassen.

Maar er is meer. Het IPCC heeft een apart hoofdstuk dat “detectie en attributie” heet. Daarin ‘bewijst’ het IPCC dat de opwarming sinds 1950 door broeikasgassen veroorzaakt zou zijn. Dat is het beste te illustreren met figuur 2.5:



Figuur 2.5: Attributie in het vierde IPCC-rapport uit 2007. Onder, modellen alleen gevoed met natuurlijke invloeden, boven met zowel natuurlijke als antropogene invloeden.

Waarom is dit misschien wel hét belangrijkste bewijs van het IPCC? In de onderste grafiek zijn klimaatmodellen – de dikke blauwe lijn is het gemiddelde van alle modellen – gevoed met natuurlijke klimaatinvloeden, voornamelijk variaties in de zon en vulkaanuitbarstingen. De zwarte lijn vertegenwoordigt de ‘gemeten’ mondiale temperatuur aan het oppervlak. Vanaf 1970 neemt de temperatuur toe terwijl de modellen suggereren dat er afkoeling zou moeten plaatsvinden. In de bovenste grafiek zijn de modellen (gele lijn) niet alleen gevoed met natuurlijke maar ook met antropogene invloeden, voornamelijk broeikasgassen en aerosolen.

Op basis van voornamelijk dit soort studies concludeerde het IPCC in 2001 dat het ‘waarschijnlijk’ was dat tenminste de helft van de opwarming sinds 1950 door antropogene broeikasgassen veroorzaakt was. In het vierde IPCC-rapport in 2007 werd de ‘zekerheid’ rond deze claim opgehoogd tot ‘zeer waarschijnlijk’ en in het vijfde IPCC-rapport in 2013 zelfs tot ‘extreem waarschijnlijk’.

Extreem waarschijnlijk is door het IPCC gedefinieerd als meer dan 95% zeker. Echter, dit is geen statistisch berekende waarschijnlijkheid maar gebaseerd op ‘expert judgment’. Met andere woorden, de auteurs van het hoofdstuk waarin deze figuur staat – het hoofdstuk dat

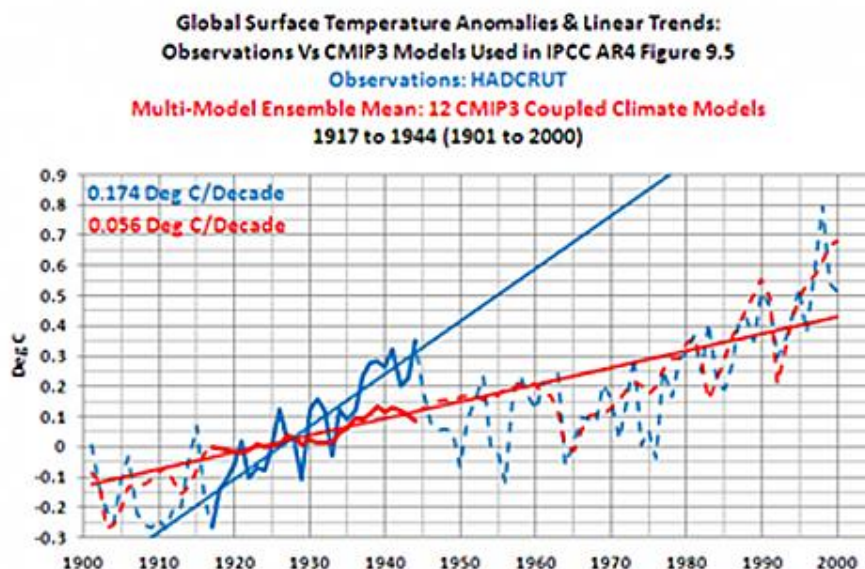
gaat over detectie en attributie - vinden het op basis van hun expertise 95 procent waarschijnlijk dat tenminste de helft van de opwarming sinds 1950 door de mens veroorzaakt is. Daags nadat deze conclusie door het IPCC gepubliceerd werd schreef NRC Handelsblad in een hoofdredactioneel: '95 procent is genoeg'. Met andere woorden, de wetenschap is eruit, nu is de politiek aan zet.

Maar is dat zo? Het 'bewijs' van het IPCC leunt sterk op klimaatmodellen, dezelfde modellen waarmee de KNMI-scenario's worden gemaakt. Nou zijn dit geen kleine 'jongens'. Er zijn verspreid over de wereld inmiddels bijna veertig zogenaamde General Circulation Models (GCMs) ontwikkeld en sinds een paar jaar is ook het KNMI de trotse eigenaar van zo'n model, EC-Earth geheten. Er wordt al enkele decennia gesleuteld aan klimaatmodellen. Eerst had zo'n model alleen een atmosfeer, later kwamen er oceanen bij, nog weer later werden oceanen en atmosfeer aan elkaar gekoppeld en daarna werd de koolstofcyclus eraan toegevoegd, ijskappen en dit proces blijft uiteraard doorgaan. De modellen worden dus steeds completer en daardoor ook complexer. Dit is een volkomen valide wetenschappelijke ontwikkeling.

Maar goed, hoe indrukwekkend klimaatmodellen ook zijn, het werkelijke klimaat is ook waanzinnig complex, met een schier oneindig scala aan interacties tussen atmosfeer, oceaan, landgebruik, bodem, biosfeer en cryosfeer. De cruciale vraag is dan ook: zijn de modellen goed genoeg? Kunnen ze het recente verleden goed simuleren en hoe aannemelijk is het dat ze de nabije toekomst goed kunnen 'voorspellen'.

Het IPCC zegt: klimaatmodellen kunnen de opwarming sinds 1970 alleen met broeikasgassen verklaren. Het is dan legitiem om de vraag te stellen: hoe goed zijn die modellen eigenlijk? Want als je zou aantonen dat de modellen (nog) niet zo goed zijn, dan verzwakt dat het bewijs van het IPCC.

Een eerste punt van 'zwakte' kunnen we al zien in figuur 2.6. Modellen gevoed met broeikasgassen zijn ogenschijnlijk goed in staat de opwarming tussen 1970 en 2000 te simuleren. Maar eerder in de eeuw, tussen 1915 en 1945 vond een vergelijkbare opwarming van een halve graad plaats. Hoe goed simuleren de modellen die periode? Dat lijkt heel aardig te gaan omdat de zwarte waargenomen opwarming vrijwel binnen de bandbreedte blijft van de vele individuele modelruns. Maar het is het gemiddelde van alle modellen die gezien wordt als de beste indicatie van de klimaattrend. In het volgende plaatje zoomen we in op die trend:



Figuur 2.6: Modellen versus waarnemingen tussen 1917 en 1944. Modellen onderschatten de ‘werkelijke’ opwarming met een factor drie.

Klimaatonderzoekers noemen deze periode ook wel de ‘*early warming period*’. Het IPCC besteedt er amper een halve bladzijde aan in het vijfde IPCC-rapport. Het geeft daarin toe dat klimaatonderzoekers nog niet goed weten wat deze vroege opwarming veroorzaakte. Het is vermoedelijk een combinatie van factoren, deels natuurlijke schommelingen in het klimaat, deels wellicht een toename van zonneactiviteit, een afname van vulkanische activiteit en deels broeikasgassen, hoewel de uitstoot van CO₂ pas na de Tweede Wereldoorlog goed op gang komt.

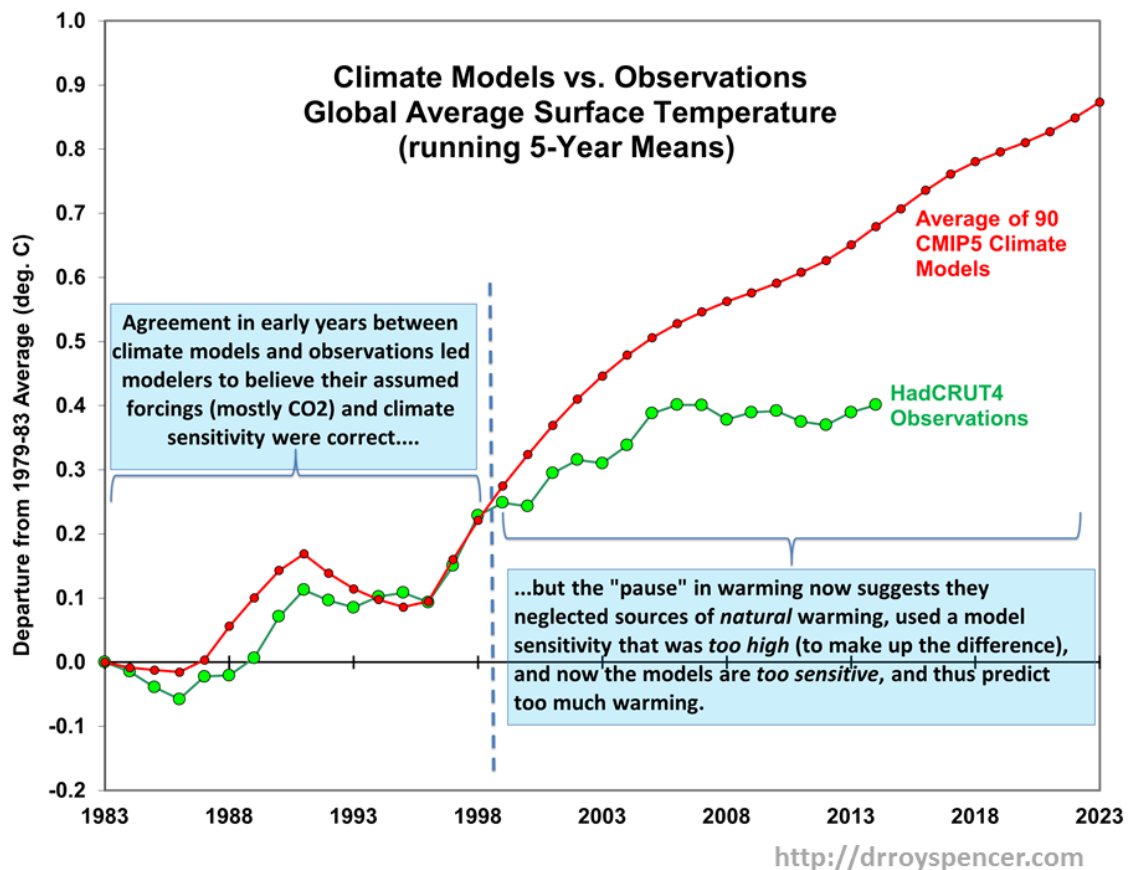
Maar wat het ook mogen zijn, feit blijft dat de modellen die zouden ‘bewijzen’ dat CO₂ de opwarming sinds 1970 grotendeels veroorzaakt heeft, een bijna gelijke opwarming eerder in de eeuw niet goed weten te simuleren. De modellen onderschatten in dit geval de waargenomen opwarming met een factor drie.

De stagnatie

Een ander punt dat genoemd moet worden is dat klimaatmodelleurs de historische waarnemingen uiteraard al kenden voordat zij hun modelruns deden. De beroemde wiskundige John von Neumann schijnt ooit gezegd te hebben: *With four parameters I can fit an elephant and with a fifth I can make him wiggle his trunk*. Met andere woorden: met een aantal parameters kan je bestaande data altijd ‘fitten’.

De mondiale temperatuur is al jarenlang de belangrijkste indicator voor de opwarming van de aarde. Modelgroepen zullen er dus naar streven om die parameter goed te simuleren en dat lukt heel behoorlijk bij de opwarming tussen 1975 en 2000. Maar ons vertrouwen in de

modellen zou natuurlijk aanzienlijk groter worden als ze nieuwe data ook goed weten te 'voorspellen'. Helaas gaat dit niet al te best. Dit heeft onder andere te maken met de zogenaamde 'hiatus' of 'pauze', een periode van geringe opwarming sinds de eeuwwisseling die modellen niet zagen 'aankomen'. De onderstaande grafiek van de Amerikaanse onderzoeker Roy Spencer probeert een en ander te verduidelijken:¹⁷



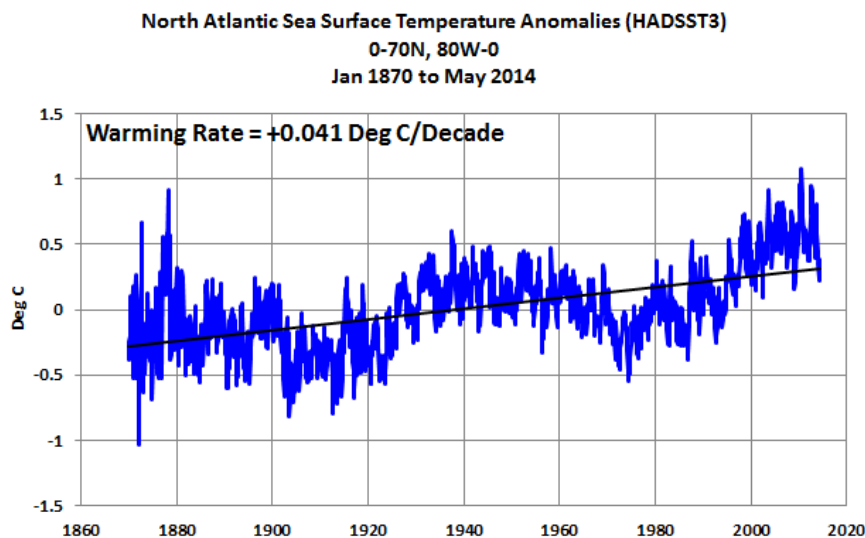
Figuur 2.7: Modellen versus waarnemingen in de periode 1979-2014. HadCrut4 is een mondiale temperatuurreeks aan het oppervlak. De rode lijn is het gemiddelde van de in het vijfde IPCC-rapport gebruikte modellen. Bron: Roy Spencer.

Voor na 2000, de periode dat modellen 'nieuwe data' moeten gaan 'voorspellen', lopen modellen en waarnemingen in groeiende mate uit elkaar. Nu stellen modelleers dat gedurende periodes van tien tot vijftien jaar natuurlijke fluctuaties het 'antropogene signaal' kunnen overstemmen. Een andere term hiervoor is interne variabiliteit.

Bekende natuurlijke fluctuaties zijn El Niño en La Niña. Die wisselen elkaar om de paar jaar af. Maar er zijn ook vormen van interne variabiliteit die op langere tijdschalen plaatsvinden, bijvoorbeeld de Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) en de Pacific Decadal Oscillation

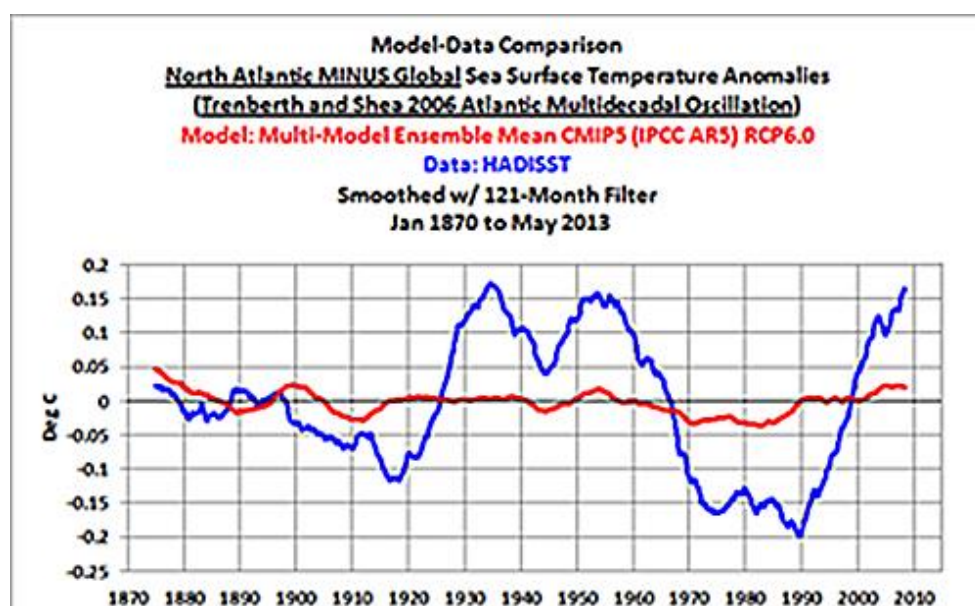
¹⁷ <http://www.drroyspencer.com/wp-content/uploads/90-CMIP5-models-vs-observations-with-pause-explanation.png>

(PDO). Zie hieronder bijvoorbeeld de ontwikkeling van de temperatuur in de Noord-Atlantische Oceaan in de afgelopen eeuw:



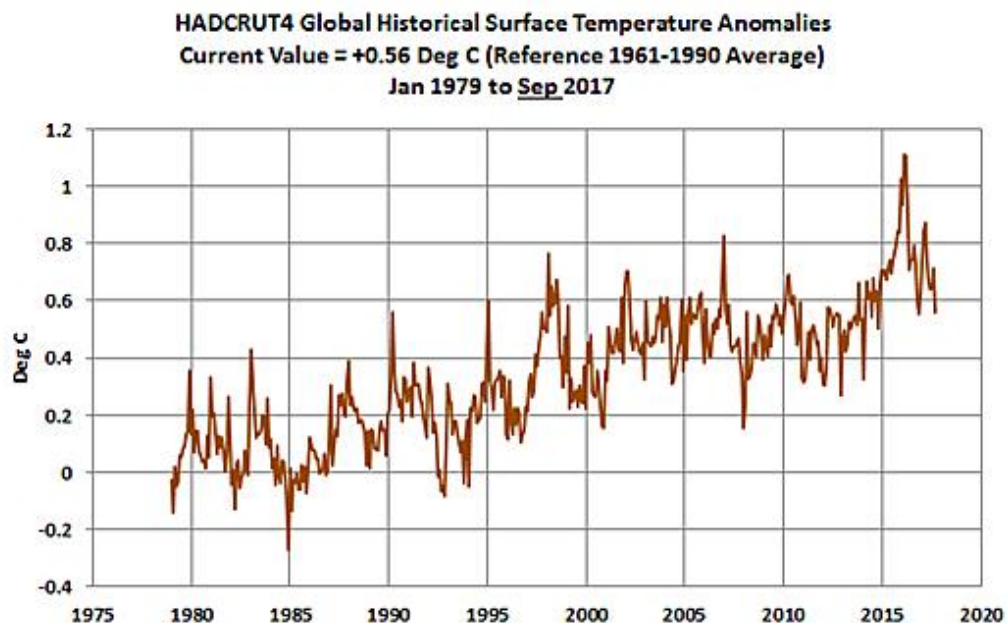
Figuur 2.8: Gemiddelde temperatuur van het zeewater in de Noord-Atlantische Oceaan.
Bron: Bob Tisdale.

De gelijkenis met de evolutie van de mondiale temperatuur is opvallend. De opwarming tussen 1920 en 1940 en tussen 1975 en pak 'm beet 2010 is in de Noord-Atlantische oceaan echter aanzienlijk sterker dan de mondiale opwarming, wat betekent dat deze 'oscillatie' de mondiale opwarming in deze periodes heeft 'versterkt'. De AMO is pas rond 2000 'ontdekt'. Hoewel (sommige) modellen tegenwoordig AMO-achtige patronen weten te simuleren, is de timing daarvan nog niet goed. Door het modelgemiddelde te nemen – zoals het IPCC doet – zullen natuurlijke schommelingen als AMO en PDO sowieso uitmiddelen. Dat is voor de AMO goed te zien in de onderstaande figuur:



Figuur 2.9: De temperatuur in de Noord-Atlantische Oceaan minus de mondiale zeewatertemperatuur. In blauw waarnemingen, in rood modellen. Het modelgemiddelde pikt het AMO-signaal duidelijk niet op. Bron: Bob Tisdale.

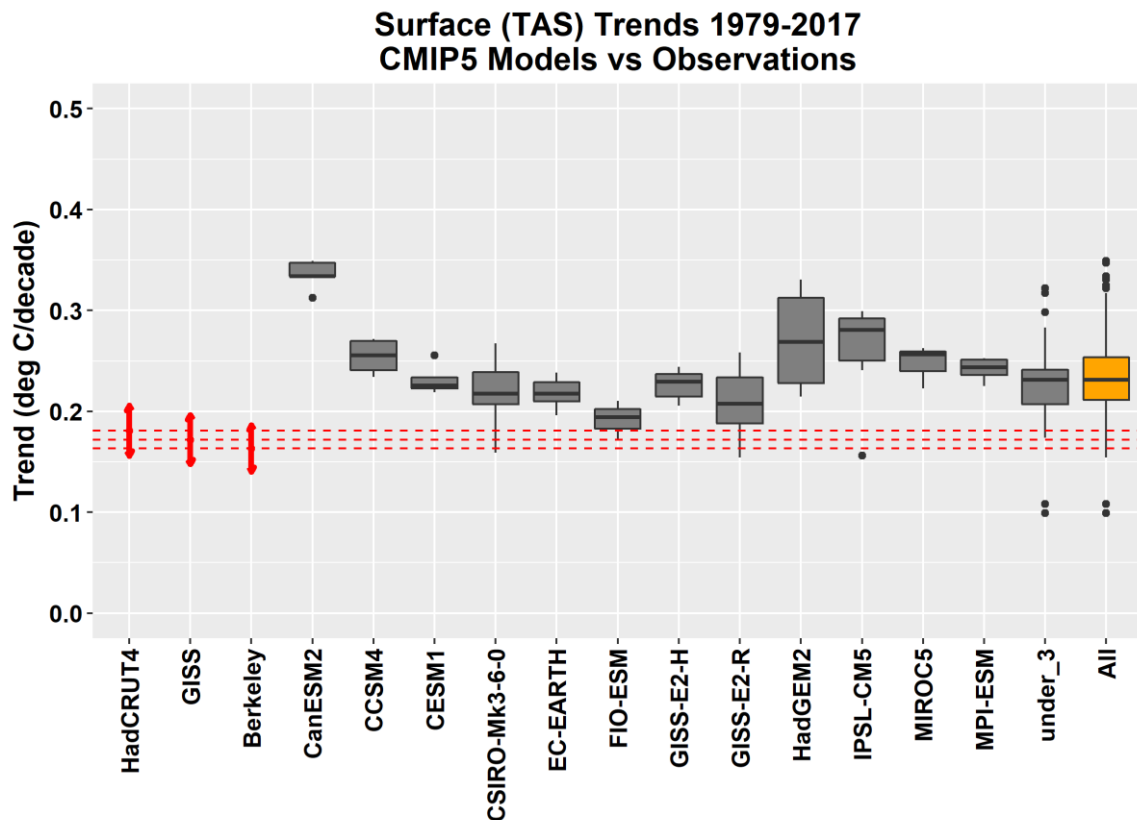
Modelleurs lijken zich nog altijd niet zo druk te maken over de ‘pauze’ in de opwarming, zeker nu die pauze mede dankzij een krachtige El Niño in 2015/2016 weer voorbij lijkt te zijn:



Figuur 2.10: Mondiale temperatuurreeks HadCrut4. De stagnatie die te zien is van pak ‘m beet de eeuwwisseling tot 2014 lijkt voorbij. Bron: Bob Tisdale.

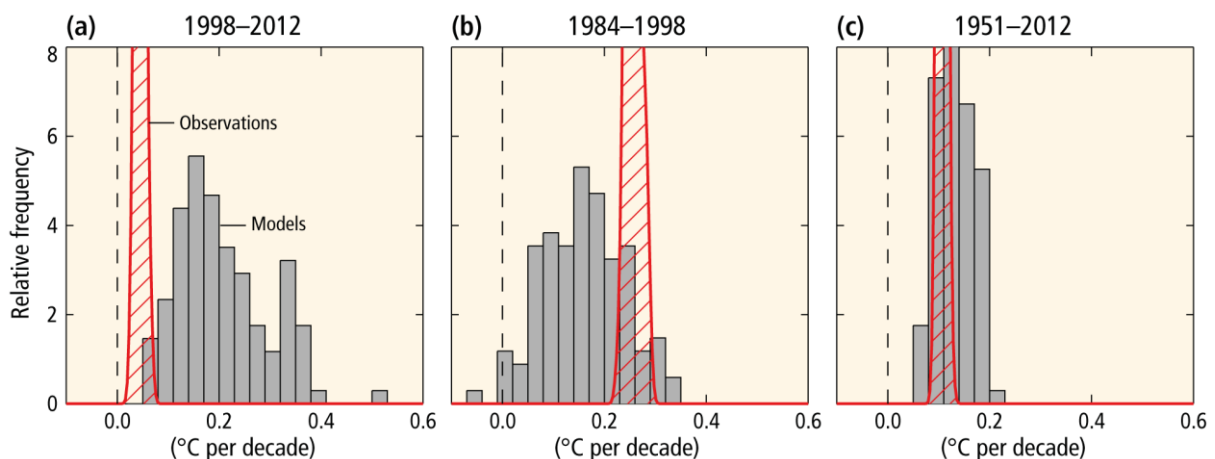
Klimaatonderzoekers redeneren als volgt: natuurlijke fluctuaties kunnen de trend over korte periodes van tien tot vijftien jaar bepalen. Het modelgemiddelde pikt zulke fluctuaties nou eenmaal niet op. Pas op langere tijdschalen begint de ‘geforceerde trend’, zoals onderzoekers dat noemen, te overheersen. Wat echter weinig aandacht krijgt van mainstream onderzoekers is dat modellen ook over de laatste dertig tot veertig jaar aanzienlijk meer opwarming simuleren dan waargenomen. Dit is het best te illustreren aan de hand van trends, zoals hier gedaan door de Canadese onderzoeker Stephen McIntyre op diens blog Climate Audit:¹⁸

¹⁸ <https://climateaudit.org/2017/11/18/reconciling-model-observation-reconciliations/>



Figuur 2.11: Waargenomen mondiale temperatuurtrend aan het oppervlak versus trends in de modellen. Het KNMI-model EC-Earth is ook vermeld. Helemaal rechts in geel het gemiddelde van alle modellen. Bron: Stephen McIntyre.

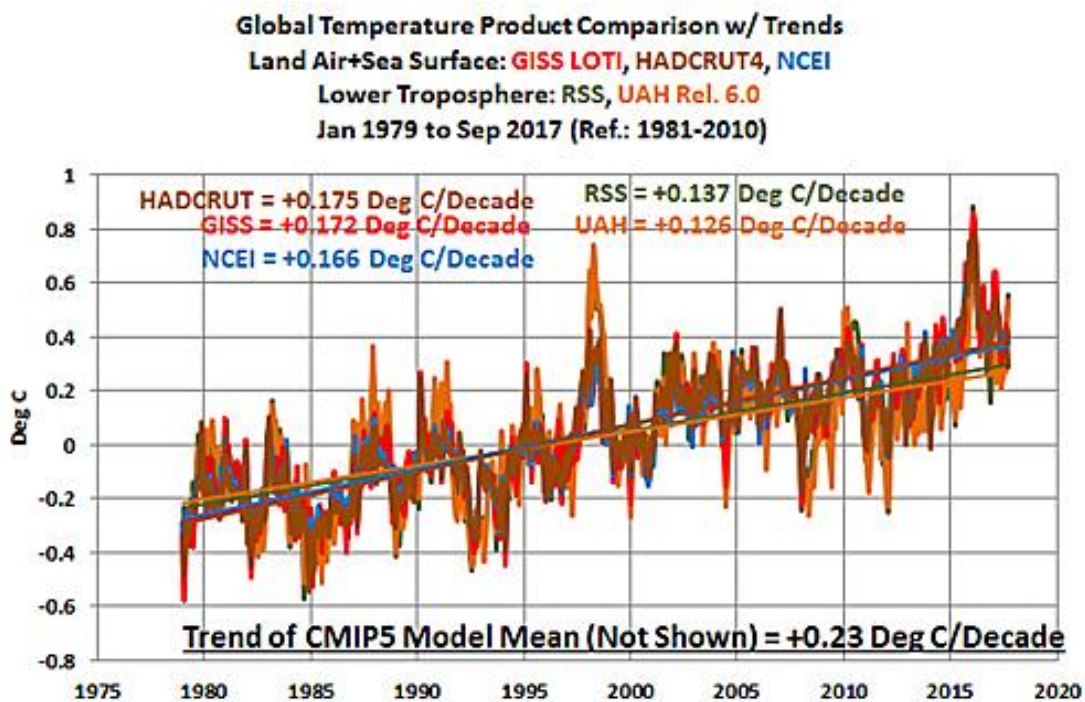
Duidelijk zichtbaar is dat alle modellen (waaronder het EC-Earth model van het KNMI) aanzienlijk meer opwarming simuleren in de periode 1979-2015 dan de door het IPCC meest gebruikte dataset HadCrut4 (plus twee andere datasets, GISS en Berkeley) aangeeft. Het vijfde IPCC-rapport laat ook een figuur zien met trends, dit in verband met de 'hiatus'.



Figuur 2.12: waargenomen trends versus modeltrends in drie periodes. Bron: vijfde IPCC-rapport.

De boodschap van deze figuur is dat modellen inderdaad de opwarming overschatten in de periode 1998-2012 maar dat je net zo makkelijk een periode van 15 jaar kunt selecteren (1984-1998) waarin modellen de opwarming onderschatten. Als je nou maar een periode neemt die lang genoeg is (1951-2012) dan vallen de waarnemingen binnen de range van de modellen. Maar merk op dat er tussen 1951 en 1975 sprake was van een dalende temperatuur, een daling die het IPCC toeschrijft aan een sterke toename van aerosolen in de lucht. Hierop komen we nog terug. De recente opwarming die het IPCC met een hoge mate van waarschijnlijkheid toeschrijft aan broeikasgassen begon rond 1975. McIntyre begint zijn analyse in 1979 omdat dat het startjaar is van diverse satellietreeksen waaronder die voor temperatuur. Door te starten in 1979 kan je de modellen dus vergelijken met zowel de oppervlaktereeksen als de reeksen voor de troposfeer. Bovendien zit je precies in de periode van opwarming die het IPCC met grote mate van zekerheid toeschrijft aan broeikasgassen.

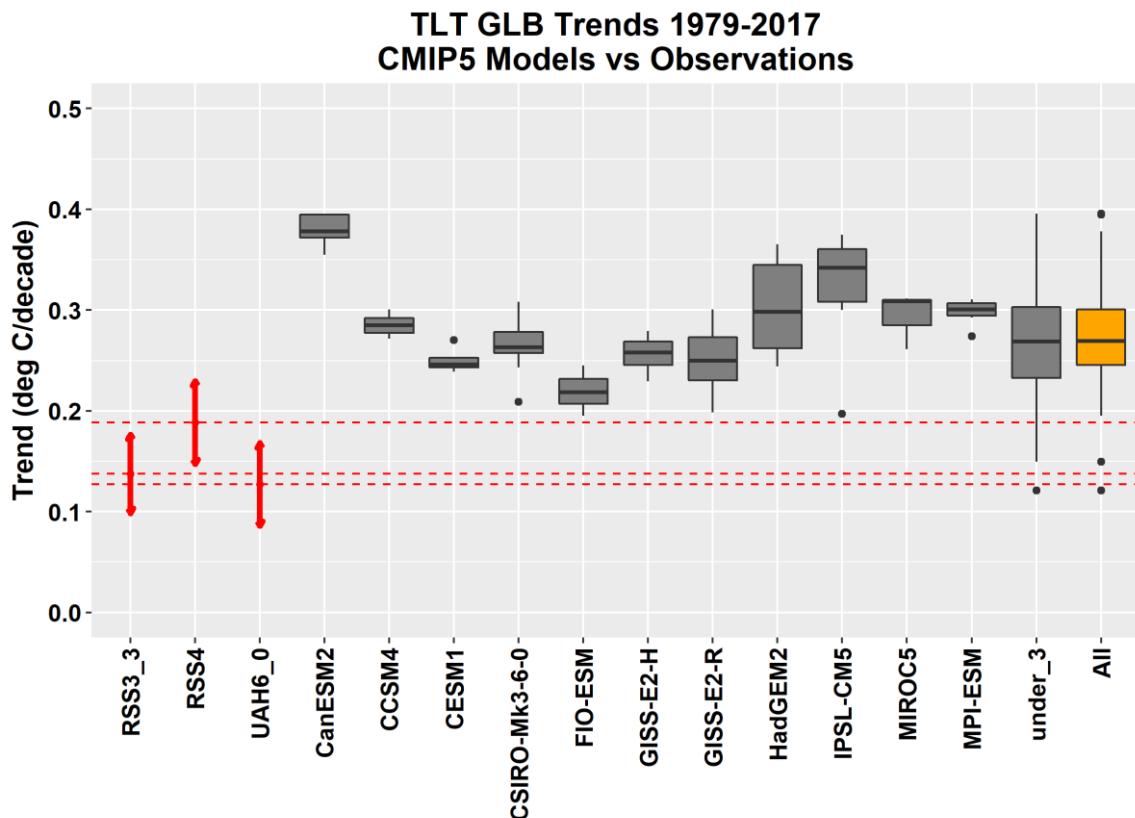
Er zijn twee groepen in de wereld – UAH en RSS - die met satellietmetingen een temperatuurreeks hebben geconstrueerd voor de onderste acht kilometer van de atmosfeer (de troposfeer). Het mooie is dat die groepen elkaar ‘scherp’ houden. De UAH-groep van Roy Spencer en John Christy wordt gezien als ‘sceptisch’ en de RSS-groep van Frank Wentz en Carl Mears als ‘mainstream’. Hun reeksen komen goed met elkaar overeen maar liggen lager dan de drie oppervlaktereeksen HadCrut4, GISS en NCEI:



Figuur 2.13: Mondiale opwarming aan het oppervlak en in de lagere troposfeer sinds 1979.

Klimaatmodellen simuleren meer opwarming in de troposfeer dan aan het oppervlak maar de beschikbare meetreeksen laten het tegenovergestelde zien, meer opwarming aan het oppervlak dan in de atmosfeer. Het is nog altijd niet duidelijk waar de verschillen tussen de oppervlaktereeksen en de satellietreeksen vandaan komen, maar die discussie valt verder buiten het bestek van dit rapport.

Niet verwonderlijk is dan ook dat de verschillen in trends tussen modellen en waarnemingen nog groter zijn voor de troposfeer:

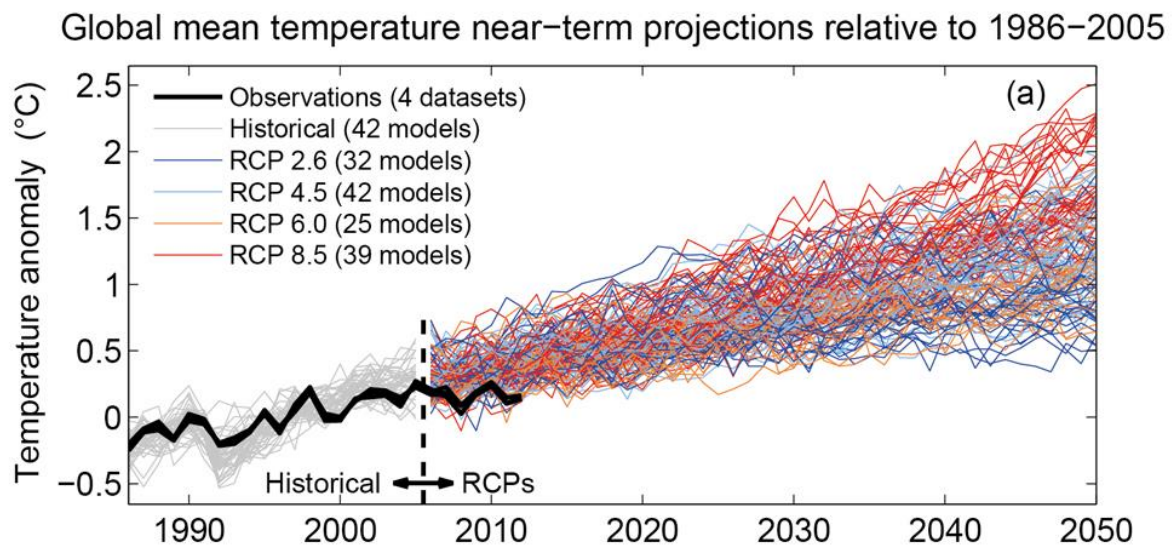


Figuur 2.14: Waargenomen mondiale temperatuurtrend in de lagere troposfeer versus trends in de modellen voor de periode 1979-2017. Helemaal rechts in geel het gemiddelde van alle modellen. Er zijn twee versies van RSS getoond omdat de meest recente versie aanzienlijk afwijkt van de vorige versie. Bron: Climate Audit.¹⁹

Dus modellen overschatten de opwarming sinds 1979 van zowel het oppervlak als de troposfeer al aanzienlijk. Of toch niet? In de blogosfeer woeden er geregeld verhitte discussies over deze kwestie. Een vaak gehoord tegenargument is dat in de figuur hierboven de onzekerheid in de waarnemingen niet getoond is en dat als je dat wel zou doen er wel degelijk enige overlap is tussen de modellen en de waarnemingen. Daaruit concludeert men dan dat modellen en waarnemingen nog altijd ‘consistent’ met elkaar zouden zijn.

¹⁹ <https://climateaudit.org/2017/11/18/reconciling-model-observation-reconciliations/>

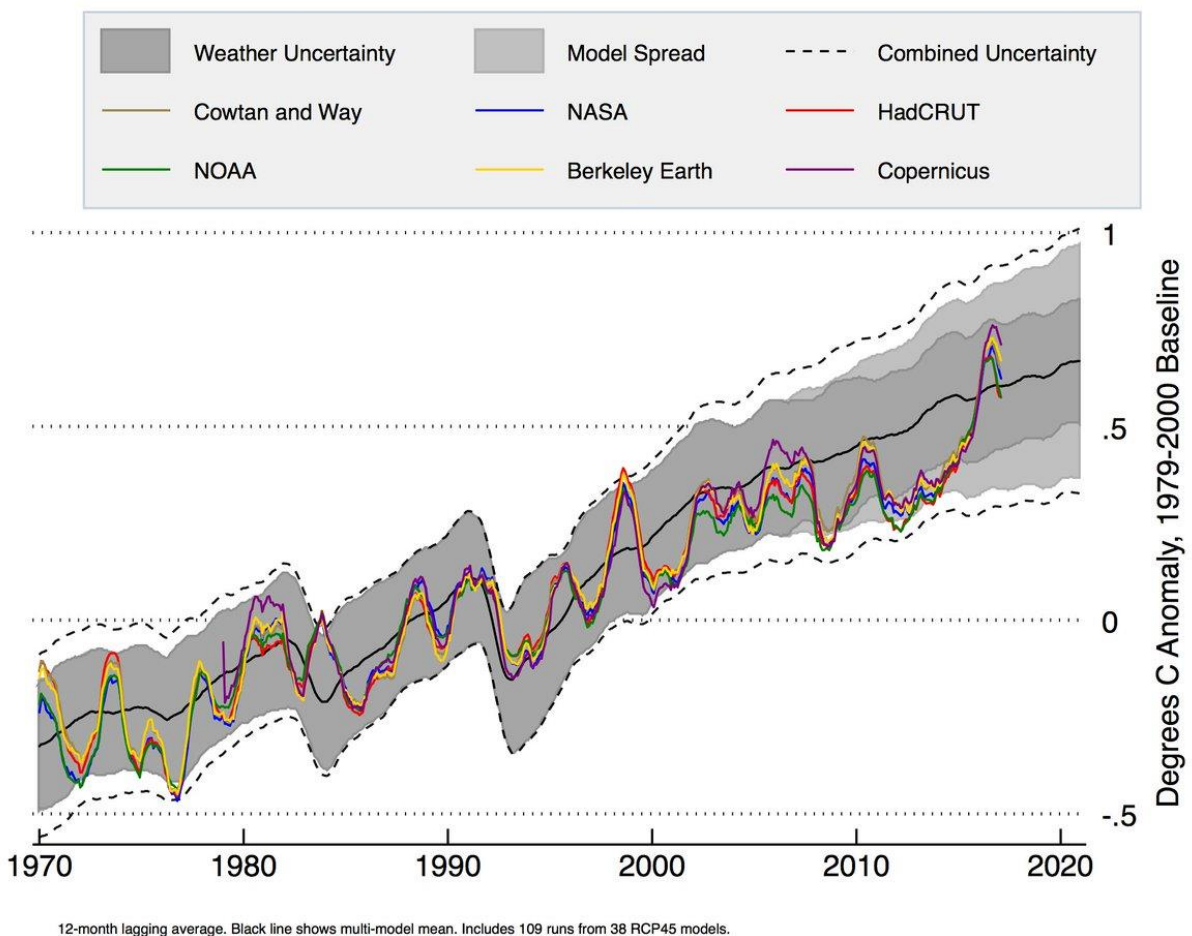
Een andere manier om modellen en waarnemingen ogenschijnlijk meer met elkaar in overeenstemming te brengen is om de referentieperiode anders te kiezen. De referentieperiode is de periode waarin modellen en waarnemingen een gezamenlijk nulpunt hebben. Het IPCC bijvoorbeeld publiceerde deze grafiek in het vijfde IPCC-rapport:



Figuur 2.15: Modellen versus observaties ten opzichte van de referentieperiode 1986-2005. Bron: vijfde IPCC-rapport.

De observaties zitten in dit geval weliswaar aan de onderkant van de range maar vallen er niet buiten zoals in de veelbesproken figuur 2.7 van Spencer en Christy wel gebeurt. Dit heeft voornamelijk te maken met de keuze voor de referentieperiode van 1986-2005 die in dit geval lang was en middenin de periode 1979-2012 ligt. De periode na 2005 is dan te kort om de modellen en de waarnemingen visueel duidelijk uiteen te laten lopen. Meer recent is op tal van sites de volgende vergelijking tussen modellen en waarnemingen te zien, die gebaseerd is op bovenstaande figuur uit het IPCC-rapport:

Blended Model-Observation Comparisons, 1970-2020

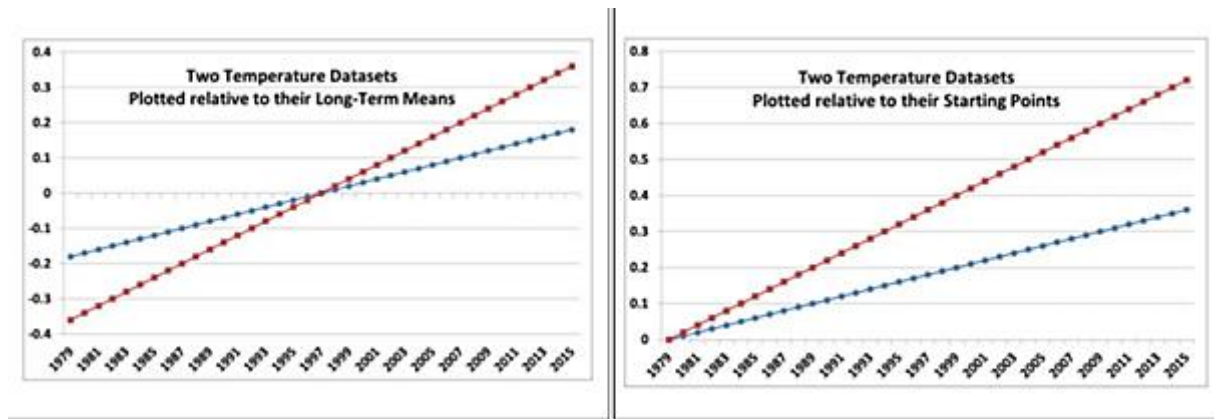


Figuur 2.16: Modellen versus diverse temperatuurreksen. Bron: Zeke Hausfather.²⁰

Figuur 2.16 suggereert dan dat modellen en waarnemingen prima overeenkomen. Merk op dat hier de periode 1979-2000 als referentieperiode is gebruikt.

Hieronder is het verschil in presentatie (tussen Spencer/Christy enerzijds en IPCC/Schmidt/Hausfather anderzijds) nogmaals schematisch weergegeven:

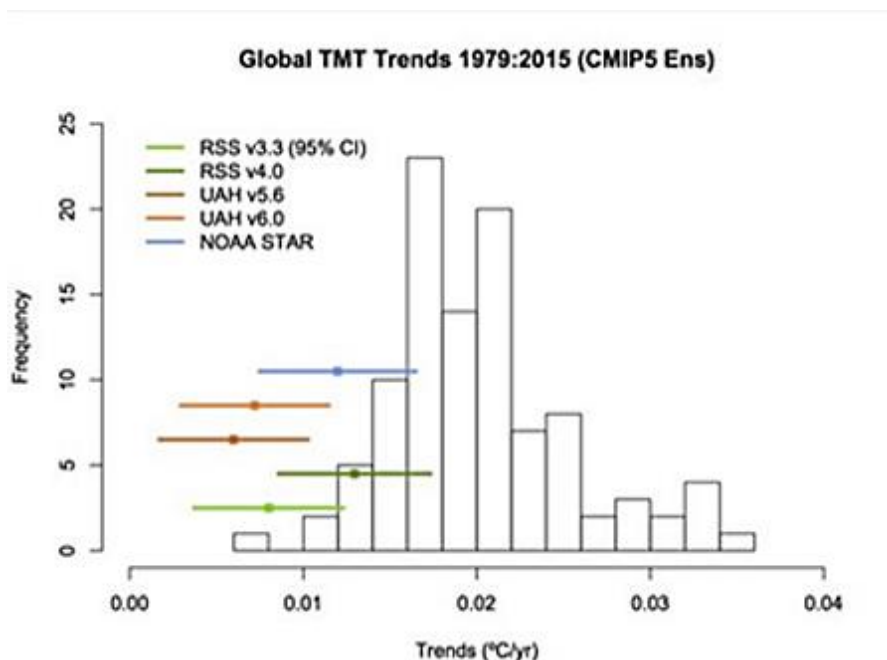
²⁰ <https://twitter.com/hausfath/status/842792242876047360>



Figuur 2.17: Twee manieren om twee trends met elkaar te vergelijken. De rode en blauwe reeks hebben links en rechts dezelfde trend.

Spencer en Christy kozen voor de rechter aanpak door de referentieperiode aan het begin te kiezen (zij kozen voor de korte periode 1979-1983). Bij een verschil in trends tussen modellen en waarnemingen maximaliseert dit het verschil in 2015. Het IPCC koos voor de linker aanpak door een referentieperiode in het midden van de periode te kiezen. Dit verkleint de verschillen op het einde.²¹

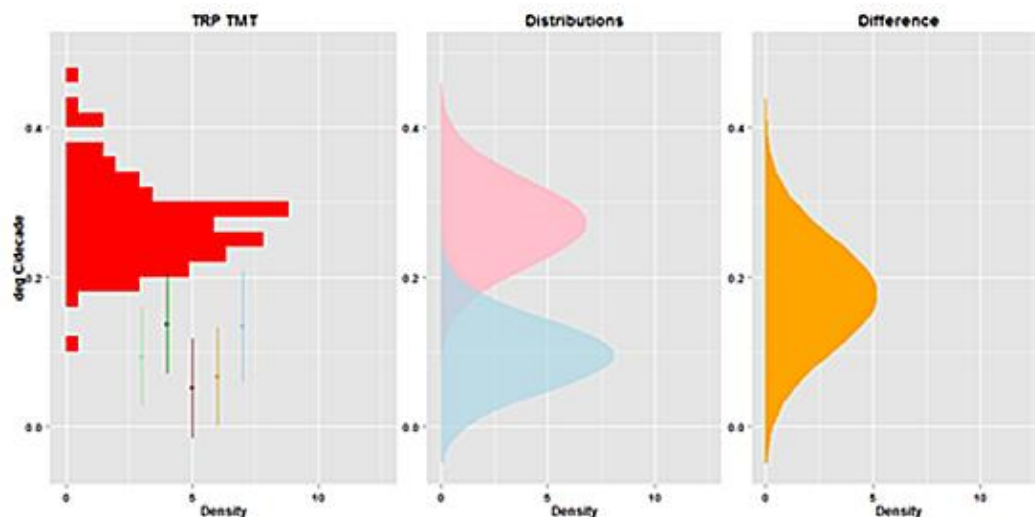
Gavin Schmidt, directeur van NASA GISS in New York, en een zeer bekende mainstream onderzoeker, mengde zich ook in deze discussie. Hij publiceerde deze figuur:



²¹ Voor een goede discussie hierover zie <https://climateaudit.org/2016/04/19/gavin-schmidt-and-reference-period-trickery/> en <https://climateaudit.org/2016/05/05/schmidts-histogram-diagram-doesnt-refute-christy/>

Figuur 2.18: Modellen versus waarnemingen voor de hogere troposfeer. Bron: Gavin Schmidt.

Hier zijn de onzekerheden meegenomen in de waarnemingen en is er enige overlap tussen de modeltrends en de waargenomen trends. McIntyre reageerde met een blogbericht waarin hij stelde dat deze figuur de eerder getoonde figuur van Christy niet onderuithaalt.



Figuur 2.19: Links de figuur van Gavin Schmidt, in het midden een waarschijnlijkheidsverdeling op basis van dezelfde data gecreëerd door Stephen McIntyre. Rechts het verschil tussen de twee waarschijnlijkheidsverdelingen.

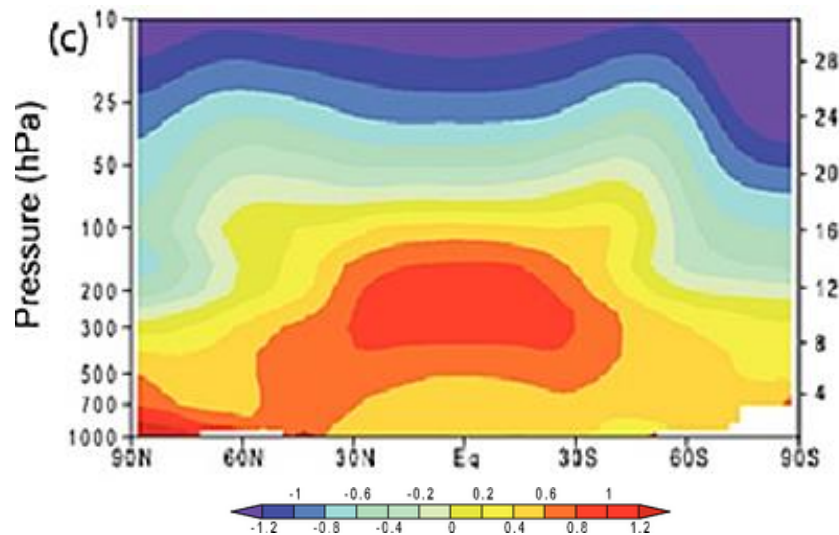
McIntyre reageerde hierop in een vervolgartikel met bovenstaande figuur. Hij rekent vooral af met het idee dat enige vorm van overlap voldoende is om te kunnen claimen dat modellen en waarnemingen dus consistent met elkaar zouden zijn. Eerder andersom, de verschillen tussen modellen en waarnemingen zijn evident. In de conclusies stelt hij dat op basis van deze data een modelrun 99,5% van de tijd ‘warmer’ zal zijn dan de waargenomen trend. In 88% van de gevallen zal een modelrun zelfs meer dan 0,1 graden Celsius per decennium warmer zijn dan de waargenomen trend.

Tropen

In de bovenstaande discussie tussen Schmidt, Christy en McIntyre ging het in het bijzonder over de opwarming in de hogere troposfeer (*mid troposphere* in het Engels). Dat heeft een reden. Een van de meest opvallende patronen in klimaatmodellen is een versterkte opwarming in de tropen op zo’n tien kilometer hoogte. Deze zogenaamde *hot spot* is niet per se uniek voor broeikasgassen, want ook bij een grotere zonneactiviteit of een andere forcering verwachten we hoog in de tropen extra opwarming. Dit is wat onderzoekers de waterdampfeedback noemen. Extra opwarming in de tropen aan het oppervlak, door wat

voor reden ook, leidt tot extra convectie en die energie komt hoog in de tropen weer vrij, daar waar waterdamp weer condenseert tot water.

Volgens figuur 2.20 is er nu sprake van een sterke forcing door broeikasgassen en dus simuleren modellen gevoed met de stijgende CO₂-concentratie in de atmosfeer een forse versterking van de opwarming rond de tien kilometer hoogte in de tropen:



Figuur 2.20: De hot spot hoog in de tropen. Gebaseerd op figuur 9.1 in het vierde IPCC-rapport. Rechts langs de y-as de hoogte in kilometers. Deze simulatie was gedaan met één klimaatmodel over de periode 1890-1999. De schaal is °C per eeuw.

Duidelijk te zien is dat hoog in de tropen de opwarming twee tot drie keer zo sterk zou moeten zijn als aan het oppervlak. Sinds eind jaren vijftig zijn er ballonmetingen beschikbaar en sinds 1979 worden ook met satellieten veranderingen in de troposfeer gemonitord. Zien we de hot spot daarin terug?

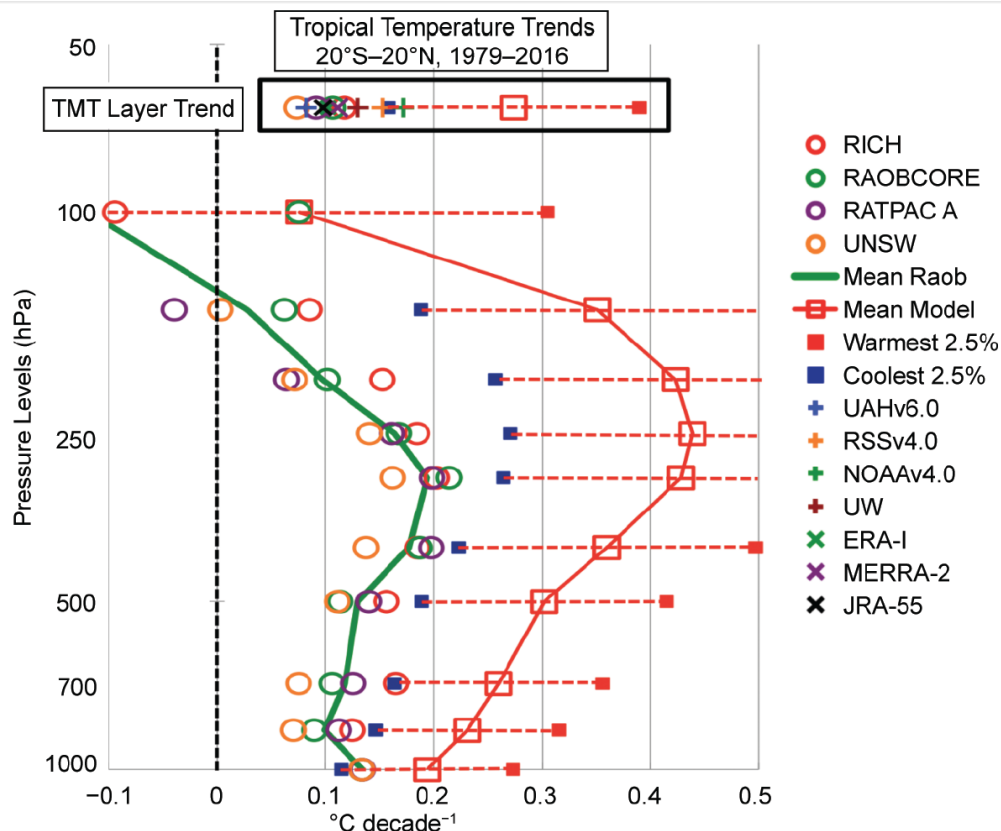
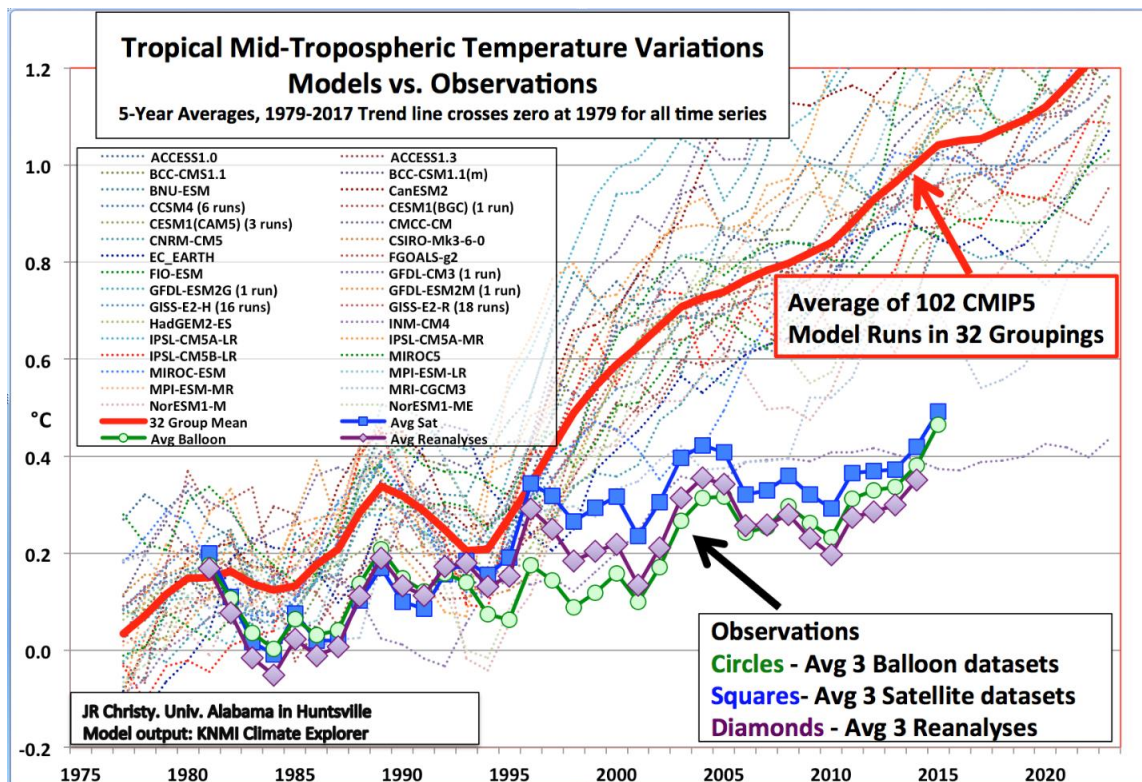


FIG. S2.10. Temperature trends ($^{\circ}\text{C decade}^{-1}$) for the tropics at various tropospheric levels for 1979–2016. The top box indicates trends for the tropical atmospheric layer known as the midtroposphere (TMT) and includes satellite observations. The CMIP-5 (rcp4.5) model output of 102 runs was used for the mean and range of model trends. The horizontal dashed lines represent the range within which 95% of the model trends occurred.

Figuur 2.21: Modellen versus observaties in de tropen. In rood het modelgemiddelde. De rondjes zijn verschillende datasets gebaseerd op ballonmetingen. Bron: John Christy.

Figuur 2.21 laat zien dat eigenlijk alle modelruns op alle hoogtes meer opwarming simuleren dan de weerballonnen meten. De ballonmetingen laten geen drie keer zo sterke opwarming zien op tien kilometer hoogte. En ook in absolute zin genereren de modellen veel meer opwarming dan de metingen aangeven wat nog beter te zien is in figuur 2.22:



Figuur 2.22: Modellen versus waarnemingen in de hogere troposfeer. In groen/blauw en paars drie verschillende datasets. In rood het modelgemiddelde. Bron: John Christy.

In 2012 organiseerden we een Climate Dialogue over dit onderwerp waar drie prominente onderzoekers rond deze kwestie aan meededen.²² Uiteindelijk waren twee opposanten, John Christy van de UAH-satellietreeks en Carl Mears van de RSS-reeks, het er in ieder geval over eens dat er een statistisch significant verschil bestaat tussen modellen en waarnemingen in de tropische troposfeer.

Over de redenen van het verschil waren de discussianten het echter helemaal niet eens.²³ John Christy, een bekende Amerikaanse klimaatscepticus, ziet in de afwezigheid van de *hot spot* het bewijs dat zowel de waterdamp- als de wolkenfeedback negatief zijn. Dit betekent dan dat het klimaat relatief ongevoelig is voor broeikasgassen. Mears stelt dat we eigenlijk nog geen idee hebben wat de oorzaak is van deze discrepantie tussen modellen en waarnemingen in de tropen maar dat het vermoedelijk een combinatie van factoren is.

Even terug naar de hoofdlijn van het verhaal. Het IPCC stelt dat het op basis van de overeenkomst tussen modellen en waarnemingen (met name die van de mondiale temperatuur, zie figuur 2.5) er vrijwel zeker van is dat het merendeel van de opwarming sinds 1950 door broeikasgassen komt. We hebben echter hier laten zien dat modellen de

²² <http://www.climatedialogue.org/the-missing-tropical-hot-spot/>

²³ Zie bijvoorbeeld tabel 7 in de samenvatting: <http://www.climatedialogue.org/wp-content/uploads/2014/10/Climatedialogue.org-summary-the-missing-tropical-hot-spot.pdf>

opwarming tussen 1915 en 1945 juist fors onderschatten en dat diezelfde modellen de opwarming sinds 1979 al behoorlijk lijken te overschatten. Wat rest is dus de periode 1975-2000 waarin het modelgemiddelde wel goed overeenkomt met de waarnemingen (zie figuur 2.5). De vraag is nu, gezien de problemen die de modellen in die twee andere periodes hebben, of die overeenkomst tussen modellen en waarnemingen niet ‘toevallig’ is. Of anders gezegd, misschien is de overeenkomst in die periode wel het gevolg van de ‘verkeerde’ combinatie van factoren. En inderdaad zijn er sterke aanwijzingen dat daar sprake van is. Ten eerste is het aannemelijk dat oscillaties in de oceanen zoals de Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) en de Pacific Decadal Oscillation (PDO) hebben bijgedragen aan de opwarming tussen 1975 en 2000.²⁴ Een paper van Kosaka en Xie (2013) suggereert zelfs dat meer dan de helft van de opwarming in deze periode het gevolg is van wat onderzoekers “interne variabiliteit” noemen.

Zoals we in figuur 2.9 echter lieten zien zal een gemiddelde van alle modellen de invloed van de AMO (en ook de PDO) niet oppikken. De modellen schrijven de temperatuurstijging in deze periode met name toe aan een combinatie van twee factoren: opwarming door broeikasgassen en afkoeling door aerosolen. Zoals we later in dit hoofdstuk nog uitgebreider zullen bespreken zijn er sterke aanwijzingen dat modellen ‘overgevoelig’ zijn, dat wil zeggen, dat ze het opwarmende effect van broeikasgassen overdrijven. Tegelijkertijd stapelen de bewijzen zich ook op dat modellen het afkoelende effect van aerosolen eveneens overdrijven.²⁵ Met die ‘foute’ combinatie van te sterke opwarming door broeikasgassen, te sterke afkoeling door aerosolen en het niet correct modelleren van de AMO en de PDO krijgen de modellen de mondiale opwarming tussen 1975 en 2000 min of meer correct. Maar om de verkeerde redenen dus.

Al met al reden genoeg om attributie zoals gedaan door het IPCC nog altijd met een flinke korrel zout te nemen. Zeker de stelligheid uit het vijfde IPCC-rapport (it is extremely likely etc.) is op basis van het hier gepresenteerde materiaal voorbarig. Modellen hebben grote moeite om zelfs de mondiale temperatuur in de 20e en begin 21e eeuw goed te simuleren. Dat is geen schande, want het klimaat is een extreem complex, chaotisch systeem. Maar dat zou onderzoekers heel bescheiden moeten houden in hoe goed we dat systeem begrijpen, laat staan kunnen simuleren.

Wolken en neerslag

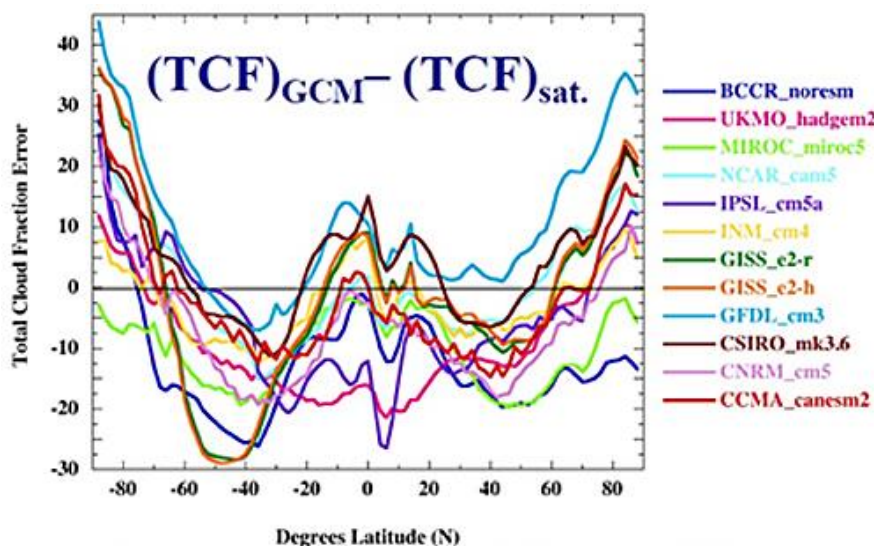
²⁴ Een goede paper hierover is Kosaka, Y, Xie S-P. 2013. Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling. *Nature*. 10.1038/nature12534 Discussie hierover op <https://judithcurry.com/2013/08/28/pause-tied-to-equatorial-pacific-surface-cooling/> en <http://www.staatvanhetklimaat.nl/2013/08/30/xie-reacts-on-curry/>

²⁵ Belangrijke papers in dit verband zijn onder andere Stevens, B. Rethinking the lower bound on aerosol radiative forcing. In press, *J.Clim* (2015) doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00656.1> en Malavelle, F. F. et al. *Nature* 546, 485–491 (2017).

Klimaatmodellen warmen gemiddeld 3,4 graden op bij een verdubbeling van de CO₂-concentratie. Die waarde heet de klimaatgevoeligheid en daarop komen we later terug. Het theoretische stralingseffect van de extra CO₂ bij een verdubbeling is echter 'slechts' ongeveer ruim een graad. De tweede en derde graad opwarming in modellen komen door versterkingseffecten, met name de waterdampfeedback en de wolkenfeedback. We hebben zojuist gezien dat de waterdampfeedback nog niet duidelijk tot uiting komt hoog in de tropische troposfeer.

Hetzelfde geldt eigenlijk voor de wolkenfeedback. Het effect van wolken is niet eenvoudig te bepalen. Grofweg geldt dat lage wolken netto voor afkoeling zorgen door weerkaatsing van zonlicht. Hoge wolken dragen bij aan het broeikaseffect door het invangen van infrarode straling. Netto koelt het mondiale wolkendeck op dit moment. Maar de grote vraag is wat er gaat gebeuren in de toekomst als de extra CO₂ tot verdere opwarming zal leiden. In de huidige generatie klimaatmodellen leidt dit tot extra opwarming, voornamelijk door een afname van lage bewolking.

Klimaatonderzoekers en het IPCC erkennen echter dat de simulatie van wolken nog een hele uitdaging is. Een van de redenen is dat wolken op ruimtelijke schalen voorkomen die kleiner zijn dan de roosterafmetingen van het model. Klimaatmodellen hebben de grootst mogelijke moeite om het de huidige wolkenbedekking op aarde te simuleren, zoals te zien is in de volgende figuur:



Figuur 2.23: Fout in wolkenfractie per breedtegraad. Helemaal rechts de Noordpool, helemaal links de Zuidpool. Positieve waarden betekent meer wolken in het model dan waargenomen vanuit satellieten.²⁶

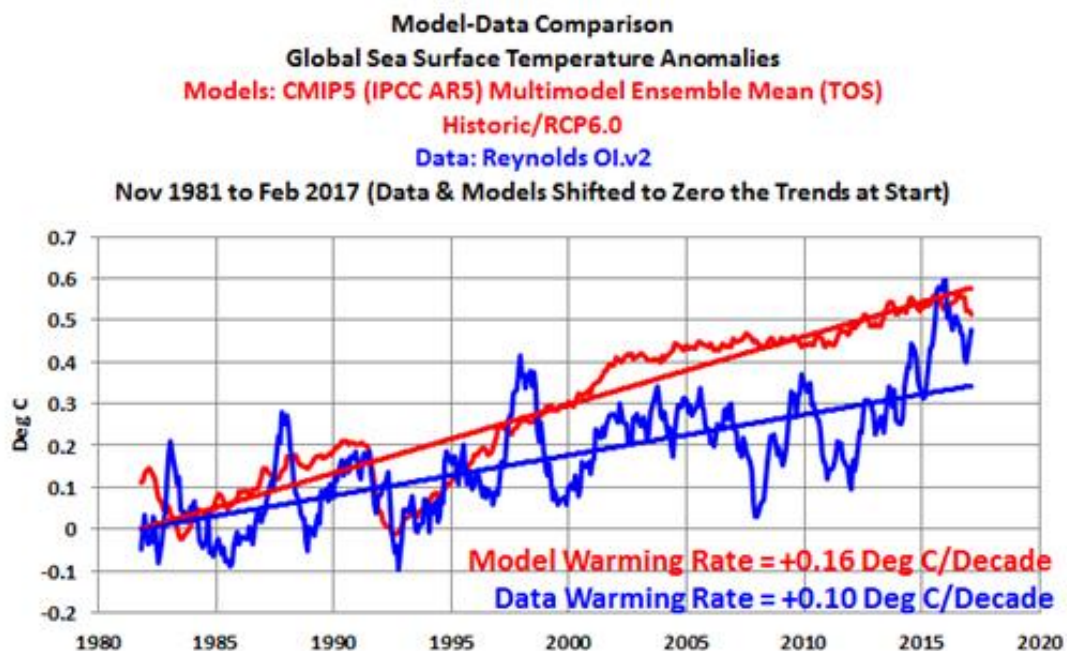
²⁶ Figuur afkomstig van Pat Frank en gepresenteerd door Fred Singer tijdens de AGU in 2013.

Ook het IPCC erkent in het vijfde rapport dat er nog geen duidelijke observationele bewijzen zijn voor een positieve wolkenfeedback. Het is onwaarschijnlijk dat dit probleem op korte termijn opgelost wordt. Als modellen zoveel moeite hebben met wolken is het niet verwonderlijk dat ze ook nog grote moeite hebben met neerslag. Een artikel in 2010 documenteerde dat het in vijf onderzochte modellen ongeveer twee keer zo vaak regende als in werkelijkheid en dat het tegelijkertijd veel lichter regende.²⁷

De oceanen

Even een kort resumé: klimaatmodellen overschatten dus de mondiale opwarming aan het oppervlakte en in de troposfeer en hoog in de tropische troposfeer, daar waar het effect van waterdamp goed zichtbaar zou moeten zijn, worden de verschillen zelfs nog groter. We kijken tenslotte nog even apart naar de oceanen. Vriend en vijand zijn het erover eens dat oceanen een sleutelrol spelen in het mondiale klimaat.

Het is in dat verband nuttig om eens te kijken in hoeverre modellen de opwarming van de oceanen (aan het oppervlak) simuleren in de laatste 35 jaar. Om te beginnen het mondiale plaatje:

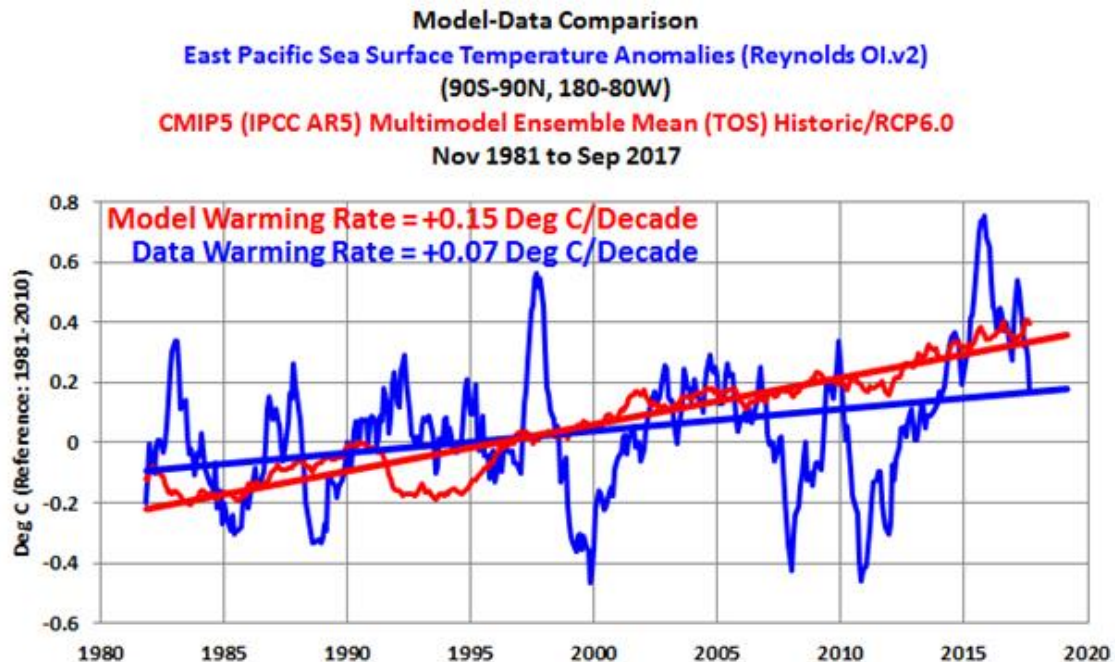


Figuur 2.24: Opwarming van de oceanen, modellen versus waarnemingen. Bron: Bob Tisdale.

²⁷ Stephens, G. L., T. L'Ecuyer, R. Forbes, A. Gettleman, J.-C. Golaz, A. Bodas-Salcedo, K. Suzuki, P. Gabriel, and J. Haynes (2010), Dreary state of precipitation in global models, J. Geophys. Res., 115, D24211, Doi:10.1029/2010JD014532

In lijn met het mondiale beeld warmen modellen de oceanen aanzienlijk sneller op dan in werkelijkheid gebeurt.

Ook interessant is de trend in het oostelijke deel van de Grote Oceaan. Die loopt van de Zuidpool tot de Noordpool en bestrijkt in totaal een derde van de wereldwijde oceanen.

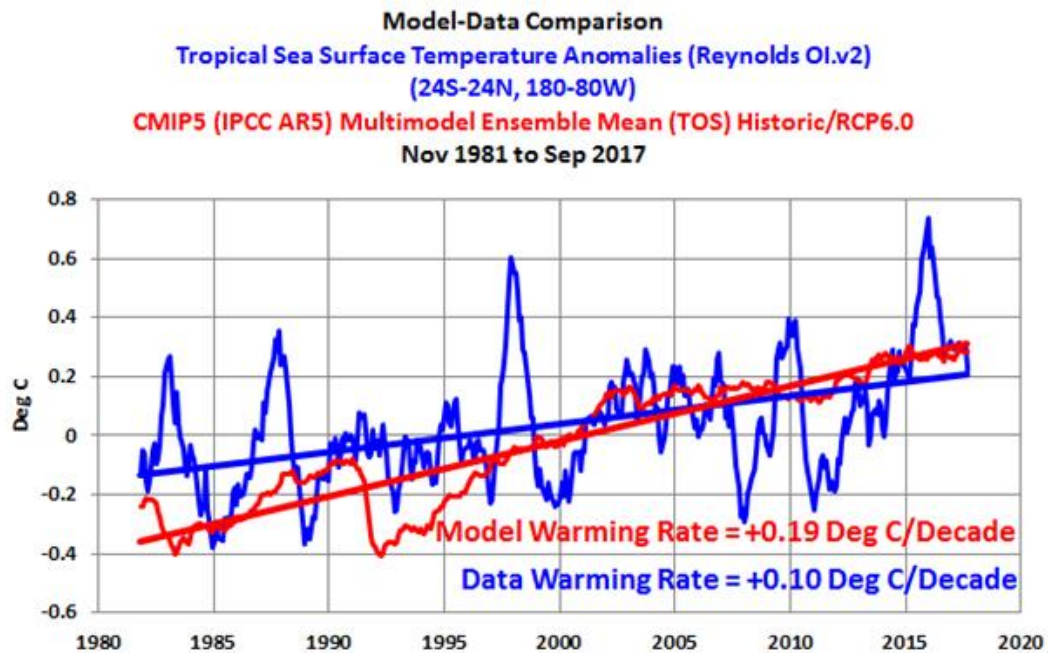


Figuur 2.25: Opwarming in het oostelijk deel van de Grote Oceaan, modellen versus waarnemingen.

De waargenomen opwarming in dit deel van de oceaan is slechts de helft van die in de modellen.²⁸ Hoe kan dit? Waarom slaat het versterkte broeikaseffect een derde van de wereldwijde oceanen over? Broeikasgassen zoals CO₂ worden door het IPCC 'well mixed' genoemd, ze mengen goed en snel waardoor de concentratie in de atmosfeer redelijk gelijkmatig verdeeld is. Er is dus geen reden om aan te nemen dat het versterkte broeikaseffect boven dit deel van de oceaan niet zou bestaan.

De tropen zijn extreem belangrijk voor het klimaat omdat zich daar de meeste energie ophoopt. Hoe goed simuleren modellen de oceanen in de tropen?

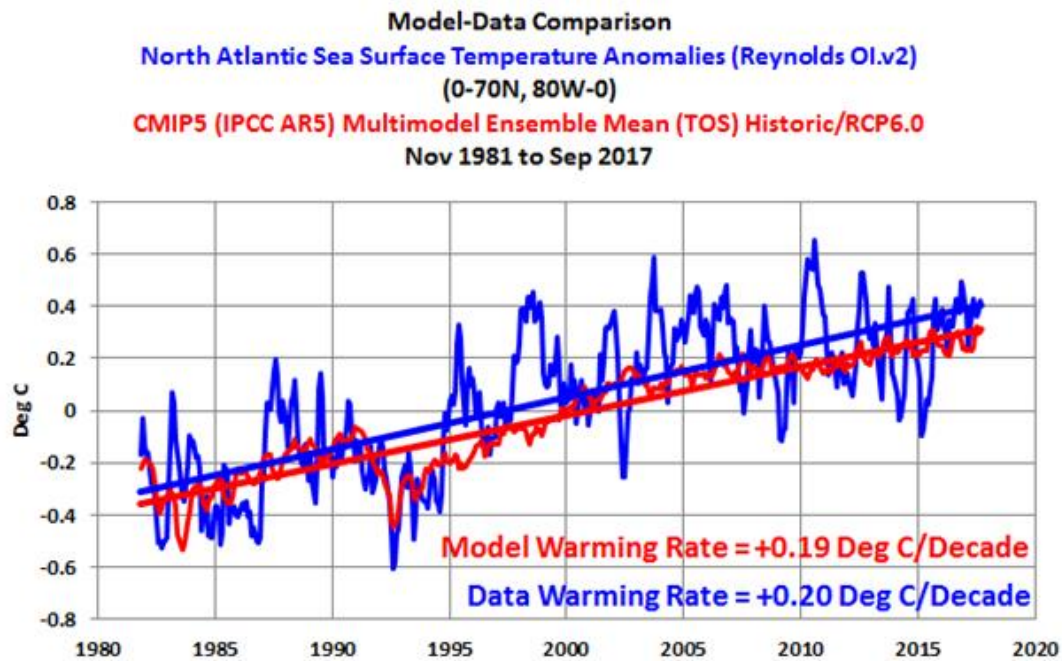
²⁸ Dankzij de krachtige El Nino in 2015 is er nu wel een lichte trend waarneembaar:
<https://bobtisdale.wordpress.com/2015/10/12/september-2015-sea-surface-temperature-sst-anomaly-update/>



Figuur 2.26: Opwarming in de tropische oceanen versus de modellen.²⁹

In de tropen simuleren de modellen gemiddeld twee keer zoveel opwarming als waargenomen in de laatste ruim dertig jaar. Dit is in lijn met het ontbreken van de hot spot hoog in de tropische troposfeer, dat we eerder bespraken. We hebben het hier over een gebied dat 46 procent van het mondiale oceaanoppervlak bestrijkt. De enige oceaan die de afgelopen dertig jaar sterker opwarmde dan de modellen is de Noord-Atlantische Oceaan:

²⁹ <https://bobtisdale.wordpress.com/2014/03/26/maybe-the-ipccs-modelers-should-try-to-simulate-earths-oceans/>



Figuur 2.27: Opwarming in de Noord-Atlantische Oceaan versus modellen.

De Noord-Atlantische Oceaan warmde de afgelopen dertig jaar verreweg het sterkst op van alle oceanen. Maar zoals we eerder al bespraken doorloopt de temperatuur in deze oceaan een quasi-periodieke cyclus van 60 tot 70 jaar: de Atlantic Multidecadal Oscillation (zie figuur 2.8). Sinds 1980 is de AMO van negatieve naar positieve waarden gegaan. En klimaatmodellen, zeker het modelgemiddelde niet, kunnen dit AMO-sigitaal nog niet simuleren (figuur 2.9).

Een artikel in *Science* uit 2008 suggereert dat de opwarming in de Noord-Atlantische Oceaan verband houdt met de Noord Atlantische Oscillatie (NAO).³⁰ De NAO index, berekend door het luchtdrukverschil tussen IJsland en de Azoren, heeft ook invloed op het weer in Europa.³¹ De auteurs in *Science* concludeerden: *'Whether the overall heat gain is due to anthropogenic warming is difficult to confirm because strong natural variability in this ocean basin is potentially masking such input at the present time.'*

In een begeleidend persbericht zei eerste auteur Susan Lozier: *'The take-home message is that the NAO produces strong natural variability' [...]. The simplistic view of global warming is that everything forward in time will warm uniformly. But this very strong natural variability is superimposed on human-caused warming. So researchers will need to unravel that natural variability to get at the part humans are responsible for.'*³²

³⁰ The Spatial Pattern and Mechanisms of Heat-Content Change in the North Atlantic, M. Susan Lozier, Susan Leadbetter, Richard G. Williams, Vassil Roussenov, Mark S. C. Reed, and Nathan J. Moore, *Science* 8 February 2008: 319

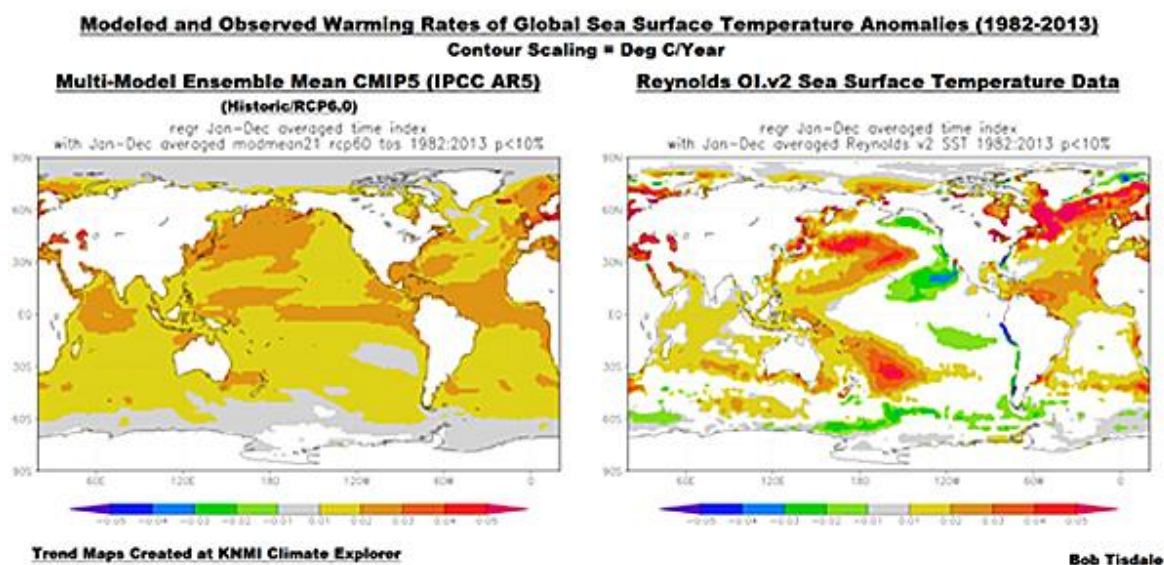
³¹ <http://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/publicatie/de-noord-atlantische-oscillatie>

³² <http://today.duke.edu/2008/01/naochanges.html>

Uitgerekend de Noord-Atlantische Oceaan is zeer bepalend voor het weer en het klimaat in Nederland en West-Europa. We komen hier dan ook zeker op terug als we in een later hoofdstuk inzoomen op het klimaat in Nederland.

Samenvattend

Modellen hebben grote moeite om temperatuurveranderingen in de oceanen sinds 1980 goed te simuleren. Figuur 2.28 maakt dat nogmaals inzichtelijk.



Figuur 2.28: Patroon van opwarming in de oceanen sinds 1982. Links de modellen, rechts de waarnemingen.

Modellen (links) warmen de oceanen vrij gelijkmatig op. De werkelijkheid (rechts) is veel gevarieerder. De C-vormige opwarming in het westelijke deel van de Grote Oceaan zijn 'overblijfselen' van El Niño's. Bob Tisdale, van wiens blog veel van bovenstaande figuren afkomstig zijn, suggereert dat we een periode achter de rug hebben waarin El Niño's 'dominant' zijn. De La Niña's brengen met name na de krachtige El Niño's van 1986-1988, 1997-1998 en 2015-2016 de temperatuur in het westelijk deel van de Grote Oceaan niet volledig terug tot normale waarden. Daarom is er een netto opwarming sinds 1982. Zolang modellen dit patroon niet weten te simuleren is het erg prematuur om te concluderen dat deze opwarming gedreven wordt door de gestegen broeikasgasconcentratie in de atmosfeer, aldus Tisdale.³³

³³ Zie <https://bobtisdale.wordpress.com/2014/03/26/maybe-the-ipccs-modelers-should-try-to-simulate-earths-oceans/> en <https://bobtisdale.wordpress.com/2014/04/06/el-nino-residuals-cause-the-c-shaped-warming-pattern-in-the-pacific/>

De sterke opwarming in de Noord-Atlantische Oceaan houdt zoals gezegd verband met de positieve fase van de AMO. Het is aannemelijk dat de AMO de komende dertig jaar weer terugkeert naar de negatieve fase en in dat geval zal het patroon van sterke opwarming langzaam weer verdwijnen. Dit zal ongetwijfeld gevolgen hebben voor de ontwikkeling van zowel het mondiale klimaat als dat in West-Europa.

Klimaatgevoeligheid

Klimaatmodellen overschatten de opwarming van het klimaat sinds 1979. Dat is precies de opwarming die volgens het IPCC juist met grote zekerheid is toe te schrijven aan broeikasgassen. Dat roept de vraag op of klimaatmodellen niet te 'gevoelig' zijn voor broeikasgassen.

Juist over die vraag woedt de laatste jaren een verhit debat, uitgebreid beschreven in het rapport *Een Gevoelige Kwestie*.³⁴ Dat debat is nog lang niet over en gezien het belang van klimaatgevoeligheid voor toekomstige opwarming is een samenvatting hier noodzakelijk. De klimaatmodellen die het IPCC in het vijfde IPCC-rapport gebruikte hebben een gemiddelde klimaatgevoeligheid van 3,4 graden Celsius. Dit is de zogenaamde evenwichtsklimaatgevoeligheid (Equilibrium Climate Sensitivity, ECS). Zoals het woord al zegt is dit de mondiale opwarming door een verdubbeling van de CO₂-concentratie nadat het klimaatsysteem weer in evenwicht is gekomen. Dat duurt vele eeuwen, want het duurt lang voordat oceaan en atmosfeer met elkaar in evenwicht zijn. Dus de ECS bepaalt de opwarming op de langere termijn en zegt ook iets over zeespiegelstijging.

Omdat ECS niet erg praktisch is vanuit beleidsperspectief voor de komende decennia is de laatste jaren een tweede vorm van klimaatgevoeligheid populair geworden: de overgangsklimaatgevoeligheid, ofwel de Transient Climate Response (TCR). Bij definitie is TCR de opwarming die je bereikt nadat je de CO₂-concentratie verdubbelt in 70 jaar tijd. TCR is dus relevanter voor de opwarming in de 21e eeuw. Het zegt weer minder over een mogelijke zeespiegelstijging.

Klimaatgevoeligheid is al vanaf het Amerikaanse Charney-rapport in 1979 een belangrijk begrip in de klimaatdiscussie. Immers, het geeft aan hoe snel de aarde zal opwarmen als CO₂ stijgt. In de tabel hieronder is te zien welke schattingen in de loop der tijd gepubliceerd zijn in diverse rapporten, waaronder die van het IPCC:

³⁴ <http://www.groenerekenkamer.nl/2365/een-gevoelige-kwestie/>

Tabel 1: Ontwikkeling van de schattingen voor evenwichtsklimaatgevoeligheid (ECS) in de afgelopen 35 jaar en voor de range van de overgangsklimaatgevoeligheid (TCR) sinds 2001

	ECS Range (°C)	ECS Beste schatting (°C)	TCR Range (°C)
Charney Report 1979	1,5–4,5	3,0	
NAS Report 1983	1,5–4,5	3,0	
Villach Conference 1985	1,5–4,5	3,0	
IPCC First Assessment 1990	1,5–4,5	2,5	
IPCC Second Assessment 1995	1,5–4,5	2,5	
IPCC Third Assessment 2001	1,5–4,5	Geen	1,1–3,1 ^a
IPCC Fourth Assessment 2007	2,0–4,5 ^b	3,0	1,0–3,0 ^c
IPCC Fifth Assessment 2013	1,5–4,5 ^d	Geen	1,0–2,5 ^d

^aRange voor AOGCMs. ^b17–83% range; voor AR4 waren de ranges niet duidelijk gedefinieerd in kanstermen. ^c10–90% range. ^dWaarschijnlijkheidsrange.

Tabel 2.1: Schattingen voor ECS en TCR in de afgelopen 35 jaar.

De range voor ECS was vrijwel altijd 1,5 tot 4,5 graden, met uitzondering van het vierde IPCC-rapport toen de ondergrens verhoogd werd tot 2 graden. De beste schatting voor ECS was 3 of 2,5 graden. TCR wordt vanaf het derde IPCC-rapport genoemd. De range in het vijfde IPCC-rapport was 1 tot 2,5 graden. Een beste schatting is nooit gegeven.

Simulaties met mondiale klimaatmodellen hebben altijd een sleutelrol gespeeld bij het bepalen van de ECS. Aanvankelijk simuleerden GCMs de oceanen nog niet maar tegenwoordig worden ze gebruikt met gekoppelde atmosfeer-oceaanmodellen (AOGCMs). AOGCMs hebben wisselende klimaatgevoeligheden maar het gemiddelde van alle door het IPCC gebruikte modellen ligt rond de 3,4°C, niet ver boven de waarde voor de beste schatting in de afgelopen 35 jaar. Zoals te zien is in de tabel viel de beste schatting voor ECS meestal ongeveer middenin de gegeven range. De TCR van klimaatmodellen is ook af te leiden uit modelsimulaties. Gemiddeld komen AOGCMs uit op een TCR van ongeveer 1,8°C.

Gezien het belang van klimaatgevoeligheid voor toekomstige opwarming is het opmerkelijk dat de range in de afgelopen 35 jaar niet kleiner is geworden. Een Brits artikel claimt dat halvering van de onzekerheidsmarge in TCR tien biljoen dollar zou kunnen opleveren omdat gerichter beleid in dat geval mogelijk zou kunnen worden.³⁵

De laatste jaren is het mogelijk geworden om op basis van observaties klimaatgevoeligheid te schatten. Die schattingen lijken de onzekerheid rond klimaatgevoeligheid te verkleinen. En bevatten nog eens goed nieuws ook, want de klimaatgevoeligheid lijkt aanzienlijk kleiner te zijn dan de waardes die al dertig jaar de ronde doen. De Britse onderzoeker Nic Lewis en

³⁵ Hope, C, 2015. The \$10 trillion value of better information about the transient climate response. Roy Soc Phil Trans A, 327, DOI: 10.1098/rsta.2014.0429

ikzelf publiceerden dit ‘goede nieuws’ in 2014 in een uitgebreid rapport.³⁶ Een vertaling verscheen bij de Groene Rekenkamer.³⁷

Wat is er precies aan de hand? Zoals gezegd werden schattingen voor klimaatgevoeligheid in het verleden vooral bepaald met behulp van klimaatmodellen. De laatste jaren is het ook mogelijk geworden om klimaatgevoeligheid te schatten aan de hand van observaties. We spreken dan over de periode sinds 1850, waarin er geleidelijk aan steeds meer temperatuurmetingen beschikbaar komen. De Britse onderzoeker Jonathan Gregory, die ook aan het vijfde IPCC-rapport meewerkte, publiceerde in 2002 een paper waarin hij deze observationele methode beschreef.³⁸

De auteurs beschreven het voordeel van hun nieuwe methode in hun samenvatting: ‘Omdat de methode geen gebruik maakt van de klimaatgevoeligheid zoals die wordt gesimuleerd door klimaatmodellen, voorziet zij in een onafhankelijke op waarnemingen gebaseerde afbakening van deze belangrijke parameter van het klimaatsysteem.’ De aanpak wordt ook wel de energiebalans-methode genoemd. Op het moment dat CO₂ toeneemt in de atmosfeer kan er minder infrarode straling ontsnappen naar het heelal. Er komt dus meer zonlicht binnen dan er aan infrarode straling uitgaat. Deze stralingsonbalans bovenin de atmosfeer is de drijvende kracht achter het versterkte broeikaseffect. Onderzoekers noemen deze onbalans ook wel stralingsforcering (radiative forcing). Het systeem zal ernaar streven om de balans te herstellen maar bij een hogere CO₂-concentratie kan dat alleen door de temperatuur omhoog te brengen zodat de atmosfeer efficiënter infrarode straling uitzendt. Het grootste deel van de extra energie in het systeem zal gaan zitten in de oceanen maar ook het oppervlak en de atmosfeer zullen warmer worden.

Op basis van behoud van energie geldt $ECS = F_{2 \times CO_2} \times \Delta T / (\Delta F - \Delta Q)$, waar ΔQ de verandering is in de warmteopname door de oceanen, ΔF de stralingsforcering en ΔT de verandering in de mondiale temperatuur. $F_{2 \times CO_2}$ is de stralingsforcering door een verdubbeling van de CO₂-concentratie.

Als de toename in forcering ΔF eindigt in een periode van 60 tot 80 jaar dan kan TCR op nagenoeg dezelfde wijze geschat worden: $TCR = F_{2 \times CO_2} \times \Delta T / \Delta F$. Het enige verschil tussen ECS en TCR is dus de term ΔQ , de energie die in de oceanen gaat zitten. Vandaar dat TCR weinig zegt over zeespiegelstijging en ECS wel.

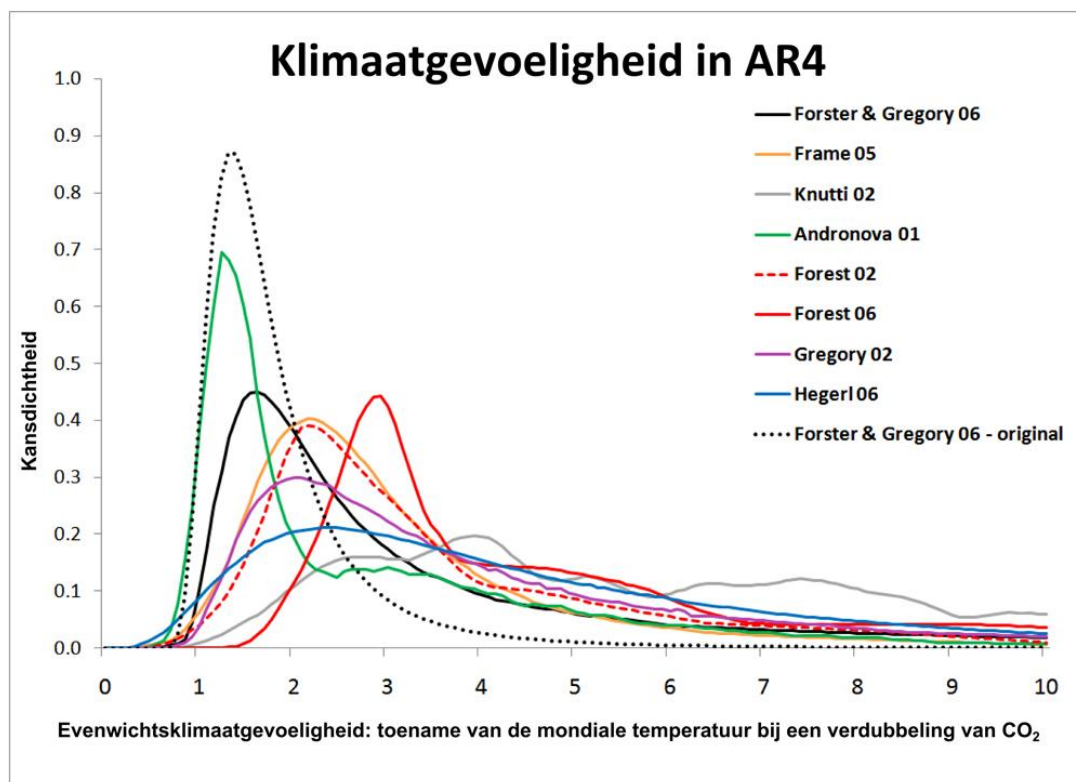
³⁶ A Sensitive Matter, How the IPCC buried evidence showing good news about global warming, Nic Lewis, Marcel Crok, GWPF 2014, <http://www.thegwpf.org/content/uploads/2014/02/A-Sensitive-Matter-Foreword-inc.pdf>

³⁷ <http://www.groenerekenkamer.nl/2365/een-gevoelige-kwestie/>

³⁸ Gregory, J.M., R.J. Stouffer, S.C.B. Raper, P.A. Stott, and N.A. Rayner, 2002. An observationally based estimate of the climate sensitivity. *J. Clim.*, 15: 3117–3121.

De methode is dus afhankelijk van betrouwbare en redelijk afgebakende schattingen van veranderingen in de mondiale stralingsforcering, de stralingsonbalans bovenin de atmosfeer (of diens tegenhanger de warmteopname van het klimaatsysteem, voornamelijk de oceanen) en de mondiale temperatuur. Maar ervan uitgaande dat dat is gebeurd, bestaat er weinig twijfel over dat deze benadering de meest robuuste schattingen voor ECS en TCR oplevert. Energiebalansschattingen zijn in feite de gouden standaard.

Gregory kwam met deze methode in 2002 tot een schatting voor ECS van $6,2^{\circ}\text{C}$ met een range van $1,1^{\circ}\text{C}$ tot oneindig en werd, afgebroken bij 10°C , getoond in een prominente figuur in het vierde IPCC-rapport (AR4):



Figuur 2.29: Replicatie van Figuur 9.20 uit het AR4 WGI-rapport. De gestippelde zwarte lijn is toegevoegd en laat de oorspronkelijke resultaten zien uit de paper Forster/Gregory (2006).

In het rapport *A Sensitive Matter* is in detail beschreven dat vrijwel al deze studies problematisch zijn. De oorspronkelijke Gregory studie gebruikte onder andere een verkeerde dataset voor de oceanen en een veel te lage forcering. Vooral die kleine forcering leidt tot de zeer 'lange staart' (fat tail) in de waarschijnlijkheidsverdeling in figuur 18. Nadat Lewis deze fouten gecorrigeerd had zakte de beste schatting voor ECS van $6,2^{\circ}\text{C}$ tot $1,8^{\circ}\text{C}$. Ook verdwijnt de *fat tail* grotendeels.³⁹

³⁹ <http://judithcurry.com/2011/07/07/climate-sensitivity-follow-up/>

De enige echt goede observationele schatting in het vierde rapport was een studie van Forster en opnieuw Gregory uit 2006. Hun beste schatting was 1,6°C, de waarschijnlijkheidsrange was 1,2–2,3°C en 95% van de waarschijnlijkheidsverdeling lag in de range 1,0–4,1°C. Maar deze studie is uiteindelijk op foutieve wijze in het IPCC-rapport terecht gekomen. De oorspronkelijke, veel beter afgebakende *probability density function* (pdf) is weergegeven met een stippellijn in figuur 18.⁴⁰

Kortom in het vierde rapport had het IPCC al tot de conclusie kunnen komen dat goede observationele schattingen uitkomen op veel lagere waarden voor klimaatgevoeligheid (1,6–1,8°C) dan de klimaatmodellen. Het tegenovergestelde gebeurde echter, het IPCC stelde voor het eerst de ondergrens voor ECS naar boven bij van 1,5°C tot 2°C.

Het goede nieuws in het vijfde IPCC-rapport

Zoals wij beschrijven in het rapport Een Gevoelige Kwestie bevat het vijfde IPCC-rapport uitermate goed nieuws over klimaatgevoeligheid. Dat goede nieuws komt uit onverwachte hoek. Uit de formule voor ECS ($ECS = F_2 \times CO_2 \times \Delta T / (\Delta F - \Delta Q)$) kunt u opmaken dat ECS zal dalen als ΔF stijgt. Welnu, dat is precies wat er tussen het vierde en vijfde rapport gebeurde en dit had deels te maken met de immer stijgende CO₂-concentratie maar vooral met nieuwe inzichten over het effect van aerosolen.

Onderzoekers gaan ervan uit dat aerosolen – vanwege hun afkoelende werking op het klimaat – een deel van de opwarming door broeikasgassen teniet hebben gedaan. Het effect van aerosolen is echter de grootste onzekerheid bij onze schattingen voor de totale antropogene forcering. Kennis over aerosolen is daarom van cruciaal belang voor schattingen van klimaatgevoeligheid.

Op dit vlak heeft het vijfde IPCC-rapport (AR5) uitstekend nieuws voor ons in petto: de schattingen voor het afkoelende effect van aerosolen zijn aanzienlijk kleiner dan die in AR4. Er is weinig verandering geweest in de emissies van aerosolen, maar de schatting voor aerosolforcering is flink naar beneden bijgesteld, van –1,3 W/m² in AR4 tot –0,9 W/m² in AR5. Dit is puur een kwestie van wat het IPCC ‘verbeterd inzicht’ noemt. Als gevolg hiervan is de totale antropogene forcering flink toegenomen, tot 2,29 W/m². De Summary for Policy Makers bracht dit goede nieuws: De beste schatting voor de totale antropogene stralingsforcering in 2011 is 43% hoger dan de gerapporteerde waarde in AR4 voor het jaar 2005.

In onderstaande figuur is de ECS berekend op basis van gegevens uit het IPCC-rapport zelf:

⁴⁰ Zie voor meer details het rapport A Sensitive Matter, blz. 24-27 en <http://judithcurry.com/2011/07/07/climate-sensitivity-follow-up/>

Energy budget method: gold standard

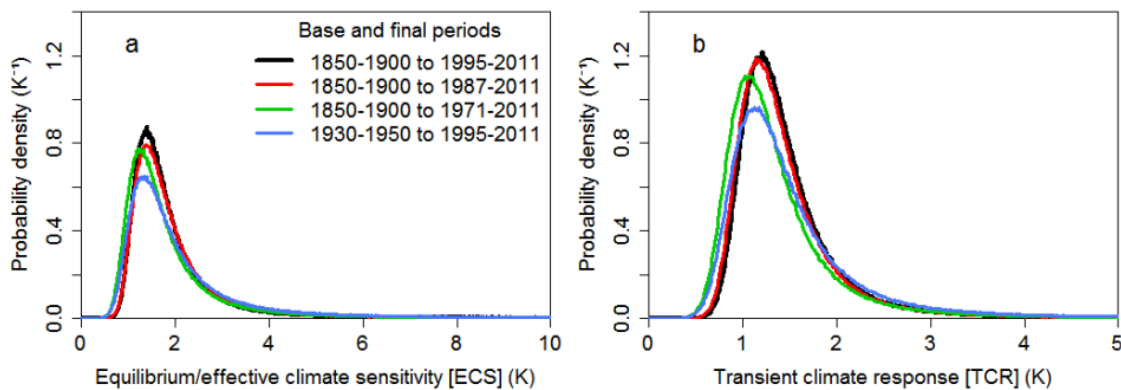
$$\Delta T$$

$$ECS = \frac{\Delta T}{(\Delta F - \Delta Q)} \times F_{2\times CO_2} \quad \Delta = \text{change in}$$

- Periods 1850-1900 and 2011
- $F_{2\times} = 3.71 \text{ W/m}^2$
- $\Delta T = 0.8 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\Delta F = 2.29 \text{ W/m}^2$
- $\Delta Q = 0.5 \text{ W/m}^2$
- **$ECS = 0.8 / (2.29 - 0.5) \times 3.71 = 1.66^\circ\text{C}$**

Figuur 2.30: ECS berekend op basis van gegevens uit het vijfde IPCC-rapport.

Zo kom je op een ECS van $1,66^\circ\text{C}$, veel lager dan de gemiddelde klimaatgevoeligheid van $3,4^\circ\text{C}$ van klimaatmodellen. Nu is bovenstaande voorbeeld alleen maar een illustratie zonder onzekerheidsmarges. Nic Lewis en Judith Curry, een Amerikaanse onderzoeker die het voorwoord bij ons rapport schreef, deden deze exercitie later in 2014 nog eens uitgebreid over en publiceerden het resultaat in *Climate Dynamics*.⁴¹ De resulterende waarschijnlijkheidsverdelingen voor ECS en TCR zien er als volgt uit:



Figuur 2.31: observationele schattingen voor ECS en TCR op basis van gegevens uit het vijfde IPCC-rapport.

Voor wie graag cijfers wil zien hier een uitgebreide tabel waarin de resultaten van deze studie vergeleken worden met eerdere studies en assessments⁴²:

⁴¹ Lewis N., Curry J.A., 2014: The implications for climate sensitivity of AR5 forcing and heat uptake estimates. *Clim. Dyn.* DOI 10.1007/s00382-014-2342-y

⁴² <http://judithcurry.com/2014/09/24/lewis-and-curry-climate-sensitivity-uncertainty/>

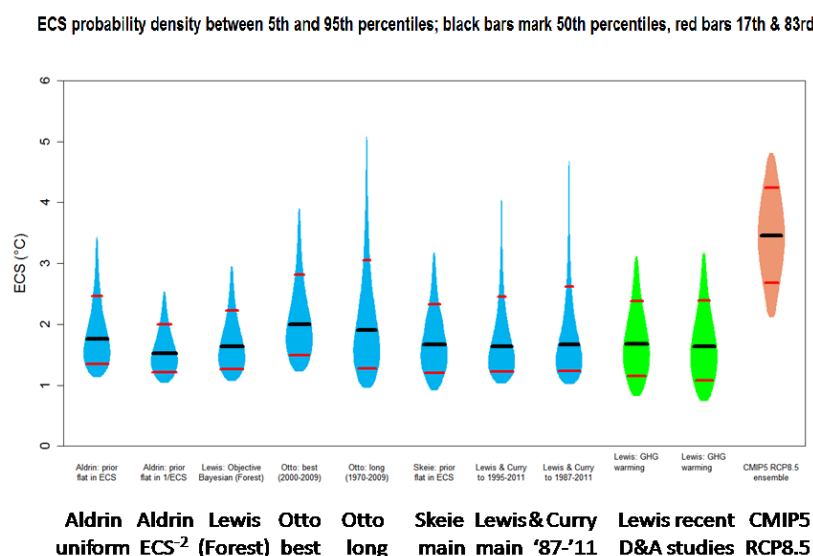
Base period	Final period	ECS best estimate [°C]	ECS 17-83% range [°C]	ECS 5-95% range [°C]	TCR best estimate [°C]	TCR 17-83% range [°C]	TCR 5-95% range [°C]
1859–1882	1995–2011	1.64	1.25–2.45	1.05–4.05	1.33	1.05–1.8	0.9–2.5
1850–1900	1987–2011	1.67	1.25–2.6	1.0–4.75	1.31	1.0–1.8	0.85–2.55
1850–1900	1971–2011	1.56	1.1–2.6	0.9–5.40	1.22	0.9–1.8	0.75–2.7
1930–1950	1995–2011	1.72	1.15–3.15	0.9–9.45	1.33	0.95–2.0	0.8–3.3
<i>Relevant other ranges:</i>							
Otto et al: 2000–09 data		2.0	1.5–2.8	1.2–3.9	1.33	1.05–1.65	0.9–1.95
Otto et al: '70– 09 data		1.9	1.3–3.05	0.95–5.0	1.36	0.95–1.9	0.75–2.55
AR5 (Chapter 10)			1.5–4.5	1–NA		1–2.5	NA–3
Lewis & Crok report		1.75	1.25–3.0		1.35	1–2	

Tabel 2.2: Resultaten van Lewis/Curry 2014 vergeleken met Otto et al., het Lewis/Crok-rapport en AR5.

Lewis beschouwt de vetgedrukte cijfers als de beste schattingen. Met 1,64°C ligt de beste schatting voor ECS tegen de ondergrens van het IPCC van 1,5°C aan en ver beneden het gemiddelde van 3,4 van klimaatmodellen. Ook de TCR van 1,33°C is aanzienlijk lager dan de 1,8°C van klimaatmodellen. En de bovengrens voor de waarschijnlijkheidsrange (likely range, 17-83%) voor TCR is 1,8°C, gelijk dus aan het gemiddelde van klimaatmodellen.

Bij de observationele schattingen gaan Lewis en Curry uit van de forcering van het IPCC zelf. Zoals we eerder zagen in figuur 2.4 worden de forceringen volledig gedomineerd door broeikasgassen en aerosolen. Bij de observationele schattingen voor ECS en TCR ga je er dus vanuit dat vrijwel alle opwarming sinds 1850 door de mens komt. Maar zelfs met deze conservatieve aanname dat vrijwel alle opwarming door CO₂ en andere broeikasgassen komt, kom je uit op lage schattingen voor ECS en TCR.

Er is inmiddels een hele reeks aan studies verschenen met observationele schattingen voor klimaatgevoeligheid, waarvan enkele gepubliceerd door Lewis. Lewis vatte de resultaten daarvan samen in onderstaande zogenaamde *violin plots*:



Figuur 2.32: recent gepubliceerde observationele schattingen voor ECS (in blauw en groen) versus de spreiding in klimaatmodellen (in rood). Bron: Lewis.⁴³

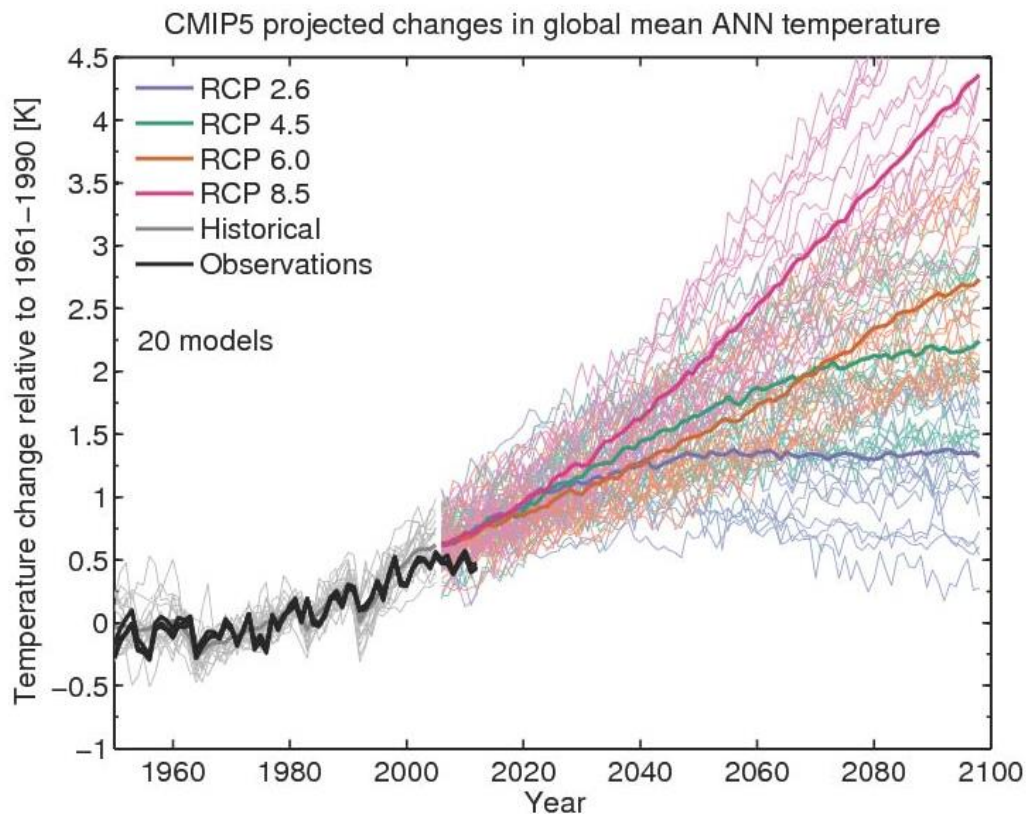
De boodschap is duidelijk, observationele schattingen liggen aanzienlijk lager dan modelschattingen. IPCC-rapporten leunen altijd sterk op modelsimulaties. Lewis en ik opperen in ons rapport dat het IPCC daarom flink in de maag zat met de lagere observationele schattingen. Hoe loste het IPCC dit dilemma op? Het besloot geen beste schatting voor ECS te geven – terwijl dat in vierde rapport nog 3 graden Celsius was – maar wel de ondergrens, die in AR4 verhoogd was tot 2°C weer te verlagen tot 1,5°C om daarmee recht te doen aan de observationele schattingen die tussen de 1,5 en de 2°C liggen. Het IPCC gaf dit echter nauwelijks aandacht. In de Summary for Policy Makers werd het ontbreken van een beste schatting voor ECS slechts vermeld in een voetnoot. Die stelde: ‘Er kan nu geen beste schatting voor de evenwichtsklimaatgevoeligheid gegeven worden vanwege een gebrek aan overeenstemming over de waardes tussen verschillende bewijzen en studies.’

Dit is een legitieme conclusie. In het rapport Een Gevoelige Kwestie stellen wij echter dat het IPCC beleidsmakers veel duidelijker had moeten attenderen op het grote verschil tussen observationele en modelschattingen. Want in de rest van het rapport slaat het IPCC vervolgens aan het rekenen met de modellen en wordt al spoedig ‘vergeten’ dat deze modellen weleens ‘overgevoelig’ kunnen zijn. Het zijn deze modellen waarmee prognoses worden gedaan voor 2100. Zowel mondiaal als voor Nederland in de KNMI-scenario’s. Nergens vermeldt het IPCC (of het KNMI) een disclaimer dat die scenario’s tot stand zijn gekomen met modellen die een aanzienlijk hogere klimaatgevoeligheid hebben dan de observaties suggereren.

⁴³ De ‘groene’ schattingen zijn gebaseerd op detectie en attributie-studies. Meer hierover is te lezen in de publicatie: Lewis, N, 2015. Implications of recent multimodel attribution studies for climate sensitivity. Clim Dyn DOI 10.1007/s00382-015-2653-7

De toekomst

In de media verschijnen geregeld berichten dat de internationaal afgesproken tweegradengrens niet meer haalbaar is. Hoe komt men tot die conclusie? Dat kunnen we fraai illustreren aan de hand van een figuur uit het vijfde IPCC-rapport.



Figuur 2.33: Projecties van de mondiale temperatuur op basis van vier scenario's. Bron: IPCC.

De emissies zitten momenteel boven het hoogste scenario, RCP8.5. De concentraties zitten echter ergens tussen RCP4.5 en RCP6.0 in. Het startjaar voor deze scenario's was 2005 en het is nog te vroeg om te stellen welk scenario qua concentraties uiteindelijk het meest realistisch zal zijn. Eerder dit hoofdstuk bespraken we dat RCP8.5 een onrealistische terugkeer naar steenkool inhoudt en daarom ook als scenario niet realistisch zal zijn.

Deze figuur heeft 1961-1990 als referentieperiode. Die periode was 0,3 graden warmer dan 1850-1900, de periode die het IPCC beschouwt als 'pre-industrieel'. De tweegradengrens ligt in deze grafiek dus bij 1,7°C. Met name het hoogste scenario (RCP8.5) gaat al binnen nu en 25 jaar over de tweegradengrens heen. Dit is de voornaamste reden dat het halen van de tweegradengrens onwaarschijnlijk wordt geacht.

In het publieke debat over klimaatverandering en met name het halen van de doelstelling uit het Parijs klimaatakkoord ontstaat al snel de neiging om de hierboven getoonde

modelskenario's letterlijk te nemen. In dit hoofdstuk hebben we diverse argumenten aangedragen waarom dat voorbarig en onverstandig is. Het gaat ons uiteindelijk allemaal om het 'echte' klimaat buiten en niet om het virtuele klimaat in de GCMs.

Klimaatmodellen zijn een stuk gevoeliger voor broeikasgassen dan de observaties suggereren. Is het niet mogelijk om een projectie te doen op basis van de observationele schattingen voor bijvoorbeeld de TCR? Dat is inderdaad mogelijk. In het rapport Een Gevoelige Kwestie publiceerden we deze tabel:

Tabel 3: Opwarming tot aan het eind van de 21e eeuw

Scenario	Opwarming in 2081–2100 op basis van:				CMIP5/TCR ratio t.o.v.
	de CMIP5-modellen		een TCR van 1,35°C		
	°C t.o.v.	°C t.o.v.	°C t.o.v.	°C t.o.v.	
Referentie	1850–1900	2012*	1850–1900*	2012	2012
RCP2.6	1,6	0,8	1,0	0,2	3,4×
RCP4.5	2,4	1,6	1,6	0,8	2,0×
RCP6.0	2,8	2,0	2,0	1,2	1,7×
RCP8.5	4,3	3,5	2,9	2,1	1,7×

Tabel 2.3: Projecties op basis van observationele schattingen voor TCR versus de modelprojecties uit het vijfde IPCC-rapport.

De observationeel bepaalde TCR gekoppeld aan de forcering uit de scenario's leiden bij RCP4.5 en RCP6.0 rond 2100 tot respectievelijk 1,6 en 2,0°C aan opwarming.⁴⁴ In beide gevallen bereiken we de twee gradengrens dus pas eind deze eeuw. Bij RCP8.5 gaan we wel over de twee graden heen, maar wel veel later dan de klimaatmodellen van het IPCC suggereren. En RCP8.5 is dus een op energie-technische en economische gronden onwaarschijnlijk scenario.

Observationele schattingen voor TCR en ECS kunnen dus enorme consequenties hebben voor ons klimaatbeleid. De opwarming zal vermoedelijk veel minder snel verlopen dan de scenario's van het IPCC aangeven. Paniekvoetbal is dus niet nodig.

Onze analyse in dit hoofdstuk heeft ook consequenties voor de KNMI-scenario's. Zoals gezegd is RCP8.5 een onwaarschijnlijk scenario wat betekent dat de opwarming in het WH en WL-scenario ook als onwaarschijnlijk moet worden betiteld. Want het is een combinatie van een onrealistisch snelle toename van broeikasgassen in de atmosfeer gekoppeld aan 'overgevoelige' klimaatmodellen. De GH en GL-scenario's (die gebaseerd zijn op RCP4.5) zijn wel te beschouwen als een soort business as usual scenario. In RCP4.5 blijven de wereldwijde emissies van broeikasgassen tot 2040-2050 nog stijgen om vervolgens daarna te gaan dalen. Op basis van observationele schattingen voor klimaatgevoeligheid zou de

⁴⁴ We houden rekening met de zogenaamde 'heat in the pipeline' die het gevolg is van de energie die nu al in de oceanen is gaan zitten. Deze bijdrage is overigens vrij gering, zo'n 0,15°C in 2100.

wereldwijde opwarming in 2050 volgens dit scenario in de orde van 0,4°C kunnen liggen. Aanzienlijk lager dus dan de 1,0 graden in het KNMI-scenario dus.

Goed of slecht?

Tot slot, zijn klimaatmodellen goed of slecht? Het antwoord op die vraag is subjectief. Zoals onze voorbeelden duidelijk hebben gemaakt hebben modellen nog de grootste moeite om zelfs maar het recente klimaat enigszins realistisch te simuleren. Klimaat is iets van lange tijdschalen en om die reden zijn modellen ook nagenoeg niet te falsificeren op een termijn van tien tot twintig jaar. Het is onduidelijk wat de 'onzekerheidsmarge' rond het modelgemiddelde precies inhoudt. Hoe meer runs je doet, hoe groter de 'onzekerheidsmarge' lijkt te worden en hoe groter dus de kans dat de waarnemingen 'consistent zijn' met de modellen.

Er bestaat geen verificatie- en validatie-protocol voor klimaatmodellen. Er is geen set van criteria waarop klimaatmodellen stuk voor stuk getoetst worden. De modellen zijn continu in ontwikkeling. Het IPCC claimt in vrijwel ieder rapport dat er 'vooruitgang' is geboekt ten opzichte van het vorige rapport. Maar zijn de modellen goed genoeg en goed genoeg waarvoor? Die vraag wordt eigenlijk niet gesteld, niet door het IPCC en niet door het KNMI. Men lijkt te denken: het is het enige en het 'beste' wat we hebben dus we moeten het er maar mee doen, zonder deze gedachte overigens expliciet te maken.

Dikwijls komt het er bij discussies over klimaatmodellen op neer dat voor de een het glas halfvol is en voor de ander halfleeg. Wij zou op dit moment echter zeggen dat het glas slechts een kwart vol is. Er zijn te veel fundamentele problemen om zelfs maar het klimaat van de afgelopen eeuw enigszins realistisch te simuleren.

Het is op basis van de tekortkomingen van de modellen op mondiale schaal zeer de vraag of je überhaupt regionale scenario's moet draaien. Maar goed, dat gebeurt en in de volgende hoofdstukken zullen we bekijken wat dat oplevert voor Nederland.

3. Klimaatverandering in Nederland

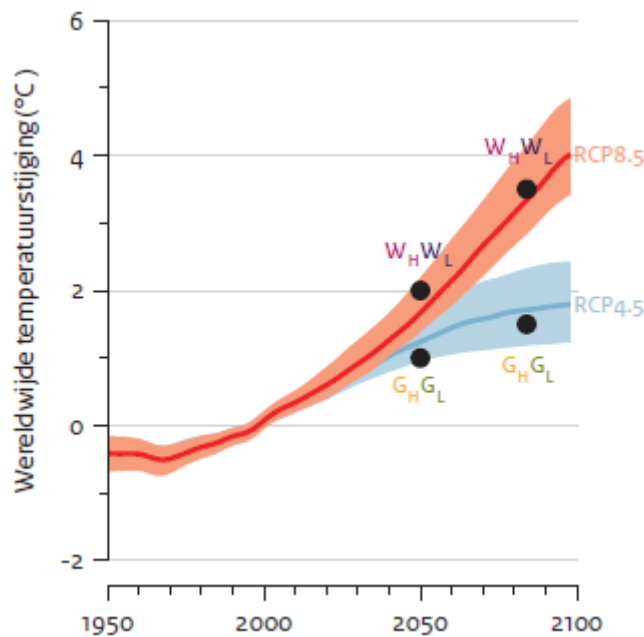
Wat staat ons in Nederland de komende eeuw te wachten aan klimaatverandering? Met een onderwerp dat internationaal zo hoog op de agenda staat wil iedereen dat natuurlijk graag weten. Nederland doet al eeuwenlang aan 'klimaatadaptatie', met name in de omgang met de zee. Nederland is nu dankzij welvaart en technologie veiliger dan ooit, zoveel is wel zeker, maar uiteraard zijn we ook kwetsbaar. Grote delen van met name de Randstad liggen beneden zeeniveau en overstromingen vanuit een van de rivieren dan wel de zee zouden dan ook voor grote schade en voor veel slachtoffers kunnen zorgen.

Valt er iets te zeggen over de veranderingen van ons klimaat in de komende eeuw? Die vraag heeft het KNMI feitelijk met 'ja' beantwoord want anders zouden de klimaatscenario's niet gemaakt zijn. Toch?

In de volgende hoofdstukken zoomen we in op de veranderingen in het Nederlandse klimaat en dat van de ons omringende landen in de afgelopen eeuw en op de veranderingen voor de toekomst die uit de scenario's komen rollen.

Het KNMI heeft in 2006 voor het eerst klimaatscenario's gemaakt. In 2014 is die exercitie herhaald met de zogenoemde KNMI Next scenario's. Aangezien de toekomstverwachtingen in de scenario's van 2006 en 2014 niet zo veel van elkaar verschillen beperken we ons hier tot de klimaatscenario's uit 2014.

Tot nu toe hebben we vooral aandacht geschonken aan de mondiale klimaatveranderingen en hoe goed of slecht de mondiale klimaatmodellen de recente periode simuleren. Figuur 3.1 toont de klimaatprognoses voor Nederland ten opzichte van de mondiale scenario's uit het vijfde IPCC-rapport uit 2013. Het KNMI heeft ervoor gekozen om twee van de wereldwijde scenario's eruit te lichten, het gematigde RCP4.5- en het tamelijk extreme RCP8.5-scenario.



Figuur 3.1: Klimaatscenario's van het KNMI voor 2050 en 2085 ten opzichte van de mondiale scenario's van het IPCC. Twee uitstootscenario's: RCP4.5 (stabilisatie) en RCP8.5 (hoge uitstoot). Gekleurde banden: spreiding tussen klimaatmodellen; lijnen: gemiddelde over de modellen; Punten: wereldwijde temperatuurstijging zoals toegepast in de KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland.⁴⁵

De zwarte stippen in de figuur zijn dus niet de uitkomsten van de KNMI-scenario's, het is de selectie van de modellen die als uitgangspunt dienden voor de KNMI-scenario's. Het is nog niet zo eenvoudig om erachter te komen welke stappen nu door het KNMI zijn genomen om uitgaande van een selectie van de mondiale modellen te komen tot de regionale scenario's voor Nederland.

De KNMI-brochure over de klimaatscenario's schrijft daarover het volgende:

“Voor de scenario's zijn de uitkomsten van alle IPCC-modelberekeningen geanalyseerd. Daarnaast zijn er additionele modelberekeningen met de KNMI-klimaatmodellen EC-Earth en RACMO2 gemaakt, waarbij in totaal meer dan 1200 jaar aan klimaatdata voor Nederland is geproduceerd met een ongekend hoge ruimtelijke resolutie van ongeveer 10 km. Deze resolutie is 4 keer zo hoog als in de KNMI'06 scenario's.

Op basis van de IPCC-modelberekeningen zijn er voor elk van de vier KNMI'14-scenario's 8 modelberekeningen geselecteerd. Hierbij is gebruik gemaakt van het scenario-onderscheid op basis van wereldwijde opwarming en verandering in circulatiepatroon. Samen bestrijken deze $4 \times 8 = 32$ berekeningen het relevante gedeelte van de veranderingen volgens de andere IPCC-modelberekeningen.

De beschikbaarheid van meerdere berekeningen voor elk scenario maakt het bovendien

⁴⁵ http://www.klimaatscenarios.nl/kerncijfers/scenario_2030.html

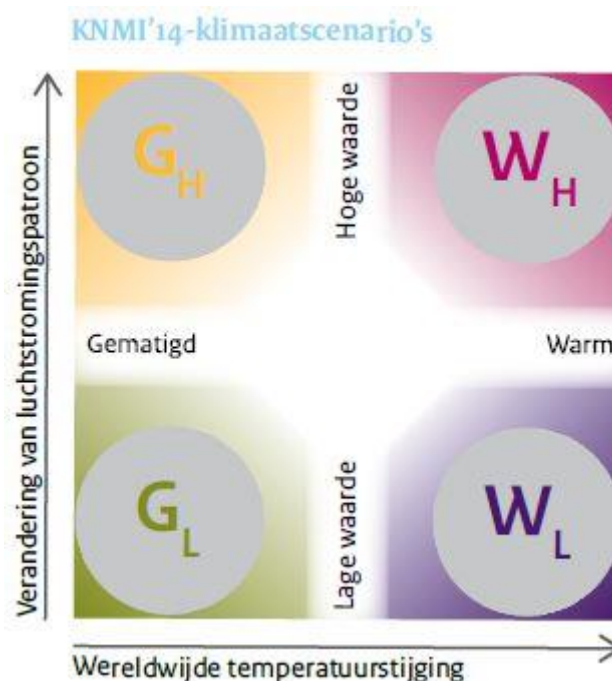
mogelijk klimaatverandering (het signaal) te onderscheiden van de natuurlijke variaties (de ruis). Naast deze modelberekeningen is voor een aantal indicatoren, bijvoorbeeld voor neerslagextremen, gebruik gemaakt van aanvullende informatie uit waarnemingen en zeer hoge resolutie modellen. Voor gedetailleerde informatie over de gevolgde methode wordt verwezen naar het wetenschappelijk rapport.”⁴⁶

Het wetenschappelijke achtergronddocument geeft de volgende uitleg:

“Also the EC-Earth model (Hazeleger et al. 2012) participated to the CMIP5 project, making available 8 projections for each of the RCPs 4.5 and 8.5. In addition, KNMI and other EC-Earth members executed another set of 8 projections for the RCP8.5 scenario, using the same model version and enlarging the ensemble size for this configuration.

The 8 EC-Earth members running the RCP8.5 scenario that have been submitted to CMIP5 have been further downscaled using the regional climate model RACMO2 (Van Meijgaard et al. 2008). This model has been set-up at a grid spacing of roughly 10km. Generally daily outputs have been retrieved from these experiments, and used for analysing regional climate responses, and stratified along the lines as explained in section 2.3.”

Het RCP8.5-scenario heet bij de KNMI-scenario's "W" van warm en het RCP4.5-scenario heet "G" van gematigd. Dus voor KNMI Next zijn twee in plaats van de mondiale vier scenario's gebruikt. Het KNMI komt uiteindelijk wel tot vier scenario's omdat nog extra onderscheid gemaakt wordt tussen hoge en lage natuurlijke variaties (H en L). Gecombineerd geeft dit dus de vier combinatie G_L , G_H , W_L en W_H . Visueel als volgt weergegeven:



Figuur 3.2: De vier scenario's van het KNMI.

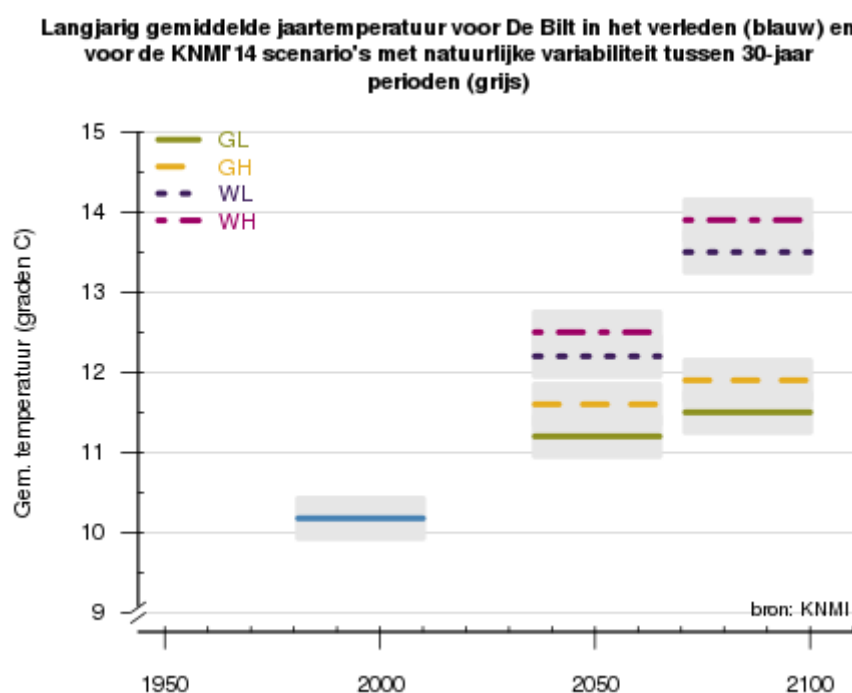
⁴⁶ KNMI, 2014: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective. Scientific Report WR2014-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands. www.klimaatscenario's.nl

De keuze om naast G en W ook gebruik te maken van H en L is als volgt ingegeven:

“Net als voor de KNMI’06-scenario’s, is ook nu de verandering van het luchtstromingspatroon gehanteerd als tweede kenmerk voor het scenario-onderscheid. Sommige klimaatmodellen berekenen voor de winter een kleinere opwarming boven de Noord-Atlantische Oceaan en een grotere opwarming in de subtropen vergeleken met andere klimaatmodellen. Het temperatuurverschil boven Europa dat hieruit volgt, veroorzaakt in die modellen in de winter vaker westenwinden, die in Nederland leiden tot zacht en nat weer. Voor de zomer berekenen sommige modellen een kleinere opwarming boven de Noord-Atlantische Oceaan en een grotere opwarming in Centraal-Europa. Dit veroorzaakt meer oostenwinden, die in Nederland warm en droog weer met zich meebrengen.”

Op de verandering van de luchtstromingspatronen komen we later in dit hoofdstuk uitgebreid terug. Die spelen namelijk een belangrijke rol bij temperatuurveranderingen in Nederland.

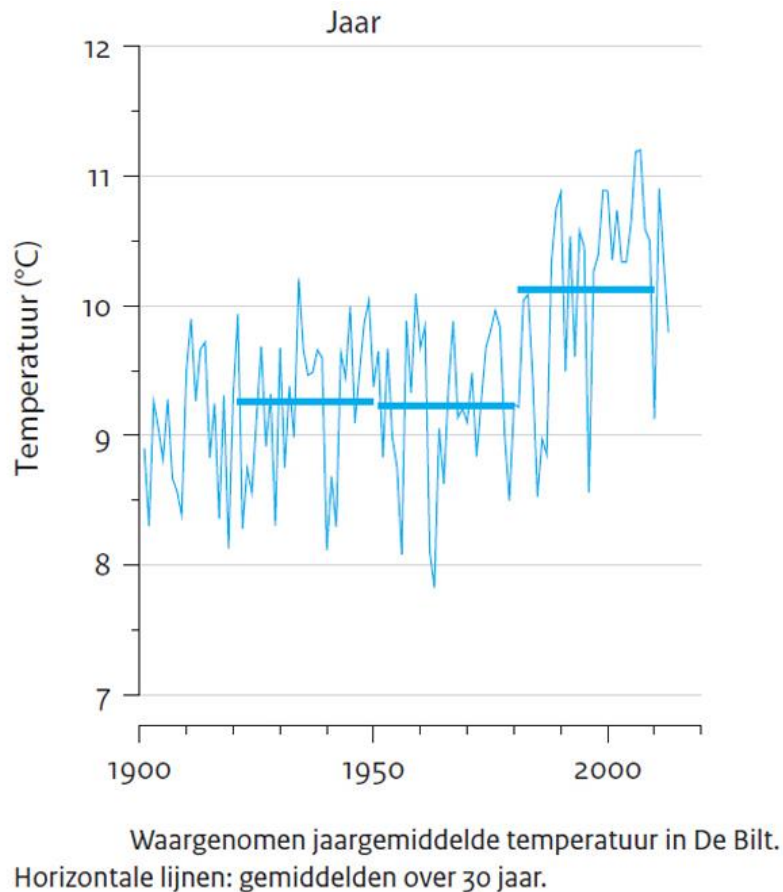
Deze vier scenario’s geven dan voor de temperatuur in 2050 en 2085 de volgende verwachting zoals te zien in figuur 3.3:



Figuur 3.3: Verwachte ontwikkeling van de gemiddelde temperatuur in de Bilt in 2050 en 2085 volgens de vier KNMI-scenario's.

De tendens is duidelijk: in alle vier de scenario's 'warmt Nederland op'. Net als bij de mondiale modellen kunnen we nu een aantal vragen stellen. Hoeveel opwarming hebben we tot nu toe in Nederland gehad? Is het aannemelijk dat CO₂ en andere broeikasgassen een dominante invloed hebben of zijn er andere mogelijke verklaringen te vinden? Hoe goed doen modellen het in het recente verleden in Nederland en West-Europa?

Temperatuur en het onduidelijke CO₂-effect

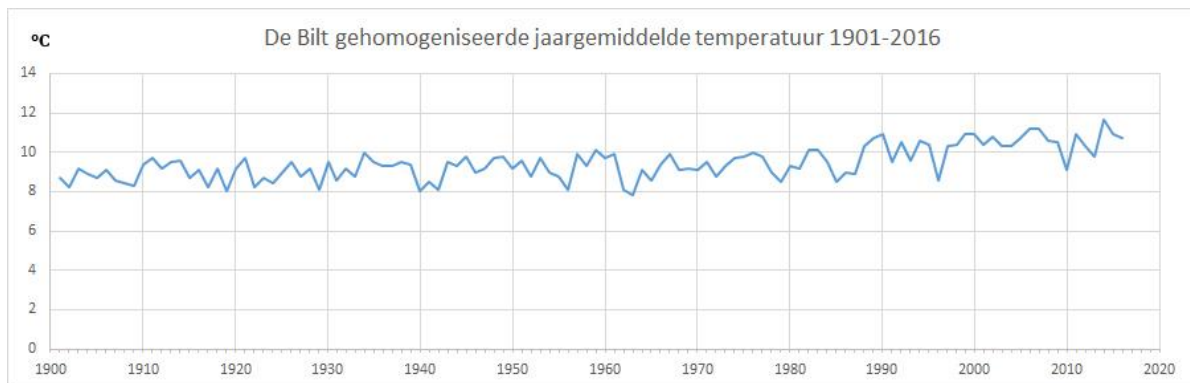


Figuur 3.4: De temperatuurontwikkeling in Nederland sinds 1901. Bron: KNMI'14
Klimaatscenario's voor Nederland.

In figuur 3.4 is de gehomogeniseerde jaartemperatuur van De Bilt weergegeven van 1901 t/m 2016 en voorzien van horizontale lijnen om de gemiddelde temperatuur voor de drie laatste klimaatperiodes aan te geven. De grafiek is afkomstig uit de KNMI-brochure *“KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland”* en toont dat Nederland is opgewarmd.⁴⁷ Die opwarming wordt als volgt beschreven: *“Nederland is eveneens opgewarmd. Tussen 1901 en 2013 nam de gemiddelde temperatuur in De Bilt toe met 1,8 °C. Het grootste deel van deze toename, namelijk 1,4 °C, vond plaats tussen 1951 en 2013. Sinds 1951 is de toename ongeveer twee keer zo groot als de wereldwijde toename van de gemiddelde temperatuur over het land- en zeeoppervlak. De opwarming in onze buurlanden was vergelijkbaar.”*

⁴⁷ KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, KNMI, De Bilt, 36 pp.

De grafiek ziet er tamelijk dramatisch uit. Dat komt onder andere doordat de makers de y-as niet bij 0 laten beginnen en de x-as korter is weergegeven dan de y-as. Dezelfde datareeks maar met een iets andere lay-out ziet er al heel anders uit (figuur 3.5):



Figuur 3.5: Jaargemiddelde temperatuur De Bilt 1901-2016. Bron: KNMI.⁴⁸

De oorzaken van de temperatuurontwikkeling in ons land zijn zeer complex. Uiteraard is er enige ‘invloed’ van de stijging van de mondiale temperatuur op de temperatuur in Nederland. Maar bij regionale temperatuurontwikkelingen spelen andere factoren vaak een grote rol. Hoe maakt het KNMI nu aannemelijk dat CO₂ en andere broeikasgassen een dominante invloed hadden op de klimaatverandering in Nederland in de afgelopen eeuw? Welnu, daar kunnen we kort over zijn, het schrijft er vrijwel niets over. Het KNMI neemt op basis van bijvoorbeeld de IPCC-rapporten gewoon aan dat broeikasgassen dominant zijn, niet alleen mondiaal maar ook voor Nederland. De brochure stelt:

“IPCC: ‘De menselijke invloed op het mondiale klimaatsysteem is duidelijk zichtbaar’. Dat concludeert het vijfde klimaatrapport van het IPCC, het klimaatpanel van de Verenigde Naties, dat in september 2013 verscheen. Uit waarnemingen en onderzoek blijkt dat de mens invloed heeft op de opwarming van de atmosfeer en de oceanen, op veranderingen in de wereldwijde waterkringloop, op de afname van sneeuw en ijs, op zeespiegelstijging en op veranderingen in sommige klimaatextremen. Aanhoudende uitstoot van broeikasgassen door de mens zal de invloed op het klimaat doen toenemen 3).”

Waarbij referentie 3) het laatste IPCC-rapport is en “de mens” synoniem is voor “broeikasgassen”. Met het laatste zinnetje verantwoordt men feitelijk waarom het doen van scenario’s zinvol zou zijn.

Ook in het verleden heeft het KNMI heel weinig gedaan aan wat in het jargon “attributie” heet, het toekennen van oorzaken aan waargenomen veranderingen. In 2008 schreef het KNMI het volgende in de brochure De toestand van het Klimaat in Nederland:

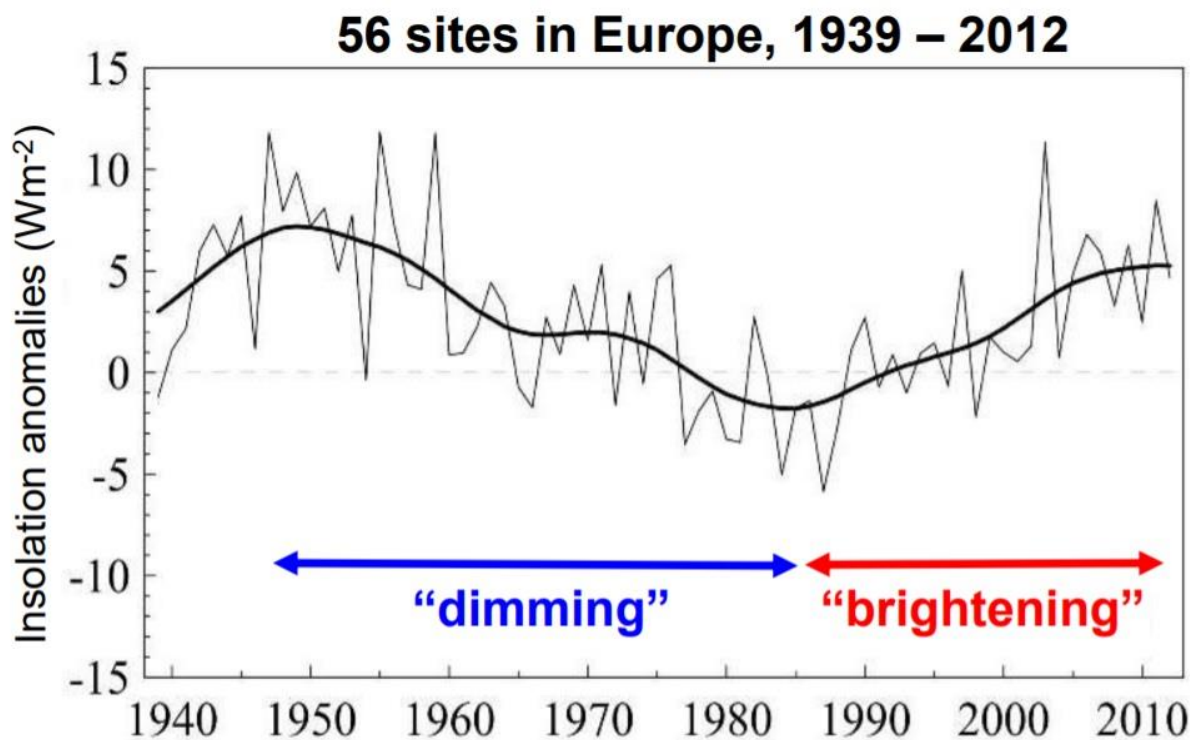
⁴⁸ https://cdn.knmi.nl/knmi/map/page/klimatologie/gegevens/maandgegevens/mndgeg_260_tg.txt

“De hoge temperaturen in Nederland van de afgelopen jaren bevestigen dat het klimaat in Nederland opwarmt. De opwarming gaat twee keer zo snel als de wereldgemiddelde temperatuurstijging in een gebied dat zich uitstrekt van Frankrijk tot Polen. De snellere opwarming wordt hoogstwaarschijnlijk niet veroorzaakt door natuurlijke klimaatvariaties. Oorzaken voor de sterkere temperatuurstijging zijn gevonden in een sterke toename van de hoeveelheid westenwind in de late winter en het vroege voorjaar en een toename van de zonnestraling in voorjaar en zomer. Een verband met het versterkte broeikaseffect ligt voor de hand, maar is nog niet aangetoond.”

Met name de laatste zin is natuurlijk zeer interessant. Een verband met het versterkte broeikaseffect is nog niet aangetoond, aldus het KNMI. Dit is twee jaar na de publicatie van de KNMI 2006 scenario's. Het KNMI merkt terecht op dat een sterke toename van westenwind een rol speelt en ook meer zon. Maar een cruciale vraag is natuurlijk hoe groot die invloeden zijn ten opzichte van de invloed van broeikasgassen. Of wat daar redelijkerwijs over te zeggen valt.

Hieronder lopen we een aantal factoren door die invloed hebben gehad op de temperatuur in Nederland.

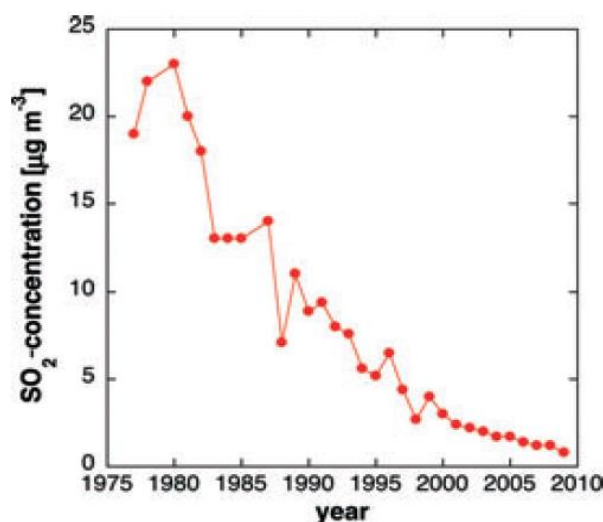
Dimming en brightening



Figuur 3.6: Relatieve veranderingen van gemeten zonnestraling aan het oppervlakte. Bron: Martin Wild, AGU Fall presentatie 2015.

In de loop van de vorige eeuw is als gevolg van luchtverontreiniging de inkomende zonnestraling afgenomen. Dat proces heet *global dimming*. De afname van zonnestraling aan het oppervlak vond met name plaats van 1950 tot in de jaren tachtig. In de figuur hierboven is het gemiddelde getoond van 56 locaties in Europa waar de zoninstraling aan het oppervlak gemeten is. Het gaat om een forse afname van zo'n 10 W/m^2 tussen 1950 en 1985. Ter vergelijking, de toename van broeikasgassen (na aftrek van het afkoelende effect van aerosolen) heeft tot nu toe geleid tot een berekende toename van $2,3 \text{ W/m}^2$ op de netto stralingsbalans van de aarde. Helaas zijn deze getallen niet een op een met elkaar te vergelijken. De afname aan zon is gemeten aan het oppervlak en betreft primair de inkomende 'kortgolvlige' straling, de *Top of the Atmosphere* (TOA) stralingsforcering hoog in de atmosfeer is van toepassing op de netto stralingsbalans, dus kortgolvlige en langgolvlige straling tezamen.

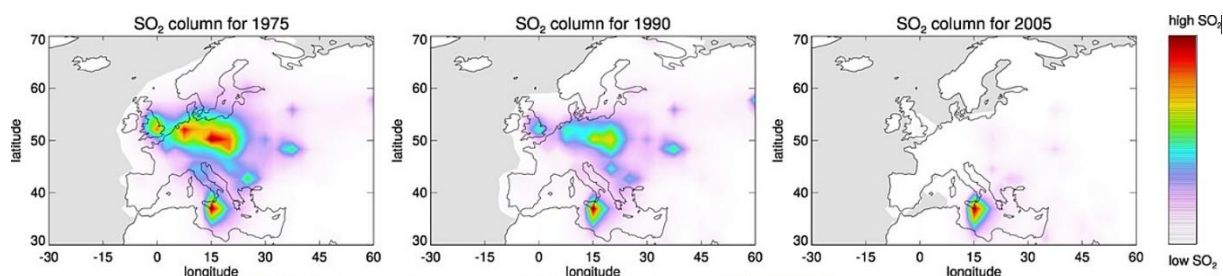
Global brightening ontstaat als die emissies daarna afnemen vanwege bijvoorbeeld milieumaatregelen. Die brightening treedt in grote delen van de wereld op met uitzondering van landen die nog volop in ontwikkeling zijn zoals China en India. Hieronder de afname van de SO_2 -concentratie in Nederland in de afgelopen decennia:



Figuur 3.7: SO_2 -concentratie tussen 1976 en 2009. Bron: Van Beelen en Van Delden.

Die afname van aerosolen is in ons land sinds de jaren '80 van de vorige eeuw spectaculair geweest. In figuur 3.7 is de SO_2 -concentratie tussen 1976 en 2009 in De Bilt weergegeven. In de grafiek is nog net het laatste stukje van de dimming te zien. Vanaf 1980 neemt de SO_2 -concentratie af tot bijna 0 in 2010.

Figuur 3.8 geeft een modelsimulatie weer van de SO_2 -concentraties in Europa voor 1975, 1990 en 2005.



Figuur 3.8: Modelsimulatie SO₂-concentraties in Europa voor 1975, 1990 en 2005.

Bron: KNMI.

De brightening zoals die in ons land is geconstateerd sinds 1985 is inderdaad opvallend. Van Beelen en Van Delden publiceerden in 2012 een artikel over brightening in Nederland.⁴⁹ Met name de lengte van de dagdelen met een zicht ('visibility') van > 19 km vertoonde in De Bilt en op Schiphol na 1985 een opvallende stijging. Die visibility is sterk afhankelijk van de aerosolconcentraties.

⁴⁹ van Beelen, Aldert J., van Delden, Aarnout J. (2012), Cleaner air brings better views, more sunshine and warmer summer days in the Netherlands, Weather, RMetS, John Wiley & Sons, Ltd., 1477-8696, <http://dx.doi.org/10.1002/wea.854>, 10.1002/wea.854

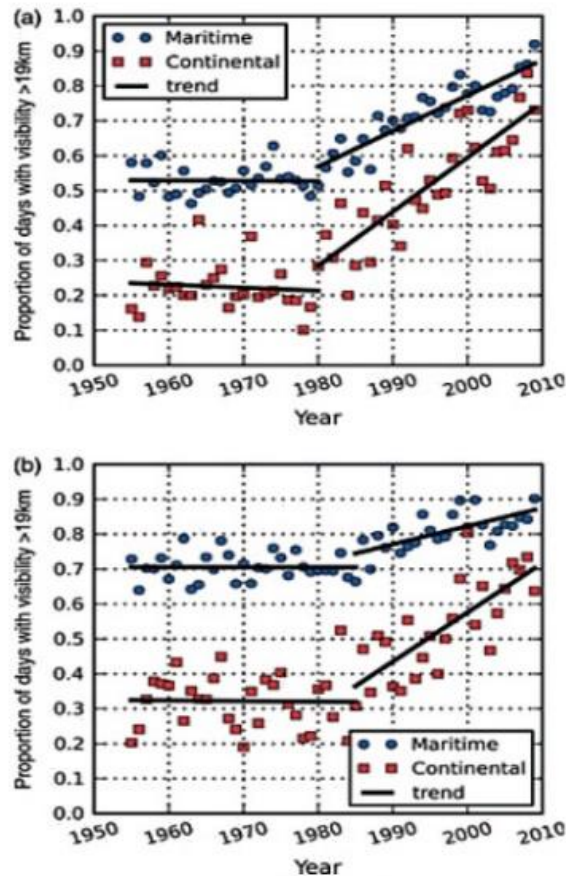


Figure 3. Proportion of days having a maximum visibility greater than 19km in each wind regime, i. e. maritime and continental, for each year as observed in De Bilt (a) and Schiphol (b). Least-squares trend lines were drawn to highlight the changes.

Figuur 3.9: Aandeel dagen met zicht > 19 km in De Bilt en Schiphol. Bron: Van Beelen en Van Delden.

Brightening, de afname van aerosolen in de atmosfeer, heeft directe en indirecte effecten, zoals op zicht (visibility), duur van de zonneshijn, bewolkingsgraad, inkomende kortgolvlige straling en (daarmee) op de temperatuur. Tussen 1985 en 2010 is de directe zonnestraling in De Bilt met maar liefst 25% toegenomen. Die toename vond vooral in de zomer plaats. Direct invallend zonlicht (zonneshijn) is een goede proxy voor de bewolkingsgraad. Ook hier is weer een opvallende trendbreuk te zien in het midden van de jaren '80 (figuur 3.10).

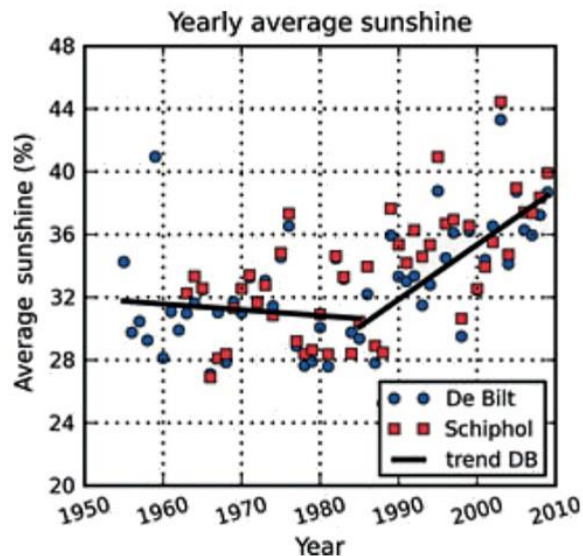


Figure 4. Sunshine duration as a percentage of the day length at De Bilt and Schiphol.

Figuur 3.10: Duur zonneshijn als percentage van de daglengte in De Bilt en Schiphol. Bron: Van Beelen en Van Delden.

Van Oldenborgh et al constateerden naast een toename van de kortgolvlige straling als gevolg van brightening ook een toename advection door extra opwarming in Zuid- en Midden-Europa.⁵⁰ Droogtegevoelige bodems zorgen voor extra opwarming, waarna zuiderwinden deze warme en droge lucht naar het noorden transporteren en hier behalve voor extra advectione warmte ook voor meer inkomende straling zorgen.

De gebruikte standaard eenheid voor straling als energiestroom is W/m^2 . De gemiddelde straling in een bepaald tijdvak (in dit geval een dag) betreft het gemiddelde van alle metingen in dit tijdvak (W/m^2).⁵¹ Als we in figuur 3.11 hieronder het verloop van de totale (direct en indirect) inkomende kortgolvlige straling in De Bilt bekijken dan zien we eerst over de periode 1958-1985 een totale afname van bijna 4 W/m^2 , waarschijnlijk als gevolg van dimming door aerosolen. In de periode 1986-2016 stijgt de directe en indirecte kortgolvlige straling in totaal met ruim 10 W/m^2 . Dat betekent dat vanaf 1986 de kortgolvlige straling met bijna 10% toegenomen is!

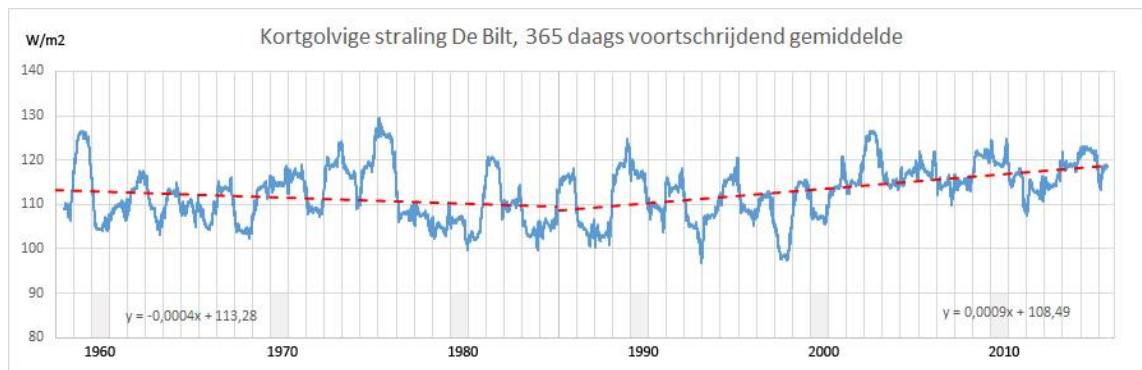
In dezelfde periode is de forcing vanwege toename van broeikasgassen gestegen met ongeveer 1 Watt/m^2 .⁵² De forcing vanwege brightening tussen 1986 en 2016 is dus een factor 10 groter dan die van CO_2 . Nogmaals, die twee getallen zijn niet een op een met

⁵⁰ G. J. van Oldenborgh, S. Drijfhout, A. van Ulden, R. Haarsma, A. Sterl, C. Severijns, W. Hazeleger, and H. Dijkstra (2009), Western Europe is warming much faster than expected, *Clim. Past*, 5, 1–12, 2009

⁵¹ Handboek Waarnemingen, Hst.7 Straling (2005), KNMI, http://projects.knmi.nl/hawa/pdf/Handboek_H07.pdf

⁵² <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>

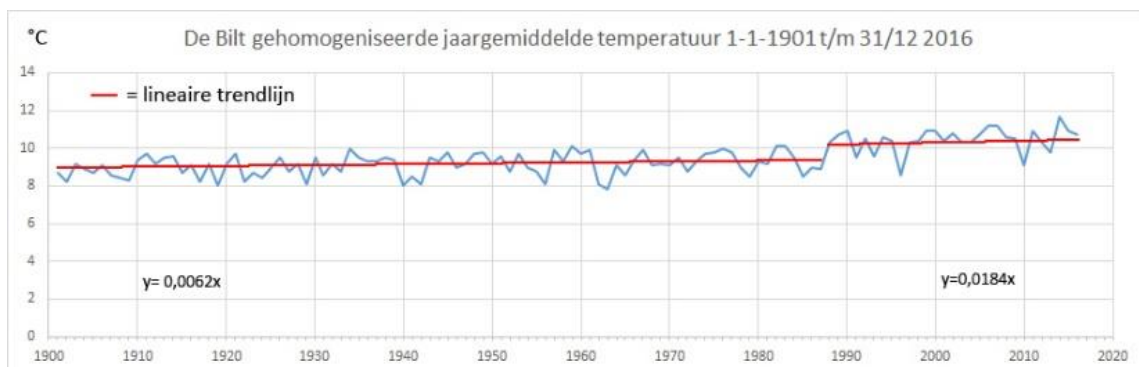
elkaar te vergelijken. Maar dat die grote toename van de instraling met ruim $10 \text{ W/m}^2/\text{dag}$ een grote invloed moet hebben gehad op het temperatuurverloop in De Bilt vanaf 1985 is aannemelijk.



Figuur 3.11: 365-daags voortschrijdend gemiddelde van kortgolvlige straling in De Bilt vanaf 1958. Bron: KNMI Climate Explorer.⁵³

In een artikel in tijdschrift NWT stelde Van Oldenborgh in 2009: “Vanaf 1985 verklaart de afname van de luchtverontreiniging grofweg de helft van de opwarming, denk ik.”⁵⁴ Hier doelde hij op de opwarming in Nederland. De helft van de opwarming zou neerkomen op tenminste $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. In de klimaatbrochure komt het KNMI echter tot een aanzienlijk lagere schatting: “De toegenomen zonnestraling draagt ongeveer $0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ bij aan de totale temperatuuroptoeame van ongeveer $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ in Nederland tussen 1981 en 2013.” Waar deze berekening op gebaseerd is wordt niet duidelijk. Het wetenschappelijke achtergronddocument vermeldt het getal en de berekening ook niet.⁵⁵

Temperatuursprong rond 1988



⁵³ http://climexp.knmi.nl/data/qqqq260_mean12_anom_mean1_anom.dat

⁵⁴ M. Crok (2009), De Grote Opklaring, NWT, maart 2009.

⁵⁵ KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective, Version 26 May 2014. Sectie 3.4 vermeldt uitsluitend de toename van de zonnestraling maar niet het geschatte temperatureffect daarvan.

Figuur 3.12: Gehomogeniseerde jaargemiddelde temperatuur De Bilt 1901-2016

Bron data: KNMI

Figuur 3.12 toont de gehomogeniseerde jaartemperatuur van De Bilt van 1901 t/m 2016, maar hier met twee trendlijnen, een voor de periode 1901-1987 en een voor 1988-2016. In beide periodes is er nauwelijks sprake van opwarming. Duidelijk is te zien dat de temperatuur rond 1988 een forse sprong maakt. De temperatuurstijging in De Bilt vanaf 1901 van 1,8 °C is dus voor een aanzienlijk deel 'het gevolg' van een opvallende sprong in de temperatuur aan het eind van de jaren '80.

In een publicatie uit 2013 constateren Crok en De Laat dat de sprong zich in een groot deel van Europa heeft voorgedaan.⁵⁶ Ze spreken dan ook van een "*European Climate Shift*" (ECS⁵⁷). In figuur 3.13 is voor een aantal meetreeksen aangegeven waar in Europa die temperatuursprong een significantie van >95% heeft. Heel interessant is dat de sprong in verschillende datasets zichtbaar is, zoals de temperatuur aan de grond (op 2 meter hoogte), in de troposfeer (UAH en RSS) en zelfs in de zeeën rond Europa (zie de figuur rechtsonder waar OHC staat voor Ocean Heat Content).

⁵⁶ A. T. J. de Laat, M. Crok (2013), A Late 20th Century European Climate Shift: Fingerprint of Regional Brightening?, *Atmospheric and Climate Sciences*, 2013, 3, 291-300

⁵⁷ Deze ECS voor European Climate Shift dient uiteraard niet verward te worden met de eerder in het rapport gebruikte afkorting ECS voor Equilibrium Climate Sensitivity.

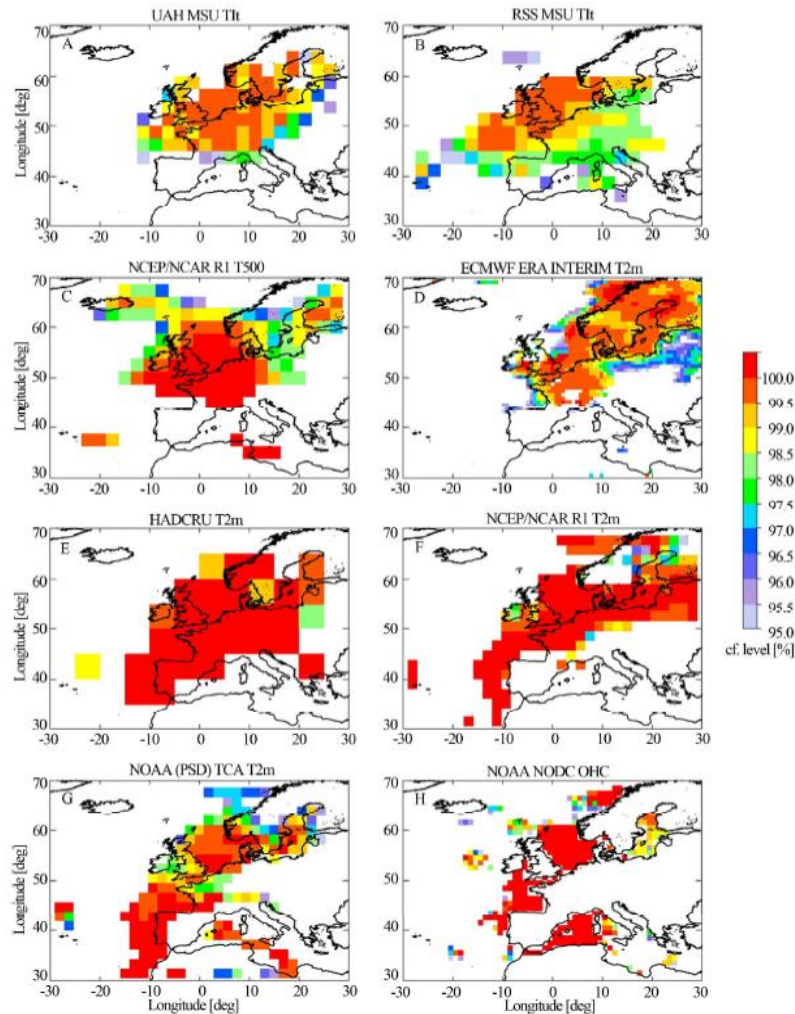


Figure 2. Spatial patterns of the statistical significance of the 1987-1988 ECS for the European domain. Only points with a significance larger than 95% are shown.

Figuur 3.13: Ruimtelijk patroon statistisch significante (>95%) temperatuursprong 1987-1988. Bron: Crok en De Laat.

De auteurs 'verklaren' de sprong als volgt: *"We argue that the notion of a shift is "spurious", i.e. the result of a fast change in Europe from dimming to brightening combined with an accidental sequence of cold (negative NAO) and warm (positive) NAO years during this period. The "shift" could therefore be considered as a fingerprint of European brightening during the last few decades."*

De temperatuursprong is statistisch gezien zeer significant en dus in dat opzicht 'echt'. Maar Crok en De Laat hypothetiseren dat de sprong voortkomt uit de gelijktijdige overgang van een aantal koude naar een aantal warme jaren in combinatie met de overgang van dimming naar brightening. Hoe dan ook, beter begrip van deze episode is essentieel want de notie van een sprong van ruim 1 °C strookt niet direct met een geleidelijke opwarming als gevolg van de geleidelijke toename van broeikasgassen in de atmosfeer.

Het KNMI onderschrijft in de Brochure de invloed van meer zonnestraling op temperatuur, maar in het wetenschappelijke rapport wordt er met geen woord over gerept. Het KNMI schetst een ander, ons inziens eenzijdig “beeld” van de opwarming dat geen recht doet aan bestaande kennis en wetenschappelijke literatuur. In het achtergronddocument is de volgende figuur 3.14 opgenomen:

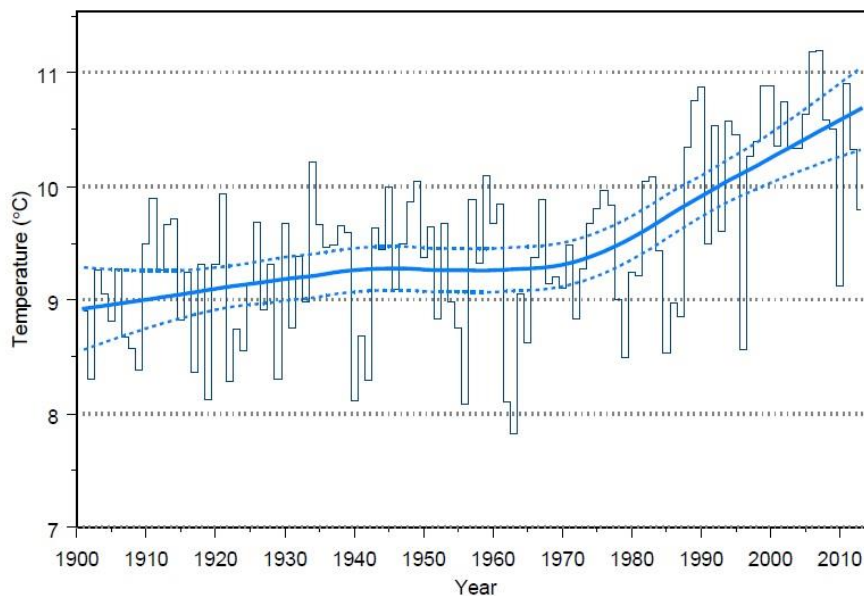


Figure 3.1: Annual mean temperature De Bilt 1901-2013. The bold smooth line represents a LOESS smoother, the dashed lines give the 2×pointwise standard error band of the smooth.

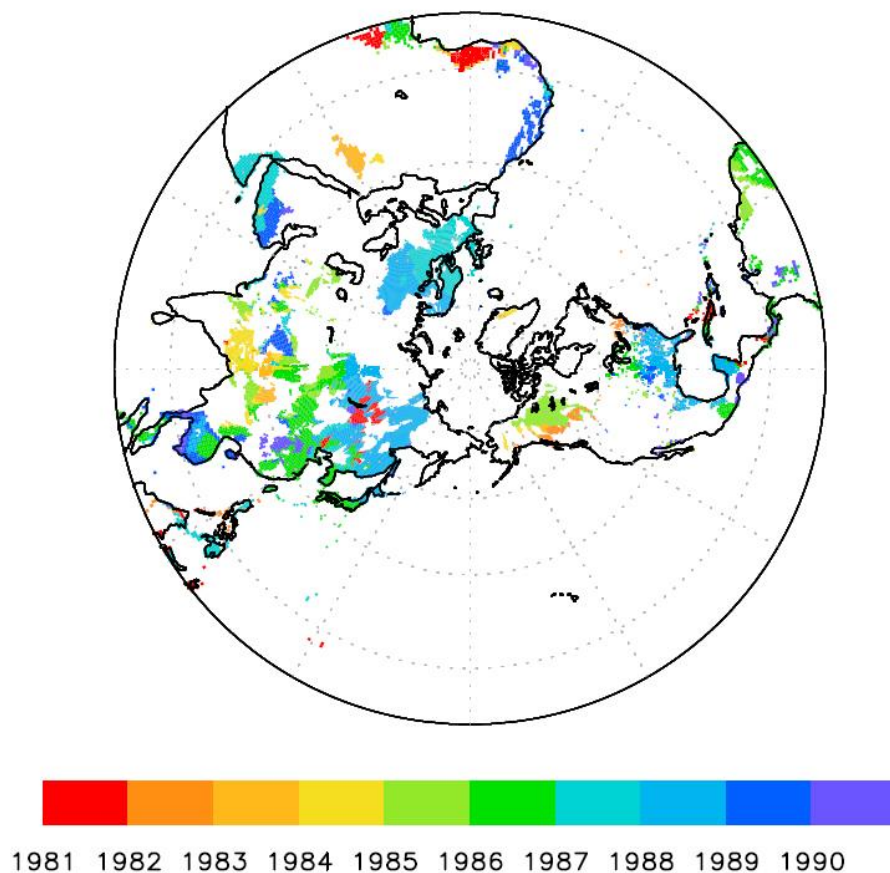
Figuur 3.14: opwarming in Nederland sinds 1901. Reproductie van figuur 3.1 uit het wetenschappelijke achtergronddocument van het KNMI.

In de tekst wordt uitgelegd dat het in deze figuur gebruikte filter (de dikke blauwe lijn) overeenkomt met een voortschrijdend 30-jarig gemiddelde. De auteurs spreken van een niet-lineaire (lees ‘versnelde’) opwarming in de loop van de twintigste eeuw. In de brochure schrijft het KNMI: “Tussen 1901 en 2013 nam de gemiddelde temperatuur in De Bilt toe met 1,8 °C. Het grootste deel van deze toename, namelijk 1,4 °C, vond plaats tussen 1951 en 2013.” Het moge duidelijk zijn dat wij deze blik op onze recente klimaatgeschiedenis onvolledig vinden.

Schuurmans en Van den Dool noemen de temperatuursprong een dynamische aanpassing van het klimaatsysteem, vergelijkbaar met de overgang van seizoenen. Het is een aanpassing van het systeem aan veranderde (stralings-)omstandigheden.⁵⁸ Een meer recente publicatie van Kim et al. toont aan dat de temperatuursprong aan het eind van de jaren ’80 geen louter

⁵⁸ Schuurmans, C.J.E., en H. van den Dool (2001), Klimaatverandering en persistentie, Meteorologica

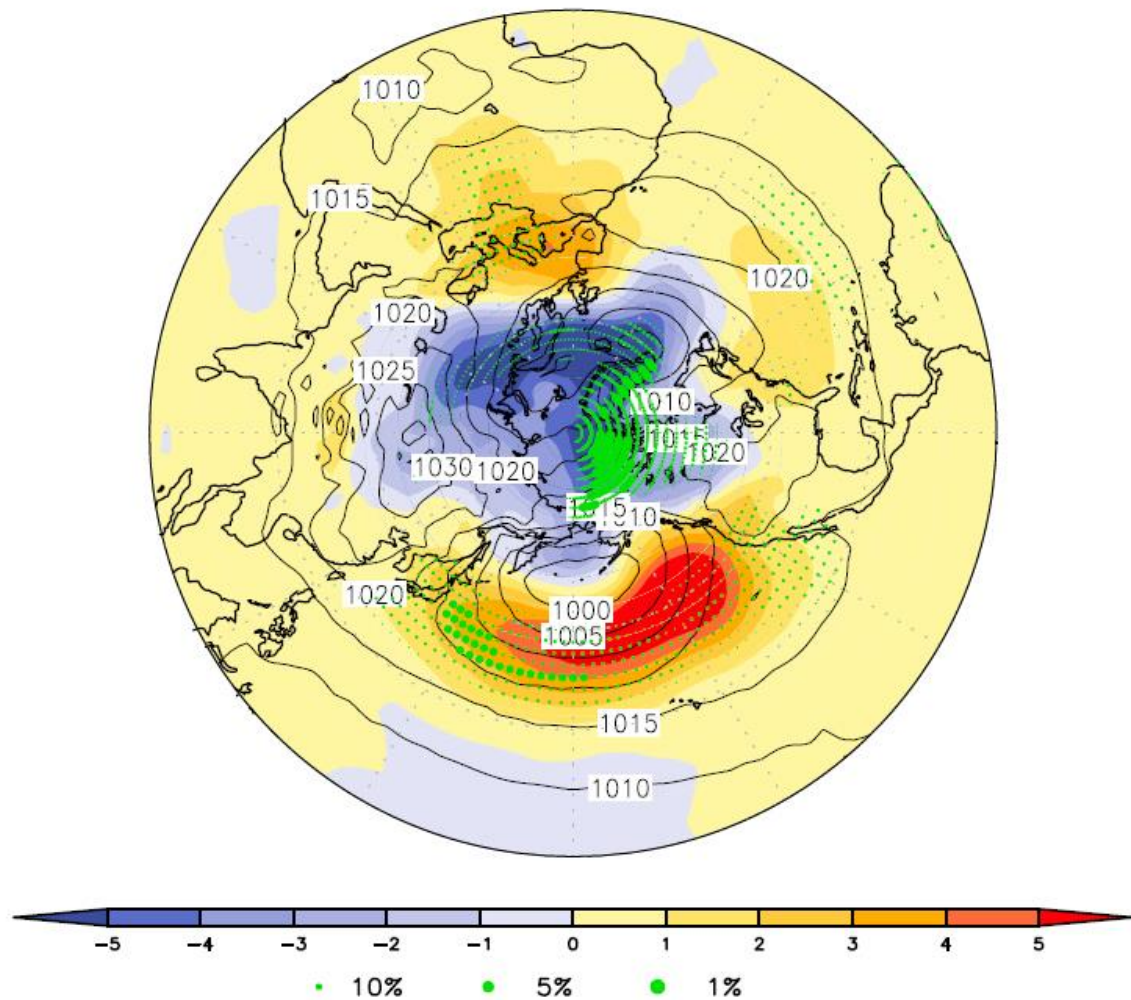
Europees fenomeen is maar in meer regio's op het noordelijk halfrond heeft plaatsgevonden.⁵⁹



Figuur 3.15: Spreiding in tijd en ruimte van gebieden met een abrupte temperatuursprong in de jaren '80. Bron: Kim et al.

Kim et al nemen de intensivering en uitbreiding van de meridionale luchtcirculatie onder de loep, die volgens hen de verschuiving van de gemiddelde wintertemperatuur in de late jaren '80 veroorzaakte. Die sprong vond eind jaren '80 niet alleen in West-Europa plaats maar ook in Oost-Azië en het oosten van de USA.

⁵⁹ Kim, Y.-H., M.-K. Kim, W. K. M. Lau, K.-M. Kim, and C.-H. Cho (2015), Possible mechanism of abrupt jump in winter surface air temperature in the late 1980s over the Northern Hemisphere, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 12,474–12,485, doi:10.1002/ 2015JD023864



Figuur 3.16: Verschillen in de gemiddelde Sea Level Pressure in de winter tussen de transitieperiode en de referentieperiode. Bron: Kim et al.

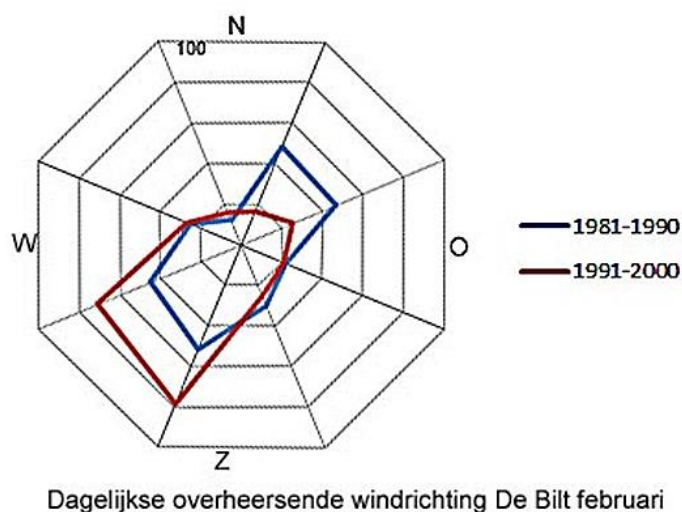
De onderzoekers wijten de temperatuursprong aan de aanvoer van warme lucht als gevolg van een toegenomen luchtdrukverschil tussen subtropen (25° - 35° NB) en polaire gebieden (60° - 70° NB). Die toegenomen luchtdrukverschillen op gematigde breedte op het noordelijk halfrond zijn volgens Kim et al. het gevolg van de intensivering van de Ferrel Cell en het opschuiven ervan naar het noorden, allemaal als gevolg van het noordwaarts uitbreiden van de Hadley Cell op het noordelijk halfrond.

Kim et al. gaan ervan uit dat de zichtbare relatieve opwarming op gematigde breedte ervoor gezorgd heeft dat de straalstroom langdurig verder naar het noorden is verschoven en krachtiger is geworden. Daardoor ontstaat er een sterkere blokkade voor koude poollicht, die daardoor moeilijker de gematigde zone kan bereiken, ook in de periode na de sprong. De aanvoer van warme lucht zorgt ook voor extra smelt van sneeuwbedekking in de polaire zone en extra afsmelten van drijfs, factoren die daardoor de persistentie van de nieuwe situatie voeden.

Jones et al. constateren in een andere recente publicatie dat op regionale schaal gezien temperatuurveranderingen meer stapsgewijs plaatsvinden dan geleidelijk. Een mogelijke oorzaak daarvan is volgens hen het zogenaamde *store-and-release-mechanisme* bij de warmteoverdracht van oceaan naar atmosfeer.⁶⁰

De bevindingen van Kim et al. sluiten aan bij de veranderingen in de luchtcirculatie zoals die zich de afgelopen decennia boven ons land hebben voorgedaan en waarbij met name de aanvoer van warmere lucht uit het zuidwesten in de winter is toegenomen.

De temperatuur in ons land is sterk afhankelijk van de windrichting. Veranderingen van temperatuur zijn in Nederland vooral het gevolg van veranderingen van temperatuur van de aangevoerde lucht. Een temperatuurverandering van meer dan 10 °C binnen 24 uur als gevolg van een veranderde luchtcirculatie is niet ongevoelbaar. Dat hangt samen met de geografische ligging van ons land op de grens van de Atlantische Oceaan en Europa en de breedteligging. Met name in de winter en zomer kunnen de verschillen in temperatuur tussen maritieme en continentale luchtsoorten erg groot zijn. Maar ook de ligging op gematigde breedte speelt een rol: zowel Arctische lucht als woestijnlucht kunnen ons land bereiken.



Figuur 3.17: Verandering luchtcirculatie in februari voor De Bilt 1981-1990 en 1991-2000. Bron: Klimaatgek.⁶¹

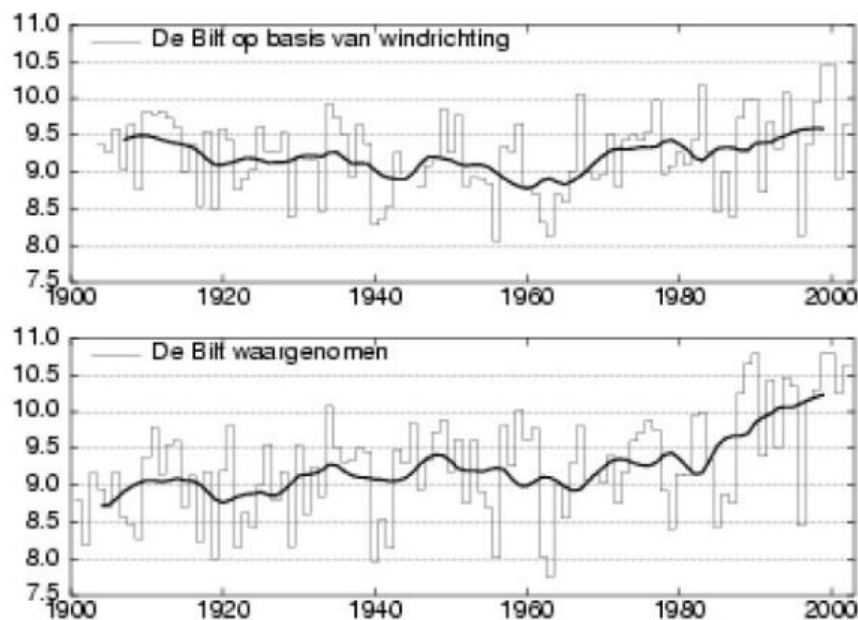
De afgelopen decennia hebben zich verschuivingen voorgedaan in de luchtcirculatie die van invloed zijn op de temperatuur in ons land. Figuur 3.17 toont voor De Bilt een opmerkelijke verschuiving van de windrichting in de maand februari tussen 1981 en 2000.

⁶⁰ R.N.Jones, J.H. Ricketts (2017), Reconciling the signal and noise of atmospheric warming on decadal timescales, Earth System Dynamics

⁶¹ <http://klimaatgek.nl/wordpress/luchtcirculatietypen-en-klimaatverandering/>

Wessels et al. hebben al in 1994 een onderzoek gedaan naar de temperatuurstoename in De Bilt.⁶² Onderzoeksvraag was of die toename vooral het gevolg was van algemene opwarming van de atmosfeer of van een veranderde luchtcirculatie. Ze maakten daarvoor gebruik van de dertig Grosswetterlagen (GWL), een bekende classificatie op basis van luchtsoort en brongebied. Conclusie was dat de opwarming in De Bilt meer het gevolg was van veranderende luchtcirculatie dan van een wezenlijke opwarming van de atmosfeer.

Van Oldenborgh van het KNMI deed in 2001 onderzoek naar de rol van de veranderende overheersende circulatietypes.⁶³ Er is sprake van dat in elk seizoen de windrichtingen zodanig veranderd zijn dat de temperatuur in Nederland toeneemt: meer zuidwestenwind in de winter, meer zuidoostenwind in de zomer, en meer zuidenwind in voor- en najaar. De opwarming sinds 1960 is deels te verklaren door verandering in gemiddelde windrichting (figuur 3.18).



Figuur 3.18: Berekende en waargenomen jaargemiddelde temperatuur De Bilt. Bron: Van Oldenborgh (2001).

De bovenste grafiek toont de berekende temperatuur op basis van de windrichting voor De Bilt tussen 1904 tot 2002. De onderste grafiek betreft de waargenomen temperatuur. Tot 1960 is waargenomen trend tegengesteld aan die van de berekende, vanaf 1960 zijn ze beide stijgend. Van Oldenborgh concludeert dat na 1950 in de winter en voorjaar een duidelijke trend te zien is in de op basis van windrichting gereconstrueerde temperatuur. Een uitsplitsing naar maanden laat zien dat de circulatie-gerelateerde toename van de

⁶² Wessels, H.R.A., Klein Tank, A.M.G. en Können, G. (1994), Trends in the annual temperature of De Bilt: warmer atmosphere or changed advection? Extended abstract in Heino, R. (Ed): Proceedings of the European Workshop on Climate Variations in Europe, Kirkkonummi, Finland, 15-18 mei 1994

⁶³ G.J. van Oldenborgh (2003), Temperatuur en windrichting in Nederland in de 20e eeuw, Meteorologica

temperatuur zich afspeelt in februari, maart en april. De gemiddelde temperatuur sinds 1950 is in deze maanden extra toegenomen omdat het aantal dagen met noorden- en oostenwind duidelijk is afgenomen en het aantal dagen met zuiden- en westenwinden is toegenomen, zoals ook in figuur 3.19 te zien is.

Schuurmans en Van den Dool vergeleken de temperatuur-anomalieën van De Bilt van 1991-2000 met die van 1961-1990 en analyseerden opwarming in een aandeel mondiale opwarming en een aandeel luchtcirculatie. Voor het hele jaar vinden Schuurmans en Van den Dool dat van de opwarming na 1960 ongeveer 0,5°C van de luchtcirculatie afhangt en 0,32°C ergens anders vandaan moet komen. Ze wijzen als verklaring naar een veranderend atmosfeer-oceaansysteem, waarin een sterkere Noord-Atlantische Oscillatie (NAO) met meer westcirculatie en een opwarmende Noordzee in ons land voor fikse opwarming hebben gezorgd.



Figuur 3.19: Shift in tienjarig voortschrijdend gemiddelde van de GWL in de zomer van NW-circulatie (blauw) en ZW-circulatie (rood) Bron: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.⁶⁴

Bovenstaande grafiek toont de verschuiving in percentueel voorkomen van een aantal GWL gedurende het zomerseizoen tussen 1881 en 1996. De blauwe lijn vertegenwoordigt de noordwest-circulatietypen (NW), de rode lijn die uit het zuidwesten (ZW) en zuiden (Z). Dergelijke verschuivingen hebben soms aanzienlijke gevolgen voor de temperatuur in ons land, vooral in de winter en voorjaar.

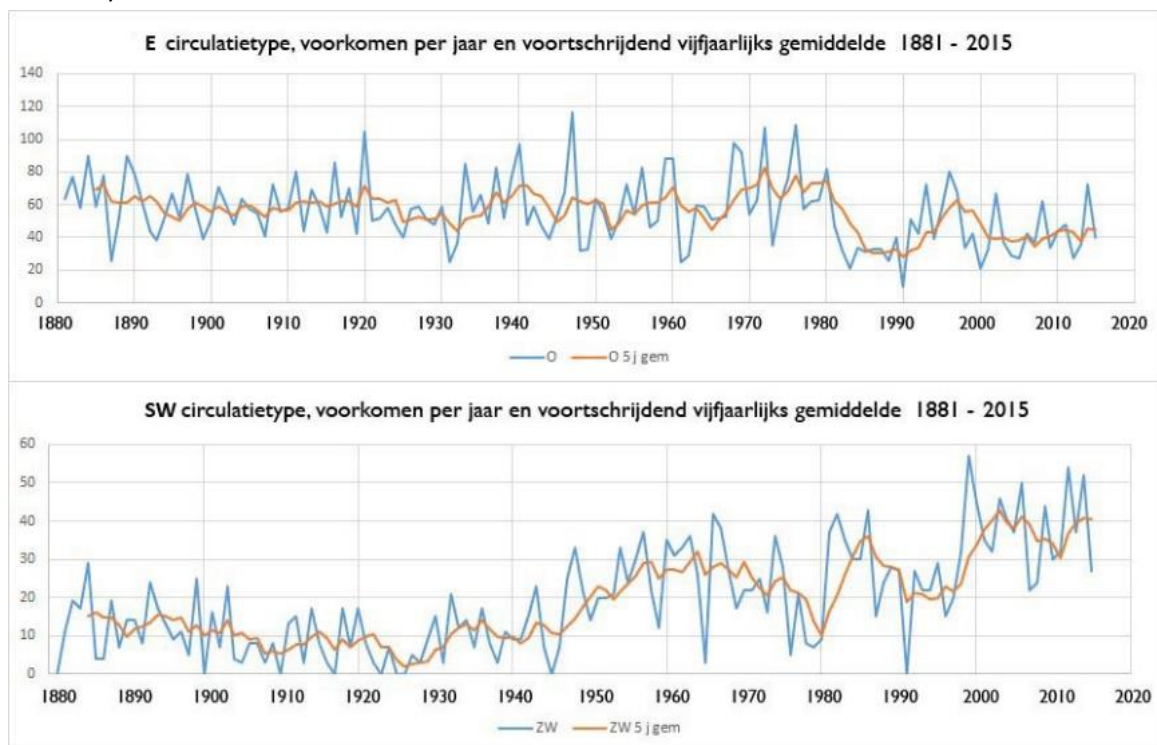
⁶⁴ Friedrich-Wilhelm Gerstengarbe, Peter C. Werner (2005), Katalog der Grosswetterlagen Europas (1881-2004), PIK Report No. 100, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.

De blog Klimaatgek heeft de verschuivingen in de luchtcirculatie onderzocht aan de hand van data van de GWL.⁶⁵ Van alle GWL zijn gegevens beschikbaar over het voorkomen per jaar vanaf 1881 t/m 2015. De dertig GWL zijn samengevoegd tot tien zogenaamde Grosswettertypen (GWT), en die zijn weer samengevoegd tot zeven circulatietypen:

W = WA, WZ, WS, WW, U
SW = SWA, SWZ
NW = NWA, NWZ
H = HM, BM
N = NA, NZ, HNA, HNZ, HB, TRM, TM
E = NEA, NEZ, HFA, HFZ, HNFA, HNFZ, SEA, SEZ
S = SA, SZ, TB, TWR

Figuur 3.20: de zeven circulatietypen en de daartoe behorende GWL.

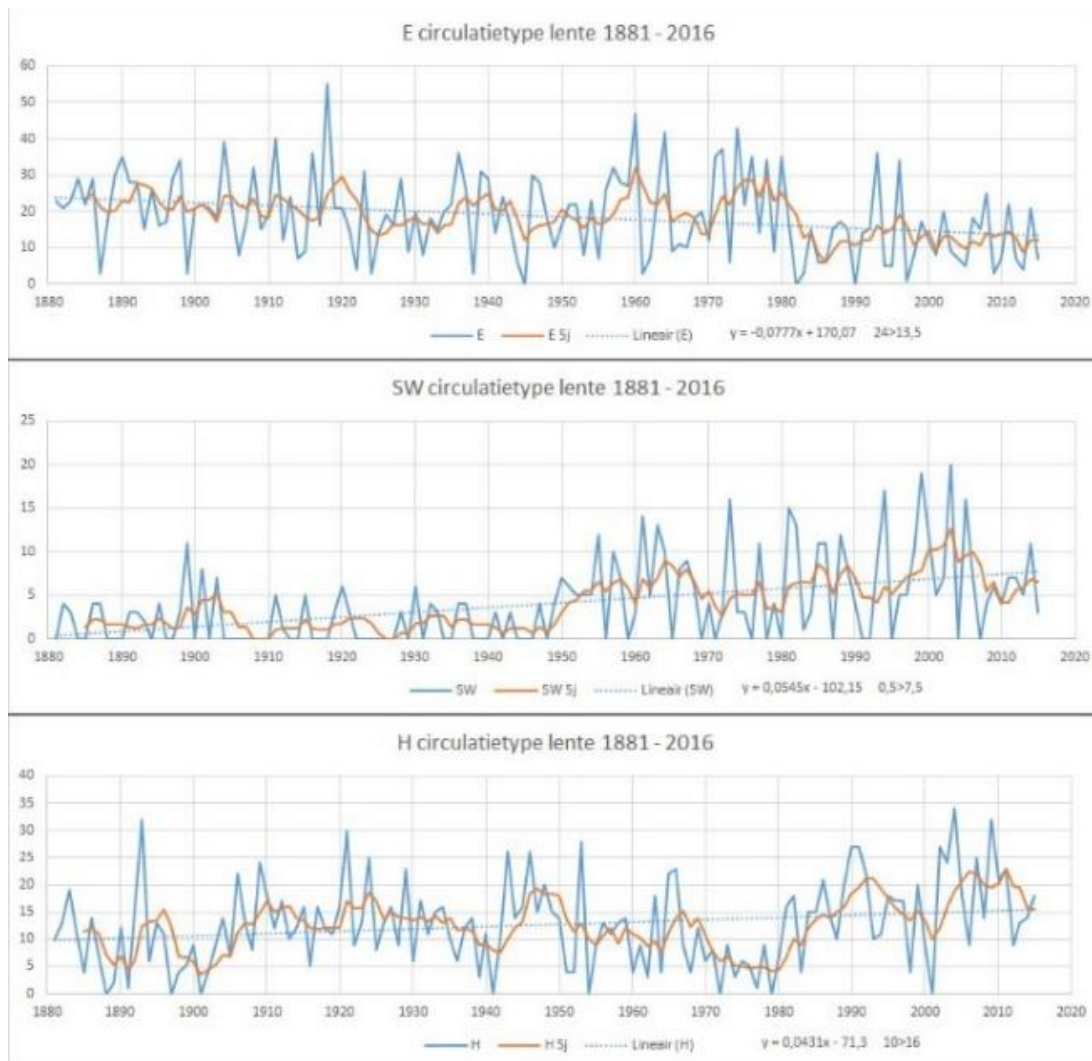
Op basis van het voorkomen per jaar zijn er twee circulatietypen die de afgelopen decennia een opmerkelijke verandering vertonen, namelijk het E-type (oost) en het SW-type (zuidwest):



Figuur 3.21: Voorkomen per jaar van circulatietypen E en SW 1881-2015. Bron: Klimaatgek.nl.

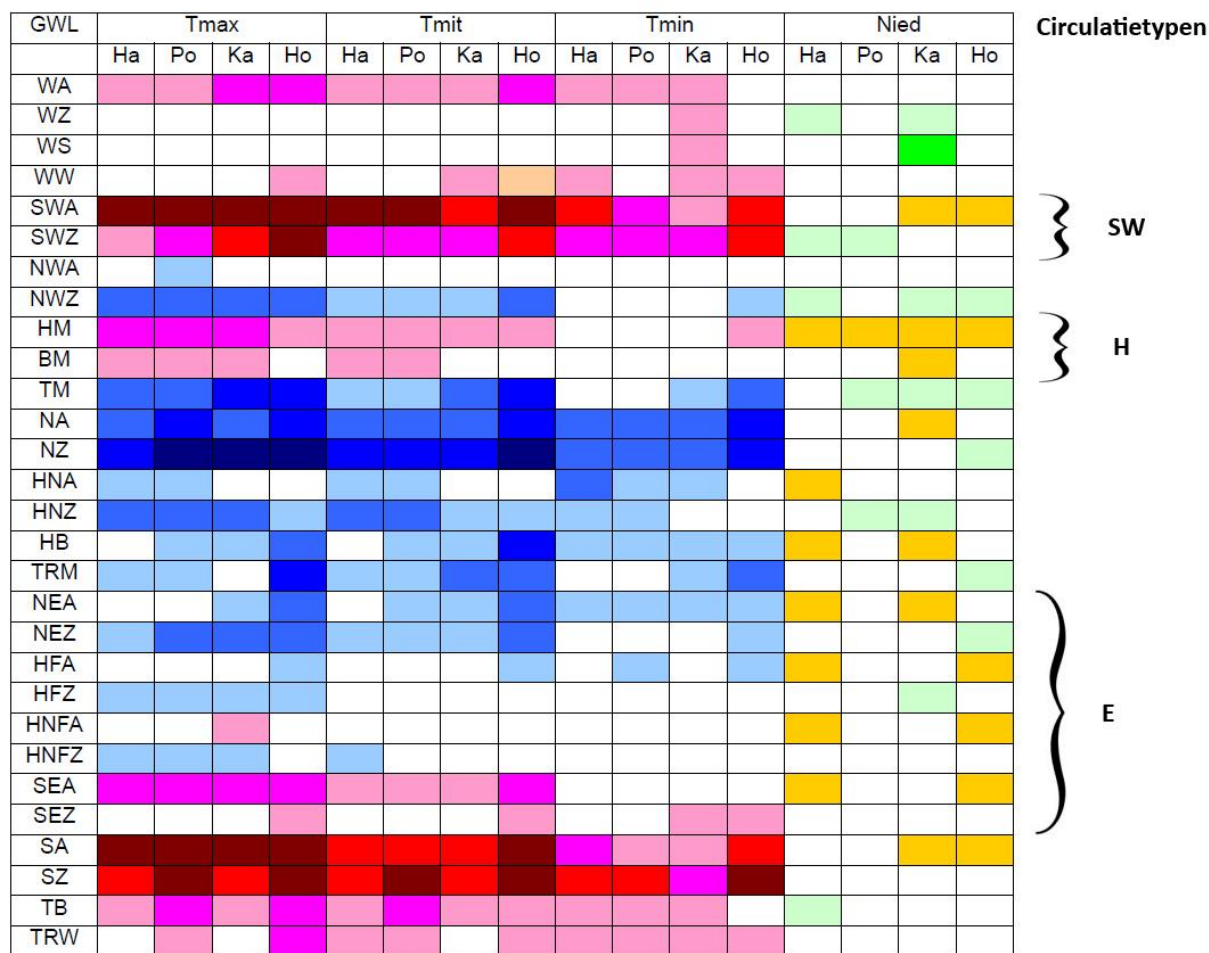
⁶⁵ <http://klimaatgek.nl/wordpress/luchtcirculatietypen-en-klimaatverandering/>

Beide grafieken vertonen een opmerkelijk grote sprong in het begin van de jaren '80. Minder E-circulatie en meer SW-circulatie leiden tot hogere temperaturen. Omdat de invloed van het voorkomen van een circulatietype op de temperatuur afhankelijk is van het jaargetijde is voor alle seizoenen bekeken of er significante veranderingen in frequentie zijn geweest. Daarbij is naar alle circulatietypen gekeken omdat veranderingen per seizoen gemaskeerd kunnen worden op jaarbasis. Voor de lente, waarin de grootste veranderingen hebben plaatsgevonden, zijn er drie circulatietypen die een opmerkelijke trend laten zien:



Figuur 3.22: Voorkomen in de lente van circulatietypen E, SW en H 1881-2015. Bron: Klimaatgek.nl.

Ook hier is de sprong terug te vinden van de E-circulatie begin jaren '80. De sprong in de SW-circulatie begin jaren '80 is niet meer terug te vinden, wel een sprong rond 1950. Het H-type (hogedrukgebied boven Midden-Europa) vertoont wel weer een sprong begin jaren '80. In de tabel hieronder is de invloed van deze drie circulatietypen op de temperatuur in de lente weergegeven voor vier stations in Duitsland:



Mittlere Anomalien meteorologischer Größen an den Stationen Hamburg (Ha), Potsdam (Po), Karlsruhe (Ka) und Hohenpeißenberg (Ho) bezogen auf die Großwetterlagen für das Frühjahr 1901-2003

(Temperatur: K; Niederschlag: mm)

Klasse	< -4.0	< -3.0	< -2.0	< -1.0	<= 1.0	<= 2.0	<= 3.0	<= 4.0	> 4.0
Temperatur									
Niederschlag									

Figuur 3.23: Invloed van de GWL op temperatuur en neerslag in Duitsland. Bron: PIK.⁶⁶

Duidelijk is dat het SW-circulatietype in de lente een sterk opwarmend effect heeft, evenals het H-type. Het E-circulatietype heeft een overwegend afkoelend effect in de lente. Uitzonderingen vormen de GWL SEA en SEZ, beide uit het zuidoosten komend. Concluderend kan gesteld worden dat de veranderingen in het voorkomen van de circulatietypen in de lente de afgelopen decennia een duidelijk opwarmend effect hebben gehad.

Het KNMI is zich (uiteraard) bewust van de veranderende circulatiepatronen. Het is een van de redenen waarom veranderende circulatiepatronen als variabele meegenomen worden in de KNMI-scenario's. Net als bij dimming en brightening zegt het KNMI echter zeer weinig over de grootte van het effect. In de brochure schrijft het: "De winters (december, januari en

⁶⁶ <https://www.pik-potsdam.de/research/publications/pikreports/.files/pr100.pdf>

februari) waren zachter doordat de wind vaker uit het westen kwam.” Hetzelfde zinnetje is in Engelse vertaling terug te vinden in het achtergronddocument.

Hierboven hebben wij laten zien dat de veranderingen in windrichting zich niet beperken tot de winter maar juist ook aanzienlijk zijn in de lente. Uiteraard is het bijzonder lastig (zo niet onmogelijk) om deze invloed precies te kwantificeren. Maar er zo summier melding van maken en vervolgens ervan uitgaan dat broeikasgassen de ontwikkeling van het Nederlandse klimaat domineren doet bestaande kennis en inzichten tekort.

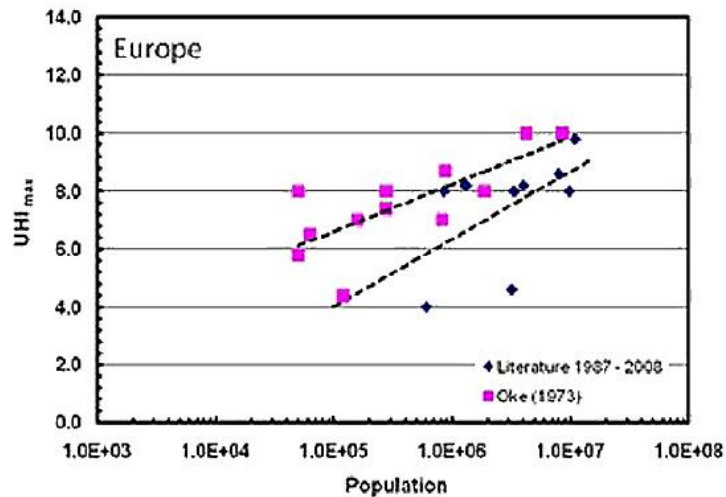
Verstedelijking

Het Urban Heat Island-effect (UHI) is het klimatologische effect op de temperatuur, neerslag en windsnelheid in stedelijke gebieden. Het ontstaat door de fysieke en antropogene eigenschappen van stedelijke gebieden die afwijken van die van het omliggende platteland. Die fysieke eigenschappen van steden beïnvloeden onder andere albedo en evapotranspiratie waardoor de energiebalans van steden afwijkt van die in rurale gebieden.

Een belangrijke oorzaak van het ontstaan van het UHI is de bebouwing. Hoogte van gebouwen en smalle straten zorgen voor meervoudige reflecties en sterkere absorptie van inkomende straling en beperking van de uitstraling van warmtestraling. Door wrijving neemt ook de windsnelheid af en vermindert daardoor de afkoeling door turbulentie. Van belang is ook de lagere verdamping in de stad: doordat neerslagwater snel en grotendeels ondergronds wordt afgevoerd is er relatief weinig water om te verdampen. Ook de vaak geringe oppervlakten met begroeiing zorgen voor een lagere verdamping. Verdamping is op aarde de belangrijkste manier om warmte aan het aardoppervlak kwijt te raken.

De antropogene invloeden betreffen warmtebronnen zoals gemotoriseerd verkeer, industrie, verwarming ('s winters) en airconditioning ('s zomers). Tenslotte hangt er over grote steden altijd een stofkoepel: luchtvervuiling zorgt voor absorptie en reflectie van de uitgaande warmtestraling, waardoor het vooral 's nachts bijdraagt aan de opwarming van steden. Steden zijn door al deze factoren warmer dan hun omgeving, vooral in de zomer en meer 's nachts dan overdag.

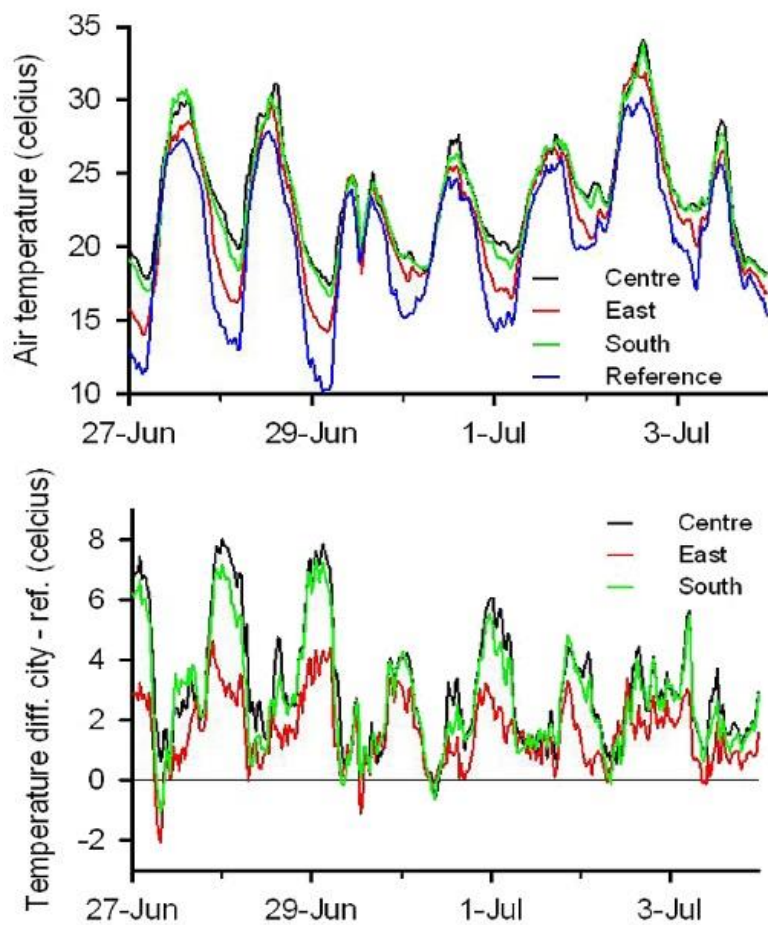
Er is een logaritmisch verband tussen het UHI-effect en inwonertal:



Figuur 3.24: Verband tussen bevolkingsomvang en UHI_{max}. Bron: Van Hove et al 2011.⁶⁷

Op grond daarvan wordt het maximale UHI-effect van de grote Nederlandse steden geschat op 4 tot 8 °C. Figuur 3.25 toont het gemeten temperatuureffect in de stad Rotterdam gedurende een zomerweek in 2010.

⁶⁷ Van Hove, L.W.A., G.J. Steeneveld, C.M.J.Jacobs, B.G. Heuzinkveld, J.A. Elbers, E.J. Moors, A.A.M.Holtslag (2011), Exploring the heat island intensity of Dutch cities, Wageningen Alterra report 2170



Figuur 3.25: UHI in Rotterdam, zomer 2010. Bron: Van Hove et al 2011.

De verschillen met de rurale referentietemperatuur kunnen oplopen tot 8 °C. De cijfers van Rotterdam en andere Nederlandse steden doen vermoeden dat het UHI-effect op de temperatuur tamelijk groot is.

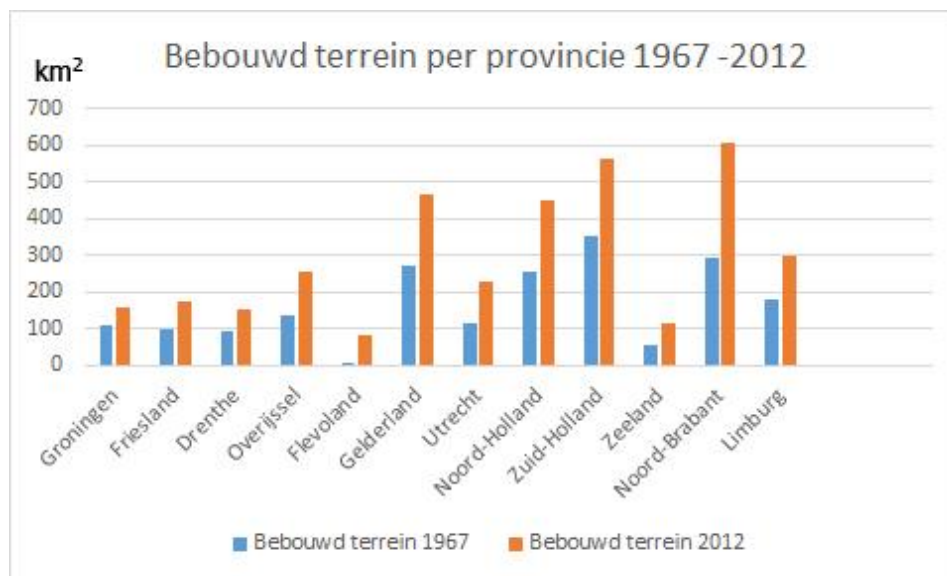
De ruimtelijke invloed van het UHI-effect beperkt zich niet alleen tot de bebouwde omgeving van de stad. Door advectie hangt er een warmtepluim vanaf de stad over het omringende platteland. Het meetstation De Bilt ligt aan de oostzijde van Utrecht, net buiten de bebouwde kom. Het KNMI schat dat de bijdrage van advectie van stadswarmte van de stad Utrecht op de temperatuurmetingen in De Bilt op 0,5 °C voor westelijke wind en nachtelijke omstandigheden.

Voor De Bilt is in 2003 door Brandsma et al onderzoek gedaan naar de effecten van het UHI van Utrecht op de temperatuurmetingen gedurende de afgelopen eeuw.⁶⁸ Brandsma et al.

⁶⁸ Brandsma, T., G.P. Können en H.R.A. Wessels, 2003. Empirical estimation of the effect of urban heat advection on the temperature series of De Bilt (The Netherlands). *International Journal of Climatology*, 23, 829-845.

schatten de bijdrage van de advectie van stadswarmte op de temperatuurtrend in De Bilt in de 20ste eeuw op 0,1 °C (plus of min 0,06 °C). Deze schatting is gebaseerd op windrichtingafhankelijke temperatuurverschillen tussen De Bilt en Soesterberg (de rurale referentie). De schatting houdt rekening met al het stedelijk gebied rondom het KNMI-terrein in De Bilt en de groei daarvan in de 20e eeuw. Op basis van vergelijking met deze resultaten schat het KNMI de bijdrage van advectie van stadswarmte op de temperatuurtrend in De Bilt over de periode 1901-2008 op ongeveer 0.14°C.

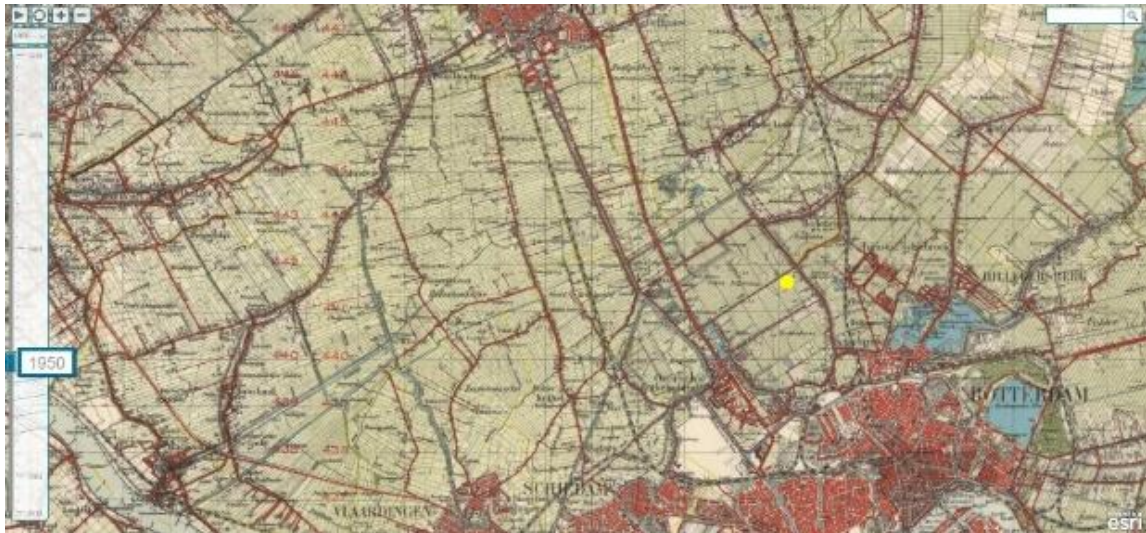
Het CBS heeft vanaf 1967 tot 2012 cijfers van het totale oppervlak bebouwd terrein per provincie.



Figuur 3.26: Bebouwd terrein per provincie 1967-2012. Bron: CBS.⁶⁹

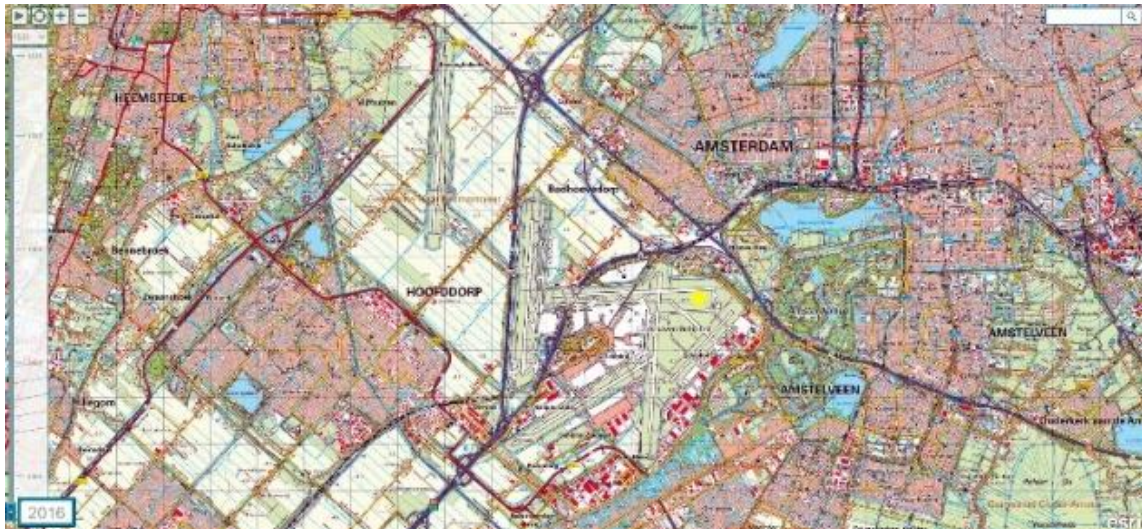
Het is waarschijnlijk dat het effect van verstedelijking op de temperatuurmeting in bepaalde delen van Nederland groter is dan de schattingen voor Utrecht. Nederland is vanaf het begin van de 20e eeuw zeer sterk verstedelijkt. Vooral West-Nederland is sterk versteend, maar dat geldt ook voor andere delen van Nederland zoals Zuid-Limburg, Noord-Brabant en Twente. Om een idee te krijgen van de oprukkende versterking hebben we voor twee meetstations van het KNMI, namelijk Rotterdam en Schiphol, de verstedelijking van de omgeving tussen 1950 en 2016 bekeken met behulp van topografische kaarten. De beelden spreken voor zich.

⁶⁹ <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=37105&D1=1-8,17-19&D2=a&D3=46,63,I&STB=G1,G2,T&VW=T>



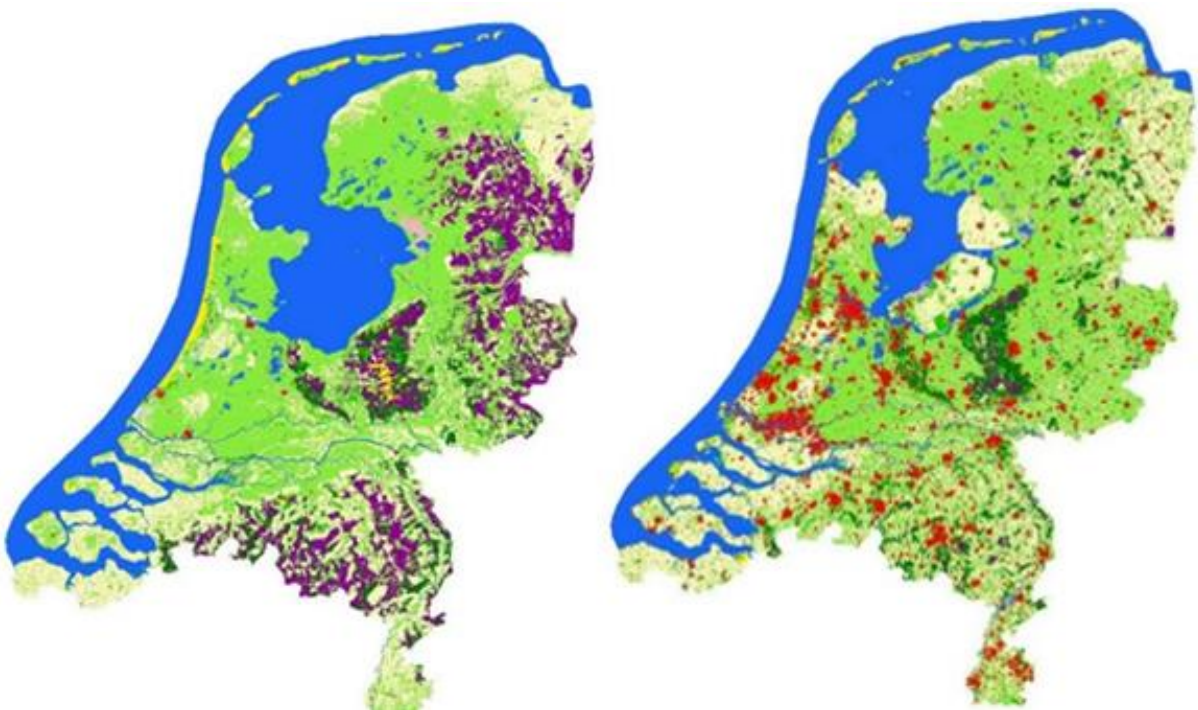
Figuur 3.27: Ligging KNMI-meetstation Rotterdam (gele stip) en verstedelijking in de periode 1950-2016. Boven 1950, onder 2016. Bron: Topografische Kaart 1:50.000.





Figuur 3.28: Ligging KNMI-meetstation Schiphol (gele stip) en verstedelijking. Boven 1950, onder 2016. Bron: Topografische Kaart 1:50.000.

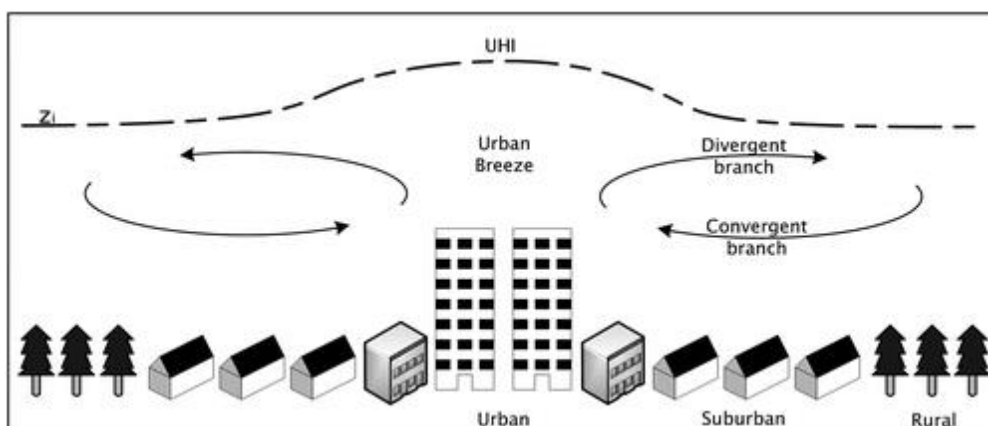
Voor de periode 1900-1966 zijn geen CBS cijfers beschikbaar van het oppervlak bebouwd terrein maar het is aannemelijk dat het groeitempo van het bebouwd oppervlak in deze periode aanzienlijk is geweest. Alleen in de periode 1914-1945 is er relatief weinig gebouwd. Op onderstaande kaarten is goed te zien dat de oppervlakte bebouwd terrein (rood) tussen 1900 en 2000 sterk is toegenomen (figuur 3.29):



Figuur 3.29: Verstedelijking (rood) in Nederland 1900-2000. Links 1900, rechts 2000. Bron: W.C.Knol et al.⁷⁰

In 2012 was 15% van het landoppervlak in Nederland bebouwd (data CBS). In een rapport van het PBL uit 2006 schatten de onderzoekers dat het verstedelijkt oppervlak in 2040 kan oplopen tot 20%. De verstedelijking in Nederland richt zich sterk op de Randstad en op Twente, Arnhem-Nijmegen en de Brabantse steden. Ook verwacht men een forse groei van woningbouw in het Groene Hart. Verder is er sprake van een toenemende verstedelijking in de kleinere steden door het hele land. Het is aannemelijk dat die toenemende verstedelijking van invloed zal zijn op de temperatuur de komende decennia.

Wat bijzonder aan de verstedelijking in Nederland is, is dat deze sterk versnipperd is. We kennen geen zeer grote steden maar wel heel veel middelgrote en kleine steden. Vanwege die ruimtelijke vernippering van de verstedelijking is het aannemelijk dat de temperaturen in peri-urbane gebieden en wellicht ook delen van rurale gebieden beïnvloed worden door nabijgelegen stedelijke bebouwing. In een studie uit 2016 naar de effecten van UHI op de neerslag in West-Nederland concluderen Daniels et al: *“In all, we find our methodology deals well with the fragmented urban areas in the Netherlands and the influence of such type of urbanization can be similar to that of a large metropolitan region.”*⁷¹



Figuur 3.30: Het ontstaan van Urban Breeze Circulation. Bron: Hidalgo et al 2010.

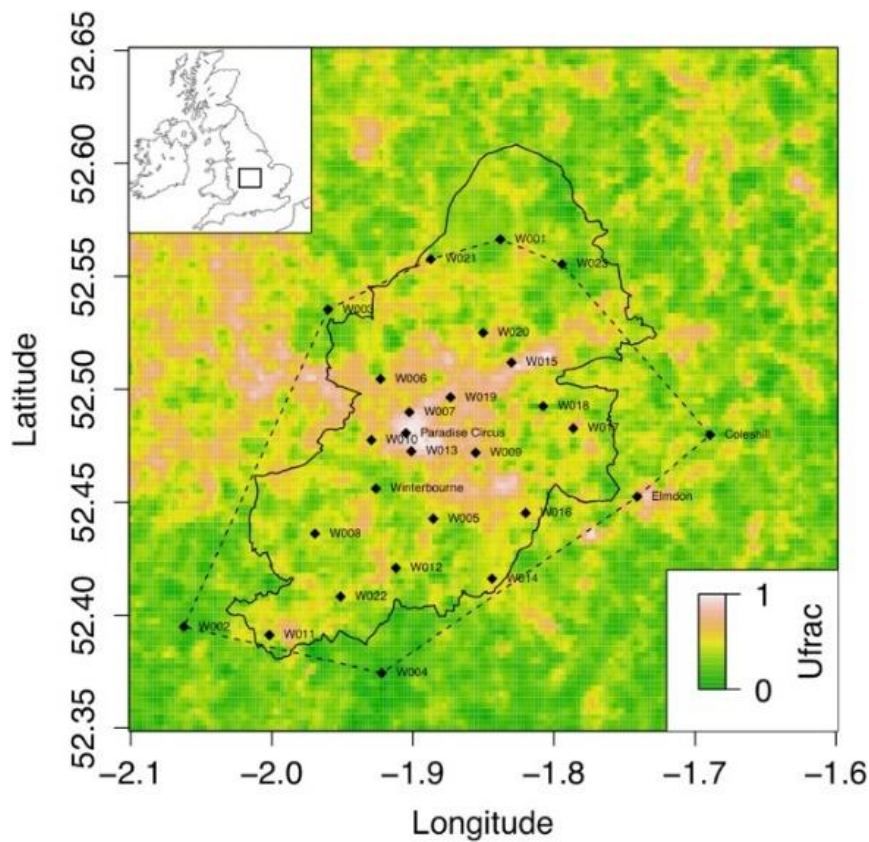
Het UHI-effect heeft ook invloed op de luchtcirculatie in de omgeving. Hidalgo et al. spreken van een Urban Breeze Circulation: een circulatie die ontstaat door de temperatuurverschillen tussen de stad en het omringende rurale gebied.⁷² Door de

⁷⁰ Knol, W.C., H. Kramer & H. Gijsbertse (2004), Historisch Grondgebruik Nederland; een landelijke reconstructie van het grondgebruik rond 1900, Wageningen, Alterra

⁷¹ E. E. Daniels, G. Lenderink, R. W. A. Hutjesa, A. A. M. Holtslag, 2016. Short Communication Observed urban effects on precipitation along the DutchWest coast. Int. J. Climatol. 36: 2111–2119 (2016)

⁷² J. Hidalgo, V. Masson, L. Gimeno (2010), Scaling the Daytime Urban Heat Island and Urban-Breeze Circulation, Journal of Applied Meteorology and Climatology

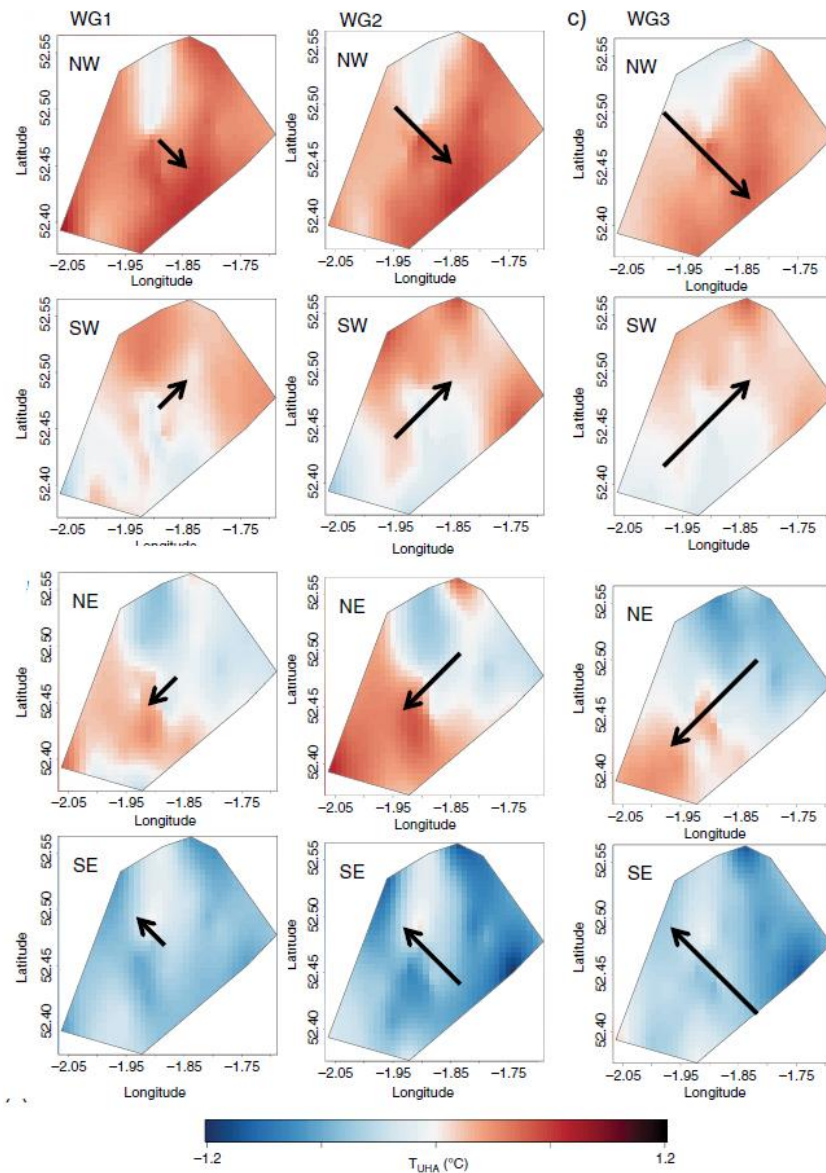
aanwezigheid van wind kan warmte boven de stad verticaal mengen en naar de omgeving getransporteerd worden. Deze zogenaamde *urban plumes* kunnen tot 10 à 15 km van het stadscentrum reiken.



Figuur 3.31: Onderzoeksgebied Bassett et al. rond Birmingham. Ufrac is de mate van verstedelijking. Bron: Bassett et al.

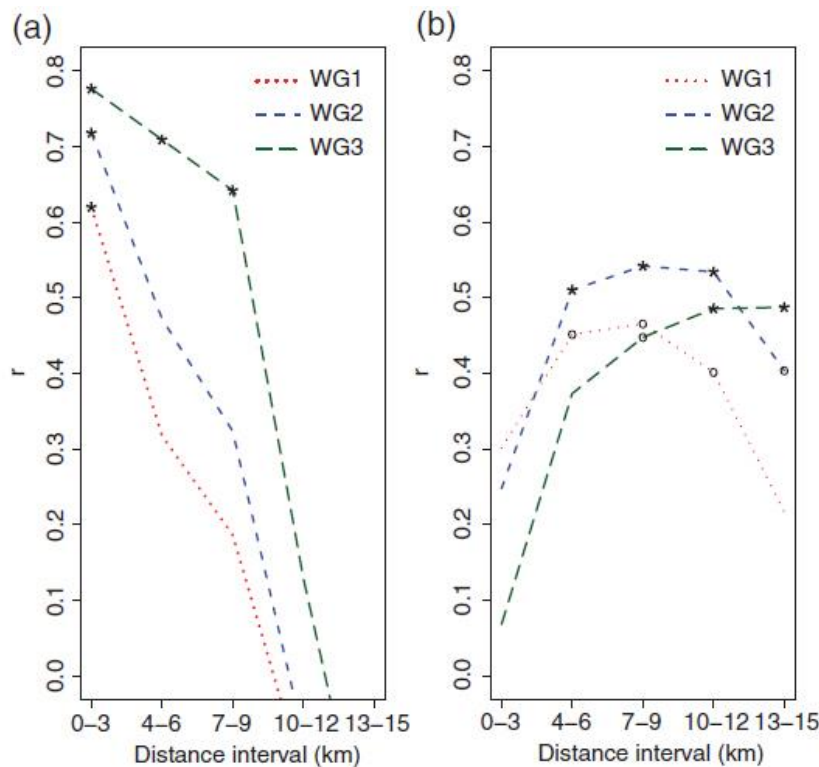
Een recent grootschalig onderzoek van advection van stadswarmte naar de omgeving van Birmingham is door Bassett et al in 2016 gepubliceerd.⁷³ Met behulp van 29 weerstations (zie figuur 3.31) in en rond Birmingham hebben de onderzoekers 20 maanden lang onderzoek gedaan naar het proces van Urban Heat Advection (UHA). De meetopstelling tot 15 km van het referentie-meetstation in het centrum van Birmingham bracht een upwind-downwind temperatuurverschil tot 1,2°C aan het licht.

⁷³ R. Bassett et al, 2016. Observations of urban heat island advection from a high-density monitoring network, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Q.J.R.Meteorol.Soc. 142: 2434–2441, July 2016 B DOI:10.1002/qj.2836



Figuur 3.32: Ruimtelijke effecten van UHA voor vier windrichtingsectoren en drie windsnelheden: WG1 ($<2\text{ms}^{-1}$), WG2 (2 tot 3ms^{-1}) en WG3 ($>3\text{ms}^{-1}$). Bron: Bassett et al.

Bassett et al. onderzochten ook de correlatie tussen UHI en Ufrac (verstedelijkingsgraad) en UHA en Ufrac. Niet verwonderlijk is dat de correlatie tussen UHI en Ufrac het sterkste was in de afstandscategorie 0-3 km en daarna sterk afliep.



Pearson's correlation coefficient (r) between (a) UHI ($\overline{\Delta T_{i-u}}$) and Ufrac annuli ($Ufrac_{(i,d)}^{(ann)}$), (b) UHA ($T_{UHA(i)}^{(\theta)}$) and Ufrac arcs ($\Delta Ufrac_{(i,d)}^{(\theta)}$) at 3 km intervals from the stations. (*) Correlation is significant at the 0.01 level; (o) Correlation is significant at the 0.05 level.

Figuur 3.33: Correlatie tussen UHI (links) en UHA (rechts) en afstand tot het referentiemeetstation in het centrum van Birmingham. Bron: Bassett et al.

De correlatie neemt voor alle windsnelheidsgroepen toe op de afstand 4-6 km (significant op 0,01 niveau). De correlatie voor windsnelheidsniveau WG1 (<2ms⁻¹) is het sterkst op de afstand 4-9 km. Voor WG2 (2 tot 3ms⁻¹) is de correlatie het hoogst op 7-9 km afstand en blijft hoog tot 10-12 km. Voor WG3 (>3ms⁻¹) ligt de hoogste correlatie op 13-15 km afstand. Een hogere windsnelheid vervoert de warmte dus verder.

Uit de ruimtelijke spreiding van het UHA-effect in figuur 3.32 en de grafiek b van figuur 3.33 is af te leiden dat voor wat betreft windklasse WG3 de significante correlatie op 13-15 km afstand beperkt wordt door de omvang van het onderzoeksgebied. Voor een aanzienlijk grotere stad als Londen zijn UHA-effecten gevonden tot 40 km downwind (Bohnenstengel 2011⁷⁴).

In Nederland is er op zich veel aandacht voor stadseffecten. De KNMI-brochure besteedt er ook aandacht aan: "Uit onderzoek van de Nederlandse Organisatie voor toegepast-

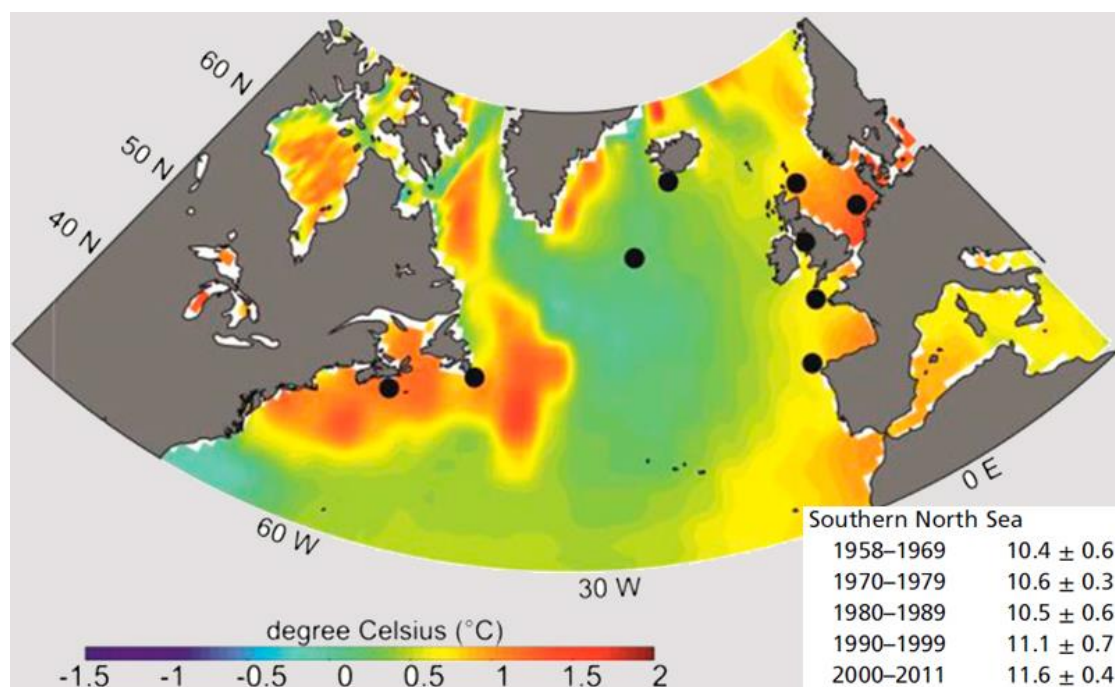
⁷⁴ S. I. Bohnenstengel et al (2011), Simulations of the London urban heat island, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.

natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO), Wageningen UR en het KNMI blijkt dat het temperatuurverschil door het warmte-eiland effect gemiddeld even groot is als de temperatuurverandering in de scenario's voor 2050.” Erbij staat een kaartje van Utrecht dat laat zien dat jaarrond de nachten daar gemiddeld tot twee graden warmer zijn dan het nabijgelegen platteland.

In termen van attributie speelt het UHI echter nauwelijks een rol. Op de trend in De Bilt is een kleine correctie van 0,14°C toegepast. Het lijkt aannemelijk dat vanwege de sterke verstedelijking van het Nederlands grondgebied en de ruimtelijke versnippering van die verstedelijking veel meer stations in Nederland beïnvloed zijn door het UHI.

De Noordzee

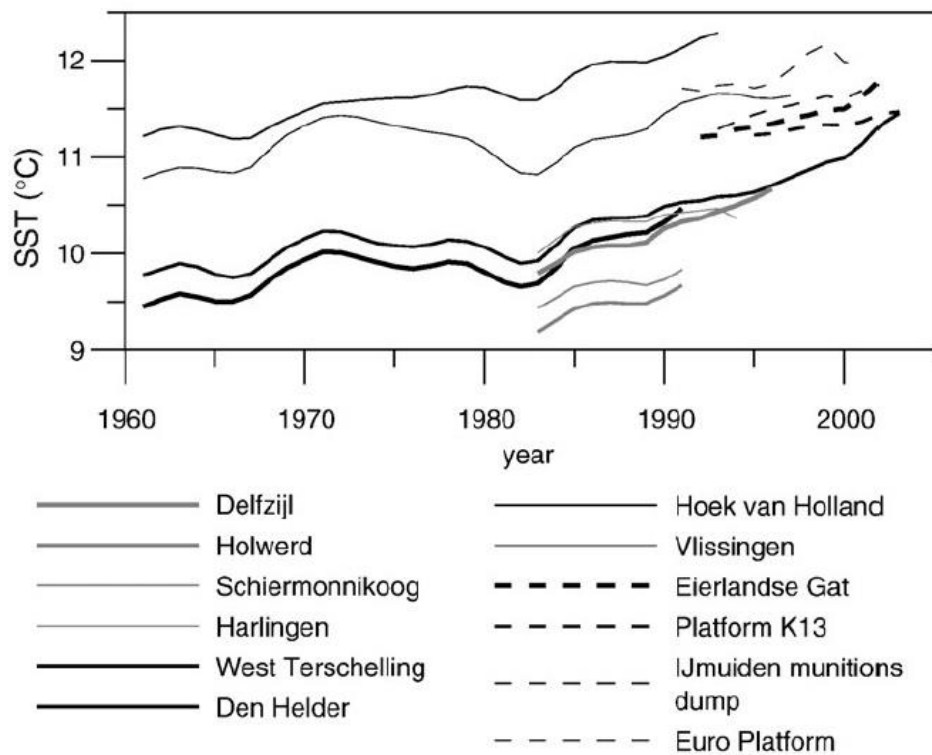
De zuidelijke Noordzee is sinds het begin van de jaren '80 van de vorige eeuw opmerkelijk opgewarmd. Vezzulli et al. constateerden een opwarming tussen 1980-1989 en 2000-2011 van 10,5°C naar 11,6°C, volgens de onderzoekers een gevolg van de toegenomen temperatuur op het Noordelijk Halfrond ('*climate change*') en de positieve fase van de Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO).⁷⁵



Figuur 3.34: Opwarming zuidelijke Noordzee. Bron: Vezzulli et al.

⁷⁵ Vezzulli L., C. Grande, P.C. Reid, P. Hélaouët, M. Edwards, M.G. Höfle, I. Brettar, R.R. Colwell, C. Pruzzo (2016), Climate influence on *Vibrio* and associated human diseases during the past half-century in the coastal North Atlantic, PNAS

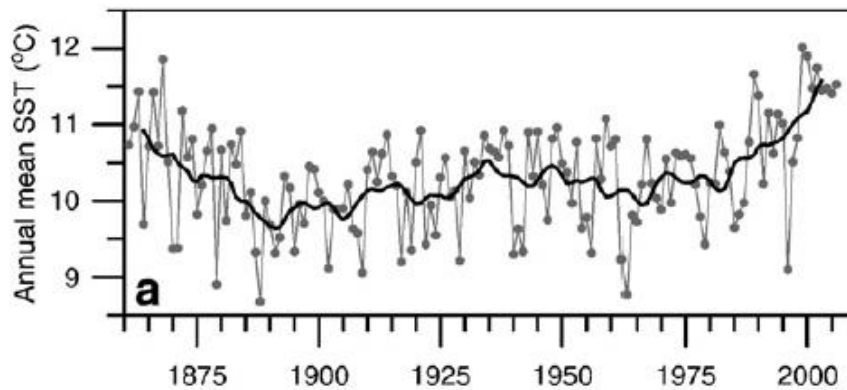
Van Aken heeft de opwarming van de Nederlandse kustwateren nader onderzocht. Hij maakte gebruik van de langjarige SST-reeksen (Sea Surface Temperature) van een twaalfstal stations in de Nederlandse kustwateren.⁷⁶



Figuur 3.35: 10-jarig voortschrijdend gemiddelde van de jaargemiddelde SST van de twaalf stations. Bron: Van Aken 2010.

In figuur 3.35 is duidelijk een sprong in SST te zien in het begin van de jaren '80. Van Aken gebruikt deze data om vast te stellen dat de langjarige SST-reeks van het Marsdiep (vanaf 1860!) representatief is voor de langjarige SST-ontwikkeling voor de gehele Nederlandse kust.

⁷⁶ H.M. van Aken (2010), Meteorological forcing of long-term temperature variations of the Dutch coastal waters, Journal of Sea Research



Figuur 3.36: Jaarlijkse gemiddelde SST in het Marsdiep met 10-jarig voortschrijdend gemiddelde 1860-2008. Bron: Van Aken.⁷⁷

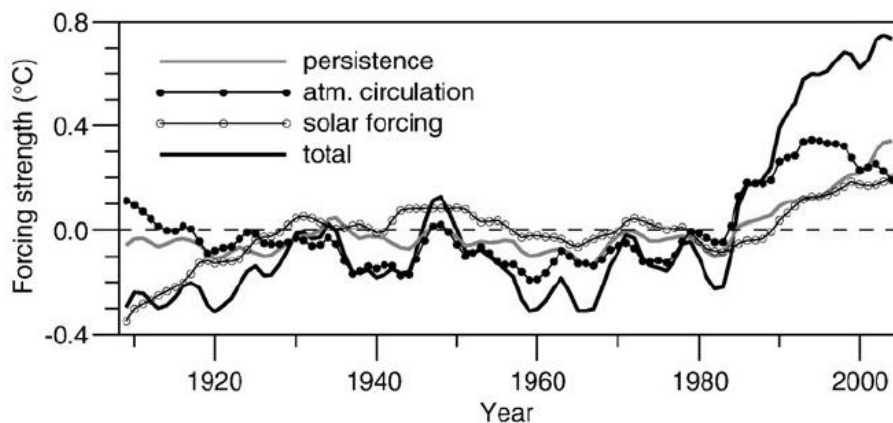
Opvallend is ook hier de sterke temperatuurstijging van de SST sinds de jaren '80 van de vorige eeuw. Minstens zo opvallend is de sterke daling van de SST van 1860 tot 1890 en het feit dat de temperatuur rond 1860 vergelijkbare waarden had als na 2000.

Van Aken heeft op zijn zoektocht naar de oorzaken van deze stijging gebruik gemaakt van meervoudige lineaire regressie, dat klimatologische en oceanografische forceringen koppelt aan de SST. De oceanische forcering is de SST van het voorafgaande seizoen en representeert de persistentie van de temperatuur als gevolg van het feit dat water langzaam afkoelt en opwarmt. Deze is alleen werkzaam op de tijdschaal van seizoenen. De klimatologische forceringen die in het model zijn ingebracht zijn de windrichting en de directe inkomende zonnestraling.

In voorgaande paragraaf over de veranderde luchtcirculatie is al gewezen op het positiever worden van de winter NAO-index en de daarmee gepaard gaande verandering in luchtcirculatie. Die verandering van de luchtcirculatie heeft geleid tot een toename van de westenwind in de winter met advectie van relatief warme en vochtige oceanische lucht. Deze lucht vermindert de warmteverliezen door een toenemende terugstraling van infrarode straling, en vermindert ook de verliezen door latente en voelbare warmte door verminderde turbulentie.

In de zomer domineert de zonne-instraling de energiebalans. We zagen reeds in de paragraaf over brightening dat er sinds het begin van de jaren 1980 een opmerkelijke toename is van de hoeveelheid invallende zonne-energie. Van Aken gebruikt de langjarige reeksen (vanaf 1909) van dagelijkse zonuren als proxy voor de kortgolvlige straling.

⁷⁷ H.M. van Aken (2008), Variability of the water temperature in the western Wadden Sea on tidal to centennial time scales, *Journal of Sea Research*, Volume 60, Issue 4, p. 227-234.



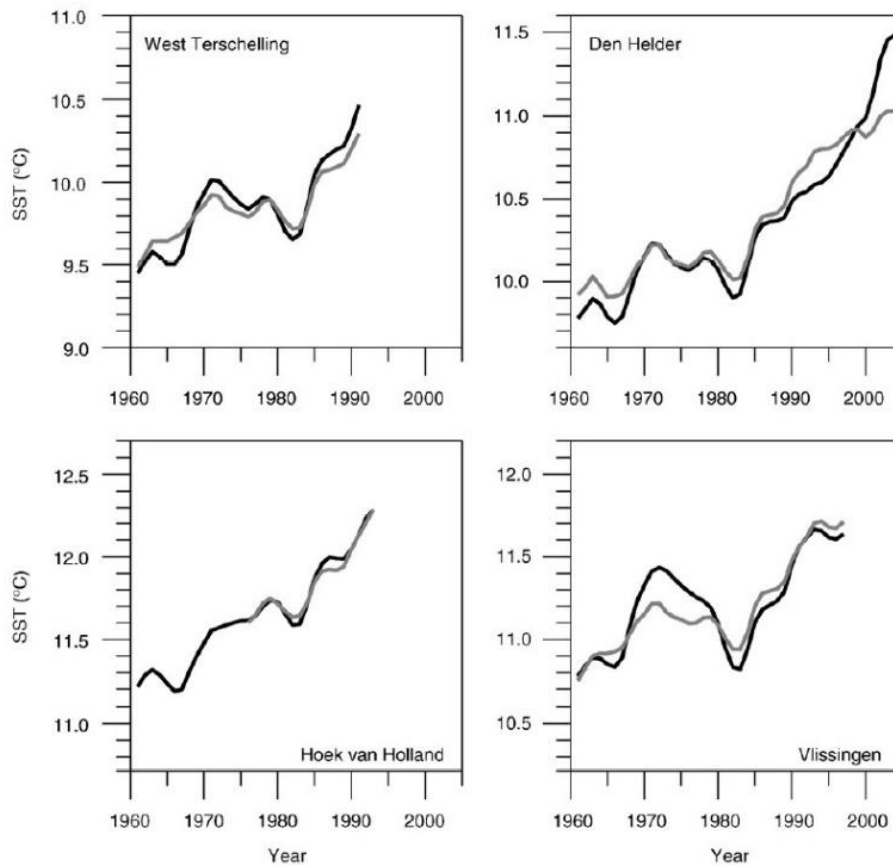
Figuur 3.37: 10-jarig voortschrijdend gemiddelde van het aandeel van de factoren persistentie, verandering in luchtcirculatie en zonne-forcering in de totale gemodelleerde SST-variantie. Bron: Van Aken.

Als we kijken naar de invloed van de gebruikte meervoudige regressie-parameters dan is de persistentie van de SST de kleinste factor. Die is van invloed op de SST van het volgende seizoen maar de invloed is van korte duur en beïnvloedt de SST nooit langer dan 1 jaar. Wel is de stijging van de persistentie vanaf 1982 een indicator voor de opwarming als gevolg van veranderingen in externe forcering.

De toename van het aantal zonne-uren (van 4,2 uren naar 5,1 uren/dag) van 1982 tot 2007 bedraagt maar liefst 21%. Dat resulteert na 2003 in een toename van de watertemperatuur met $\sim 0,3$ °C. Van Aken constateert dat dezelfde trend ook te zien is op de belangrijke weerstations op het land en dat de toename van de temperatuur op die stations hoofdzakelijk het gevolg is van de sterke toename van de zonne-instraling in de lente.

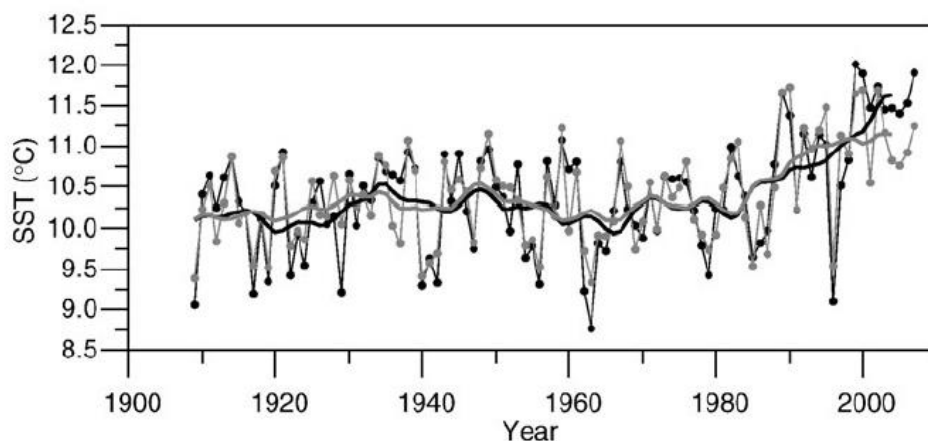
Overigens is de toename van de zonne-energie zoals die plaats vindt van 1982 tot 2004 niet uniek: Van Aken constateerde dat tussen 1909 en 1931 een nog sterkere zonne-forcering optrad. Deze periode wordt overigens ook wel aangeduid als *early brightening*.

De belangrijkste factor voor de toename van de SST vanaf 1982 is echter de verandering in luchtcirculatie (toename westenwind). De invloed daarvan deed zich het sterkst gelden in de herfst en winter en deed de SST tussen 1982 en 2007 toenemen met $0,4$ °C.



Figuur 3.38: 10-jarig voortschrijdend gemiddelde op basis van gemiddelde jaarlijkse SST in de vier belangrijkste getijde-openingen (gemeten, zwart). In grijs het 10-jarig voortschrijdend gemiddelde op basis van de gehanteerde forceringen in meervoudige regressiemodellen. Bron: Van Aken.

De meervoudige regressieanalyse op basis van de drie forceringen zoals die door Van Aken zijn gehanteerd verklaren vrijwel helemaal de langjarige SST-trends van de vier grote getijde-openingen aan de Nederlandse kust. Tot slot nog de correlatie tussen gemeten SST in het Marsdiep vanaf 1908 en de uitkomsten van de multiële regressiemodellen:



Figuur 3.39: Jaarlijkse gemiddelde SST in het Marsdiep met 10-jarig voortschrijdend gemiddelde (zwart). In grijs de uitkomst van het meervoudige lineaire regressiemodel van Van Aken.

Bijzonder is dat het meervoudige regressiemodel van Van Aken broeikasgassen niet meeneemt als forcering. De auteur: *“An explicit local greenhouse effect is not required as separate forcing factor to explain the recent warming trend of Dutch coastal waters starting in the early 1980s; coincident variations in wind statistics and cloudiness are a sufficient explanation.”* Het is dus mogelijk om de toename van de watertemperatuur voor onze kust volledig te ‘verklaren’ met de persistentie van de zeewatertemperatuur (een warme zee blijft wel even warm), de veranderende luchtcirculatie en de toename van de zonnestraling.

De warmer geworden Noordzee is uiteraard ook (via advectie) van invloed op de temperatuur op land en op de neerslag (waarover in het volgende hoofdstuk meer). Merkwaardig genoeg besteedt het KNMI helemaal geen aandacht aan de ontwikkeling van de zeewatertemperatuur langs onze kust, zoals in de paper van Van Aken is gedaan. Dit is een belangrijke omissie.

Conclusies

Het is verleidelijk om de temperatuurontwikkeling in ons land na 1950 te vergelijken met die van de wereld als geheel, inclusief de dominant geachte rol van CO₂. Het KNMI doet dat dan ook en gaat er bij de KNMI-scenario's vanuit dat broeikasgassen na 1950 een dominante invloed hadden, ook op het Nederlandse klimaat, en dat dit de komende eeuw zo zal blijven. In dit hoofdstuk hebben we laten zien dat de aanname dat broeikasgassen een dominante invloed hebben op het Nederlandse klimaat nog altijd zeer voorbarig is.

De meest in het oog springende verandering in de afgelopen eeuw was een plotselinge sprong in de temperatuur van ruim een graad Celsius eind jaren '80. Die sprong is terug te vinden in grote delen van West-Europa en zelfs in de zeewatertemperaturen langs de Europese kusten. Het KNMI rept noch in de brochure noch in het wetenschappelijke achtergrond over deze 'sprong'. Het prefereert duidelijk een meer (non)lineaire blik op onze recente klimaatgeschiedenis. Men benadrukt dat Nederland twee keer zoveel is opgewarmd dan wereldgemiddeld en dat het merendeel van die opwarming na 1950 plaatsvond, de periode waarvan het IPCC zegt dat het vrijwel zeker is dat broeikasgassen een grote invloed hadden. Beide constatering van het KNMI zijn waar, maar datzelfde geldt voor de constatering dat de opwarming in Nederland grotendeels gezien kan worden als een sprong eind jaren '80. Zo'n sprong is echter veel lastiger te verklaren aan de hand van de geleidelijke toename van broeikasgassen in de atmosfeer.

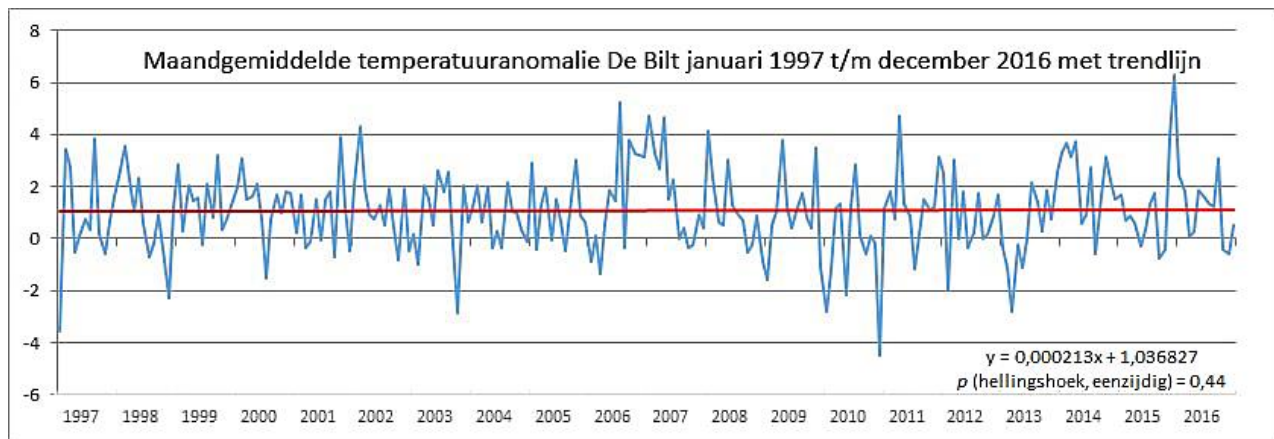
De afgelopen decennia is de veranderde luchtcirculatie misschien wel de belangrijkste factor geweest voor de toename van de temperatuur in ons land. Een grotere aanvoer van zachte lucht vooral in de winter zorgde voor een snelle toename van de temperatuur vanaf eind jaren '80 met ongeveer 1 °C. Ook de temperatuur van het Noordzeewater voor de kust nam in deze periode sterk toe onder andere vanwege de veranderde luchtcirculatie.

Het schoner worden van de lucht boven ons land heeft ervoor gezorgd dat vanaf de jaren '80 de inkomende kortgolvlige straling met maar liefst 10% is toegenomen. Het is aannemelijk dat deze brightening een flinke rol gespeeld heeft bij de opwarming. Een studie van Van Aken kon vrijwel alle veranderingen in de zeewatertemperaturen 'verklaren' met een combinatie van veranderde luchtcirculatie en de toename van zonnestraling.

De invloed van de toenemende verstedelijking is een andere (onderschatte) factor die van invloed is op de temperatuurontwikkeling. Niet alleen de mate van verstedelijking maar ook de voor Nederland kenmerkende versnippering van de verstedelijking heeft waarschijnlijk meer invloed dan tot nu toe wordt verondersteld. Onderzoek is noodzakelijk.

Kortom, wij constateren dat het KNMI weinig aandacht heeft besteed aan wat 'attributie' wordt genoemd, het toekennen van factoren/oorzaken aan de waargenomen verandering. In lijn met het IPCC veronderstelt het KNMI dat broeikasgassen ook in Nederland een dominante invloed hebben. Het KNMI toont dit echter niet aan. Dit is een belangrijke tekortkoming bij de verantwoording van de scenario's. Want pas als aannemelijk is gemaakt dat broeikasgassen dominant zijn heeft het zin om scenario's te draaien waarbij voornamelijk broeikasgassen toenemen terwijl andere factoren min of meer constant gehouden worden. Een aanbeveling van dit rapport is dan ook dat het KNMI, voordat het de nieuwe scenario's in 2021 uitbrengt, veel meer aandacht besteedt aan attributie.

De KNMI-scenario's geven aan dat Nederland in 2050 (tijdvak 2036-2065) 1 °C tot 2,3 °C warmer zal zijn dan in de referentieperiode (1981-2010). Dat betekent dat het iedere tien jaar 0,18 °C tot maar liefst 0,42 °C warmer zou moeten worden. Nu ligt de referentieperiode 1981-2010 nog niet zo lang achter ons, maar toch, hoe ontwikkelt de temperatuur zich de laatste jaren?



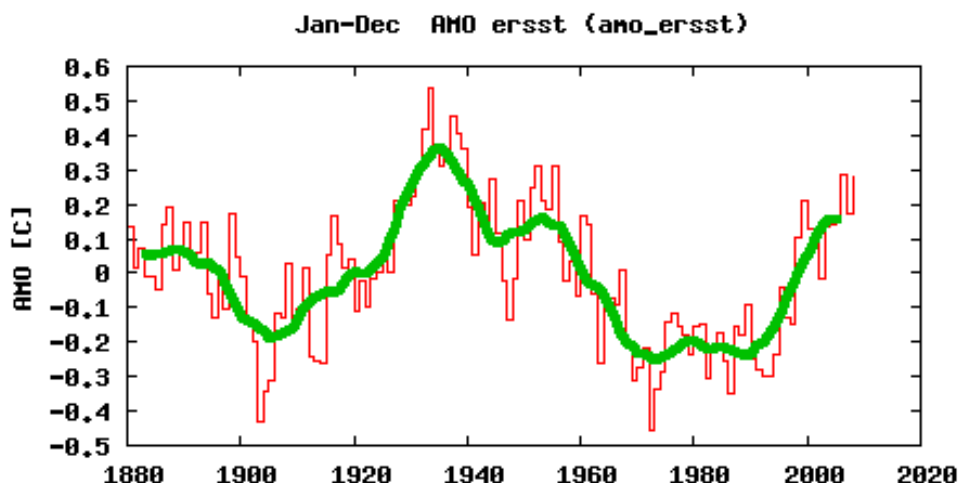
Figuur 3.40: Geen significante stijging van de temperatuur in De Bilt sinds 1997.

Opmerkelijk genoeg staat de temperatuurontwikkeling in ons land al twintig jaar vrijwel stil. Wie had twintig jaar geleden durven voorspellen dat de temperatuur in De Bilt tenminste twintig jaar geen significante stijging zou vertonen? In dezelfde periode is het CO₂-gehalte van de atmosfeer met ruim 11,5 % gestegen.⁷⁸

Voor de temperatuurontwikkeling in ons land lijkt de ontwikkeling van de globale temperatuur van ondergeschikt belang. Van Aken toonde aan dat de toename van de watertemperatuur voor onze kust volledig te 'verklaren' is op basis van persistentie van SST, veranderende luchtcirculatie en toename van de zonnestraling. Van brightening hoeven we echter in de toekomst niet veel meer te verwachten. De lucht is inmiddels flink opgeklaard en het ligt voor de hand dat de hoeveelheid zon die we ontvangen ook een soort maximum bereikt heeft.

Daarnaast is er de Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO), die sinds de jaren tachtig van de koude naar de warme fase opschoof:

⁷⁸ <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>



Figuur 3.41: AMO-index volgens de definitie van het KNMI. Bron: KNMI.⁷⁹

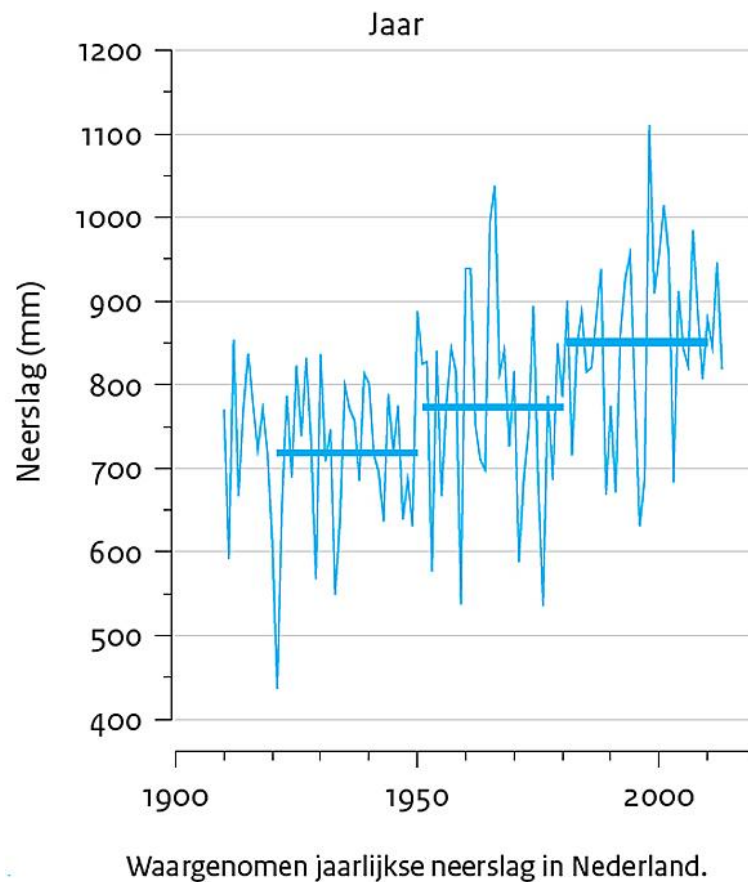
Sutton et al⁸⁰ komen tot de conclusie dat er voldoende bewijs is dat de temperatuur van de noordelijke Atlantische Oceaan de 'key driver' is van de klimaatverandering vanaf de jaren '90 in Europa. Historisch gezien is te verwachten dat de AMO de komende decennia weer zal dalen. Dit betekent simpelweg lagere temperaturen in de Atlantische Oceaan en dus koelere temperaturen als de wind van zee komt. Of zich weer grote veranderingen zullen voordoen in de windrichting is uiteraard niet te voorspellen.

Op basis hiervan vinden wij het niet ondenkbaar en zelfs heel reëel te verwachten dat de vlakke temperatuurtrend in Nederland nog wel tien tot twintig jaar kan voortduren en dat zelfs een daling van de temperatuur de komende decennia niet onaannemelijk is. Dit had eigenlijk als 'best case'-scenario in het KNMI-rapport meegenomen moeten worden. Want stel dat het met die klimaatverandering in ons land wel mee gaat vallen, wat dan?

⁷⁹ <http://climexp.knmi.nl/amo.cgi>

⁸⁰ Sutton R. T. & Dong B. Atlantic Ocean influence on a shift in European climate in the 1990s. Nat. Geosci. 5, 788–792 (2012)

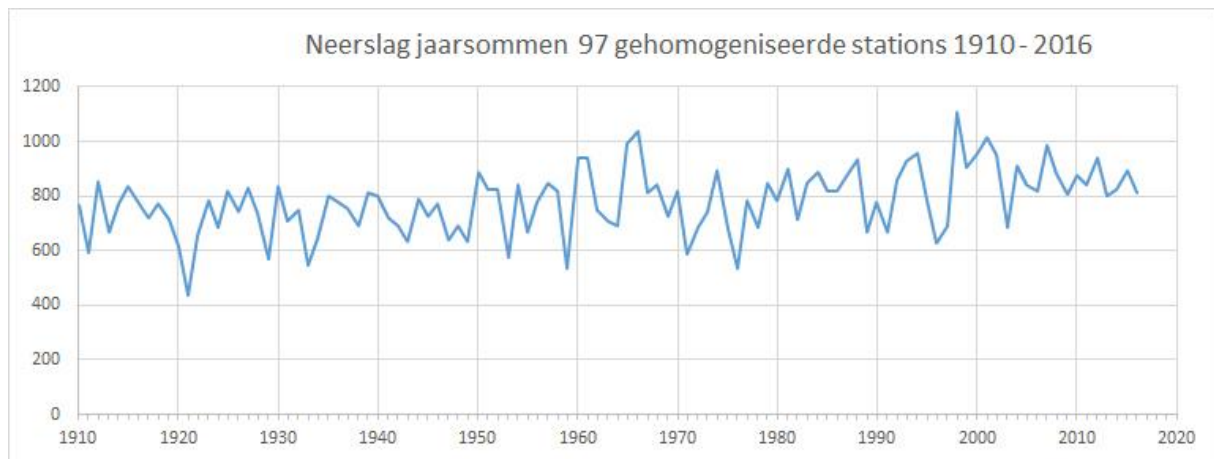
4. Neerslag: méér en extremer?



Figuur 4.1: Toename jaarlijkse neerslag in Nederland 1910-2013. Bron: KNMI.⁸¹

In Nederland is de totale jaarlijkse neerslag de afgelopen eeuw toegenomen. Bovenstaande figuur 4.1 uit de KNMI-brochure toont de toename tussen 1910 en 2013. De grafiek ziet er nogal dramatisch uit. Dat komt omdat de makers de y-as niet bij 0 laten beginnen en ook doordat de x-as korter is dan de y-as. Zo ziet dezelfde datareeks eruit met een iets andere lay-out van de grafiek (figuur 4.2).

⁸¹ http://www.climatescenarios.nl/images/Climate_scenarios_EN_2015.pdf



Figuur 4.2: Jaarsommen neerslag Nederland 1910-2016.

Data: KNMI

Volgens het KNMI is de toename in deze periode 26% en tussen 1951 en 2013 14%. Die toename zou voor een deel te danken zijn aan de hogere temperaturen, die ook de toename van de extremen verklaart. De KNMI-brochure verwoordt dat als volgt: *“Door de toename van de temperatuur is ook de hoeveelheid waterdamp in de lucht toegenomen sinds 1950. Dit verklaart gedeeltelijk de toename van de jaarlijkse hoeveelheid neerslag. Het effect op zware buien is nog groter. Uit waarnemingen blijkt dat bij de meest extreme buien de hoeveelheid neerslag per uur toeneemt met ongeveer 12% per graad opwarming.”*

In alle KNMI-scenario's neemt de neerslag in alle seizoenen toe, met uitzondering van de zomer. Extreme neerslagintensiteiten nemen in alle scenario's het hele jaar door toe, zelfs in de GH- en WH-scenario's waarin de zomerneerslag afneemt. Dat lijkt aannemelijk: hogere temperaturen leiden immers in theorie tot grotere verdamping, en *what goes up must come down*. Althans dat gaat op voor de aarde als geheel. Hoewel? Het IPCC is heel voorzichtig als het gaat om de mondiale trends in neerslag. In de Summary for Policy Makers van het IPCC-rapport uit 2013 schreef het: *“Confidence in precipitation change averaged over global land areas since 1901 is low prior to 1951 and medium afterwards. Averaged over the mid-latitude land areas of the Northern Hemisphere, precipitation has increased since 1901 (medium confidence before and high confidence after 1951). For other latitudes area-averaged long-term positive or negative trends have low confidence (see Figure SPM.2). {TS TFE.1, Figure 2; 2.5}”*⁸²

Het deel van de wereld waar Nederland in ligt kent een toename van neerslag, aldus het IPCC, maar voor de wereld als geheel is er 'low confidence' in neerslagtrends op land. Dat was ook de conclusie van een studie van Van Wijngaarden et al twee jaar later, die neerslaggegevens van bijna 1000 weerstations met minimaal honderd jaar aan metingen

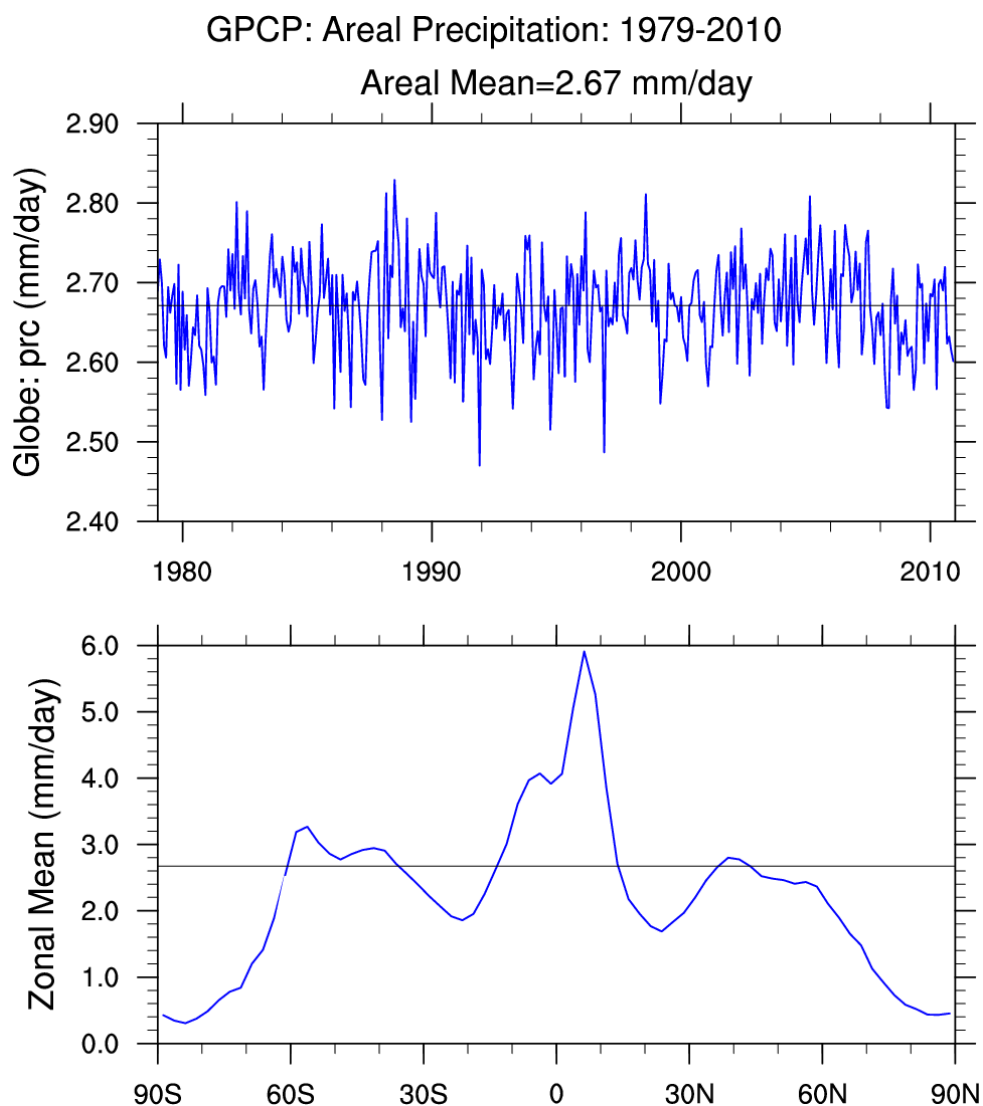
⁸² https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf (pag. 3)

onderzochten.⁸³ De Canadese onderzoekers concluderen dat *“global changes in precipitation over the Earth's land mass excluding Antarctica relative to 1961-90 were estimated to be: - 1.2±1.7, 2.6±2.5 and -5.4±8.1 percent per century for the periods 1850-2000, 1900-2000 and 1950-2000, respectively.”* Ook merkten zij op dat *“stations experiencing low, moderate and heavy annual precipitation did not show very different precipitation trends.”* Dit betekent volgens hen dat *“deserts/jungles are neither expanding nor shrinking due to changes in precipitation patterns.”* Hun eindconclusie luidt dan ook dat *“some caution is warranted about claiming that large changes to global precipitation have occurred during the last 150 years.”*

Voor trends op langere tijdschalen zijn we logischerwijs afhankelijk van weerstations op land. Tegenwoordig is het ook mogelijk om met behulp van satellieten neerslag in kaart te brengen zodat een echt mondiaal beeld ontstaat. Dit gebeurt bijvoorbeeld in het Global Precipitation Climatology Project (GPCP).⁸⁴ Ook hier geen duidelijke trends te zien:

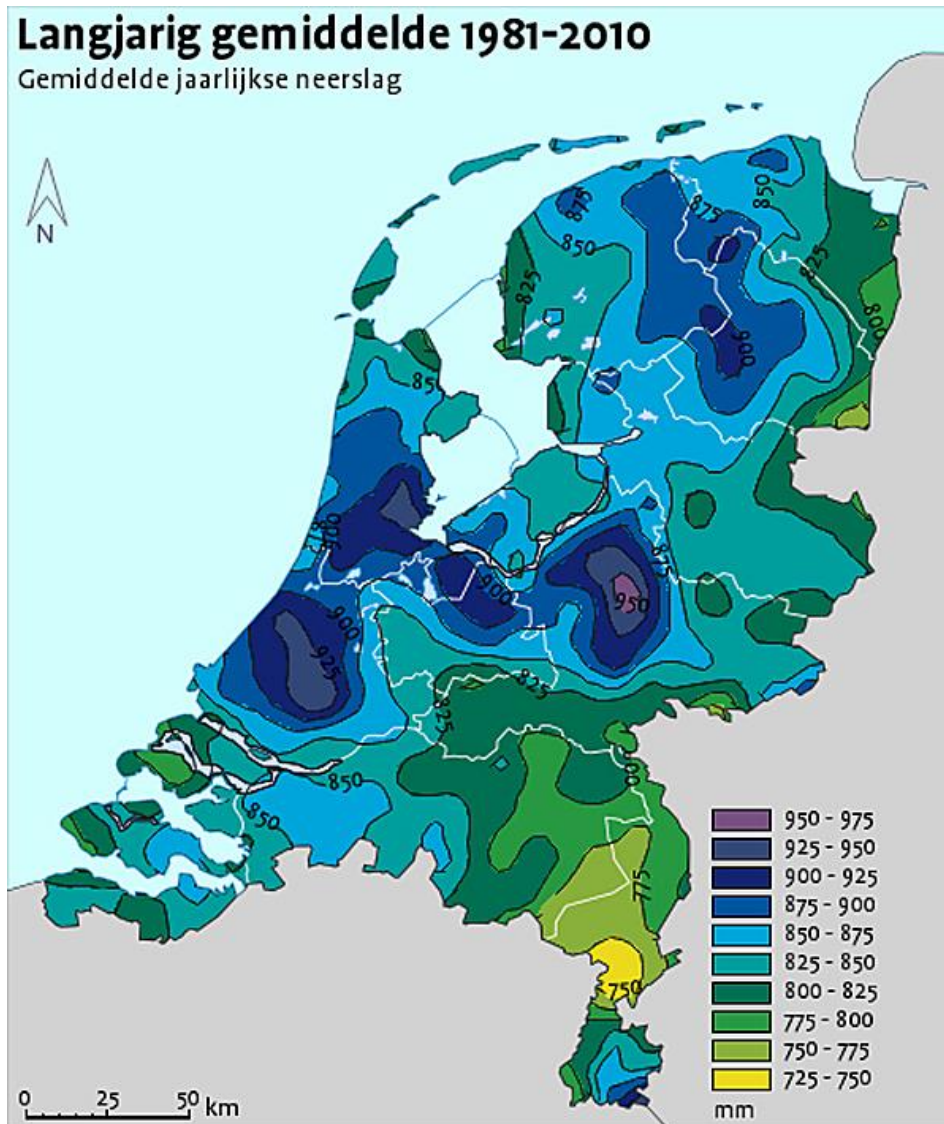
⁸³ Van Wijngaarden, W.A. and Syed, A. 2015. Changes in annual precipitation over the Earth's land mass excluding Antarctica from the 18th century to 2013. *Journal of Hydrology* 531: 1020-1027.

⁸⁴ <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/gpcp-monthly-global-precipitation-climatology-project>



Figuur 4.3: Ontwikkeling van de mondiale neerslag tussen 1979 en 2010. Onder: verdeling van de neerslag over breedtegraden. Bron: GPCP.

Maar in Nederland is er zoals de KNMI-grafiek laat zien wel een duidelijke toename van neerslag sinds 1900. Op lokale en regionale schaal kunnen andere factoren dan de simpele redenering 'warmer is natter' een rol spelen. Daar gaat het in dit hoofdstuk over. En over de vraag of waarnemingen bevestigen dat er sprake is van extremere neerslag in ons land.



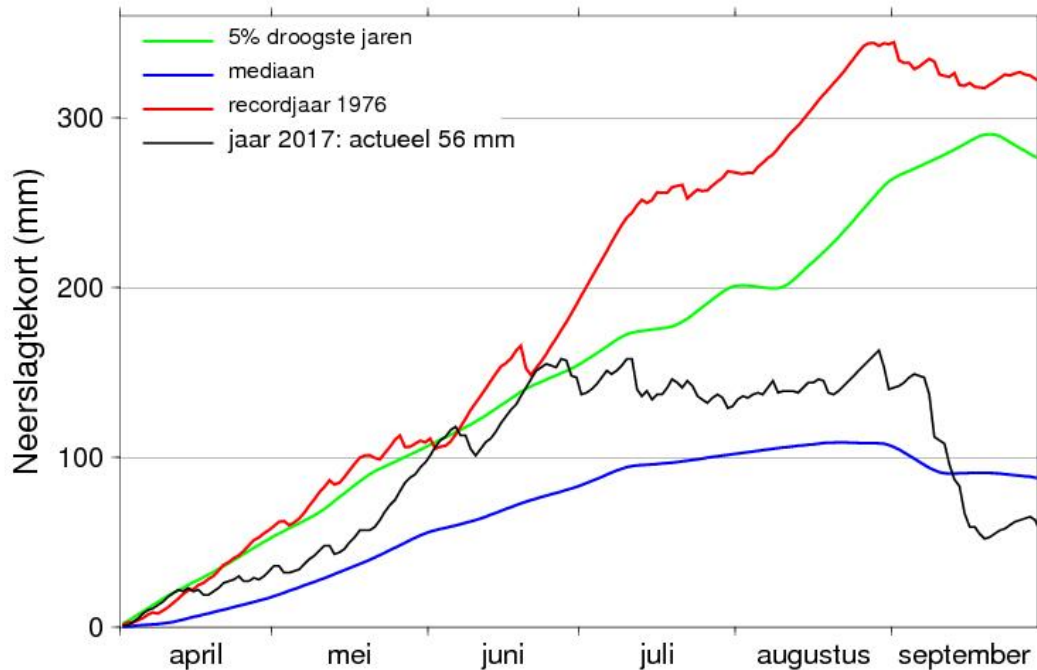
Figuur 4.4: Gemiddelde jaarlijkse neerslag 1981-2010. Bron: Klimaatatlas.⁸⁵

In figuur 4.4 is de gemiddelde jaarlijkse neerslag weergegeven voor de periode 1981-2010. Grofweg kun je stellen dat de ruimtelijke spreiding van de jaarlijkse neerslag op deze schaal door een drietal factoren wordt beïnvloed: afstand tot de kust, hoogteligging en verstedelijking. Vooral de hoogteligging en de verstedelijking vallen in het kaartbeeld op. Overigens valt het met de hoeveelheid jaarlijkse neerslag in ons land wel mee, zeker als je de verdamping in ogenschouw neemt: van april tot oktober heerst hier zelfs een neerslagtekort.

⁸⁵ <http://www.klimaatatlas.nl/>

Neerslagtekort in Nederland in 2017

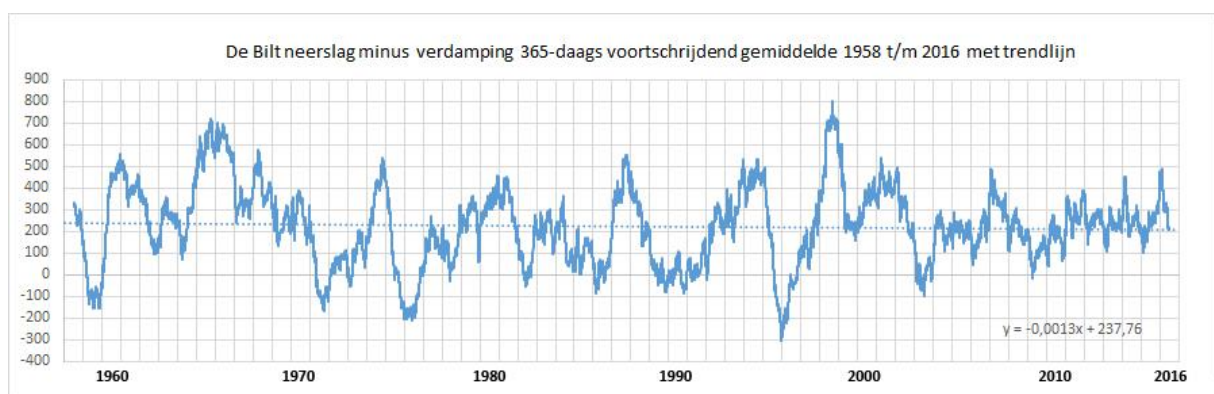
Landelijk gemiddelde over 13 stations



(c) KNMI, bijgewerkt 2017-10-30, 15:32 UT

Figuur 4.5: Neerslagtekort. Bron: KNMI.⁸⁶

Gemiddeld is er de afgelopen 50 jaar weinig veranderd aan de hoeveelheid nuttige neerslag die op jaarbasis na verdamping overblijft. Figuur 4.6 toont het verschil tussen de dagelijkse neerslag in De Bilt en de zogenaamde referentiegewasverdamping (EV24) in een 365-daags voortschrijdend gemiddelde sinds 1958. De trend is nagenoeg vlak.

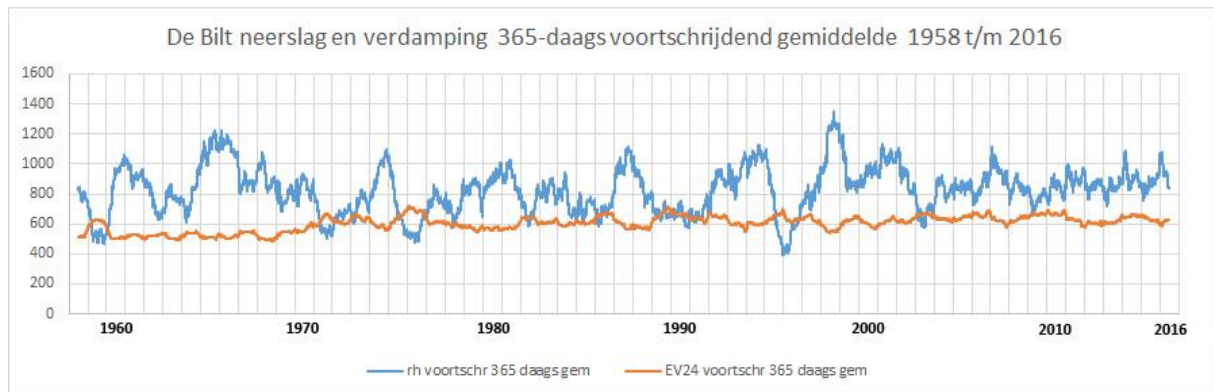


Figuur 4.6: 365-daags voortschrijdend gemiddelde neerslag minus verdamping De Bilt 1958 t/m 2016. Data: KNMI.⁸⁷

⁸⁶ http://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/neerslagtekort_droogte

⁸⁷ <http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi>

In figuur 4.7 zijn neerslag en verdamping in De Bilt afzonderlijk weergegeven. De neerslag vertoont al sinds begin jaren '90 geen stijging meer. Wat opvalt is dat tot het begin van het nieuwe millennium de neerslag sterk volatiel is en daarna geen echte grote schommelingen meer vertoont. Die volatiliteit is dus de oorzaak van de grote schommelingen in figuur 4.7. De verdamping toont rond 1970 een lichte stijging waarna de trend tot heden vrij vlak is.



Figuur 4.7: 365-daags voortschrijdend gemiddelde neerslag en verdamping De Bilt 1958 t/m 2016. Data: KNMI.⁸⁸

Dat de hoogteligging zo'n zichtbare invloed heeft (zie figuur 4.4) op de neerslag wekt vaak verbazing. Zelfs geringe hoogteverschillen van nog geen twintig meter, zoals die van het Drents Plateau, blijken de jaarlijkse neerslag relatief sterk te doen toenemen.

In het hoofdstuk over de temperatuur lieten we zien dat de luchtcirculatie boven ons land de afgelopen decennia grote veranderingen heeft ondergaan. Daarbij is een toename van de ZW-circulatie de opvallendste. Die verandering heeft ongetwijfeld ook geleid tot een toename van de neerslag, indachtig het gezegde 'zuidwest regennest'.

Het kusteffect met betrekking tot de neerslag hangt sterk af van de wisselwerking tussen verandering van het luchtstromingspatroon, het temperatuurcontrast tussen land en zee en de stijging van de temperatuur. Het totale effect is zo onzeker, dat het door het KNMI niet is meegenomen in de KNMI'14-klimaatsscenario's.

De vraag wat de toename van de neerslag in ons land de afgelopen eeuw bepaalde spitst zich ons inziens dus toe op de toename van de temperatuur, de veranderende luchtcirculatie en de toegenomen verstedelijking. Daarbij speelt de wijze waarop we neerslag meten en analyseren wellicht ook een rol.

Meetproblemen

⁸⁸ <http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi>

Het meten van neerslag kan op een aantal manieren. De meest gebruikte is de handmeting (links op de foto), gevolgd door de automatische meting. En dan is er nog de radarmeting.



Figuur 4.8: Verschillende neerslagmeters. Bron: A. Overeem.⁸⁹

De handmeting is de meest wijdverbreide methode en de standaard volgens directieven van de WMO (1982). Bekend was dat de automatische meetinstrumenten op jaarbasis een 5% lagere waarde geven dan de handmatig afgelezen instrumenten. In haar directief van 1981 stelt het WMO dat vanaf 1982 de handmatige instrumenten de officiële data leveren en dat de automatische meetdata daarnaar gecorrigeerd dienen te worden.

2.2.2 Adjustment of automatic gauge data

The WMO (1981) Guide to Hydrological Practices states that “it was decided that the standard nonrecording rain gauge measurements should be the official rainfall readings at the station, and that a correction factor should be applied to hourly rainfall and maximum intensity data, based on the ratio of the daily total by standard gauge to the total by recording gauge.” Before 1982 the archived hourly sums from the automatic gauges were adjusted by default with the daily sums from the collocated manual gauge. From 1982 the annual rainfall sums from the manual gauges are on average 5% larger than those from the automatic gauges. To promote the homogeneity of the data set it was decided to adjust the remaining 56% of automatic gauge data (1982-2005) by the same procedure, so also the data from the mid 1990s using the readings from the nearest manual gauge.

Figuur 4.9: WMO-richtlijn. Bron: A. Overeem.

Een ander probleem is wisseling van meetlocatie en instrument. Hieronder een overzicht van de veranderingen in De Bilt van de neerslagmeting.

⁸⁹ Aart Overeem (2009), Climatology of extreme rainfall from rain gauges and weather radar, xii+132 pages. In Dutch: Klimatologie van extreme neerslag uit regenmeters en weerradar, xii+132 blz. Thesis Wageningen University

Neerslagmetingen:	gemeten m.b.v. :
19060101 - 19460111	Pluviograaf(vangoppervlak 4 dm ² op 1,50 meter boven maaiveld)
19460112 - 19810331	Pluviograaf(vangoppervlak 4 dm ² op 0,40 meter boven maaiveld)
19810401 - 19930228	Pluviograaf(vangoppervlak 2 dm ² op 0,40 meter boven maaiveld)
19930301 - heden	Elektrische meting(vangoppervlak 2 dm ² op 0,40 meter boven maaiveld)
20080925, 13.00 UT	Instrumentverplaatsing, 200 m.
20080925 - heden	Neerslagmeter in OTT scherm

Figuur 4.10: aanpassingen neerslagmeting in De Bilt. Bron: KNMI.⁹⁰

Dergelijke wisselingen van instrument en verplaatsingen vindt men overigens bij alle meetstations met een lange meetgeschiedenis. Door middel van homogenisatie tracht men van die verschillende meetreeksen één meetreeks te maken.

Het tweede probleem is de wisselende verzameling meetstations. Momenteel telt het KNMI 325 meetstations voor neerslag: 320 zijn handmatige stations en 35 worden automatisch uitgelezen. Aan de getallen is te zien dat een deel van de stations zowel handmatig als automatisch uitgelezen wordt. Tussen 1951 en 2016 schommelde de verzameling neerslagstations tussen 298 en 330. Dat lijkt een stabiel aantal maar in werkelijkheid is het verloop in stations veel groter. Gedurende de meetperiode waren er in totaal 429 neerslagstations actief.⁹¹ Een deel van die stations heeft een meetperiode van minder dan twintig jaar, sommige zelfs maar van één jaar.

Dat het meten van neerslag niet vlekkeloos verloopt bewijst al het verschil tussen de handmatige meting en de automatische meting van 5% op jaarbasis. Maar het kan erger: onlangs heeft het KNMI laten weten dat voor een deel van de handmatige metingen meetafwijkingen geconstateerd zijn.⁹² Deze leiden mogelijk tot overschatting van de werkelijke neerslaghoeveelheden. Om welke stations het gaat is (nog) niet bekend. Wat de gevolgen zijn voor de neerslagdata en publicaties waarin de foute data zijn gebruikt zullen we waarschijnlijk later vernemen.

⁹⁰ <http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi>

⁹¹ <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/monv/reeksen>

⁹² <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/knmi-constateert-meetafwijking-door-defect-handmatige-regenmeters>

KNMI constateert meetafwijking door defect handmatige regenmeters

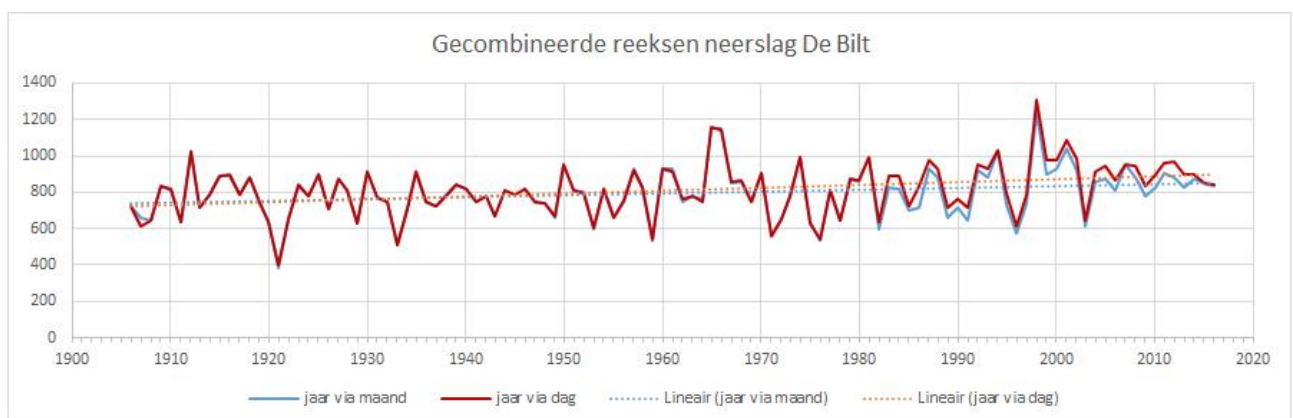
Het KNMI heeft meetafwijkingen geconstateerd door een defect aan een aantal regenmeters voor handmatige neerslagwaarneming. Het betreft een deel van de 320 stations voor handmatige meting, verspreid over het land. Het instituut inventariseert op dit moment de omvang van het probleem en onderzoekt de mogelijkheden om het defect snel te herstellen.

De handmatige neerslagstations vormen gezamenlijk een bron van neerslaginformatie, naast de data van 35 automatische neerslagstations in Nederland. Bij deze automatische stations zijn geen gebreken vastgesteld. Daarnaast wordt voor neerslagwaarnemingen gebruik gemaakt van geavanceerde radar en satellieten.

Het waargenomen defect leidt mogelijk tot een overschatting van de gevallen hoeveelheid neerslag. De gevolgen van deze afwijking voor datareeksen en bestanden worden onderzocht en vanzelfsprekend, waar nodig, gecorrigeerd.

Figuur 4.11: meetafwijkingen handmatige metingen. Bron: KNMI.⁹³

In figuur 4.12 zijn twee neerslagreeksen (jaarlijkse neerslagsom) van De Bilt weergegeven van 1906 t/m 2016. De blauwe reeks is gebaseerd op de jaarlijkse neerslag zoals berekend op basis van de maandsommen.⁹⁴ Die maandsommen zijn weer gebaseerd op de dagsommen. De rode reeks is gebaseerd op de dagsommen.⁹⁵



Figuur 4.12: Vergelijking van twee neerslagreeksen van jaarlijkse neerslag in De Bilt 1906-2016. Bron: KNMI.

Het is opmerkelijk dat beide reeksen nagenoeg identiek zijn van 1906 t/m 1981, en vanaf 1982 divergeren. Dat levert een nogal groot verschil in trend op tussen de ene reeks en de andere. Op basis van de reeks gebaseerd op de maandsommen (blauw) is de toename van de jaarlijkse neerslag in De Bilt tussen 1906 en 2016 14,8%. De rode reeks, gebaseerd op dagsommen, levert in dezelfde periode voor De Bilt een stijging op van 24,2%. Opgemerkt dient te worden dat vanaf 1982 meteorologische diensten vanwege het WMO-directief de handmatige instrumenten de officiële data leveren en dat de automatische meetdata daarnaar gecorrigeerd dienen te worden.

⁹³ <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/monv/reeksen>

⁹⁴ https://cdn.knmi.nl/knmi/map/page/klimatologie/gegevens/maandgegevens/mndgeg_260_tg.txt

⁹⁵ <http://climexp.knmi.nl/data/rrrr550.dat>

Ook over de toename van de jaarlijkse neerslag voor Nederland als geheel is het KNMI het intern niet altijd eens. In de KNMI-brochure Klimaatscenario's staat hierover: *"Tussen 1910 en 2013 nam de jaarlijkse neerslag in Nederland toe met 26%. Tussen 1951 en 2013 bedroeg de toename 14%. Alle seizoenen behalve de zomer zijn natter geworden."*⁹⁶

Het kennis- en datacentrum van het KNMI bericht op de website echter iets anders:

Neerslagtoename

In Nederland is de jaarlijkse neerslag vanaf 1906 toegenomen met 18 procent. Dit komt vooral voor rekening van de [winter](#) en de [herfst](#) met in beide seizoenen 26 procent meer neerslag. De toename wordt deels veroorzaakt doordat warmere lucht in het opgewarmde klimaat meer waterdamp kan opnemen. Bovendien waait de wind vaker uit het vochtige westen wat ook een rol speelt in de toename.

Figuur 4.13: Toename jaarlijkse neerslag Nederland 18%. Bron: KNMI.⁹⁷

Kortom, er zijn tekortkomingen en onzekerheden in de neerslagreeksen van het KNMI. Vooralsnog hebben we geen andere keus dan de beschikbare KNMI-reeksen te gebruiken. Voor dit rapport (en het KNMI) betekent dit in ieder geval dat conclusies met voorzichtigheid getrokken dienen te worden.

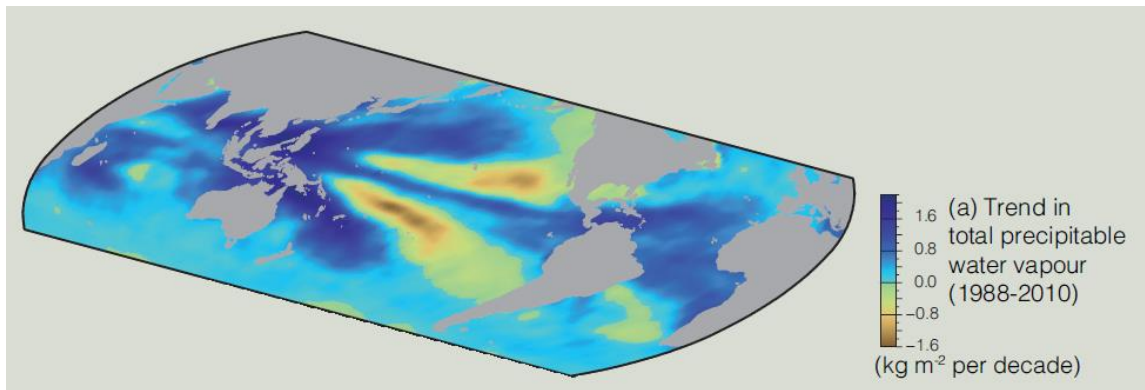
Temperatuur

De temperatuur lijkt de meest voor de hand liggende factor om de toename van de neerslag te verklaren, maar is tegelijk een van de lastigste. Op de regionale schaal van Nederland kan een eventuele toename van de neerslag als gevolg van de stijging van de temperatuur normaal gesproken alleen plaats vinden door toegenomen convectie. Convectieve neerslag ontstaat bij sterke opwarming van de onderste luchtlagen waardoor er een onstabiele verticale temperatuuropbouw ontstaat. Afhankelijk van de relatieve vochtigheid kan dan plaatselijk wolkvorming plaatsvinden en neerslag ontstaan.

De geconstateerde opwarming heeft voor zover we hebben kunnen nagaan niet geleid tot een onstabielere temperatuuropbouw in ons land. Op globale schaal is vanwege de toename van de temperatuur te verwachten dat de absolute luchtvochtigheid vanwege toegenomen verdamping gestegen is. De stijging van 3,5% van de absolute luchtvochtigheid gedurende de afgelopen vier decennia loopt in de pas met de stijging van de temperatuur in deze periode met 0,5 °C. (IPCC AR5 Technical Report).

⁹⁶ http://www.klimaatscenarios.nl/brochures/images/KNMI14_Klimaatscenarios_folder_2015.pdf

⁹⁷ <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/zware-neerslag>

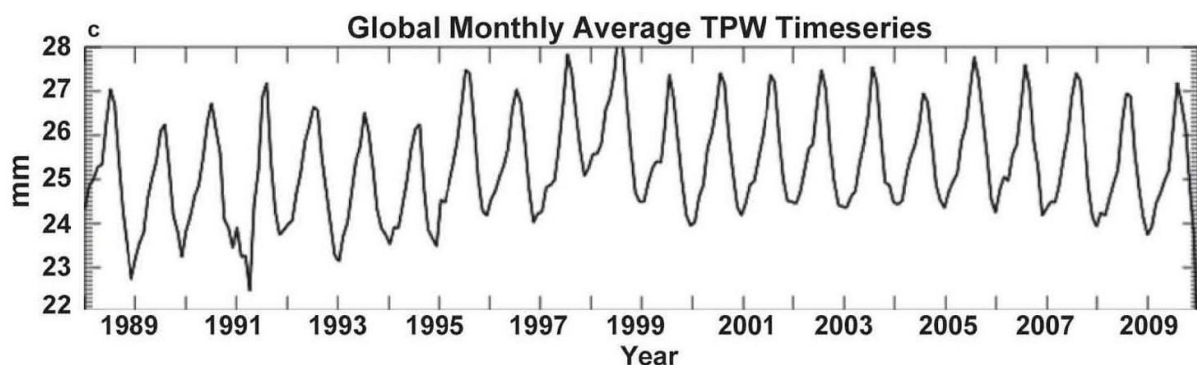


Figuur 4.14: Trend beschikbare waterdamp boven oceanen in kg/m^2 . Bron: IPCC AR5 WG1.⁹⁸

Het IPCC schrijft over de waargenomen luchtvochtigheid:

“It is very likely that global near surface and tropospheric air specific humidity have increased since the 1970s. However, during recent years the near-surface moistening trend over land has abated (medium confidence). As a result, fairly widespread decreases in relative humidity near the surface are observed over the land in recent years. Although trends of cloud cover are consistent between independent data sets in certain regions, substantial ambiguity and therefore low confidence remains in the observations of global-scale cloud variability and trends.”

De voorzichtige woorden van het IPCC zijn verklaarbaar. Een van ons publiceerde enkele jaren geleden een blogbericht in verband met een nieuwe paper over NASA's Water Vapor Project (NVAP).⁹⁹ De sleutelfiguur uit die studie is de volgende:



Figuur 4.15: Trend in Total Precipitable Water vapor. Bron: NASA.¹⁰⁰

De hoofdauteur, Tom Vonder Haar, liet per e-mail onder andere het volgende weten: *“All we can say at present is that the preliminary NVAP data, according to the Null Hypothesis,*

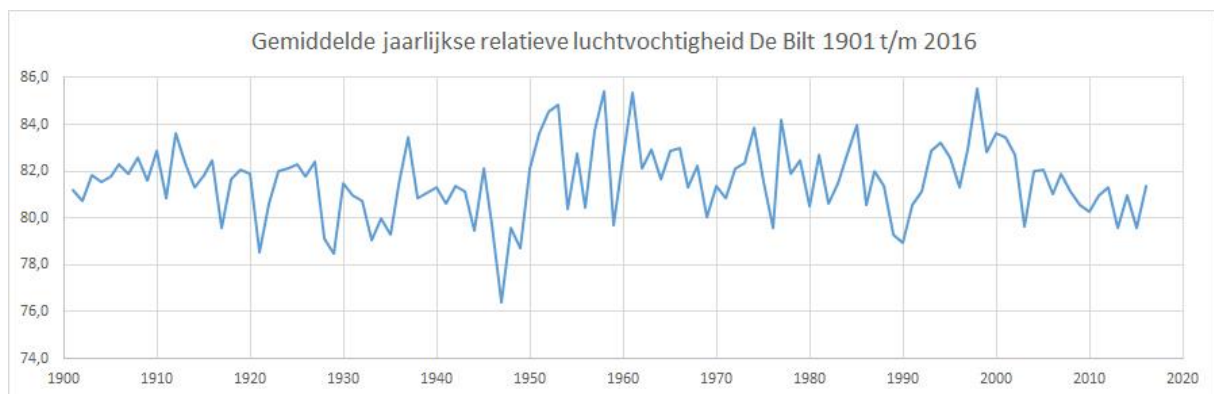
⁹⁸ http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf

⁹⁹ <http://www.staatvanhetklimaat.nl/2012/07/17/still-no-sign-of-water-vapor-increase/>

¹⁰⁰ https://eosweb.larc.nasa.gov/GUIDE/dataset_documents/base_nvap_dataset.html

cannot disprove a trend in global water vapor either positive or negative. In addition, there are good reasons based upon both Sampling / Signal Processing Theory and observed natural fluctuations of water vapor (ENSO's, Monsoons, volcanic events, etc.) to believe that there are no sufficient data sets on hand with a long enough period of record from any source to make a conclusive scientific statement about global water vapor trends." Hij voegde daar nog het volgende aan toe: "Therefore, at this time, we can neither prove nor disprove a robust trend in the global water vapor data."

De relatieve luchtvochtigheid in De Bilt geeft sinds 1951 (ook) een licht dalende trend weer:



Figuur 4.16: Jaarlijkse relatieve luchtvochtigheid De Bilt 1901 t/m 2016. Data: KNMI.¹⁰¹

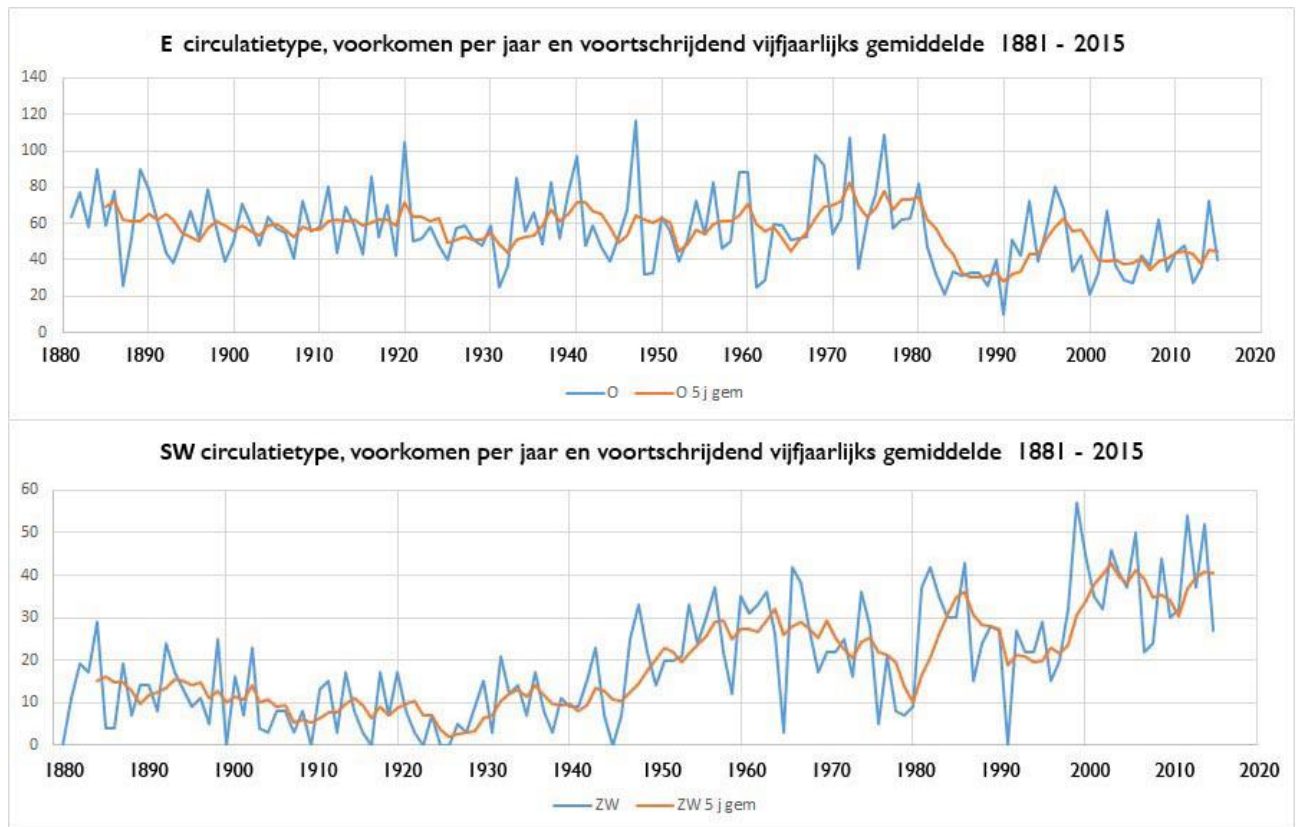
De reeks is inhomogeen vanwege instrumentwisselingen. Zo is de sprong rond 1950 waarschijnlijk het gevolg van de overstap naar de haarhygrometer en die van 1993 vanwege de introductie van de Vaisala-sensor in de schotelhut. Desalniettemin lijkt de trend dalend. Die dalende relatieve luchtvochtigheid in Nederland stimuleert in elk geval niet de wolkenvorming in ons land en dus ook niet de neerslag. Ook het feit dat de luchtkwaliteit in ons land de afgelopen decennia sterk is toegenomen (brightening) en daarmee het aantal condensatiekernen sterk afnam zorgt eerder voor vermindering van neerslag dan voor een toename.

Dit alles overziend lijkt het daarom niet waarschijnlijk dat de stijging van de temperatuur *in ons land* vanaf begin vorige eeuw van grote invloed is geweest op de gemeten toename van de neerslag. Wel kan opwarming elders (met name boven de oceanen) hebben geleid tot grotere wolkenvorming.

Luchtcirculatie

¹⁰¹ <http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi>

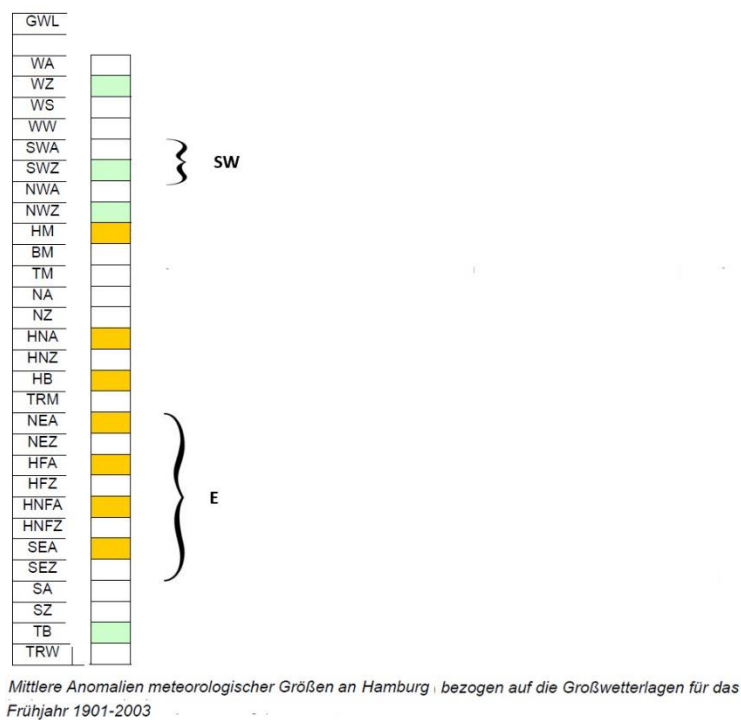
Het hoofdstuk over de temperatuur liet al zien dat er de afgelopen decennia sprake is geweest van een aanmerkelijke verandering in de luchtcirculatie boven ons land. Daarbij is vooral de afname van het E-circulatietype en de toename van het SW-circulatietype opvallend. Die verandering deed zich het sterkst voor in de lente, waardoor de aanvoer van zachte maritieme lucht toenam ten koste van koude continentale lucht.



Figuur 4.17: Verschuivingen in circulatietypen E en SW. Bron: Klimaatgek.

Die verschuiving in luchtcirculatie had niet alleen gevolgen voor de temperatuur in ons land maar ook voor de neerslag. Het circulatietype E brengt overwegend droge continentale lucht het land binnen. De brongebieden van het circulatietype SW liggen boven de Atlantische Oceaan en brengen vochtige maritieme lucht ons land binnen.

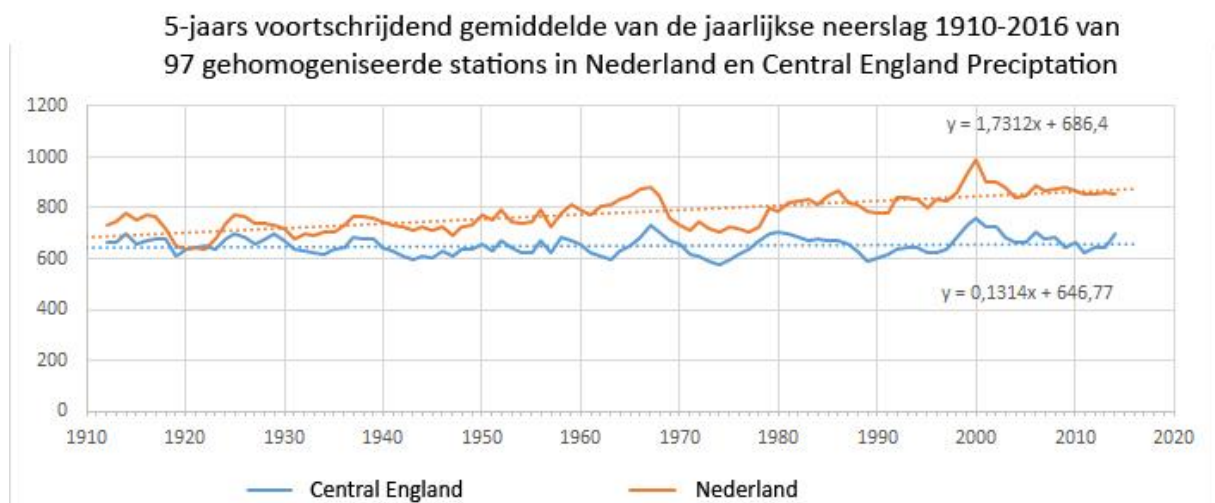
In figuur 4.18 is de invloed van GWL binnen het E- en SW-circulatietype op de neerslag gedurende de lente in Hamburg weergegeven. Meer SW-circulatie leidt tot meer neerslag.



(Temperatur: K; Niederschlag: mm)								
Klasse	< -4.0	< -3.0	< -2.0	< -1.0	<= 1.0	<= 2.0	<= 3.0	<= 4.0
Niederschlag	Dark Blue	Blue	Light Blue	White	Yellow	Orange	Red	Dark Red

Figuur 4.18: Invloed van GWL binnen E- en SW-circulatietype op de neerslag in Hamburg in het voorjaar. Bron: PIK.¹⁰²

Vergelijken we het 5-jarig voortschrijdend gemiddelde van Nederland met dat van Centraal Engeland dan valt op dat die reeksen overeenkomsten vertonen:



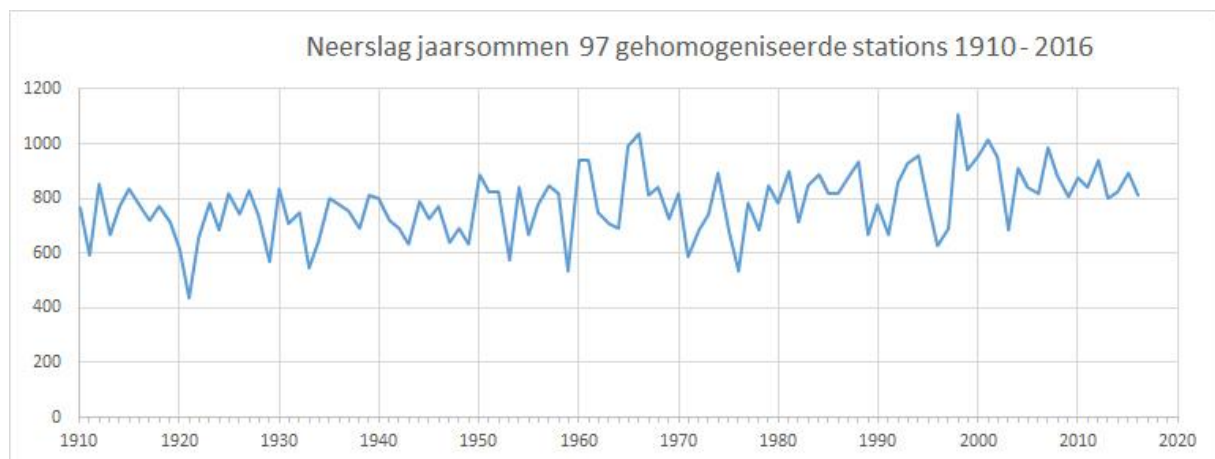
¹⁰² <https://www.pik-potsdam.de/research/publications/pikreports/.files/pr100.pdf>

Figuur 4.19: 5- jaarlijks voortschrijdend gemiddelde neerslag in Nederland en Centraal Engeland met trendlijnen.

Data: KNMI

Toe- en afnames van de neerslag correleren opvallend, hetgeen wijst op de sterke invloed van de luchtcirculatie. Wel is opvallend dat de neerslagcijfers in Nederland vanaf 1910 een stijging vertonen van 26%, terwijl die van centraal Engeland in dezelfde periode slechts een toename laten zien van 2,1%. Ook ligt het neerslagniveau in centraal Engeland in de gehele periode opmerkelijk lager dan in ons land. Een gedetailleerde vergelijking van deze neerslagcijfers valt buiten de kaders van dit rapport maar maakt wel nieuwsgierig.

In de paragraaf over luchtcirculatie hebben we laten zien dat de SW-circulatie na 2000 weer afneemt, een verandering die in figuur 4.20 terug te vinden is.



Figuur 4.20: jaarsommen op basis van 97 gehomogeniseerde reeksen 1910 t/m 2016.

Opvallend is de daling van de lijn vanaf 2000 tot op een niveau van ongeveer 800 mm/jaar. Dat is het niveau dat we uit de jaren '60 van de vorige eeuw kennen. Op basis van de gemiddelde neerslag per etmaal is de afname over die jaren ruim 15%.

Het KNMI toont in het wetenschappelijke achtergronddocument bij de brochure de volgende figuur:

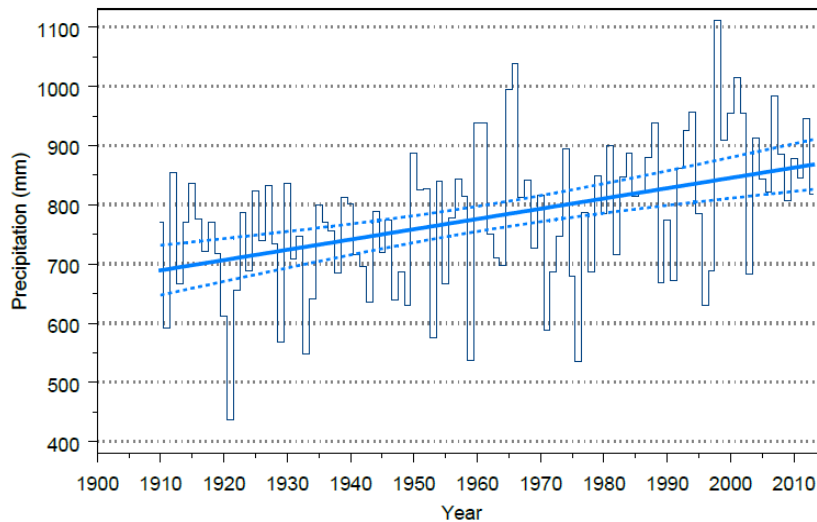


Figure 3.2: Annual precipitation in the Netherlands 1910-2013 (mean of 102 stations). The straight line represent a linear regression fit. The dashed lines give the 95% confidence bands.

Figuur 4.21: toename van neerslag in Nederland. Bron: KNMI.

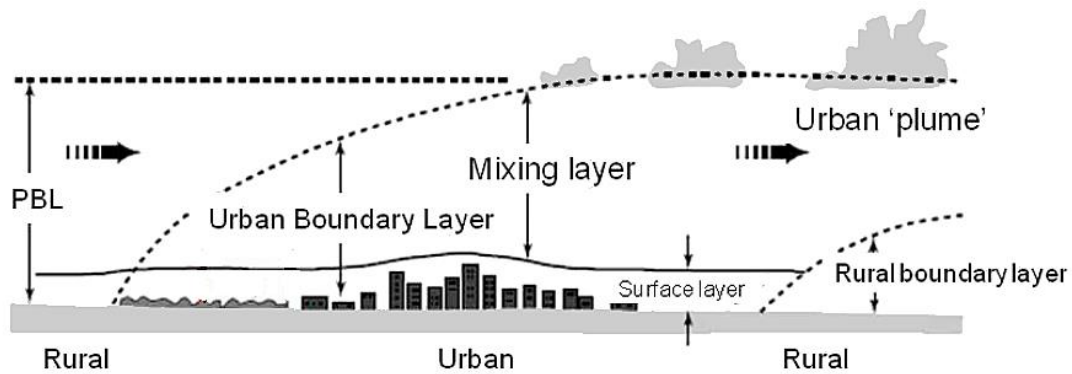
De blauwe lijn (een lineaire regressielijn) domineert het beeld en suggereert een alsmaar toenemende neerslag. Terwijl de door ons getoonde figuur meer de variabiliteit benadrukt en de afname na 2000 duidelijker zichtbaar maakt.

In het achtergronddocument benadrukt het KNMI de rol van opwarming op de neerslag: *“Because of the temperature increase also the amount of water vapour in the atmosphere has increased significantly since 1950. This trend partly explains the observed increase in mean precipitation amount.”* Zoals we hierboven aannemelijk hebben proberen te maken is de rol van de luchtcirculatie een veel logischere kandidaat om de veranderingen in neerslag te ‘verklaren’.

Verstedelijking

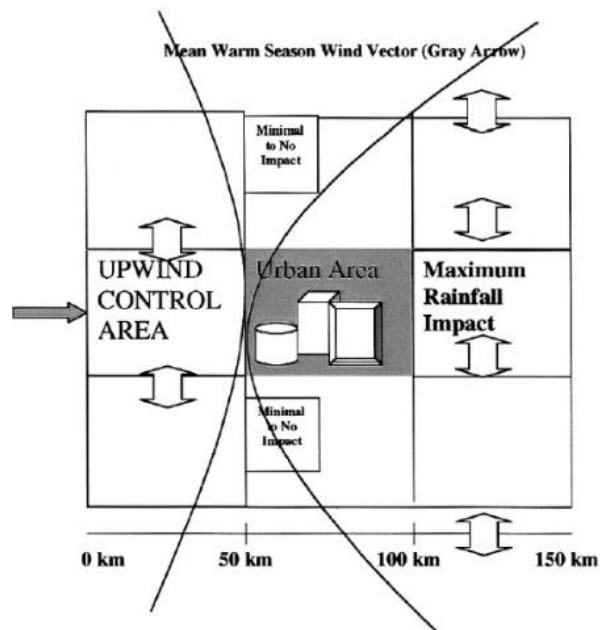
In het hoofdstuk over de temperatuur in Nederland is al uitgebreid het UHI-effect beschreven. De enorme toename van stedelijke bebouwing sinds 1900 en het versnipperde karakter van de verstedelijking heeft sindsdien ongetwijfeld invloed op de klimatologische ontwikkelingen van ons land gehad. Van het totale oppervlakte was in 2012 ruim 15% bebouwd.

De gevolgen van het UHI-effect voor de temperatuur strekken zich als gevolg van advectie over een groter gebied uit dan de stedelijke bebouwing. Dat geldt ook en waarschijnlijk nog sterker voor de extra neerslag als gevolg van het UHI-effect.



Figuur 4.22: Meer convectie en turbulentie zorgen voor meer neerslag. Bron: Van Hove et al., WUR en Alterra, 2011.

In steden valt meer neerslag dan in de rurale omgeving. Dat komt doordat als gevolg van de hogere temperaturen de onstabiliteit van de atmosfeer groter is en daarmee de convectie toeneemt in de menglaag. Die onstabiliteit neemt ook toe doordat hoge gebouwen de ruwheid doen toenemen, waardoor er grotere turbulentie ontstaat. Bovendien hangt er boven urbane gebieden een zogenaamde stofkoepel. De aerosolen daarin werken als condensatiekernen waardoor meer neerslag ontstaat.



Figuur 4.23: Schematische weergave van het impactgebied van neerslag als gevolg van UHI. Bron: Shepherd et al.

De versterkte verticale luchtbeweging neemt toe in het benedenwindse gebied, aldus een studie van Shepherd die rond Dallas en Atlanta werd uitgevoerd. Het gevolg is dat de neerslag als gevolg van het UHI-effect het grootst is in het gebied benedenwinds van de stad (de Maximum Impact Area). Het effect van de extra neerslag als gevolg van het UHI-effect is

in de Maximum Impact Area veel groter dan in het centrum van de stad, gemiddeld 28,4% hoger dan in het bovenwindse controlegebied. In het stadscentrum viel gemiddeld 5,8% meer neerslag als gevolg van het UHI-effect. De maximale neerslag viel 20 km van het stadscentrum van Dallas tot zelfs 60 km van het centrum van Atlanta.¹⁰³

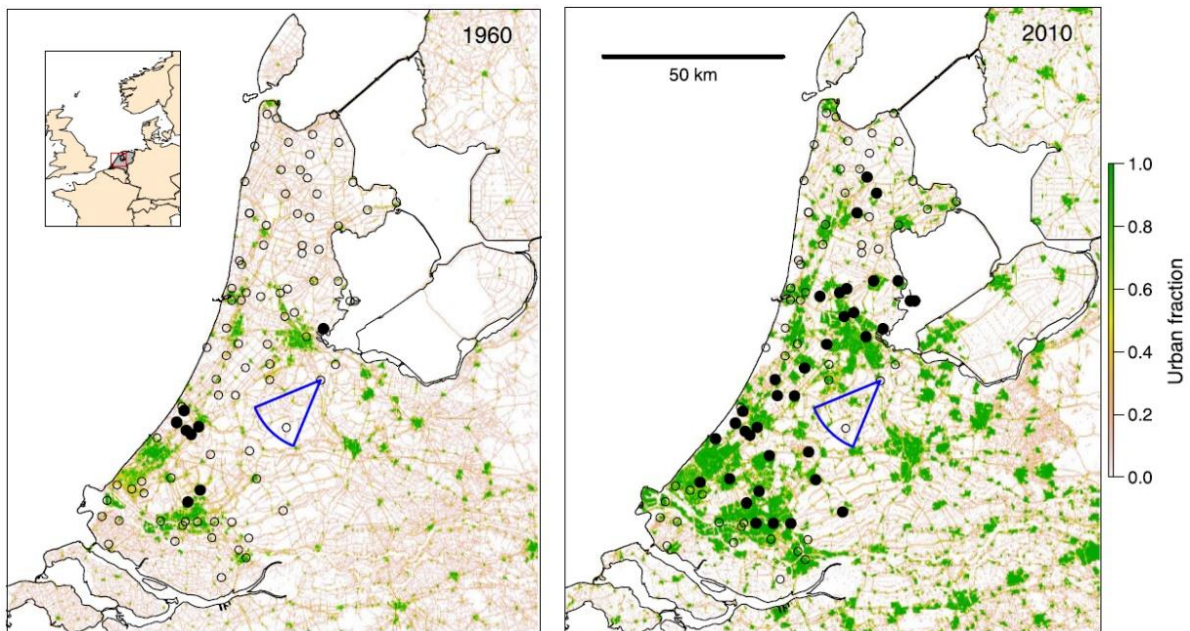
De neerslagkaart eerder in het hoofdstuk (zie figuur 4.4) toont duidelijk de effecten van het UHI-effect voor de grootste steden van Nederland. De regio's in West-Nederland met > 875 mm neerslag betreffen de UHI-neerslageilanden van de steden Amsterdam, Den Haag en Rotterdam. Er is hier vanwege de ligging aan zee geen 'bovenwinds controlegebied', maar we schatten dat het UHI-effect in deze regio's ongeveer 10% extra neerslag tot gevolg heeft.

Nederland is sinds 1900 sterk verstedelijkt. De grootste steden in Nederland zijn internationaal gezien middelgrote steden. Vanwege het versnipperde karakter van de verstedelijking in Nederland heeft het UHI-effect wat betreft neerslag daardoor waarschijnlijk invloed op een aanzienlijk deel van Nederland. Hoe groot dat effect in werkelijkheid is, is door de gebruikte klassificatiecategorieën van de neerslagkaarten niet duidelijk herkenbaar.

Daniels et al. hebben in 2015 onderzoek gedaan naar de effecten van verstedelijking op de neerslag in een deel van Noord- en Zuid-Holland gedurende de periode 1951-2010.¹⁰⁴ Vanwege de versnipperde verstedelijking is het lastig om een enkele stad te onderzoeken, omdat de boven- en benedenwindse gebieden vaak ook verstedelijkt zijn. Bovendien is er het probleem van de nabijheid van de kust. De onderzoekers hebben elk van de weerstations in het onderzoeksgebied geclassificeerd als urbaan of ruraal op basis van de urbanisatiegraad van het bovenwindse gebied voor elk van de negen geostrofische windrichtingen.

¹⁰³ Shepherd, J. M., H. Pierce, and A. J. Negri (2002): Rainfall modification by major urban areas: Observation from spaceborne rain radar on the TRMM satellite. *J. Appl. Meteor.*

¹⁰⁴ E.E.Daniels, G.Lenderink, R.W.A.Hutjes, A.A.M.Holtslag (2016), Observed urban effects on precipitation along the Dutch West coast, *Int. J. Climatol.*36:2111-2119

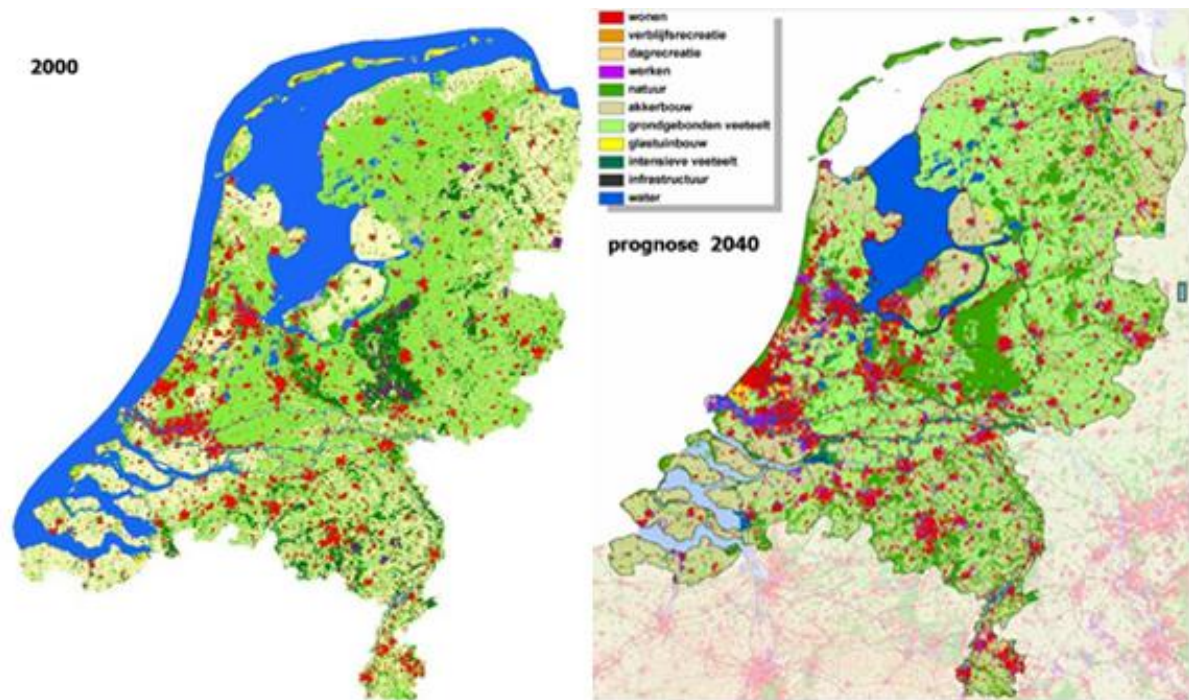


Figuur 4.24: Classificatie van de neerslagstations in urbaan (gesloten cirkel) en ruraal (open cirkel) in 1960 en 2010 voor WT8 (ZW-wind). Bron: Daniels et al.

In figuur 4.24 is dat gedaan voor 1960 en 2010 voor WT8, ZW-wind. Als in de bovenwindse sector van een station (blauw) meer dan 25% van het landoppervlak stedelijk is wordt het station voor die geostrofische wind geclassificeerd als urbaan.

Door de toegenomen verstedelijking tussen 1960 en 2010 is het aantal urbane neerslagstations gestegen van 8 naar 36. Daniels et al. berekenden dat in de onderzochte periode de dagelijkse neerslag in urbane gebieden ongeveer 7% hoger is dan in rurale gebieden en dat die toename kan oplopen tot 20% afhankelijk van de windrichting en periode. Deze uitkomsten zijn vergelijkbaar met soortgelijke onderzoeken elders in de wereld. Ze tonen bovendien dat de invloed van relatief kleine steden op de neerslag die bovendien ruimtelijk sterk versnipperd zijn, zoals in ons land, vergelijkbaar zijn met de effecten van grote steden elders op aarde.

Het vergt niet veel fantasie om te bedenken dat ook in andere delen van Nederland deze aanzienlijke toename van de neerslag als gevolg van toegenomen verstedelijking plaats heeft gevonden. Grote delen van Nederland zijn immers verstedelijkt en die verstedelijking zal de komende decennia naar verwachting alleen maar toenemen.



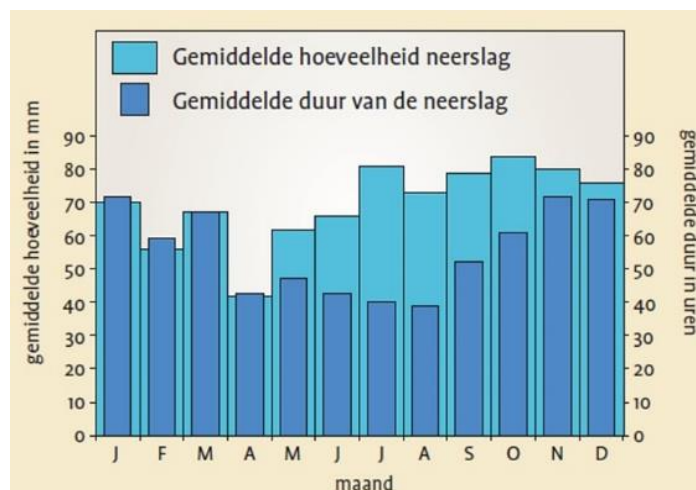
Figuur 4.25: Verstedelijking in 2000 en prognose voor 2040. Bronnen: Knol et al.¹⁰⁵ en PBL.¹⁰⁶

Zware neerslag: etmaalsommen

Het regent in de zomermaanden minder lang dan in de winter. In de winter kan het langdurig regenen, in de zomer valt de neerslag vooral in de vorm van buien. Dat hangt samen met de warmte en daarmee de grotere instabiliteit van de atmosfeer. De intensiteit van de neerslag varieert dus per seizoen.

¹⁰⁵ Knol, W.C., H. Kramer & H. Gijsbertse (2004), Historisch Grondgebruik Nederland; een landelijke reconstructie van het grondgebruik rond 1900, Wageningen, Alterra

¹⁰⁶ Kuiper R, J.Borsboom, A.Bouwman, M.Kuijpers-Linde, W.Loonen (2006), Waarheen met Nederland? Ruimtelijk beeld trends scenario 2040, PBL

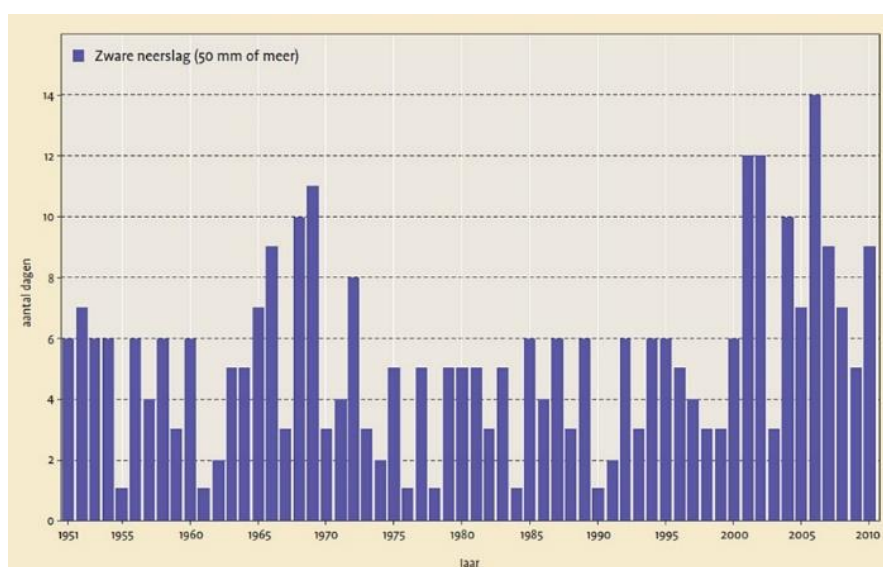


Figuur 4.26: maandelijks hoeveelheid en duur van de neerslag. Bron: KNMI.

Neerslagextremen ontstaan door twee meteorologische verschijnselen, namelijk door passage van fronten die samenhangen met depressies en door buien als gevolg van sterke lokale verticale bewegingen in de atmosfeer. Fronten komen vaker voor in het koude jaargetijde en buien meer in de zomer.

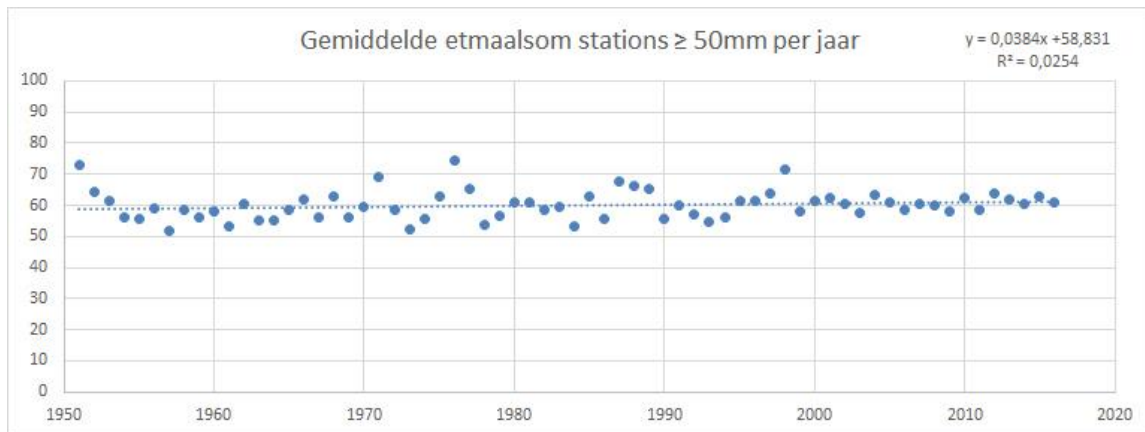
Tijdens buien kan in korte tijd veel regen vallen. Naast deze kortdurende intensieve neerslag die in de volgende paragraaf aan de orde komt worden etmaalsommen geregistreerd. In alle KNMI-scenario's neemt de neerslag in alle seizoenen toe, met uitzondering van de zomer. Extreme neerslagintensiteiten nemen in alle scenario's het hele jaar door toe, zelfs in de GH- en WH-scenario's waarin de zomerneerslag afneemt.

We hebben onderzocht of de waarnemingen deze voorspellingen tot nu toe ondersteunen. Een dag met zware neerslag is volgens de KNMI-definitie een etmaal waarin ergens in Nederland 50 mm neerslag of meer is gevallen. De laatste jaren neemt dit aantal dagen toe.



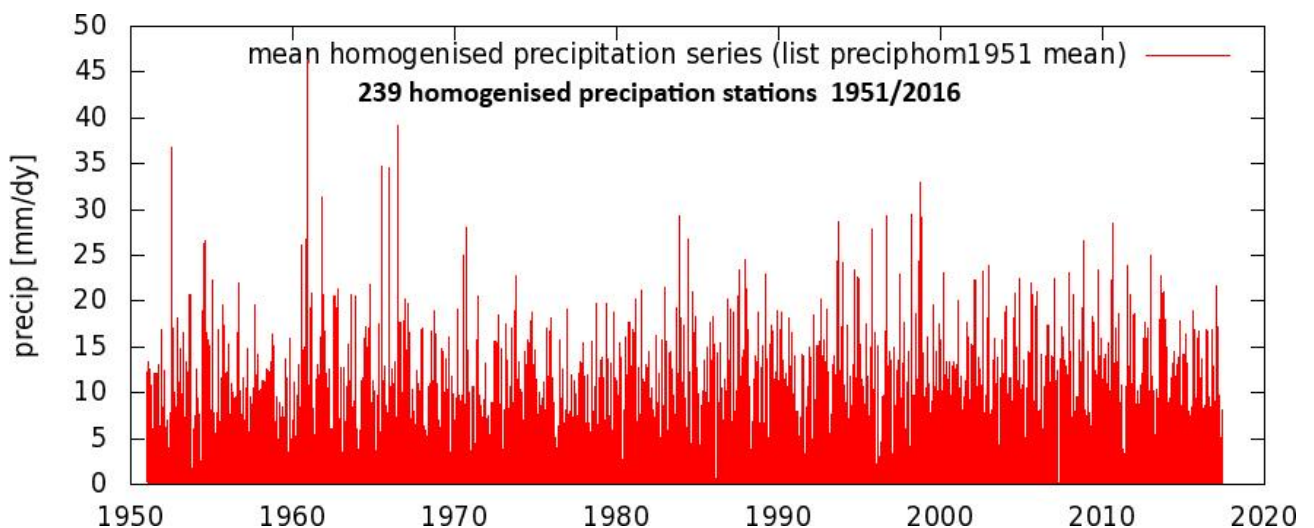
Figuur 4.27: Aantal dagen met zware neerslag in Nederland sinds 1950. Bron: KNMI.

Figuur 4.27 toont het aantal dagen per jaar waarop tenminste één neerslagstation 50 mm of meer registreerde. De grafiek lijkt te bevestigen dat de neerslag de afgelopen decennia 'extremer' is geworden. Bezien we echter de gemiddelde etmaalsom per jaar van 239 gehomogeniseerde stations met ≥ 50 mm neerslag, dan ontstaat een ander beeld:



Figuur 4.28: gemiddelde etmaalsom per jaar van alle stations met ≥ 50 mm neerslag.

Weliswaar is de lineaire trendlijn heel licht stijgend, maar die stijging is statistisch niet significant. Als van elk etmaal sinds 1951 de gemiddelde etmaalsom van alle 239 stations weergegeven wordt, dan ziet dat er zo uit:



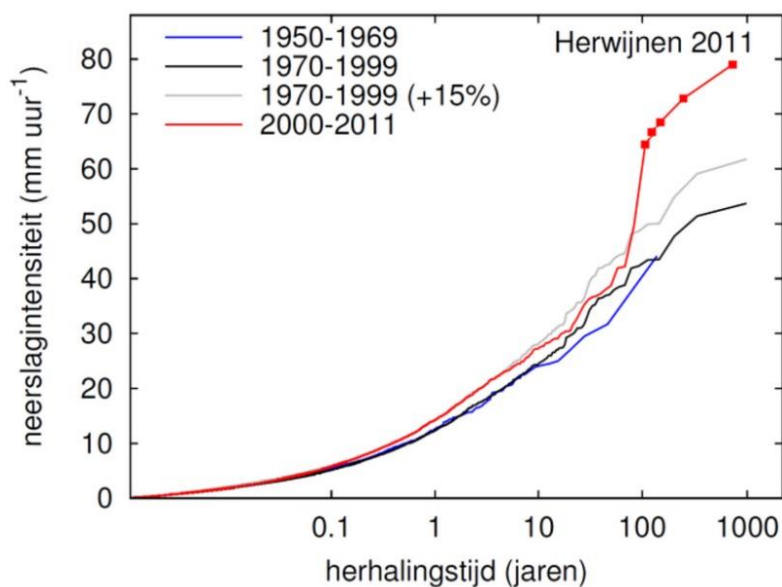
Figuur 4.29: gemiddeld etmaalsom van alle 239 stations sinds 1951.

Bron: KNMI.

De grootste uitschieters van de gemiddelde etmaalsommen zijn te vinden in de jaren '60 van de vorige eeuw. Vanaf eind jaren '90 lijkt er juist sprake van een afname van de hoogste etmaalsommen.

In deze gehomogeniseerde reeks van 239 stations is dus vanaf 1951 weliswaar een stijging waarneembaar van het aantal dagen met ≥ 50 mm neerslag, maar van hogere etmaalsommen en etmaalgemiddelden is geen sprake. De extremen zijn derhalve niet extremer geworden.

Extreme buien: uursommen



Figuur 4.33: herhalingstijd van buien met de hoogste uursommen. Bron: KNMI.¹⁰⁷

Volgens *KNMI'14 klimaatscenario's* zal de hoeveelheid neerslag gemiddeld verder toenemen en zal de kans op *extreme regenbuien* met hagel en onweer groter worden. Omdat extreme buien kort duren en vaak lokaal van omvang zijn, zijn etmaalsommen een te grove manier om te meten. Vandaar dat het KNMI zijn toevlucht neemt tot uursommen. Het KNMI stelt dat in recente uurmetingen aanwijzingen te vinden zijn dat extreme buien extremer worden.

In figuur 4.33 heeft het KNMI de neerslagintensiteit in mm/uur afgezet tegen de zogenaamde herhalingstijd in jaren. De trend van de rode lijn is opvallend en wordt bepaald door 5 extreme buien met uursommen van boven de 60 mm. De blauwe lijn en de zwarte lijn

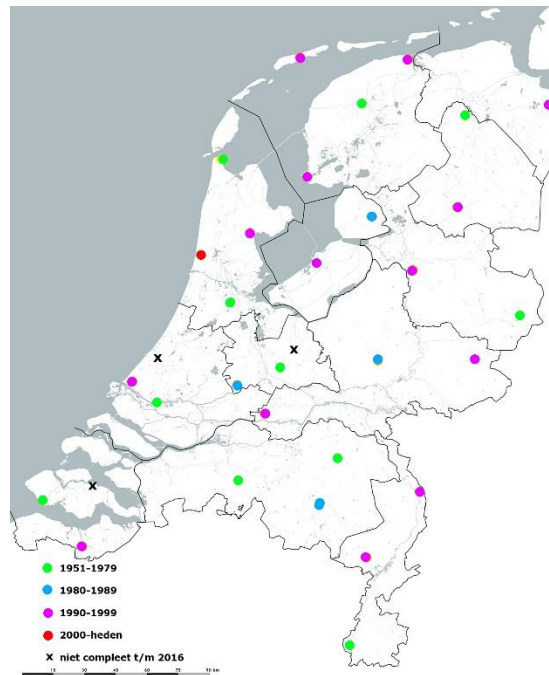
¹⁰⁷ <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/regenintensiteit>

zijn getekend op basis van neerslagdata van de zwaarste uursommen in die periode. De lichtgrijze lijn is de zwarte lijn +15%.

Het KNMI schrijft bij de grafiek: *“Door de stijgende temperatuur is ook de hoeveelheid waterdamp in de lucht toegenomen. Dat verklaart gedeeltelijk de toename van de jaarlijkse hoeveelheid neerslag. Het effect op zware buien is nog groter. Uit waarnemingen blijkt dat bij de meest extreme buien de hoeveelheid neerslag per uur toeneemt met ongeveer 12 procent per graad opwarming. Volgens de KNMI'14-klimaatsscenario's zal de hoeveelheid neerslag gemiddeld verder toenemen en wordt de kans op extreme regenbuien met hagel en onweer groter.”*

Met name de laatste zin is opvallend en voor ons aanleiding om de waarnemingen te bekijken. Momenteel zijn er dertig neerslagstations waar elk uur gemeten wordt. Helaas zijn de meeste van die stations nog niet zo lang in gebruik, zodat je geen zicht krijgt op veranderingen gedurende een langere periode. Zo meet het station Herwijnen (van de recordbui met een uursom van 76 mm in 2011) pas sinds 4 mei 1993 elk uur de neerslag. Ook de andere vier rode blokjes van extreme buien zijn afkomstig van neerslagstations die nog maar relatief kort de uursommen meten. Dat zijn de stations Marknesse op 2 juni 2003 (72,8 mm), Westdorpe op 5 augustus 2005 met 68,5 mm, Deelen op 28 juli 2014 met 66,8 mm en Cabauw op 29 juni 2005 met 64,4 mm.

Van de dertig neerslagstations die momenteel uurmetingen doen zijn er vijftien die pas na 1990 actief zijn geworden. Voor het signaleren van trends lijkt ons dat aan de korte kant. Bovendien is het ongebruikelijk dat de berekende herhalingstijd in figuur 4.33 vele malen langer is dan de lengte van de meetperiode. Van de genoemde dertig stations zijn er veertien met een meetreeks langer dan veertig jaar. Van die veertien heeft alleen De Bilt een meetreeks van meer dan honderd jaar, twee stations hebben een meetreeks van zestig jaar en elf tussen de zestig en veertig jaar. De rest van de dertig stations hebben meetreeksen korter dan veertig jaar.



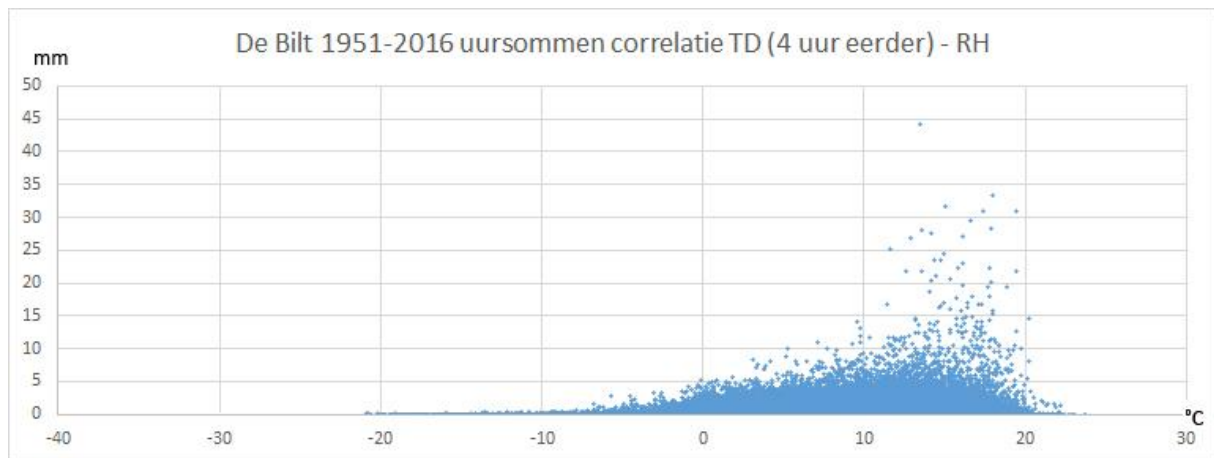
Figuur 4.34: Spreiding van neerslagstations met uursomdata en periode van ingebruikname.

In figuur 4.34 is de ligging en periode van ingebruikname van de dertig neerslagstations met uurdata weergegeven. Extreme buien van $> 25\text{mm/uur}$ zijn meestal zeer beperkt van omvang en overstijgen zelden een doorsnede van meer dan enkele kilometers. Extreme buien met meer dan 50 mm neerslag zijn vaak buiencomplexen, maar ook die hebben zelden een doorsnede van meer dan 10 km . De kans dat je zo'n extreme bui 'vangt' met het zeer grofmazige netwerk van dertig uursomstations is dan ook tamelijk klein. Die kans wordt nog veel kleiner bij een netwerk van maar vijftien stations, zoals dat vóór 1990 bestond (de groene en blauwe bolletjes in figuur 4.34). In de periode tot 1990 waren er ten oosten van de lijn Leeuwarden-Maastricht maar vier stations actief, en dat in een gebied dat zo'n 40% van de oppervlakte van Nederland beslaat. Vóór 1957 was alleen De Bilt actief.

Eigen KNMI-onderzoek laat zien dat het zuidoosten van Nederland gevoeliger is voor zware buien dan de noordwestelijke helft. Als nieuwe stations worden toegevoegd in die zuidoostelijke helft dan wordt de kans groter dat je vaker zware buien tegenkomt in je hele "sample". Het maakt dus nogal wat uit hoe de stations verspreid zijn over het land, zeker bij een grofmazig meetnet als dat van de uursommen.

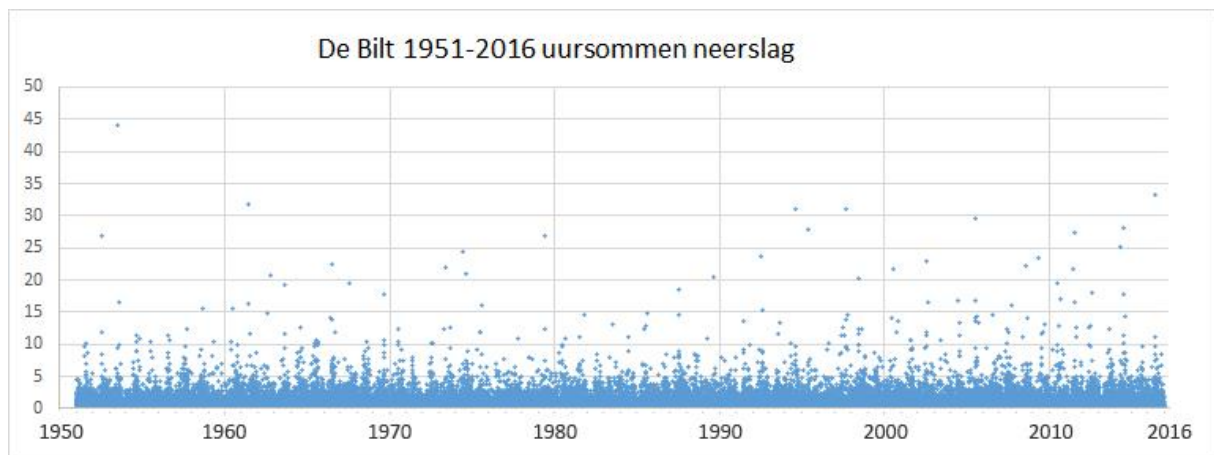
Een hypothese is dat extreme neerslag bepaald wordt door de maximaal beschikbare hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer. Dat is gebaseerd op het feit dat de maximale hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer toeneemt met 7% per graad, volgens de zogenaamde Clausius-Clapeyron-relatie. Dat er gemiddeld meer neerslag valt als de dauwpunttemperatuur hoger is, ligt fysisch voor de hand. Wanneer de grenslaag onder de wolkenbasis meer waterdamp bevat kun je ervan uitgaan dat er uiteindelijk meer neerslag

ontstaat. Om te zien wat het effect daarvan is hebben we de uursommen van De Bilt van 1951 t/m 2016 vergeleken met de dauwpuntstemperatuur ter plekke vier uur voorafgaande aan de bui.



Figuur 4.35: De Bilt uursommen 1951-2016. Correlatie tussen de hoogte van de uursommen en de dauwpuntstemperatuur vier uur voorafgaande aan de bui.

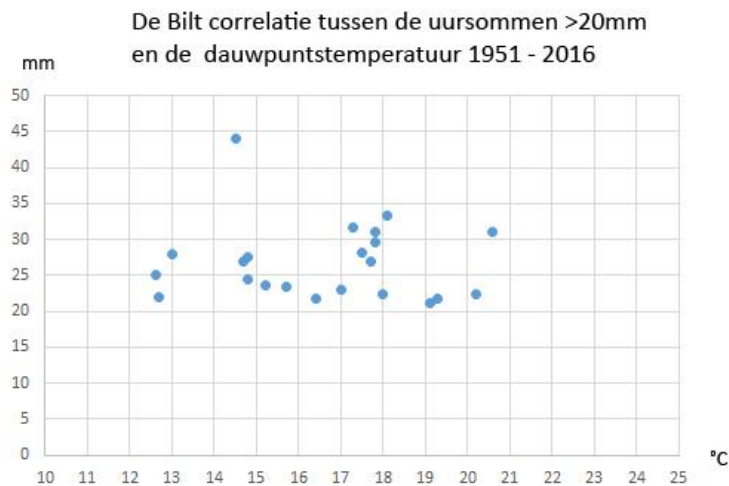
Duidelijk is te zien dat de hoogste uursommen toenemen met de dauwpuntstemperatuur, met uitschieters tussen 10 °C en 20 °C. De toename van de uursommen tussen de 10°C en 20°C zit grotendeels tussen de 1 en 10 mm. Gaan we de uursommen van De Bilt uitzetten in de tijd dan zien we dat de hogere uursommen tamelijk gelijkmatig in de tijd zijn verspreid.



Figuur 4.36: alle uursommen in De Bilt in de periode 1951 t/m 2016.

Het is daarom de vraag of Clausius-Clapeyron generiek toepasbaar is. We denken dat dat voor lokale neerslag niet het geval hoeft te zijn en misschien zelfs wel onwaarschijnlijk is. Anders zou kort gezegd overal in de wereld bij eenzelfde temperatuur dezelfde hoeveelheid neerslag vallen. En dat is niet het geval.

Om te bezien of er een correlatie is tussen de hoogte van de uursom bij hevige buien en de dauwpuntstemperatuur hebben we van de uursomreeks van De Bilt 1951-2016 alle uursommen van > 20mm afgezet tegen de dauwpuntstemperatuur vier uur voorafgaande aan de uursom:



Figuur 4.37: correlatie tussen uursommen van >20mm en de dauwpuntstemperatuur vier uur voorafgaand aan de uursom in De Bilt.

De grafiek vertoont geen enkele correlatie tussen hoogte van de uursommen en de bijbehorende dauwpuntstemperaturen. Extreme buien treden blijkbaar op onder omstandigheden waarbij niet alleen lokale thermodynamische wolkenvormingsprocessen meespelen maar ook grootschalige atmosferische processen. Zo ontstaan extreme buien in de zomer vaak vlak voor een frontale zone. De aangevoerde lucht aan het oppervlak is vaak zeer warm, terwijl het naderende front zeer koude lucht in de hogere troposfeer aanvoert. Door de daardoor ontstane sterk instabiele atmosfeergradiënt is de vorming van zeer hoge wolken mogelijk waaruit vaak veel neerslag valt.

Het KNMI vermoedt dat vanwege opwarming de hevigste buien zelfs niet de 7% per graad volgen (Clausius-Clapeyron) maar zelfs 14% per graad stijging, het zogenaamde 2CC-verband.¹⁰⁸ Er is echter nog heel weinig bekend over deze materie, onder andere omdat er zeer weinig bruikbare meetgegevens zijn. Dat geldt ook voor Nederland, waar uurmetingen nog maar kortgeleden op gang zijn gekomen. Alleen De Bilt beschikt over een meetreeks van meer dan 100 jaar.

De vijf uitschieters van figuur 4.33 lijken geregistreerd te zijn door de uitbreiding van het meetnet. Omdat zeer zware buien een lokale omvang hebben is het aannemelijk dat vanwege de uitbreiding van het meetnet 'toevallig' die zware buien gemeten werden.

¹⁰⁸ <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/grotere-toename-lokale-neerslag-extremen-in-warmer-klimaat>

Anders gezegd: als men niet had besloten om per 4 mei 1993 op station Herwijnen uursommen te gaan meten dan was die extreme bui van 28 juni 2011 nooit gemeten.

31 juli

Op 31 juli 1951 viel er in Boskoop 103 mm, daarvan werd 72 mm in 30 minuten.

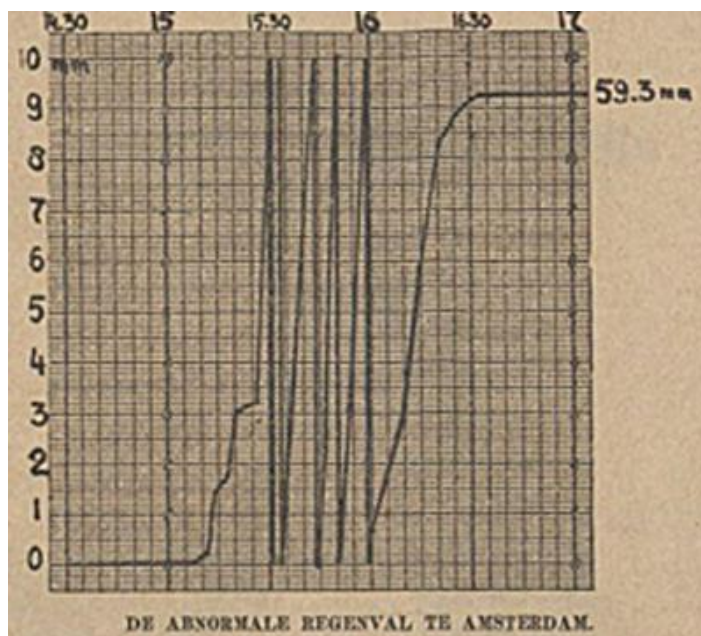
Op 31 juli 1998 was er een windhoos actief in Klazienaveen. Een viertal tuinbouwbedrijven liepen forse schade op.

De laatste 10 dagen (decade) van juli 2005 was in De Bilt de natste sinds 1901: er viel toen 105 mm omlaag!

Figuur 4.38: In Boskoop viel op 31 juli 1951 72 mm neerslag in 30 minuten

Bron: Meteolink¹⁰⁹

Andersom geldt: had het KNMI al vanaf 1951 vijftig neerslagstations actief gehad waar uurmetingen verricht werden, dan zouden er wellicht ook zeer extreme buien gemeten zijn tussen 1951 en 1980. Voor de periode vóór 1951 geldt hetzelfde. Een treffend voorbeeld daarvan is de enorme regenbui die op 31 juli 1951 Boskoop blank zette. In 3 uur tijd viel daar 105 mm regen, waarvan 72 mm in 30 minuten! Het uurgemiddelde waarbinnen die 72 mm viel zou zonder twijfel de KNMI-grafiek van figuur 4.36 gehaald hebben en wellicht bovenaan hebben gestaan. Boskoop is al sinds 1910 een officieel neerslagstation van het KNMI. Maar omdat Boskoop geen officieel uurstation is ontbreekt de waarneming in de neerslagstatistieken van het KNMI.



Figuur 4.39: extreme neerslag in Amsterdam op 7 juli 1936

Bron: Nieuwsblad van Friesland

¹⁰⁹ <http://www.meteolink.nl/weerhistorie-2/weerextremen-per-maand/juli-historie/>

Op het KNMI meetstation Amsterdam Hortus Botanicus viel op 7 juli 1936 in 1 uur tijd minstens 50 mm neerslag. In Zierikzee werd op 2 augustus 1960 binnen 1 uur 60 mm neerslag gemeten (Bron: Friese Koerier). De voorbeelden tonen aan dat op grond van beperkte uurregistratie in het verleden en vijf recente hevige buien beweren dat de intensiteit van de extreme buien in Nederland toeneemt niet houdbaar is.

Wie toekomstscenario's over hevige neerslag wil schrijven begeeft zich op een glibberig pad. Data zijn onvoldoende aanwezig en de wetenschappelijke kennis over dergelijke buien is beperkt. Bovendien zijn de klimaatmodellen tegenwoordig wel in staat om grootschalige processen zoals hoge- en lagedrukgebieden en frontensystemen te beschrijven, maar kleinschalige wolkenprocessen vormen nog steeds een probleem.

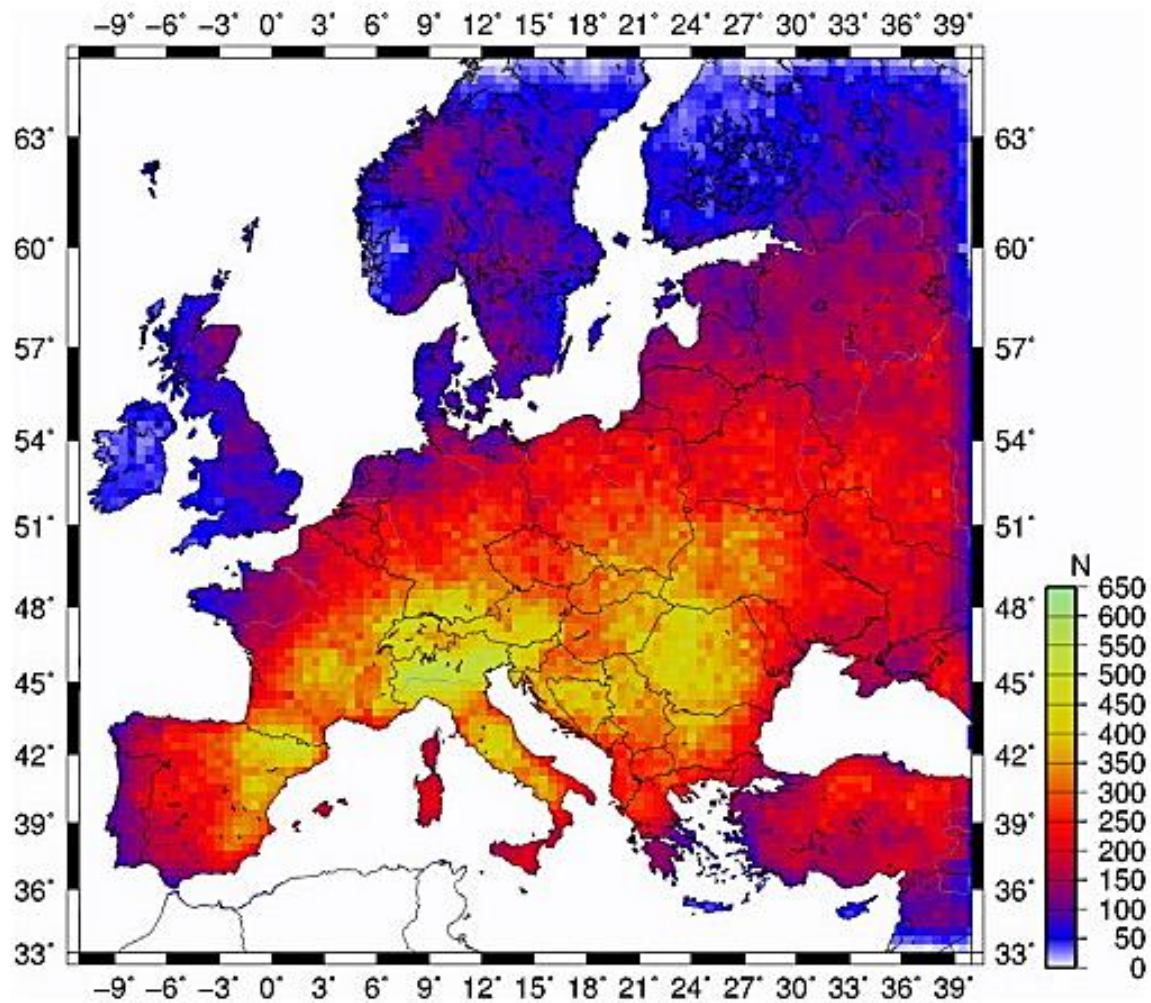
Regionale klimaatmodellen, zoals RACMO van het KNMI, hebben een oplossend vermogen van ongeveer 25 km (een factor tien groter dan de globale modellen) en zijn daardoor beter in staat buiencomplexen te beschrijven dan mondiale klimaatmodellen. Toch blijft ook hier een probleem dat het oplossend vermogen van 25x25 km nog veel te groot is voor observaties van lokale afmetingen.

Een andere tekortkoming in regionale modellen zoals RACMO is dat de hydrologie last heeft van persistentie, clustering van natte en droge periodes gedurende langere periodes. Die persistentie die dagen kan duren maar ook weken en zelfs decennia en nog langer wordt het Hurst-Kolmogorov-effect genoemd.¹¹⁰ Dat neerslag gedurende een bepaalde periode toeneemt of afneemt betekent dus niet automatisch dat er sprake moet zijn van een deterministische trend, veroorzaakt door temperatuur. Dit HK-effect wordt niet meegenomen in de KNMI-klimaatmodellen.

Onderzoeker Geert Lenderink van het KNMI omschrijft de grote onzekerheden voor de toekomstige ontwikkelingen als volgt: *“Het staat nog niet vast of deze schaalvergroting van buien daadwerkelijk zal gaan optreden in de toekomst. Tegenover deze mogelijk sterkere organisatiegraad van buien zijn er ook langetermijneffecten die mogelijk een dempend effect op de toename van neerslagextremen en organisatiegraad van buien hebben. De meeste klimaatmodellen verwachten in de zomer een toenemende invloed van hogedrukgebieden boven Groot-Brittannië, waardoor de grootschalige condities nodig voor extreme neerslag minder vaak optreden. Ook lijkt de stabiliteit van de atmosfeer te kunnen veranderen, waarbij de atmosfeer meer opwarmt op grote hoogte dan aan de grond, met als gevolg dat de opbouw van de onderste 5 tot 10 km van de atmosfeer juist stabiel wordt. Beide stabiliserende effecten zijn echter relatief zwak tot 2050, maar nemen daarna wel toe.”*¹¹¹

¹¹⁰ <http://www.nature.com/nclimate/journal/v6/n4/full/nclimate2894.html>

¹¹¹ G. Lenderink (2017), Convectieve neerslagextremen en klimaatverandering, Zenit, april 2017



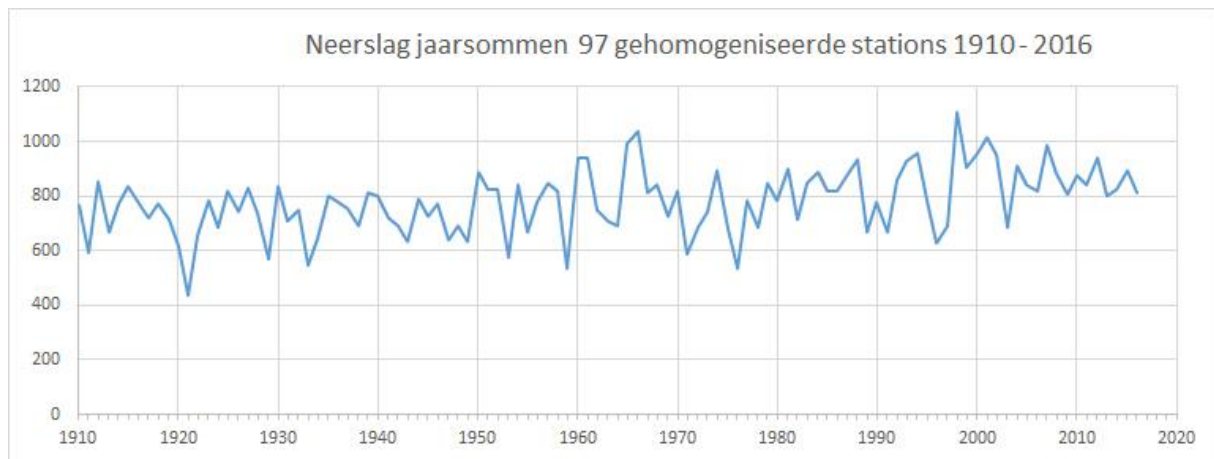
Figuur 4.40: Aantal hagelgebeurtenissen per roosterpunt ($\sim 1 \text{ km}^2$) in ongeveer 225 jaar
Bron: Punge et al.

Een onderzoek naar hagel in Europa door Punge et al uit 2014 toont aan dat de correlatie tussen hagel en temperatuur niet overtuigend is.¹¹² Hagel is een proxy voor zware neerslag. In figuur 4.40 is ook te zien dat het zuidoosten van ons land gevoeliger is voor hagel dan het noordwesten.

Conclusies

Volgens het rapport *KNMI'14 Klimaatscenario's voor Nederland* is de jaarlijkse hoeveelheid neerslag tussen 1910 en 2013 toegenomen met 26%.

¹¹² <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809517303423>



Figuur 4.41: verloop jaarlijkse neerslag in Nederland 1910 t/m 2016.

Opvallend is de daling van de lijn vanaf 2000, tot op een niveau van ongeveer 800 mm/jaar. Dat is het niveau dat we uit de jaren '60 van de vorige eeuw kennen. De neerslagfluctuaties in Nederland vertonen opvallende gelijkenis met die in centraal Engeland wat de belangrijke invloed van de luchtcirculatie aannemelijk maakt.

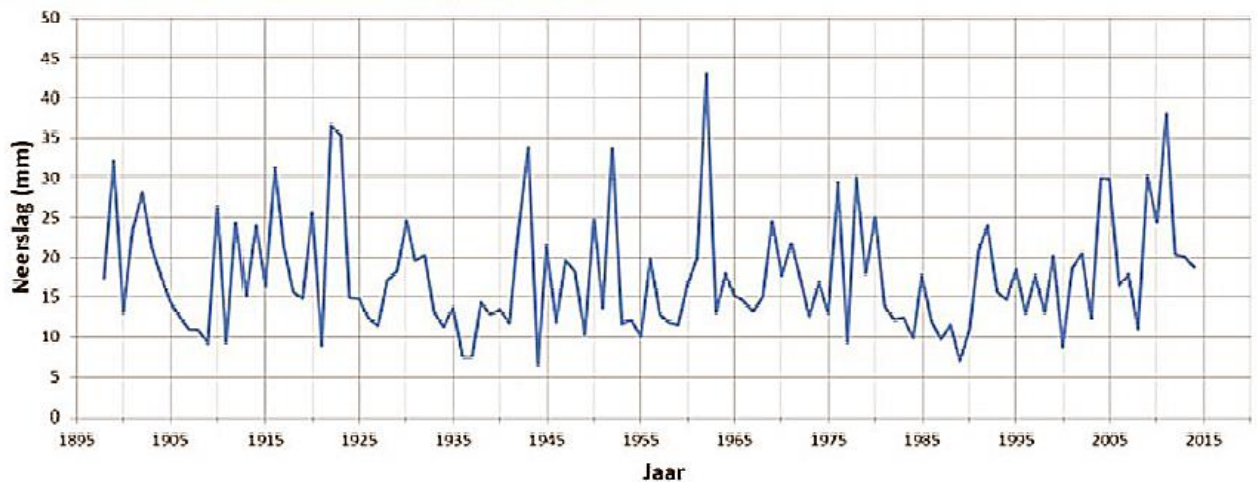
Op basis van de gegevens van 239 gehomogeniseerde reeksen sinds 1951 kan geconcludeerd worden dat het de afgelopen decennia niet harder is gaan regenen maar zware neerslag treedt wel vaker en op meer plaatsen op. De neerslagintensiteit is in de periode niet toegenomen.

De gegevens van de uursommen geven voorsnog geen basis aan de veronderstelling dat extreme buien in ons land intensiever worden. Daarvoor is het meetnet te grofmazig en zijn veel meetstations te kort actief. Niet alleen is er een gebrek aan historische meetgegevens over hevige buien, er is ook nog relatief weinig kennis over de kleinschalige wolkenprocessen die extreme buien sturen. Bovendien is er zoveel onzekerheid over de toekomstige ontwikkelingen van grootschalige weersystemen in Europa en veranderingen in atmosfeeropbouw dat betrouwbare voorspellingen momenteel onmogelijk zijn.

In België en Duitsland is de situatie met betrekking tot extreme neerslag vergelijkbaar met die in Nederland. In Duitsland laten de waarnemingen een afname zien van extreme neerslag sinds 1951. Het enige model dat deze buien goed kan narekenen toont echter een significante toename in de kans op extreme neerslag tussen 1960 en 2016.¹¹³ Dit toont nog eens aan dat men voorzichtig om moet gaan met modellen en projecties die daarop gebaseerd zijn.

¹¹³ <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/klimaatanalyse-van-extreme-buien-eind-mei-begin-juni-2016>

In België is het niet veel anders. Het KMI in België gaf een rapport uit, “Oog voor het Klimaat 2015”.¹¹⁴ Daarin komt de volgende grafiek voor:



Figuur 4.42: Jaarlijkse maximale neerslaghoeveelheden gevallen in één uur in Ukkel 1898-2014. Bron: KMI.

Het KMI in Ukkel schrijft: *“De figuren laten zien dat wat de uurlijkse en dagelijkse neerslag betreft er, naast natuurlijke variaties, geen merkbare trend in de jaarlijkse maxima binnen deze periode waar te nemen valt. Deze natuurlijke fluctuaties werden door analyse van dezelfde reeks gegevens ook al vastgesteld in de studie van Ntegeka and Willems (2008). Zelfs als we sinds het begin van de 21ste eeuw een lichte tendens tot verhoging van deze twee jaarlijkse hoeveelheden vaststellen, is de periode te kort opdat deze tendens statistisch opmerkelijk zou zijn. Ook hier kunnen we besluiten dat de hierboven beschreven resultaten het gevoel dat onweersbuien, die één of meerdere uren kunnen duren, recentelijk intenser en overvloediger geworden zijn, niet bevestigen.”*

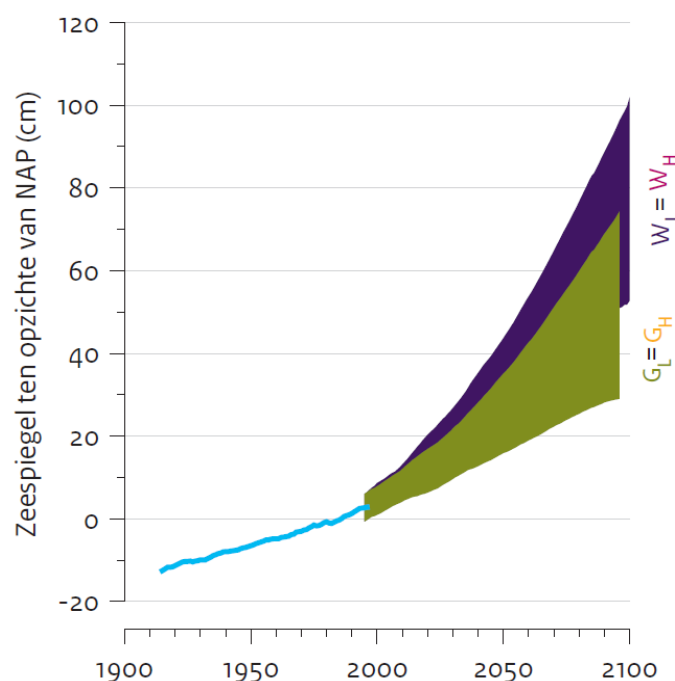
¹¹⁴ http://www.meteo.be/resources/20150508vigilance-oogklimaat/vigilance_climatique_IRM_2015_WEB_NL_BAT.pdf

5. Zeespiegelstijging: business as usual

De brochure Klimaatscenario's van het KNMI stelt: *“Uit waarnemingen blijkt dat de zeespiegel aan de Nederlandse kust sinds 1900 stijgt met een gemiddeld tempo van 1,8 mm per jaar. Voor de Noordzee is geen duidelijke versnelling zichtbaar in het tempo van stijging die uitstijgt boven de natuurlijke variaties, zoals die wel zichtbaar is in het wereldgemiddelde. Dit wordt veroorzaakt doordat de natuurlijke variaties voor de Noordzee, die samenhangen met variaties in de wind, veel groter zijn dan voor de wereldgemiddelde zeespiegel.”*

En: *“De KNMI'14-scenario's berekenen voor 2050 een zeespiegelstijging tot 40 centimeter ten opzichte van 1981-2010. Deze bovenwaarde voor 2050 is 5 centimeter hoger dan die in KNMI'06 en in de Deltascenario's. Dit komt vooral doordat de ijskappen op Groenland en Antarctica sneller smelten. Daarnaast is in de KNMI'14-scenario's het uitzetten van het water in de Noordzee meegenomen in de berekeningen. KNMI'06 ging nog uit van berekeningen voor het noordoosten van de Atlantische Oceaan vanwege gebrek aan gegevens voor de Noordzee.*

In 2085 zal de zeespiegel aan de Nederlandse kust volgens KNMI'14 tussen de 25 en 80 cm zijn gestegen. Voor 2100 is een bovenwaarde van 100 cm berekend. Deze waarde lijkt veel hoger dan de 85 cm in KNMI'06. Dit verschil komt voor het grootste deel doordat bij KNMI'14 de 95% bovenwaarde is toegepast, zoals gebruikelijk in het nieuwe IPCC-rapport 3), terwijl voor KNMI'06 de 90% bovenwaarde is toegepast. De KNMI'06 95% bovenwaarde correspondeert met een stijging van 95 cm. Het uiteindelijke verschil van 5 cm meer stijging in KNMI'14 komt vooral doordat de ijskap op Antarctica sneller smelt en het uitzetten van de oceaan meer bijdraagt.”



Figuur 5.1: Zeespiegel aan de Nederlandse kust zoals waargenomen en volgens de KNMI'14-scenario's. Bron: KNMI.

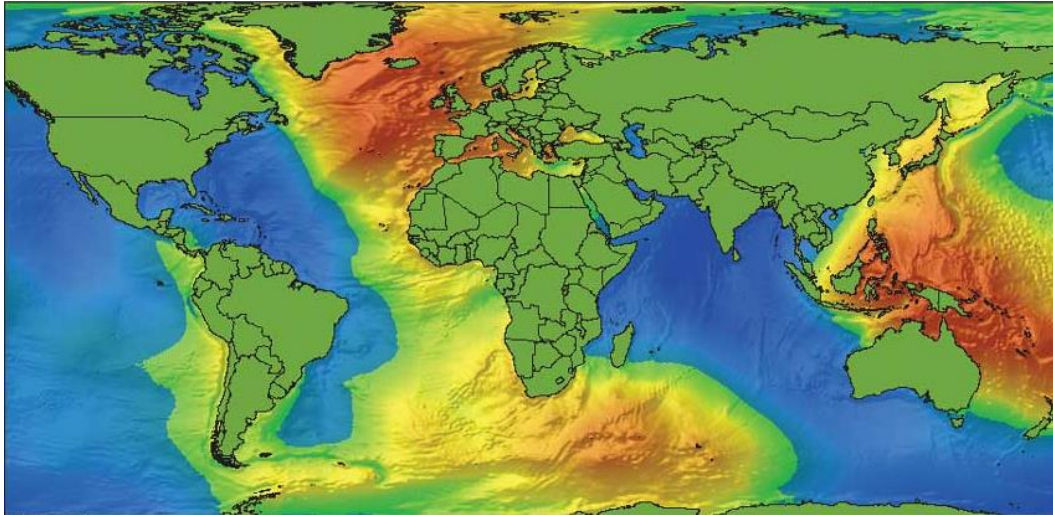
Figuur 5.1 is de illustratie die hoort bij de KNMI-scenario's voor de zeespiegel. Zelfs in de lagere groene variant is de zeespiegeltrend tot het jaar 2100 aanzienlijk hoger dan de historische trend langs de Nederlandse kust op basis van waarnemingen toont. De verwijzing door het KNMI naar het 'snellere smelten' van de ijskappen op Groenland en Antarctica lijkt voorbij te gaan aan de grote onzekerheid over (het tempo van) afsmelten op Groenland en Antarctica, mede als gevolg van de beperkte meetgegevens, zowel in tijd als geografisch bezien.

De absolute zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust is een gevolg van de gemiddelde mondiale zeespiegelstijging. Bovendien is het een relatieve zeespiegelstijging, dus ten opzichte van het land. In aanmerking nemend dat de kust van Nederland constant daalt betekent dit dat de absolute zeespiegelstijging langs onze kust lager is dan de getijdemetingen weergeven. Van de zes hoofdpeilmeetstations langs de Nederlandse kust (Delfzijl, Harlingen, Den Helder, IJmuiden, Hoek van Holland en Vlissingen) zijn lange tijdreeksen beschikbaar, de kortste begint in 1890. Hiermee wordt een goede indruk verkregen van de gemiddelde relatieve zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust.

Mondiale zeespiegelstijging

Omdat de absolute zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust een gevolg is van de gemiddelde mondiale zeespiegelstijging is het van belang om daar eerst aandacht aan te besteden. De mondiale zeespiegelstijging betreft per definitie de absolute zeespiegel, dat wil zeggen de gemiddelde zeespiegel ten opzichte van een vast referentiepunt of –vlak. Het gebruikte referentievlak is de referentie-ellipsoïde. Het middelpunt van die referentie-ellipsoïde valt samen met het massamiddelpunt van de aarde, inclusief de massa van de oceanen en de atmosfeer.

De zeespiegel vormt geen perfecte ellipsoïde zoals de referentie-ellipsoïde WGS84 maar de hoogte van de zeespiegel varieert van plaats tot plaats. Dat is het gevolg van verschillen in zwaartekracht en aardrotatie maar ook van getijden, luchtdruk, aardkorstbewegingen, wind, zoutgehalte et cetera.



Figuur 5.2: Zeespiegelhoogte ten opzichte van de WGS84 ellipsoïde. Bron: esri.com.¹¹⁵

In figuur 5.2 zijn de relatieve verschillen in hoogte van de zeespiegel ten opzichte van het referentievlak WGS84 over langere perioden weergegeven, waarbij de blauw gekleurde delen van de oceanen beneden het referentievlak liggen en de groen/geel/bruine delen erboven. De (gemiddelde) zeespiegel snijdt dus het referentievlak op de lijn die de grens vormt tussen blauw en groen.

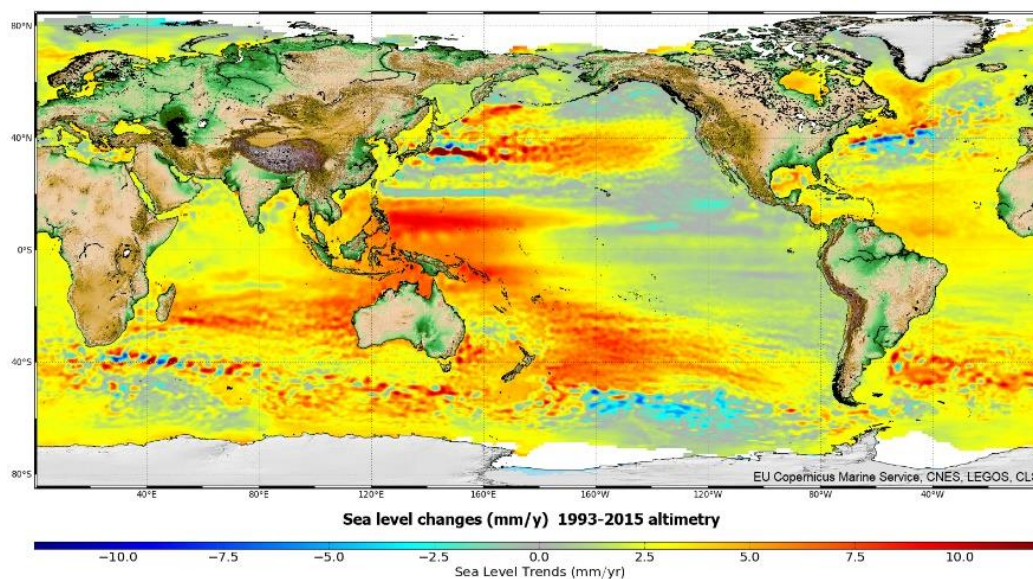
De zeespiegel varieert in de tijd. De tijdschaal daarvan varieert van zeer kort (bijvoorbeeld golven en getijden) tot zeer lang, zoals de zeespiegelveranderingen als gevolg van de afwisseling tussen ijstijden en interglacialen. Voor dit rapport zijn de zeespiegelveranderingen op een termijn van enkele decennia tot een eeuw van belang. Geschat wordt dat de zeespiegelstijging gedurende de 20e eeuw ongeveer 1,5 mm/jaar bedroeg.¹¹⁶ Die schatting is gebaseerd op getidemetingen. De geschatte totale geofysische effecten die bijdroegen aan de zeespiegelstijging in de 20e eeuw zijn uitzetting (0,4 mm/jaar), gletsjers (0,51 mm/jaar), landijs (0,45 mm/jaar), grondwater (0,12 mm/jaar) en antropogene effecten (0,05 mm/jaar).¹¹⁷

Zeespiegelstijging (en -daling) kent grote ruimtelijke verschillen. Satellietmetingen vanaf 1992 gaven het eerste directe bewijs dat er sprake is van relatief grote verschillen in zeespiegelveranderingen. In figuur 5.2 is te zien dat de regionale verschillen kunnen variëren van -15 mm tot + 15 mm per jaar.

¹¹⁵ <http://www.esri.com/news/arcuser/0703/geoid1of3.html>

¹¹⁶ Church, J.A. & White, N.J. *Surv Geophys* (2011) 32: 585. doi:10.1007/s10712-011-9119-1

¹¹⁷ Chung-Yen Kuo (2006), *Determination and Characterization of 20th Century Global Sea Level Rise*, Ohio State University 43210



Figuur 5.3: Regionale zeespiegelveranderingen altimetrie 1993–2015. Bron: Copernicus EU.¹¹⁸

Die regionale verschillen zijn het gevolg van natuurlijke processen zoals veranderende windpatronen en zeestromen. Een voorbeeld daarvan is de opmerkelijk grote stijging van de zeespiegel in grote delen van de westelijke Grote Oceaan (gevolg van El Niño en de Pacific Decadal Oscillation) en de Indische Oceaan. Maar ook verticale bewegingen van de aardkorst als gevolg van platentektoniek (in o.a. Japan) en veranderende landijsmassa's (glacial isostatic adjustment (GIA): Scandinavië) en hebben invloed op het zwaartekrachtsveld en hoogte van de oceaانبodem en daarmee op de zeespiegel. Een dergelijke ruimtelijk ongelijkmatige spreiding van zeespiegelveranderingen kan soms wel decennialang voortduren.

Het gebied in het westelijk deel van de Grote Oceaan dat bruinrood gekleurd is wordt de *Warm Pool* genoemd. De zeespiegel is daar sinds begin jaren '90 drie keer zo hard gestegen als het gemiddelde zeeniveau. Oorzaak is waarschijnlijk een intensivering van de passaatwinden ter plekke.¹¹⁹

Satellietmetingen

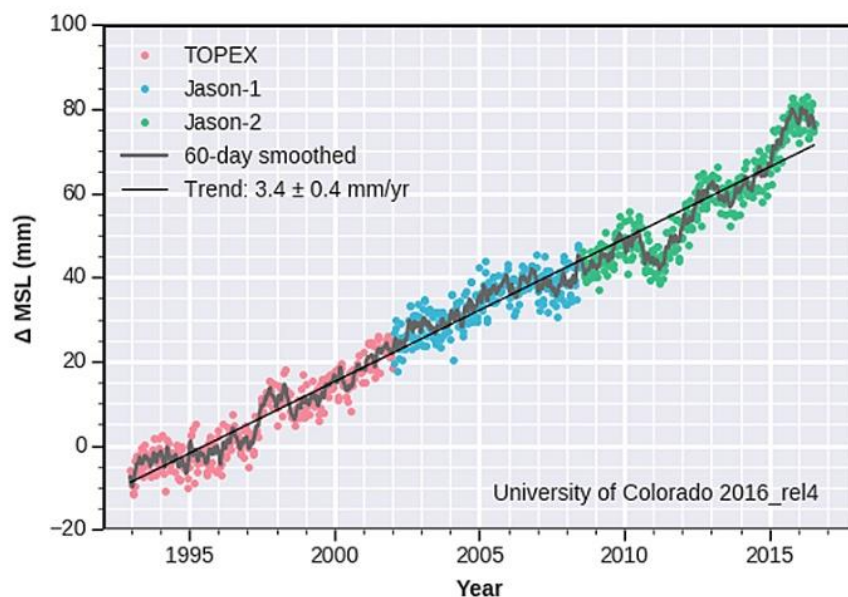
Al in 1978 zijn er pogingen geweest om de zeespiegel vanuit de ruimte te meten. De eerste missie was van Seasat in 1978. Helaas duurden die metingen maar 24 dagen en de missie werd door kortsluiting beëindigd. Ook met Geosat werd in de jaren '80 een poging gedaan. Sinds 1992 worden zeespiegelveranderingen gemeten met behulp van hoogtemeters aan

¹¹⁸ <http://newsletter.copernicus.eu/issue-13-april-2016/article/copernicus-sentinel-satellites-keep-eye-sea>

¹¹⁹ Mark A. Merrifield and Mathew E. Maltrud (2011), Regional sea level trends due to a Pacific trade wind intensification, *Geophysical Research Letters*, Vol. 38, L21605, doi:10.1029/2011GL049576

boord van satellieten. Achtereenvolgens zijn dat TOPEX/Poseidon (6-12-1992 tot 10-1-2002), Jason1 (15-1-2002 tot 2-7-2008) en Jason2 (3-7-2008 tot heden).

De schatting van de satelliehoogtemeter is gebaseerd op de afstand tussen de gemeten zeespiegel en het midden van de aarde (geocentrische zeewaterhoogte of SSH). Dat gebeurt door de gemeten afstand tussen de satelliet en zeeoppervlak (na correctie voor veel effecten op het radarsignaal) van de precieze baan van de satelliet af te trekken.¹²⁰ Figuur 5.4 geeft de constructie van de zeespiegelstijging van 1992 t/m 2016 weer. De trend over deze periode is volgens University of Colorado 3,4 mm/jaar.



Figuur 5.4: zeespiegelstijging op basis van altimetrie volgens University of Colorado. Bron: University of Colorado.¹²¹

De meetresultaten van zeespiegelmetingen door satellieten, altimetrie, berusten echter op een aanzienlijk aantal geofysische correcties. De ruwe meetgegevens zijn onbruikbaar en dienen dus gecorrigeerd worden.

Bovendien is voortdurende monitoring van de satelliehoogtemeter noodzakelijk door gebruik te maken van in-situ data. Vanuit een aantal locaties over de hele wereld worden de satelliehoogtemeters gekalibreerd met behulp van geodetische instrumenten in de buurt van de satellietbaan of bij kruispunten (platforms, getijdemeters, boeien).

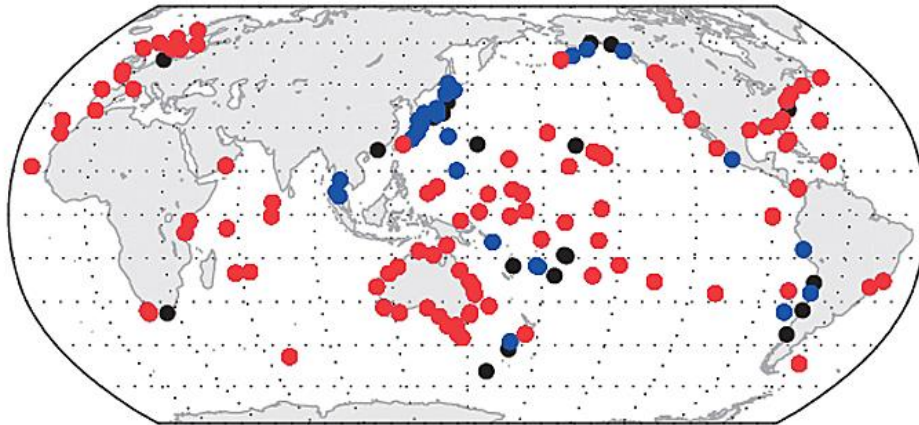
Navigatiesystemen zoals GPS zijn dan onontbeerlijk maar nog steeds zijn er problemen: verticale positionering blijft een probleem.¹²²

¹²⁰ <http://sealevel.colorado.edu/content/what-definition-global-mean-sea-level-gmsl-and-its-rate>

¹²¹ <http://sealevel.colorado.edu/>

¹²² http://www.iag-aig.org/attach/b1fde3fd8dce4117fa5bac24ded5b425/IAG_Newsletter_April_2011.pdf

Verdere kalibratie vindt plaats met behulp van een netwerk van getijdestations die zich recht onder de baan van de satelliet bevinden. Kalibratie met behulp van getijdemetingen is buitengewoon waardevol om tijdsafhankelijke fouten (driftfouten) op te sporen en te corrigeren. Groot probleem vormen de verticale bewegingen van de aardkorst en hun invloed op getijdedata.



Figuur 5.5: In rood de door Watson et al. gebruikte getijdestations. Zwart en blauw zijn onbruikbare stations als gevolg van respectievelijk non-lineaire bodembewegingen en aardbevingen. Bron: Watson et al.¹²³

Het is duidelijk dat de ‘zeespiegelmeting’ met behulp van satellieten ongekend complex is. Data moeten voortdurend gecorrigeerd worden en zijn mede de uitkomst van modellen. Dat toenemende inzichten leiden tot wijzigingen in de schattingen van de globale zeespiegelstijging tonen recente publicaties. Church en White kwamen in 2011 nog uit op een gemiddelde stijging van $3,2 \pm 0,4$ mm/jaar voor de periode 1993-2009 en gebruikten alleen GIA-data voor correctie.¹²⁴ Watson et al. komen in 2015 uit op een globale zeespiegelstijging tussen $2,6 \pm 0,4$ en $2,9 \pm 0,4$ mm/jaar tussen 1993 en midden 2014 door gebruik te maken van op GPS gebaseerde VLM (vertical land movement) data. Dieng et al (2017) komen uit op $3,0$ mm/jaar.¹²⁵ Chen et al (2017) gaan uit van een zeespiegelstijging (altimetrie) van $2,4 \pm 0,2$ mm/jaar in 1993 tot $2,9 \pm 0,3$ mm/jaar in 2014.¹²⁶ Het zal de laatste bijstelling niet zijn verwachten we.

¹²³ C.S. Watson, N.J. White, J.A. Church, M.A. King, R.J. Burgette, B. Legresy (2015), Unabated Global Mean Sea-level Rise over the Satellite Altimeter Era, *Nature Climate Change* DOI: 10.1038/NCLIMATE2635

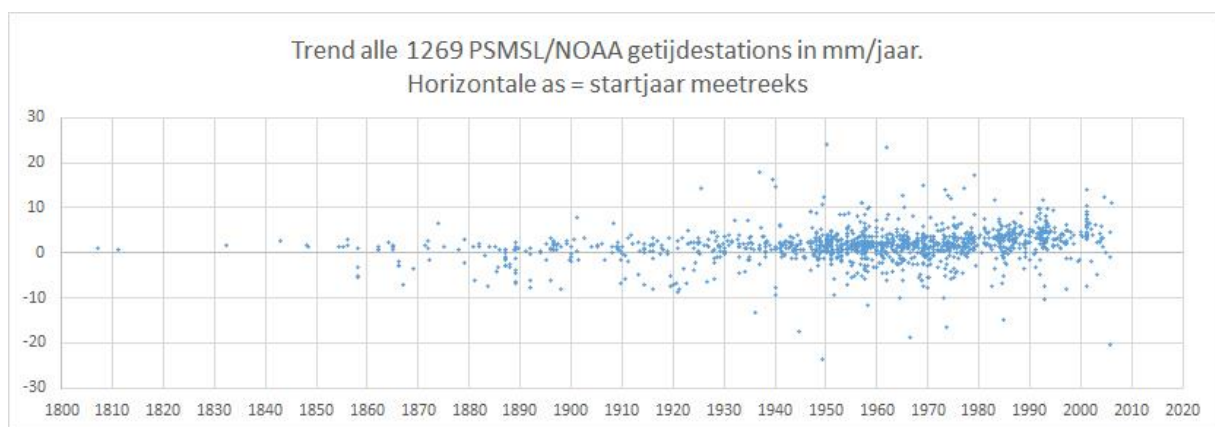
¹²⁴ Church, J.A. & White (2011), Sea Level Rise from the Late 19th tot the Early 21st Century, *N.J. Surv Geophys* 32: 585. doi:10.1007/s10712-011-9119-1

¹²⁵ <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2017GL073308/abstract>

¹²⁶ <https://www.nature.com/nclimate/journal/v7/n7/full/nclimate3325.html>

Getijdemetingen

Getijdemetingen worden uitgevoerd als relatieve zeespiegelveranderingen ten opzichte van een vast punt op het land. Die getijdemetingen vinden plaats met behulp van zogenaamde *tide gauges*, meetboeien, op een aantal plaatsen langs de kust verspreid over de wereld. De zeespiegeldata worden verzameld en verwerkt door een tweetal organisaties, PSMSL in Groot-Brittannië en NOAA in de USA.¹²⁷¹²⁸ PSMSL en NOAA baseren hun reeksen op data die komen van diverse nationale organisaties. Zo levert Rijkswaterstaat de data van Nederland. De oudste bruikbare meetreeks is die van Brest (F), die startte in 1807 en tot op de dag van vandaag actief is. Er zijn momenteel in totaal 1269 beschikbare getijdemeetreeksen beschikbaar, met een gemiddelde trend t/m 2016 van 1,65 mm/jaar.



Figuur 5.6: trend van alle 1269 PSMSL/NOAA getijdestations vanaf hun startjaar. Bron: Sealevel.info.¹²⁹

Die stations zijn, omdat ze langs kusten en op eilanden gesitueerd zijn, niet ruimtelijk gelijkmatig verspreid. Bovendien zijn de meetreeksen in de tijd ongelijkmatig verspreid. Er zijn meetreeksen van meer dan honderd jaar lang die nog steeds doorlopen maar ook meetreeksen van minder dan tien jaar lang die al lang geleden stopten. In figuur 5.6 zijn van alle 1269 stations de trend van de relatieve zeespiegelstijging in mm/jaar weergegeven. Op de x-as het startjaar van de betreffende meetreeks.

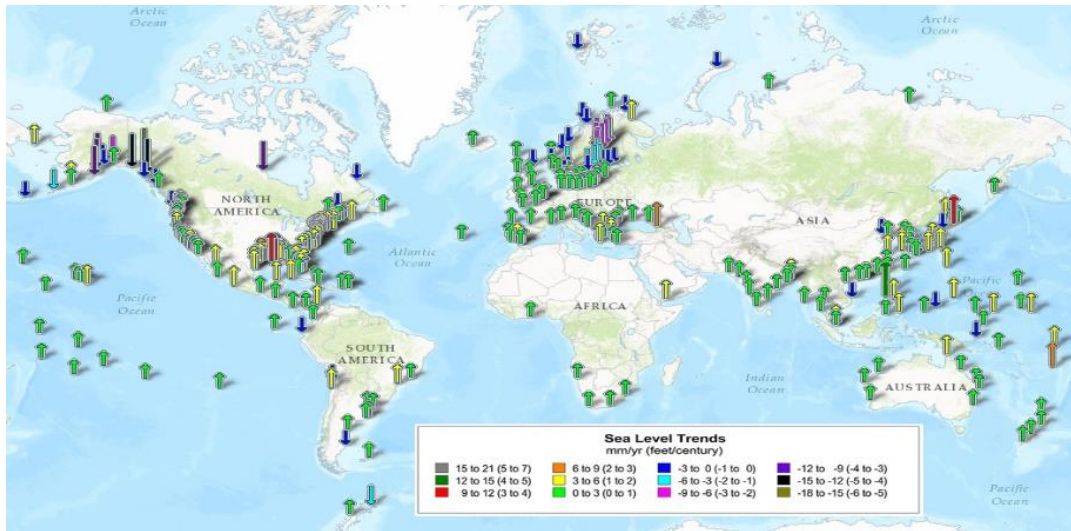
Een probleem is dat de getijdemetingen de relatieve zeespiegelverandering meten ten opzichte van een vast punt op het land. De aardkorst vertoont op veel plaatsen verticale bewegingen, zoals GIA (Glacial Isostatic Adjustment) bij Scandinavië en Noordoost-Canada, aardkorstbewegingen in subductiezones zoals bij Japan, Alaska en in het oostelijk deel van de Middellandse Zee en tektonische bewegingen als gevolg van grootschalige sedimentatie

¹²⁷ <http://www.psmsl.org/>

¹²⁸ <http://www.noaa.gov/>

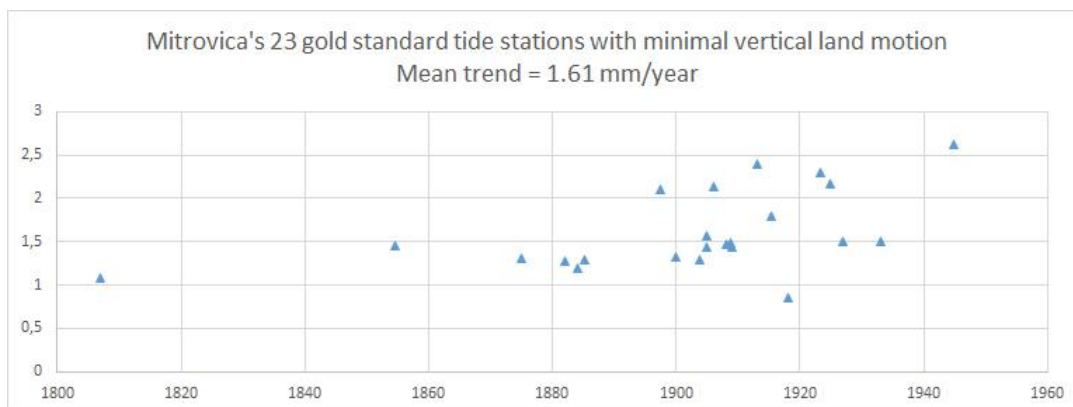
¹²⁹ http://www.sealevel.info/all_stations_trendtable_D.html

zoals de oostkust van de USA en de Golf van Mexico. In figuur 5.7 zijn de effecten daarvan grafisch weergegeven.



Figuur 5.7: invloed van GIA en andere verticale korstbewegingen op getijdemetingen
Bron: NOAA.¹³⁰

Er zijn al diverse pogingen gedaan om verticale aardkorstbewegingen (met name GIA) te verdisconteren in getijdemetingen, onder andere door Peltier.¹³¹¹³² Holgate heeft een selectie van negen getijdestations gemaakt op basis van minimale verticale landbeweging. Hij kwam tot een gemiddelde trend voor de negen stations van 1,77 mm/jaar. Mitrovia deed iets soortgelijks op basis van 23 getijdestations en kwam tot een gemiddelde trend van 1,61 mm/jaar:



¹³⁰ <https://tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/sltrends.html>

¹³¹ Peltier W.R 1998 Postglacial Variations in the Level of the Sea: Implications for Climate Dynamics and Solid-Earth Geophysics. Reviews of Geophysics 1998. 36(4),603-689.

¹³² Peltier W.R 2004 Global Glacial Isostasy and the Surface of the Ice-Age Earth: The ICE-5G(VM2) model and GRACE. Ann. Rev. Earth. Planet. Sci. 2004. 32,111-149.

Figuur 5.8: Mitrovica's lijst van 23 stations met minimale bodembeweging. Bron: sealevel.info.¹³³

Er zijn pogingen gedaan om correcties op basis van GPS toe te passen op niet-GIA aardkorstbewegingen, onder ander door Hamlington et al.¹³⁴ Veelbelovend is het netwerk dat de Franse organisatie SONEL wereldwijd opzet op basis van GPS.¹³⁵ Er zijn begin 2017 al bijna negentig getijdemeters gekoppeld aan GPS-apparatuur. In figuur 5.9 is de spreiding van alle GNSS (global navigation satellite system) apparatuur langs kusten en op eilanden weergegeven. De bedoeling is dat op den duur een geïntegreerd observatiesysteem ontstaat dat getijdemeter-data koppelt aan GNSS.



Figuur 5.9: Verspreiding van GNSS-stations langs kusten en op eilanden. Bron: SONEL.

Getijdemetingen versus satellietmetingen

Debat is er over de discrepantie tussen de getijdedata en de satellietdata. De satellietdata vanaf 1992 tot 2017 liggen ongeveer een factor twee hoger dan de getijdedata over de vorige eeuw. Diverse bronnen spreken van een versnelling in de getijdedata aan het einde van de 20e eeuw waardoor beide datareeksen dichter bij elkaar komen.¹³⁶¹³⁷ Houston et al. ontdekten echter geen recente acceleratie in de getijdemetingen.¹³⁸ Holgate constateerde in

¹³³ http://www.sealevel.info/MSL_mitrovica23_trendtable.html

¹³⁴ B.D. Hamlington, P. Thomson, W.C. Hammond, G. Blewitt and R.D. Ray (2016), Assessing the Impact of Vertical Land Motion Twentieth Century Global Mean Sea Level Estimates, CCPO publications 193

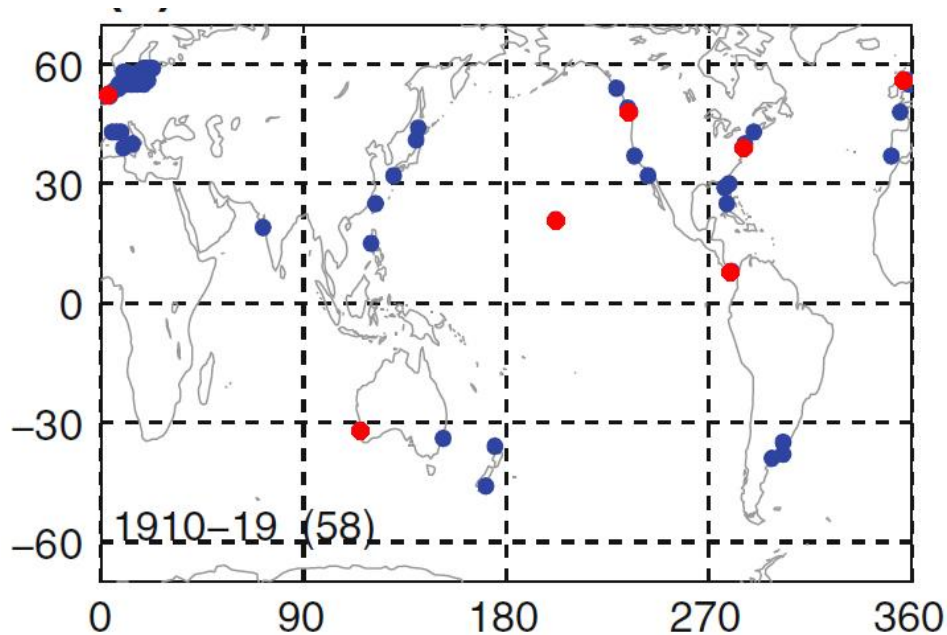
¹³⁵ <http://www.sonel.org>

¹³⁶ Church, J.A. & White (2011), Sea Level Rise from the Late 19th tot the Early 21st Century, N.J. Surv Geophys 32: 585. doi:10.1007/s10712-011-9119-1

¹³⁷ Jevrejeva S., Moore J.C., Grinsted A., Matthews A.P., Spada G. (2014). Trends and acceleration in global and regional sea levels since 1807, Global and Planetary Change, vol 113

¹³⁸ Houston J. R., Dean R. G. (2011) Sea-Level Acceleration Based on U.S. Tide Gauges and Extensions of Previous Global-Gauge Analyses. Journal of Coastal Research: Volume 27

een onderzoek van negen langlopende getijdereeksen tussen 1904 en 1953 een iets hogere trend dan van 1954 tot 2004.¹³⁹ In een latere correctie zijn de trends voor 1904-1953 ($1,91 \pm 0,14$ mm/jaar) en 1954-2003 ($1,42 \pm 0,14$ mm/jaar).¹⁴⁰ Eschenbach onderzocht voor de klimaatblog WUWT 63 getijdestations met meetreeksen van 1950 t/m 2016.¹⁴¹ 53 daarvan gaven geen enkele versnelling weer. Bij zeven stations was er wel sprake van een versnelling en bij drie van een vertraging. Zowel de versnellingen als de vertragingen waren minimaal, gemiddeld $0,015 \pm 0,012$ mm/jaar. Chen et al zien tussen 1993 en 2004 een versnelling en na 2004 een vertraging in de getijdedata.¹⁴²



Figuur 5.10: selectie van 58 getijdestations. Bron: Church et al (2011).

Als er sprake is van een recente toename in de mondiale zeespiegelstijging dan moet dat terug te vinden zijn in langlopende getijdemetingen. Daarom hebben we een selectie gemaakt van stations die tenminste een periode van honderd jaar overspannen, tot heden in bedrijf zijn en een vrijwel ononderbroken meetreeks hebben. De stations werden gekozen uit een verzameling van 58 stations uit de periode 1910-1919 zoals gebruikt door Church et al. (2011). Zie figuur 5.10 hierboven.

Bij de selectie hebben we rekening gehouden met het feit dat meetgegevens van stations die dicht bij elkaar liggen een sterke onderlinge correlatie vertonen. Bovendien hebben we geselecteerd op minimale bodembeweging. Stations uit regio's met bodembewegingen als

¹³⁹ Holgate S.J., (2007), On the decadal rates of sea level change during the twentieth century, *Geophysical Research Letters*, Vol. 34, L01602

¹⁴⁰ http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/Workshops/SeaLevel/Posters/2_3_Holgate.pdf

¹⁴¹ <https://wattsupwiththat.com/2017/07/20/sea-level-rise-accelerating-not/>

¹⁴² Chen X., Feng Y., Huang N.E.. (2014). Global sea level trend during 1993–2012, *Global and Planetary Change*, vol 11, Volume 112

gevolg van GIA (Glacial Isostatic Adjustment) en stations met niet-lineaire bodembeweging in tektonisch actieve gebieden (Mitchum et al) werden uitgesloten.¹⁴³ De stations moeten bovendien een acceptabele ruimtelijke spreiding over de aarde vertonen. De zeven geselecteerde stations zijn in figuur 5.10 weergegeven met rood.

Station name	St. number	Date range	Slope	Acceleration
Den Helder, Netherlands	150-031	1900/1 to 2015/12	1.542 ± 0.169 mm/yr	0.00578 ± 0.01125 mm/yr ²
Victoria, Canada	822-101	1909/3 to 2015/12	0.707 ± 0.192 mm/yr	0.00441 ± 0.01387 mm/yr ²
The Battery, NY, USA	8518750	1900/1 to 2016/11	3.041 ± 0.126 mm/yr	0.00566 ± 0.00836 mm/yr ²
Honolulu, HI, USA	1612340	1905/1 to 2016/11	1.434 ± 0.211 mm/yr	-0.01004 ± 0.01454 mm/yr ²
Balboa, Panama	840-011	1908/1 to 2015/12	1.473 ± 0.221 mm/yr	-0.00242 ± 0.01580 mm/yr ²
Fremantle, Australia	680-471	1900/1 to 2015/12	1.706 ± 0.265 mm/yr	0.00703 ± 0.01762 mm/yr ²
North Shields, GB	170-053	1900/1 to 2015/12	1.907 ± 0.138 mm/yr	-0.00605 ± 0.00920 mm/yr ²

Figuur 5.11: trend en versnelling van de zeespiegel bij de zeven geselecteerde langjarige stations. Bron: Sealevel.info.¹⁴⁴

In figuur 5.11 zijn in de laatste kolom de versnellingen van de meetreeksen weergegeven. Van de zeven stations vertonen vier stations een positieve versnelling en drie stations een negatieve. De versnellingen en vertragingen zijn echter zo klein dat ze niet significant zijn.

Wetenschappers beschuldigen elkaar over en weer van ‘*cherry picking*’. Dat laatste is niet zo verwonderlijk, want onderzoeksresultaten zijn sterk afhankelijk van de locatie van de gebruikte stations en lengte van de datareeks. De discrepantie tussen de trend van de getijdedata en de satellietdata behoeft nader onderzoek, dat is in ieder geval duidelijk.

Getijdemetingen Nederland

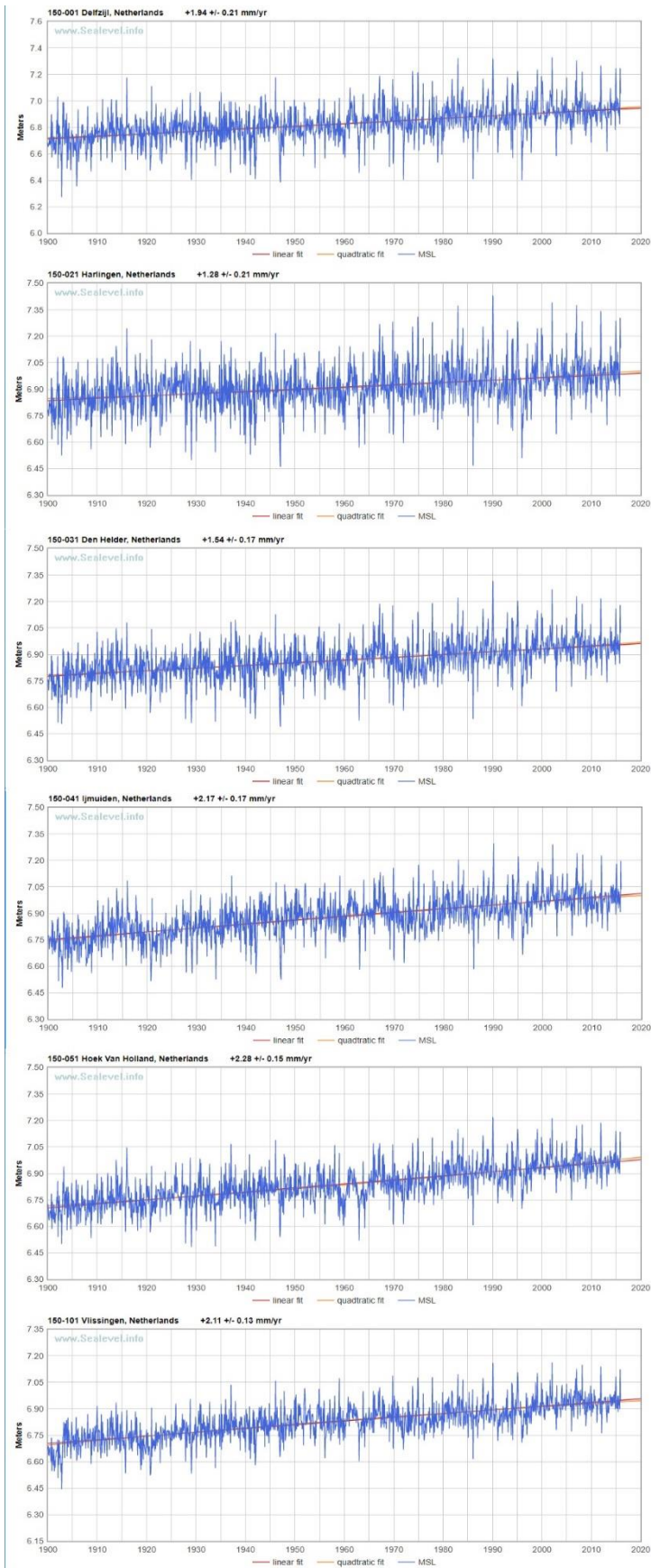
De hoogte van de zeespiegel aan onze kust wordt al heel lang gemeten. Nederlandse meetreeksen behoren tot de oudste ter wereld. In de voorgaande paragraaf is een aantal onderzoeken aangehaald naar trends in langjarige getijdemetingen t/m 2016. Daarbij is geconstateerd dat vrijwel alle meetreeksen geen recente acceleraties in de data vertonen.

In de Zeespiegelmonitor 2014, door Deltares, KNMI en HKV in opdracht van Rijkswaterstaat gemaakt, worden meetreeksen van de zes Nederlandse hoofdpeilmeetstations gebruikt: Delfzijl, Harlingen, Den Helder, IJmuiden, Hoek van Holland en Vlissingen.¹⁴⁵ Deze stations hebben meetreeksen die in de tweede helft van de 19e eeuw beginnen en tot heden doorlopen. Omdat data uit de 19e eeuw minder betrouwbaar zijn laten we grafieken beginnen in 1900.

¹⁴³ http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/Workshops/SeaLevel/Posters/2_14_Doran.pdf

¹⁴⁴ http://www.sealevel.info/all_stations_trendtable_D.html

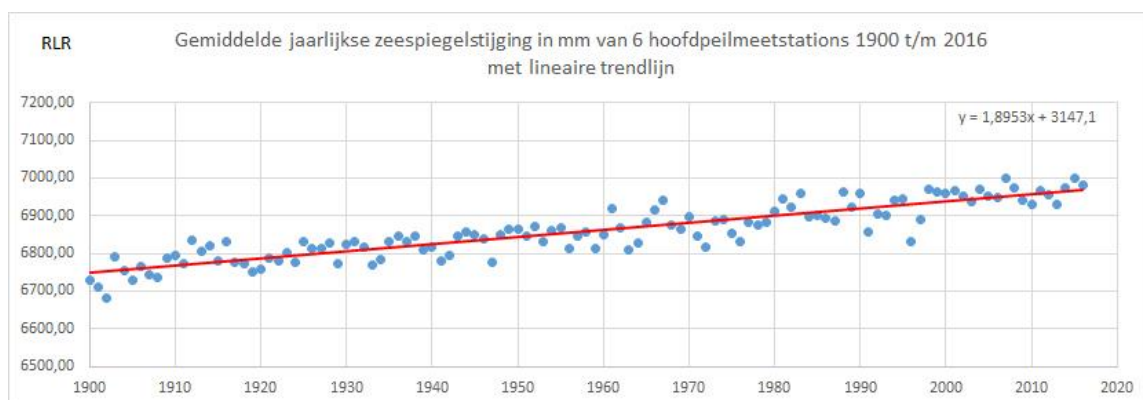
¹⁴⁵ Deltares (2015), Zeespiegelmonitor 2014, Rekenmethode voor huidige en toekomstige zeespiegelstijging.



Figuur 5.12: Maandelijkse zeespiegelhoogte hoofdpeilmeetstations vanaf 1900 met trendlijnen. Data: PSMSL; grafieken: www.Sealevel.info.

De variaties van jaar tot jaar in de zeespiegelstand kunnen aanzienlijk zijn. Die variaties worden met name veroorzaakt door verschillen in dominante windrichting binnen een jaar. Westen- en noordwestenwinden stuwen het water vaak flink op. Andere oorzaken van jaar-op-jaar variaties zijn verschillen in windsnelheid, luchtdruk, watertemperatuur en zoutgehalte. Ook de nodale cyclus van 18,6 jaar, de 'Knopencyclus', speelt een rol. Die wordt veroorzaakt door de afwijking van het baanvlak van de maan ten opzichte van die van de aarde.

De gemiddelde trend over de periode 1900 t/m 2016 voor de zes stations is 1,9 mm/jaar. Voor elke meetreeks is in figuur 5.12 de lineaire trendlijn en de kwadratische trendlijn (versnelling) weergegeven. Dat beide trendlijnen in de zes grafieken nagenoeg samenvallen duidt erop dat de zes reeksen een vrijwel lineair verloop hebben. Analyse van de samengestelde meetreeks langs de Nederlandse kust laat geen versnelling zien, ook niet in recente jaren.¹⁴⁶¹⁴⁷ In figuur 5.13 is de samengestelde meetreeks van alle zes hoofdpeilmeetstations weergegeven.



Figuur 5.13: Jaargemiddelde zeespiegel van de zes Nederlandse hoofdpeilmeetstations. Data: PSMSL.

Dit fraaie lineaire gedrag van de zeespiegelstijging aan de Nederlandse kust is overigens ook terug te vinden in meetreeksen in de omgeving van Nederland. Wahl et al. vonden in 2011 voor de Duitse bocht dat stations die het dichtst bij Nederland liggen een lineair patroon

¹⁴⁶ Baart, F., P.H.A.J.M. van Gelder, J. de Ronde and M. van Koningsveld (2012). The effect of the 18.6-year lunar nodal cycle on regional sea-level rise estimates. *Journal of Coastal Research* 28(2), 511-516.

¹⁴⁷ Visser, H., S. Dangendorf and A.C. Petersen (2015). A review of trend models applied to sea level data with reference to the "acceleration-deceleration debate". *Journal of Geophysical Research: Oceans* 120, 3873-3895

volgen.¹⁴⁸ Langs de Belgische kust is een lineaire trend waargenomen door Poppe en Verwaest.¹⁴⁹ Wahl et al. analyseerden in 2013 een 30-tal stations langs de Europese kust (inclusief de Noordzeekust) en vonden lineaire trends voor alle stations.¹⁵⁰

De gemiddelde trend voor de zes stations van 1,9 mm/jaar is de relatieve zeespiegelstijging aan de Nederlandse kust. De kust heeft echter te maken met een langzame daling van het land. Die daling heeft te maken met de geologische ligging van onze kust: het Noordzeebekken daalt al vanaf het begin van het Tertiair en het noordwesten van Nederland maakt deel uit van dat bekken. De daling van Noordwest-Nederland wordt door TNO geschat op ongeveer 0,25 mm per jaar.¹⁵¹ De bodemdaling wordt voor de Nederlandse kust geschat op 0,2 mm per jaar (PBL 2016). Dat betekent een absolute toename van de zeespiegel met 1,7 mm per jaar. De absolute zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust is dus in overeenstemming met cijfers van de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging over dezelfde periode.

Conclusies

De stijgende trend van de zeespiegel langs de Nederlandse kust is (afgezien van het dalende land) het gevolg van een aantal mondiaal werkende factoren: thermische uitzetting van opwarmend zeewater, smelten van landijs, gletsjers en kleine ijskappen en het gebruik van grondwater.

Diverse onderzoekers hebben in het verleden getracht deze bijdragen te kwantificeren. Recent heeft Hanna (2013) voor de altimetrische periode vanaf 1992 een schatting gemaakt van de bijdragen van de diverse oorzaken van zeespiegelstijging.¹⁵²

¹⁴⁸ Wahl, T., Jensen, J., Frank, T. et al. Ocean Dynamics (2011), Improved estimates of mean sea level changes in the German Bight over the last 166 years, Ocean Dynamics, vol 61: 701

¹⁴⁹ <http://www.vliz.be/imisdocs/publications/241522.pdf>

¹⁵⁰ Wahl, T., I.D. Haigh, P.L. Woodworth, F. Albrecht, D. Dillingh, J. Jensen, R.J. Nicholls, R. Weisse and G. Wöppelmann (2013). Observed mean sea level changes around the North sea coastline from 1800 to present. Earth-Science Reviews 124, 51-67

¹⁵¹ <http://www.natuurinformatie.nl/ndb.mcp/natuurdatabase.nl/i000331.html>

¹⁵² Hanna, E., F.J. Navarro, F. Pattyn, C.M. Domingues, X. Fettweis, E.R. Ivins, R.J. Nicholls, C. Ritz, B. Smith, S. Tulaczyk, P.L. Whitehouse and H.J. Zwally (2013). Ice-sheet mass balance and climate change. Nature 498, 51-59.

Table 1 | Estimated recent and current contributions to SLR

Source of contributions	SLR (mm yr ⁻¹)	
	1992/93 to 2008/11*	2000/03 to 2009/11*
GIS + AIS ²	0.59 ± 0.20	0.82 ± 0.16
GICs ^{72,74}	1.40 ± 0.16	0.71 ± 0.08
Ocean thermal expansion ^{77,87,88}	1.10 ± 0.43	1.11 ± 0.80
Terrestrial water storage (1993–2008) ^{67,81}	0.02 ± 0.26	
Sum of contributions	3.11 ± 0.56	2.66 ± 0.86
Observed (1993–2008) ⁶⁷	3.22 ± 0.41	

Tabel 5.1: Geschatte recente bijdragen aan zeespiegelstijging. Bron: Hanna et al 2013.

Deze schattingen zijn omgeven door brede onzekerheidsbanden. Dat geldt vooral voor de thermische uitzetting en de bijdrages van Groenland en Antarctica.¹⁵³

Ondanks de grote onzekerheden over de (recente) bijdragen van met name smeltwater en thermische expansie wordt getracht op basis van de geschatte bijdragen en de voorspellingen van toekomstige temperatuurontwikkelingen fysische modellen te ontwikkelen. De Deltacommissie komt uit op een onrealistische maximale zeespiegelstijging in 2100 van 1,3 meter.¹⁵⁴ Katsman et al. komen in 2013 uit op een zeespiegelstijging in 2100 langs de Nederlandse kust van meer dan 1 meter.¹⁵⁵ De KNMI-scenario's voor de zeespiegelstijging langs onze kust zijn ook gebaseerd op dergelijke fysische modellen.

Er is echter een aantal redenen denkbaar waarom fysische modellen voorlopig niet gehanteerd moet worden. Behalve de grote onzekerheid over de bijdragen van de diverse bronnen aan de zeespiegelstijging is er ook onzekerheid over de ontwikkeling van de mondiale temperatuur aan het aardoppervlak. Bovendien wijken regionale zeespiegelveranderingen vaak af van mondiale ontwikkelingen.

Die grote onzekerheid speelt kennelijk geen rol van betekenis in de berichtgeving over zeespiegelstijging. Ondanks die alarmerende berichtgeving is er al meer dan 100 jaar geen versnelling in de zeespiegelstijging zichtbaar aan de Nederlandse kust. Er is dus voldoende reden om (voorlopig) het lineaire regressiemodel van de zes hoofdpeilmeetstations te hanteren voor toekomstige projecties van de zeespiegelveranderingen voor onze kust.

¹⁵³ CBS, PBL, Wageningen UR (2016). Stand zeespiegel langs de Nederlandse kust en mondiaal, 1890-2014 [19] (indicator 0229, versie 09, 17 maart 2016)

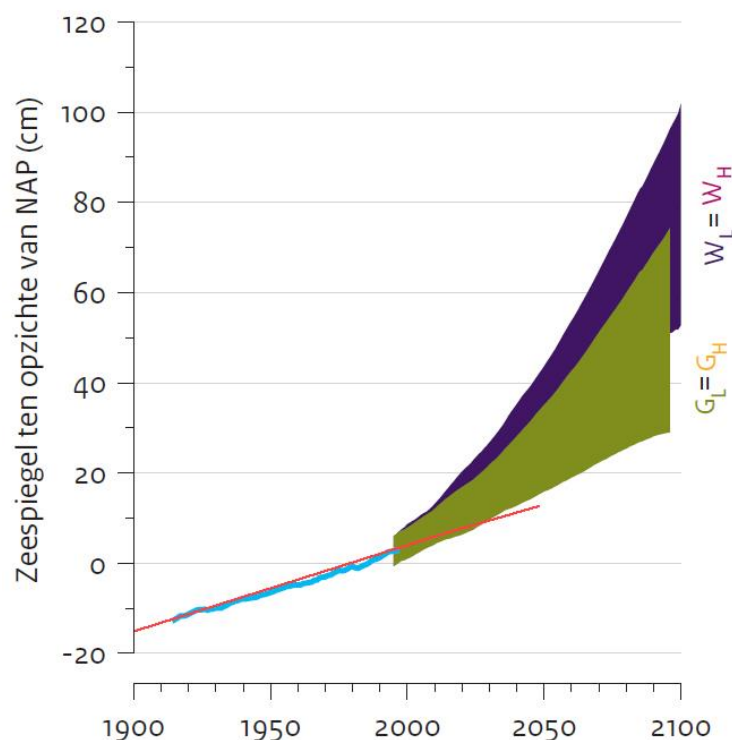
¹⁵⁴ Deltacommissie, 2008. Samen werken met water: een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst; bevindingen van de Deltacommissie 2008.

¹⁵⁵ Katsman, C.A. et al. (2011), Exploring high-end scenarios for local sea level rise to develop flood protection strategies for a low-lying delta - the Netherlands as an example. Climatic Change 109(3-4), 617-645

De Zeespiegelmonitor 2014, door Deltares, KNMI en HKV in opdracht van Rijkswaterstaat gemaakt, hanteert een lineair regressiemodel. Omdat niet alleen de lineaire trend van de zeespiegel van de afgelopen 120 jaar is gebruikt maar ook rekening is gehouden met de wind en nodaal getij heeft men het model nagenoeg perfect kunnen beschrijven. Daarom is het betrouwbaarheidsinterval (95%) zeer nauw. De helling is over de hele periode ongeveer 17 à 18 cm per eeuw.

Over de bruikbaarheid van het model voor voorspellingen van de zeespiegel de komende eeuw stelt de Zeespiegelmonitor: *“We verwachten dat de statistische methode vooral voor de eerste decennia goed werkt, omdat over de laatste eeuw simpele statistische modellen een grote voorspelkracht hebben gehad. Later in de 21e eeuw, wanneer temperatuursveranderingen waarschijnlijk een grote invloed zullen hebben, hebben we meer vertrouwen in het fysische model.”*

Voor wat betreft de ontwikkeling tot het jaar 2050 sluiten we ons aan bij deze zienswijze. Projecteren we het statistische model over de KNMI-scenario's dan komt de te verwachten zeespiegelstijging tot 2050 zelfs onder de ondergrens van het G_L -scenario (figuur 5.14).



Figuur 5.14: Lineaire trend historische zeespiegelstijging afgezet tegen de KNMI-scenario's.

De KNMI-scenario's voor 2050 gaan uit van een zeespiegelstijging van 15 tot maximaal 40 cm en van 25 tot maximaal 80 cm in 2085. Omgerekend komt dat neer op een stijging van 2,7 mm/jaar tot 7,3 mm/jaar tot aan 2050 en van 2,8 mm/jaar tot 8,9 mm/jaar tot aan 2085. Dit soort versnellingen hebben zich de afgelopen eeuw niet voorgedaan. Het KNMI gaat er dus

vanuit dat er een historisch gezien ongekende versnelling van de zeespiegel gaat plaatsvinden langs de Nederlandse kust. We hechten waarde aan het nuchtere principe 'eerst zien dan geloven'. Laat de zeespiegel eerst eens tien jaar lang een stijging zien van 3 mm per jaar bijvoorbeeld.

Voorspellingen voor de periode na 2050 lijken ons zeer prematuur gezien de grote onzekerheden in de fysische modellen.

6. Epiloog en aanbevelingen

Onlangs was er veel tumult over politieke beïnvloeding van wetenschappelijke rapporten van het Wetenschappelijk Onderzoek- en Documentatiecentrum (WODC). Terecht werd de vraag gesteld of er ook andere wetenschappelijke instituten zijn die te dicht tegen de politiek aan schurken.

We hebben geen aanwijzingen dat ministeries de uitkomst van de KNMI-scenario's beïnvloeden, maar bij het KNMI speelt wel iets anders. Klimaatverandering is een sterk gepolariseerd en gepolitiseerd onderwerp. Het onderwerp is wetenschappelijk gezien controversieel en vanwege de grote maatschappelijke belangen die ermee gemoeid zijn ligt vermenging van wetenschap en politiek op de loer. De uitkomst van wetenschappelijk onderzoek heeft direct invloed op het beleid. Bij de KNMI-scenario's is dat ook expliciet het geval: de scenario's worden letterlijk gebruikt als uitgangspunt voor adaptatiemaatregelen zoals dijkbeheer, riviermanagement, riolering, spuisluizen etc.

Scenario's beschrijven ontwikkelingen die zich in de toekomst mogelijk kunnen voordoen. De onwaarschijnlijkheid dat een scenario zich daadwerkelijk zal voordoen, is geen uitsluitingscriterium – ook 'worst case' scenario's kunnen worden geconstrueerd en geanalyseerd. De wetenschapper heeft hier dus een grote keuzevrijheid – hij kiest de scenario's die hij of zij relevant acht. De combinatie van beleidsrelevantie en keuzevrijheid schept een grote verantwoordelijkheid voor diegenen die de scenario's maken. Want aan de uitkomsten hangen substantiële bedragen vast die de maatschappij - lees: de belastingbetaler - moet gaan uitgeven. Geld dat dan niet besteed kan worden aan onderwijs, gezondheidszorg of welk ander doel dan ook.

De vraag is nu of het KNMI in staat is om objectief en feitelijk te berichten over de status quo van het klimaat en wat ons in de nabije toekomst te wachten staat. Op basis van dit rapport en op basis van andere uitingen van het KNMI in de media zien we dat het KNMI moeite heeft met het vinden van de juiste rol. Het instituut heeft steeds vaker (lijkt het) de neiging om op de emoties van het publiek in te spelen om daarmee actief de politiek en het beleid te willen sturen.

Het duidelijkste voorbeeld hiervan was de 'Code Oranje voor het klimaat' die het KNMI afgaf ten tijde van de klimaatconferentie in Parijs in december 2015. Met veel tamtam werd deze Code Oranje voor het klimaat gebracht, als opening van het achttien uur journaal. Een Code Oranje bestaat als onderdeel van het weeralarm. Een Code Oranje voor het klimaat bestaat helemaal niet, er is geen definitie voor. Het ging derhalve om een pseudowetenschappelijke waarschuwing die in feite zuiver 'klimaatactivisme' inhield. Wil het KNMI geloofwaardig blijven, dan zou het zich verre van dit soort acties moeten houden.

Wat dit rapport heeft laten zien is dat andere factoren dan CO₂ invloed gehad hebben op het Nederlandse klimaat in de afgelopen eeuw. Harde bewijzen bestaan niet als het gaat om oorzaken achter regionale klimaatverandering. Dat mes snijdt aan twee kanten en dat geldt dus ook voor de rol van CO₂. Doordat KNMI-onderzoekers er persoonlijk van overtuigd zijn dat CO₂ en andere broeikasgassen op dit moment een dominante invloed op het klimaat

hebben, laten zij, al dan niet doelbewust, andere factoren onderbelicht. Dit verraadt dat er gevaarlijke blikvernuwing (of tunnelvisie) is opgetreden.

Een vergelijking met de zogeheten 'prosecutor fallacy' in forensisch onderzoek dringt zich op. Heel vaak is er geen sluitend bewijs voor handen en zullen rechercheurs met de bewijzen die er zijn tot een plausibel verhaal moeten komen waarna de rechter een oordeel zal moeten uitspreken. De laatste jaren zijn er ook een aantal spraakmakende gerechtelijke dwalingen geweest (bv. de Schiedammer parkmoord of de zaak Lucia de B.) waarbij te snel een verdachte werd aangewezen en achteraf werd geconstateerd dat er sprake was van tunnelvisie. Alleen die feiten die tegen de verdachte pleitten werden in het dossier opgevoerd.

Iets soortgelijks doet zich bij de KNMI-scenario's ook voor. Voor de onderzoekers die aan deze scenario's werkten stond de 'hoofdschuldige' bij voorbaat al vast: CO₂. Andere feiten of argumenten die tegen een grote rol voor CO₂ pleiten krijgen in de brochure en in het wetenschappelijke achtergronddocument geen of nauwelijks aandacht.

Zo'n alternatief 'gegeven' is bijvoorbeeld de sprong van ruim 1°C die de temperatuur in West-Europa maakte eind jaren tachtig. Die sprong is statistisch gezien significant, komt in grote delen van West-Europa voor en is zelfs waarneembaar in de zeewatertemperaturen. Dit laatste is interessant omdat zeewater vooral snel kan opwarmen door meer zonlicht. Daarmee ligt een grote rol voor de overgang van dimming naar brightening voor de hand. Het KNMI erkent dit in wetenschappelijke publicaties en rapporten wel, maar besteedt daar in haar publiekscommunicatie vrijwel geen aandacht aan. Alsof het bang is om anderen tegen het hoofd te stoten door ook alternatieve oorzaken te benoemen.

Een ander voorbeeld dat dit rapport heeft opgeleverd is extreme neerslag. Het KNMI claimt al lang dat extreme neerslag in ons land steeds extremer wordt. Maar een analyse van de KNMI-data in dit rapport kan die claim niet bevestigen. Deze voorbeelden ondersteunen de conclusie dat het KNMI vaak een te eenzijdig beeld schetst van de Nederlandse klimaatverandering (te alarmerend) en de mogelijke oorzaken daarvan (te veel gefocust op alleen CO₂).

Deze voorbeelden ondersteunen de conclusie dat het KNMI op zijn minst een selectief, eenzijdig beeld heeft geschetst van de Nederlandse klimaatverandering en de mogelijke oorzaken daarvan. Dit selectief weglaten van relevante wetenschappelijke bevindingen schept de indruk van activistisch of tenminste resultaatgericht redeneren. Dat zulks onwetenschappelijk is, behoeft geen betoog. Als het KNMI in haar informatie naar buiten bewust (eigen) wetenschappelijke inzichten onbenut houdt, wie is dan nog wél te vertrouwen? Als het KNMI niet meer de hoeder van het onafhankelijk wetenschappelijk klimaatdebat is, wie dan wel? Het KNMI moet meer de wetenschappelijke integriteit in het klimaatdebat veiligstellen.

Die positie van het KNMI als onafhankelijk kennisinstituut is de laatste jaren onder druk komen te staan door bezuinigingen. Dat betekent dat het KNMI net zoals de universiteiten steeds vaker onderzoeksgeld moet vinden buiten het instituut, met projecten en publiek-private samenwerking. Intussen weten we dat van die afhankelijkheid van externe financiering perverse prikkels kunnen uitgaan. Bovendien kreeg ook het KNMI te maken met

de politieke opvatting dat het instituut ‘maatschappelijk relevant’ moet acteren. Daarmee is het KNMI als kennisinstituut in zwaar weer terecht gekomen. Naast de taak van weerinstituut moet de tweede taak van het KNMI, namelijk kennisinstituut, veiliggesteld worden. Dat laatste lijkt helaas bij het ministerie geen prioriteit te hebben. Voortdurende bezuinigingen op het onderzoeksbudget hollen die kennis uit, juist in een periode dat er meer belangstelling is voor weer en klimaat.

Op basis van onze bevindingen komen wij tot de volgende aanbevelingen.

Aanbevelingen voor het KNMI:

- 1) Het taalgebruik in de brochure is te stellig. Een claim als Nederland zal in 2050 tussen de 1 en 2,3°C warmer zijn, is wetenschappelijk gezien niet te onderbouwen en dus schijnwetenschap. De brochure dient duidelijk te maken dat scenario's mogelijke situaties zijn waaraan geen kansen te hangen zijn.
- 2) Besteedt meer aandacht aan attributie. Sluit daarbij geen enkele factor bij voorbaat uit en doe meer onderzoek naar die andere factoren. Wat gaat er bijvoorbeeld gebeuren met de temperatuur in Nederland nu de Atlantic Multidecadal Oscillation de komende decennia vermoedelijk naar de koude fase zal gaan? Hoe groot is eigenlijk het effect geweest van veranderd landgebruik op het Nederlandse klimaat?
- 3) Toon expliciet hoe modellen in het recente verleden al dan niet overeenkomen met de waarnemingen. Probeer aannemelijk te maken waar verschillen door veroorzaakt worden.
- 4) Probeer te opereren als een *honest broker* zoals beschreven in het boek *The Honest Broker* van Roger Pielke Jr. De *honest broker* sluit opties niet uit maar schotelt beleidsmakers een hele rits varianten voor zodat die zelf ook een afweging kan maken. Geef beleidsmakers niet alleen de argumenten die hun beleid ondersteunen, maar ook de argumenten die hun beleid onderuithalen, ook al is dat beleid gesteund op een internationale consensus of internationale afspraken.

Aanbevelingen voor de politiek en beleidsmakers:

- 1) Het KNMI valt onder een ministerie en krijgt daar ook financiering van. Omdat het KNMI deel uitmaakt van een zeer gepolariseerd en beleidsrelevant wetenschappelijk debat over klimaatverandering is het voor de onderzoekers lastig om hun werk met distantie te blijven doen. Daarom is het aan het ministerie om erop toe te zien dat dit zo goed mogelijk gebeurt. Momenteel zijn er in het geval van de KNMI-scenario's te weinig 'checks and balances' aanwezig. De scenario's hebben een monopoliepositie, waardoor kritiek erop (zoals in dit rapport) doorgaans niet gewaardeerd wordt.
- 2) Als opdrachtgever kan de overheid invloed uitoefenen op de onderzoeksrichtingen. De overheid kan het KNMI verzoeken meer onderzoek te doen naar attributie van klimaatverandering en dan met name specifiek ook naar andere natuurlijke en antropogene factoren te kijken dan CO₂.
- 3) De overheid zou op korte termijn in kaart moeten brengen hoe letterlijk de KNMI-scenario's in de praktijk gebruikt worden. Gezien de geuite bedenkingen bij het

RCP8.5-scenario (de basis voor het WH en WL-scenario) zou een maatschappelijke discussie op gang moeten komen of investeringen op basis van dit scenario wel gewenst zijn.

Marcel Crok, Rob de Vos, december 2017

klimaatgek

Fabels en feiten over het klimaat

Zeespiegel volgens het KNMI

In de recent uitgebrachte [KNMI brochure "De Staat van het Klimaat 2024"](#) staan veel tabellen en grafieken, waaronder die van de mondiale zeespiegelstijging:

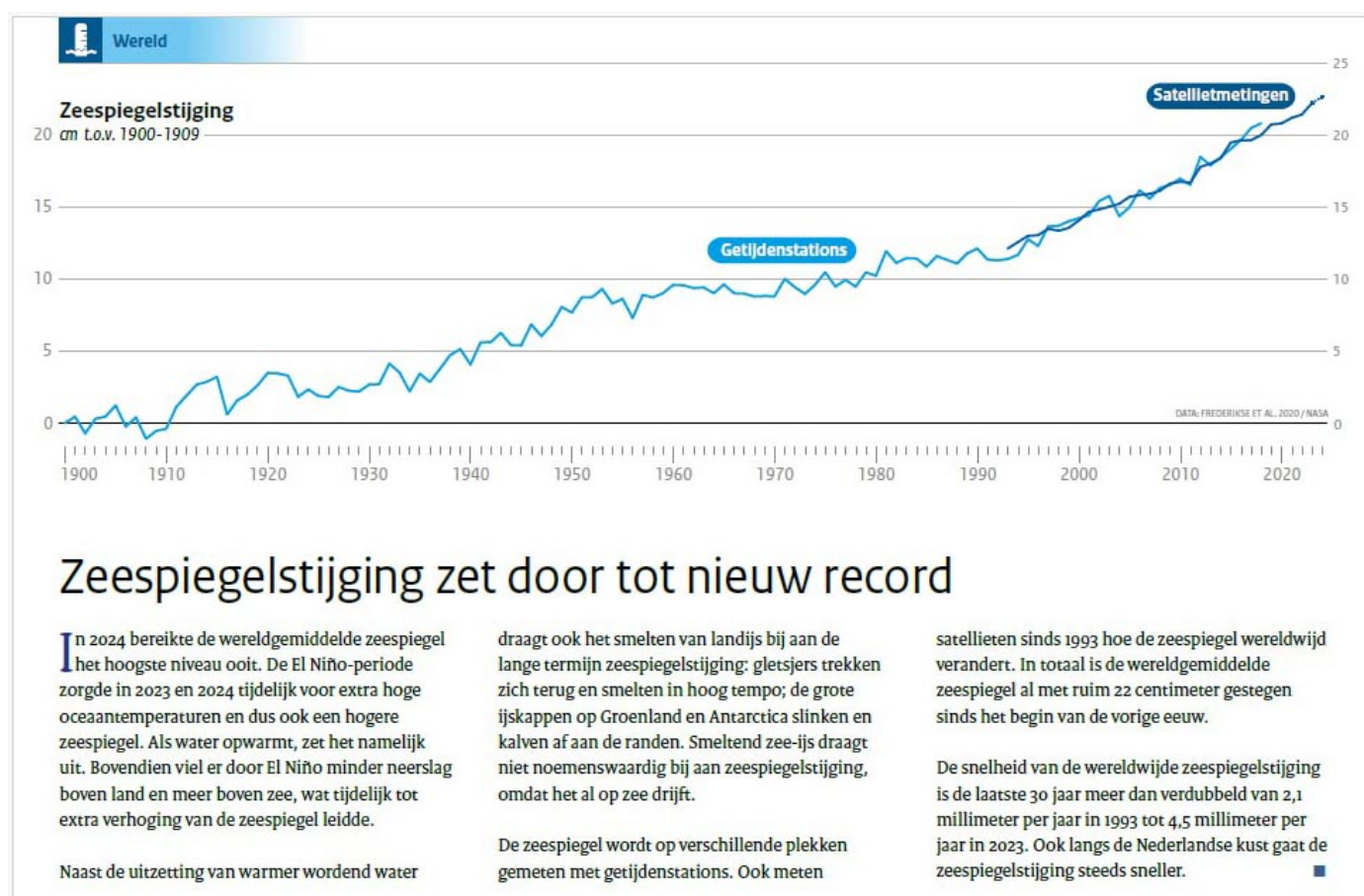


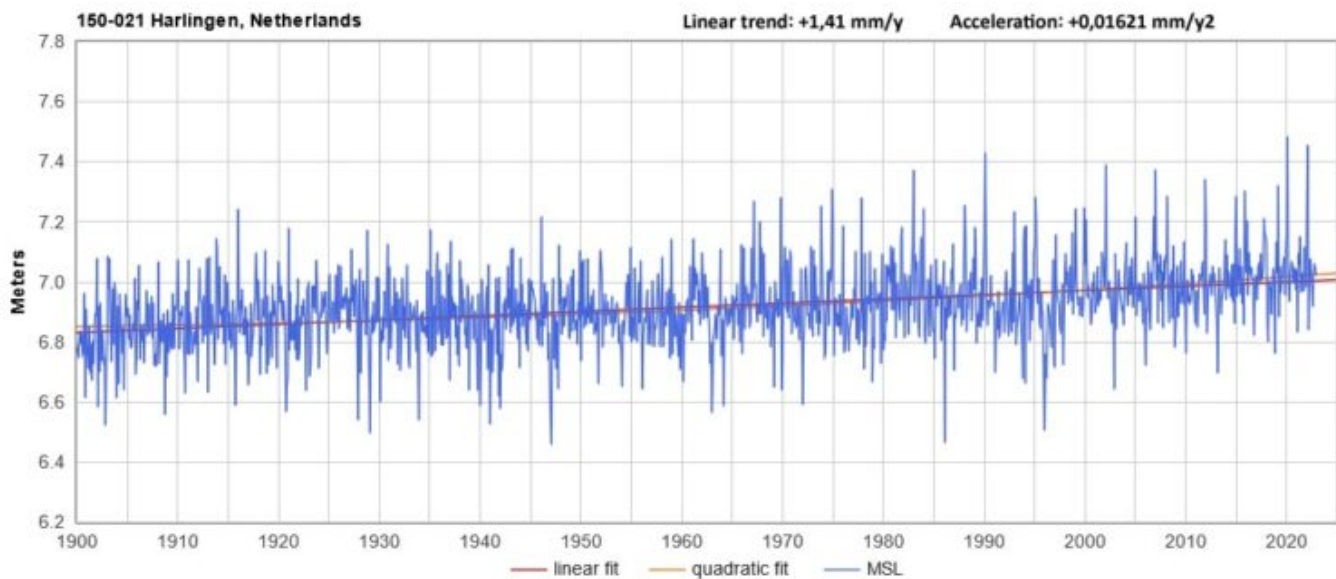
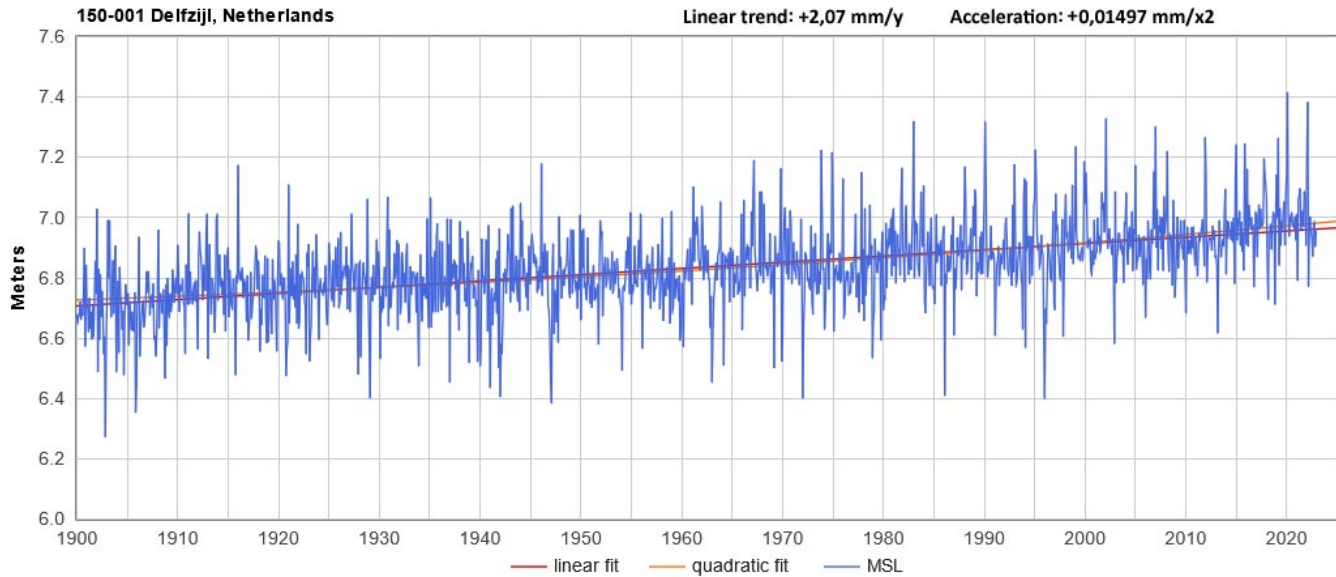
Fig.1 Data: [Frederikse et al 2020/NASA](#)

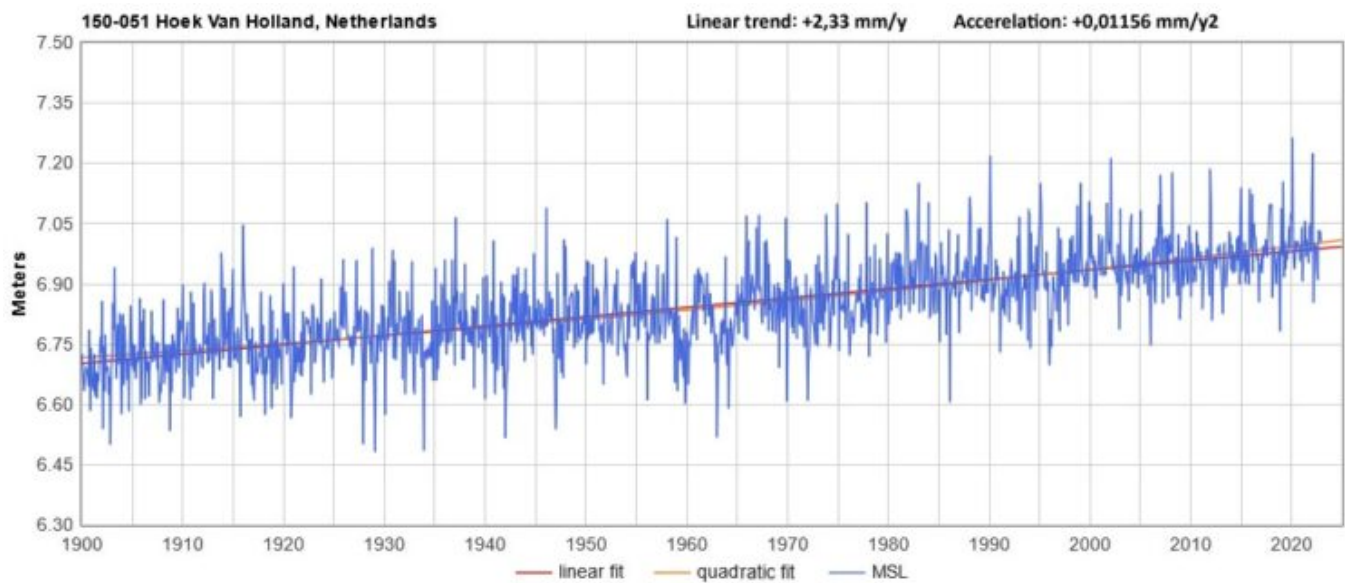
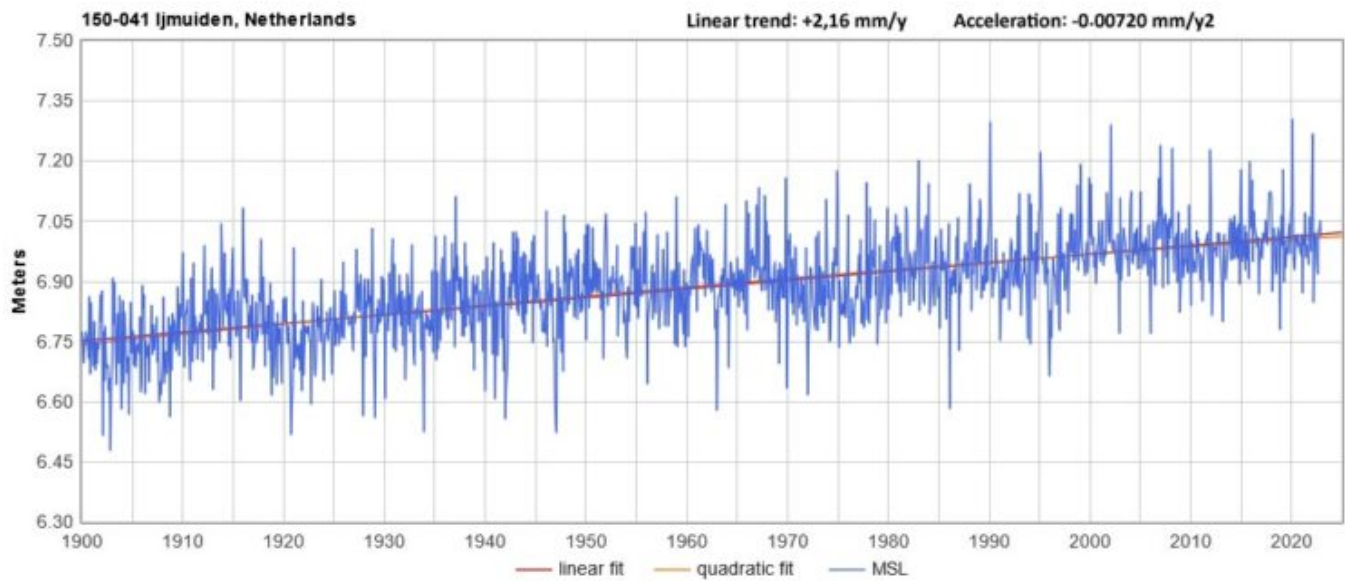
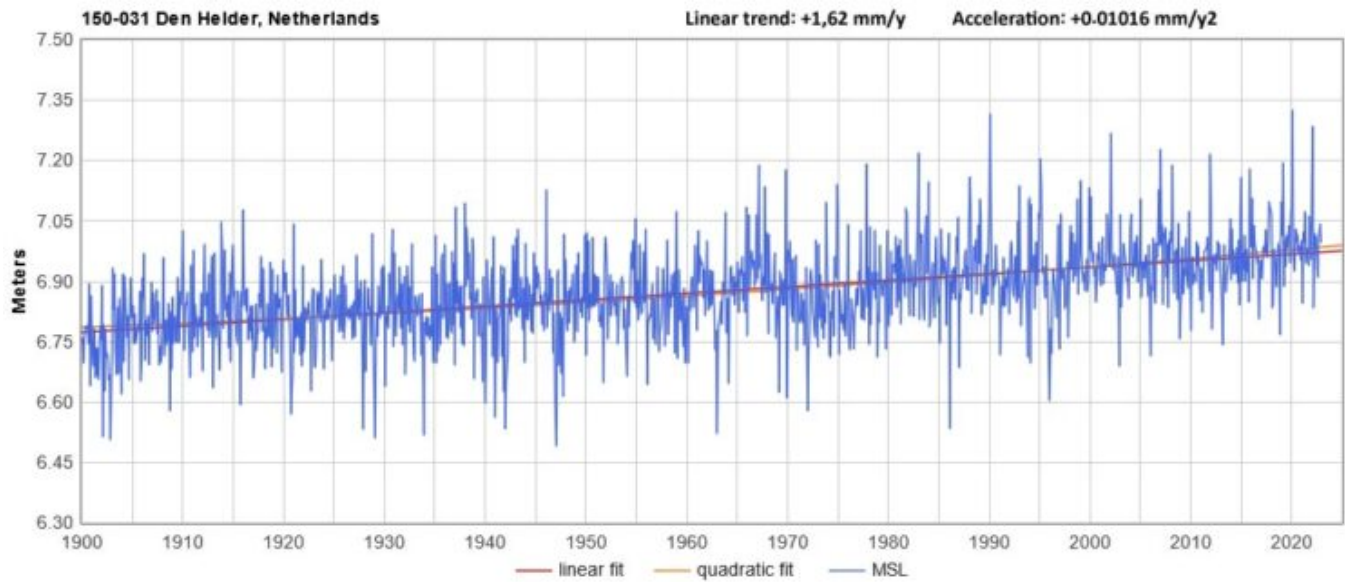
De zeespiegelhoogte wordt (al sinds de 19^e eeuw) gemeten met zogenaamde getijdenstations langs de kusten. Sinds 1993 wordt de zeespiegelhoogte ook gemeten met behulp van satellieten. Tot voor kort was het zo dat de fysieke metingen met getijdenstations niet *matchten* met die van de satellieten. In de satellietdata stijgt de zeespiegel ongeveer 2x zo snel als in de getijdendata. Dat is opvallend. Maar in de KNMI grafiek lijkt die discrepantie tussen getijdendata en satellietdata verdwenen. Dat komt omdat de getijdendata in de grafiek begin jaren '90 een versnelling laten zien.

Het KNMI schrijft: "De snelheid van de wereldwijde zeespiegelstijging is de laatste 30 jaar meer dan verdubbeld van 2,1 millimeter per jaar in 1993 tot 4,5 millimeter per jaar in 2023. Ook langs de Nederlandse kust gaat de zeespiegelstijging steeds

sneller." Een versnelling in de zeespiegelstijging begin jaren '90 moet terug te zien zijn in de meetgegevens van getijdenstations.

Laten we eerst eens kijken naar de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust. Er zijn 6 hoofdstations langs de kust waar Rijkswaterstaat al vanaf medio 19^e eeuw meet. Ik kijk -zoals ook in de KNMI grafiek- naar de meetreeksen van die 6 stations vanaf 1900:





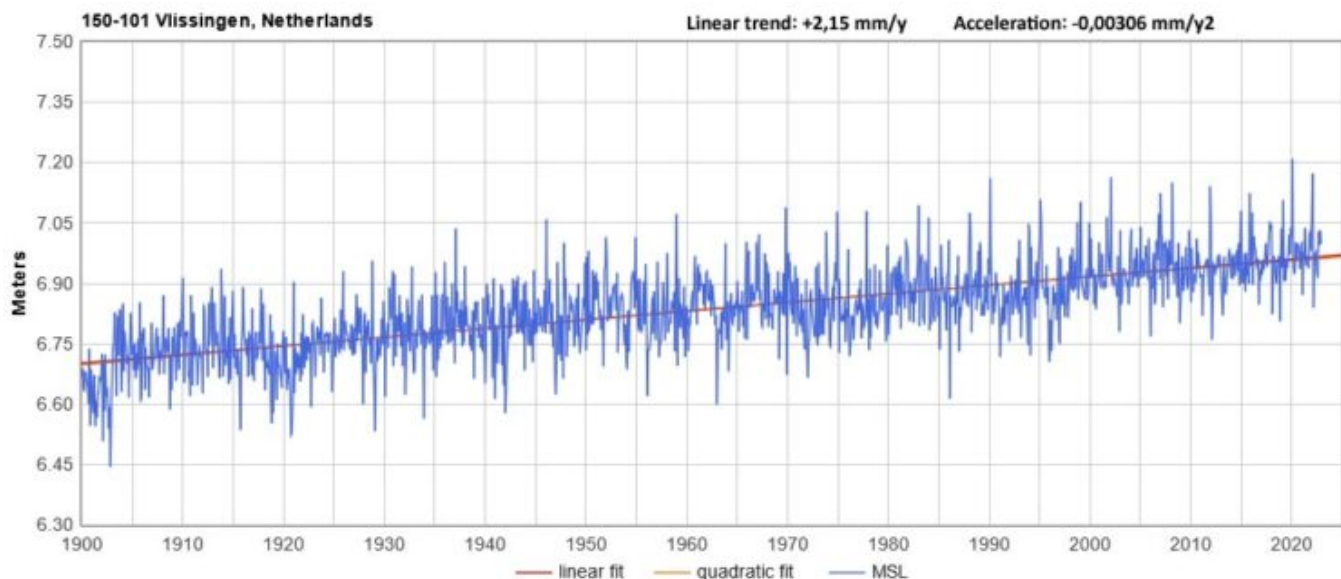


Fig. 2 t/m 7 Bron: sealevel.info data: PSMSL

De data lopen t/m 31 december 2022. Ik kijk of ik een aanwijzing zie voor 'Ook langs de Nederlandse kust gaat de zeespiegelstijging steeds sneller' **maar ik zie die niet**. De springende blauwe lijn volgt de maanddata van de zeespiegelhoogte ter plekke. Bovenin staan de *lineaire trend (stijgsnelheid)* in mm/jaar, met rode lijn in de grafiek weergegeven. De blauwe lijn danst rond de rode lijn maar volgt deze toch goed.

De aangegeven *acceleratie is de versnelling (in mm/jaar²)* van elke grafiek, met oranje lijn weergegeven. De oranje lijn ligt in elk van de grafieken dicht bij de rode lijn, wat betekent dat er van een versnelling in de reeks nauwelijks sprake is. **Van een knik (versnelling) in de grafieken in 1993, zoals te zien is in de KNMI grafiek, is bij geen van de 6 Nederlandse stations sprake.**

In enkele recente rapporten ([Steffelbauer et al 2021](#), [Keizer et al 2023](#)) wordt het ontbreken van een versnelling langs de Nederlandse kust toegeschreven aan een verandering in het windpatroon, waardoor de versnelling 'gemaskeerd' zou worden. [Voortman \(2023\)](#) bestreed dat en wees op fouten die door de onderzoekers zouden zijn gemaakt.

De oorsprong van de getijdengrafiek met de knik rond 1993 (fig.1) is afkomstig van [Frederikse et al](#) in een publicatie uit 2020. Het team maakte een reconstructie van de mondiale zeespiegel vanaf 1900. Dat levert natuurlijk allerlei problemen op. Getijdenmeters meten het *relatieve zeeniveau*, dat is de hoogte van het oceaanooppervlak ten opzichte van een vast punt op het land. Dit betekent dat getijdenmetingsgegevens beïnvloed kunnen worden door lokale verticale landbewegingen (VLM), zoals bodemdaling of stijging als gevolg van geologische processen. Gebieden waar sprake is van bodemdaling (zoals delen van de Golfkust) kunnen daardoor een hogere relatieve zeespiegelstijging laten zien in de getijdenmetingen.

Gebieden waar geologisch recentelijk landijsmassa's zijn verdwenen (Scandinavië, delen van Canada) tonen een langjarige *bodemstijging*, GIA genaamd. Die zorgt er vaak voor dat getijdenreeksen een *negatieve trend* hebben. Ook lokale oceanografische omstandigheden, zoals windpatronen en oceaanstromingen, kunnen ook een verschillend effect hebben op het zeeniveau op verschillende locaties. Frederikse et al hebben dat (proberen te) ondervangen door per station zoveel mogelijk rekening te houden met die storende effecten.



Fig.8 Bron: Frederikse et al 2020

Een ander probleem is de ongelijke *ruimtelijke en temporele (tijd) dekking* van getijdenstations. In Afrika, Zuid-Amerika en Antarctica zijn getijdenstation zeer schaars. Bovendien zijn de getijdenreeksen zeer ongelijk van lengte.

Om dit ruimtelijke en temporele probleem te overwinnen reconstrueren Frederikse et al de zeespiegelveranderingen in elk oceaanbassin aan de hand van de zgn. 'virtuele station-techniek'. Die *virtuele station-techniek* combineert de twee dichtstbijzijnde stations tot een nieuw *virtueel station* halverwege beide stations gelegen. Deze procedure werd herhaald totdat er nog maar één station over is, dat wordt gebruikt als de uiteindelijke schatting van de veranderingen van het zeeniveau over het oceaanbekken.

Of met deze uiterst ingewikkelde techniek nog wat overblijft van wat er ooit gemeten is kan ik niet beoordelen. Maar de auteurs waren tevreden met de resultaten: *"The sum of the contributions to sea-level change from thermal expansion of the ocean, ice-mass loss and changes in terrestrial water storage is consistent with the trends and multidecadal variability in observed sea level on both global and basin scales, which we reconstruct from tide-gauge records."*

En ook: *"The higher rates at the turn of the millennium are in good agreement with independent satellite-altimetry observations."* Die *higher rates* zijn te zien in het laatste deel van de KNMI grafiek. Die versnelling ontbreekt overigens in de grafieken van de Nederlandse getijdenstations, zoals de grafieken 2 t/m 7 laten zien.

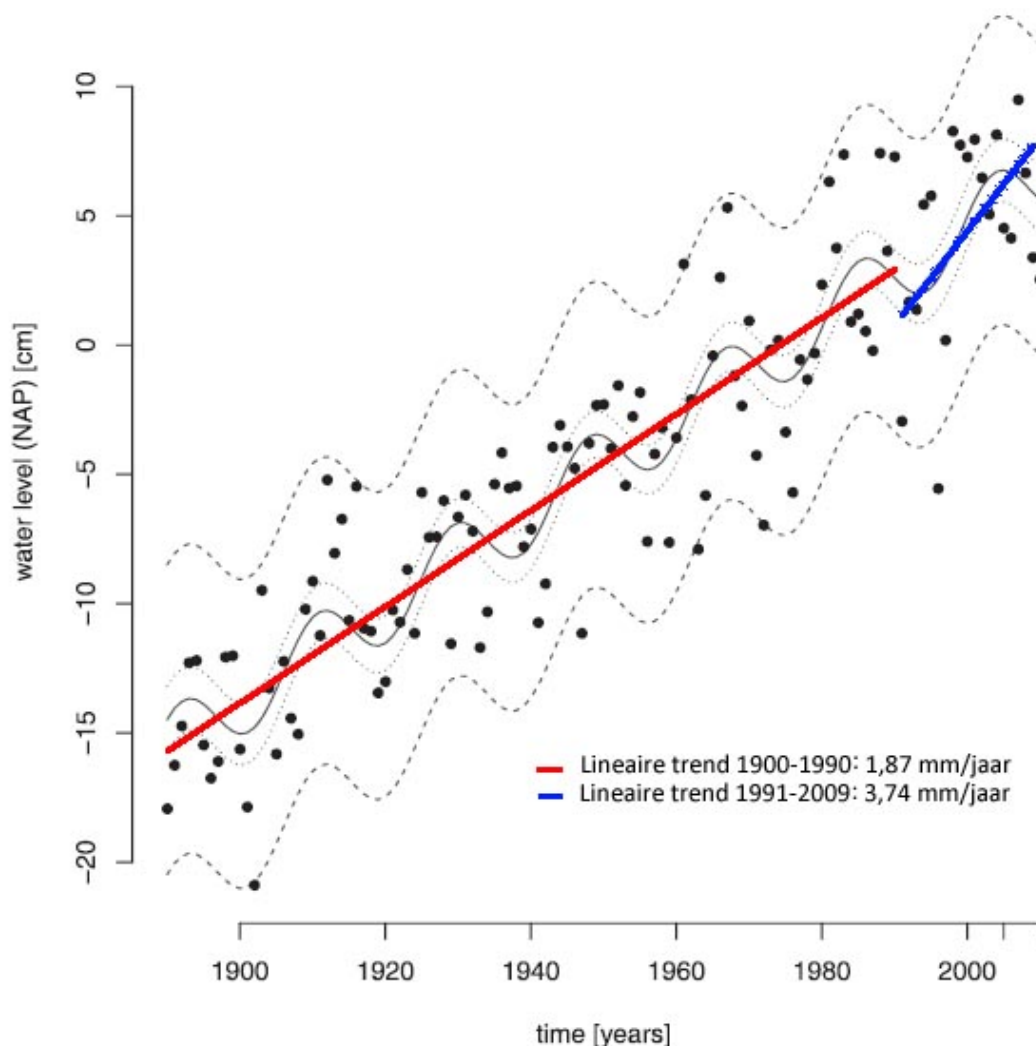


Fig.9 Bron: Baart et al 2012

Bij trend- en acceleratie-onderzoek op basis van getijdendata is het van belang om gebruik te maken van *lange* tijdreeksen. Dat heeft te maken met de aanwezigheid van een langjarige invloed van de maan op het oceaanwater, de *nodale cyclus*. De nodale cyclus is een langjarige cyclus (18,61 jaar) onder invloed van de maan die de hoogte van de zeespiegel beïnvloedt. Die invloed op de jaarlijkse gemiddelde zeespiegel kan wel 1 a 2 cm bedragen. Dat lijkt niet veel, maar bedenk dat de jaarlijkse zeespiegelstijgingen in mm worden uitgedrukt.

Baart et al (2012) lieten in hun onderzoek naar de invloed van die zogenaamde *nodale cyclus* aan de Nederlandse kust zien dat de begin- en eindpunt van een reeks vanwege die nodale cyclus van groot belang kan zijn voor de grootte van de trend. Die nodale cyclus is in figuur 9 ingetekend als een dunne *zwarte sinus* die zich in het midden van de puntenwolk beweegt. Elk puntje in de grafiek is de gemiddelde zeespiegelhoogte per jaar van het ensemble van de 6 Nederlandse getijdenstations.

In rood is de lineaire trendlijn getekend van de periode 1900-1990, in blauw van het laatste stuk van de puntenwolk van 1991 t/m 2009. Ik heb in de figuur de trend van beide lijnen aangegeven: van 1900-1990 1,87 mm/jaar, van 1991 t/m 2009 3,74 mm/jaar. Die twee maal zo hoge trend in het laatste stuk van de grafiek is het gevolg van het feit dat die periode begint in een *dal van de nodale cyclus en eindigt op een top ervan*. Als de tijdreeks niet tenminste 3x langer is dan 18,61 jaren ontstaan fouten. Houston et al (2011) adviseren daarom een minimum tijdreekslengte van 60 jaren.

Bij de reconstructie van de globale zeespiegelhoogte zeggen Frederikse et al rekening te hebben gehouden met de invloed van de nodale cyclus: *"From each sea-level record, we remove the self-consistent equilibrium nodal cycle"*. Dat is een theoretische berekening van de 18,6 jarige cyclus. Of dat op juiste wijze is gedaan kan ik hier niet beoordelen. Wat ik wel kan is bekijken of de gebruikte getijdereeksen voldoende lengte hebben.

In een [supplement](#) van de publicatie vond ik de data van 472 gebruikte getijdereeksen van PSMSL. Er is een link : *'region_info.xlsx* List of all tide-gauge stations and VLM estimates used for each region'. Dat brengt me bij een file met 472 PSMSL getijdereeksen, verdeeld over de 6 gebruikte oceaانبekken.

Ocean basins	Total stations	Years <60
Subpolar North Atlantic	207	98
Indian Ocean - Sout Pacific	94	75
Subtropical North Atlantic	41	25
East Pacific	67	46
South Atlantic	13	8
Northwest Pacific	50	34
Arctic Ocean	-	-
Totaal	472	286

Fig.10 Data: Frederikse et al (2020)

De kolom "Years < 60" betreft het de lengte van de tijdreeks van beginjaar t/m eindjaar in de betreffende bijlage.

Ruim 60% van de gebruikte tijdreeksen voldoet niet aan de minimum voorwaarde van 60 jaren. Bovendien ontbreekt de Arctische Oceaan, die een oppervlakte heeft van 14 miljoen km².

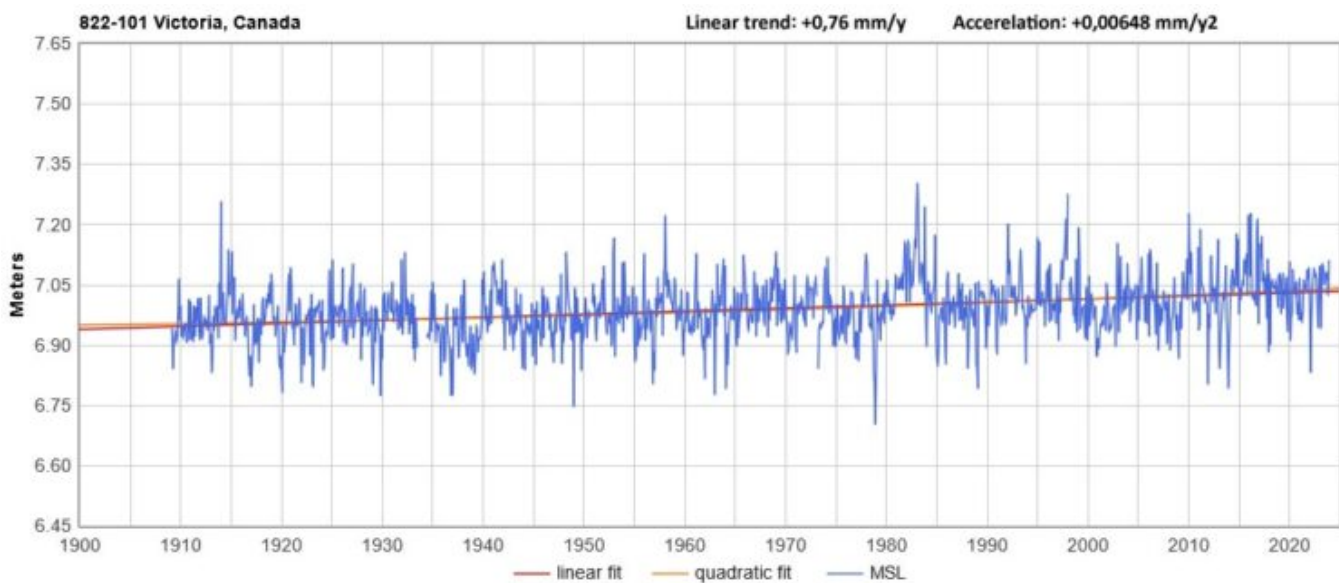
Hierboven schreef ik over een tweetal publicaties die het ontbreken van een versnelling langs de Nederlandse kust toeschrijven aan een verandering in het windpatroon, waardoor de versnelling van begin jaren '90 'gemaskeerd' zou worden. Als dat correct is betekent dat dat die 'versnelling' in de mondiale zeespiegelstijging (figuur 1) wel terug te vinden is in (veel) andere getijdenreeksen.

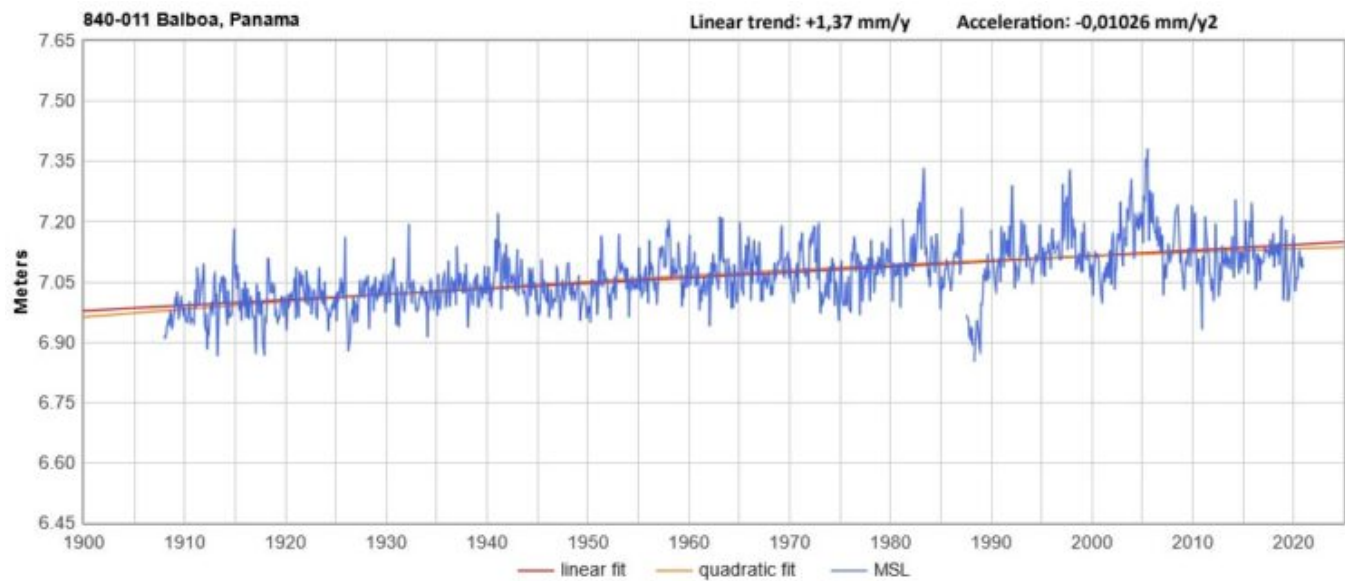
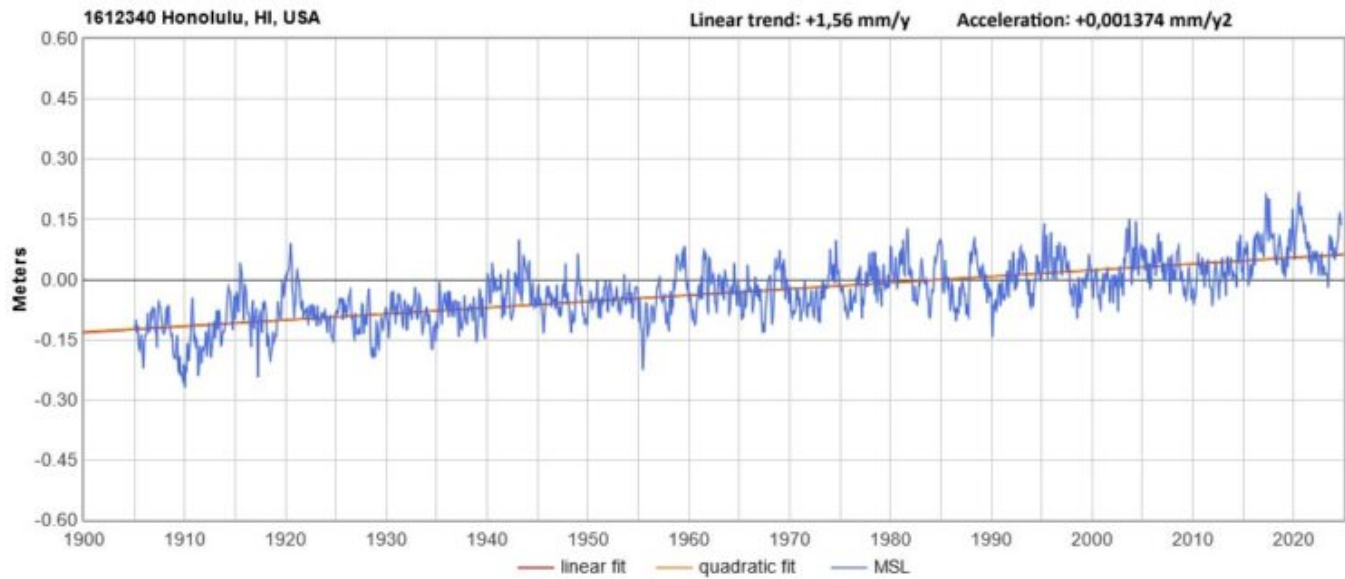
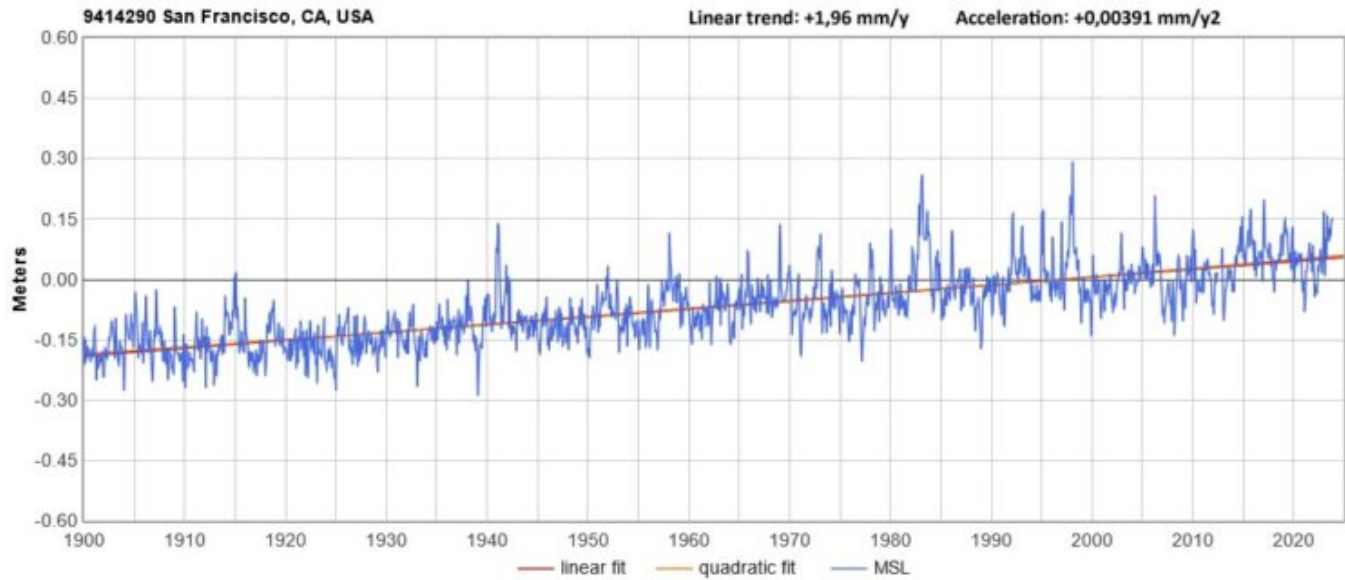
Toevallig volg ik al een aantal jaren een aantal getijdenstations verspreid over de wereld. Die 9 *getijdenstations geselecteerd* op basis van 4 criteria: langlopende meetreeksen (minimaal 100 jaar), hoge compleetheid van data, goede ruimtelijke spreiding en een geringe verticale bodembeweging. Deze lijst betreft de stations Den Helder, San Francisco (USA), Victoria (Can), The Battery (USA), Honolulu (USA), Balboa (Pan), Fremantle (Aus), North Shields (UK), en Sydney (Aus).

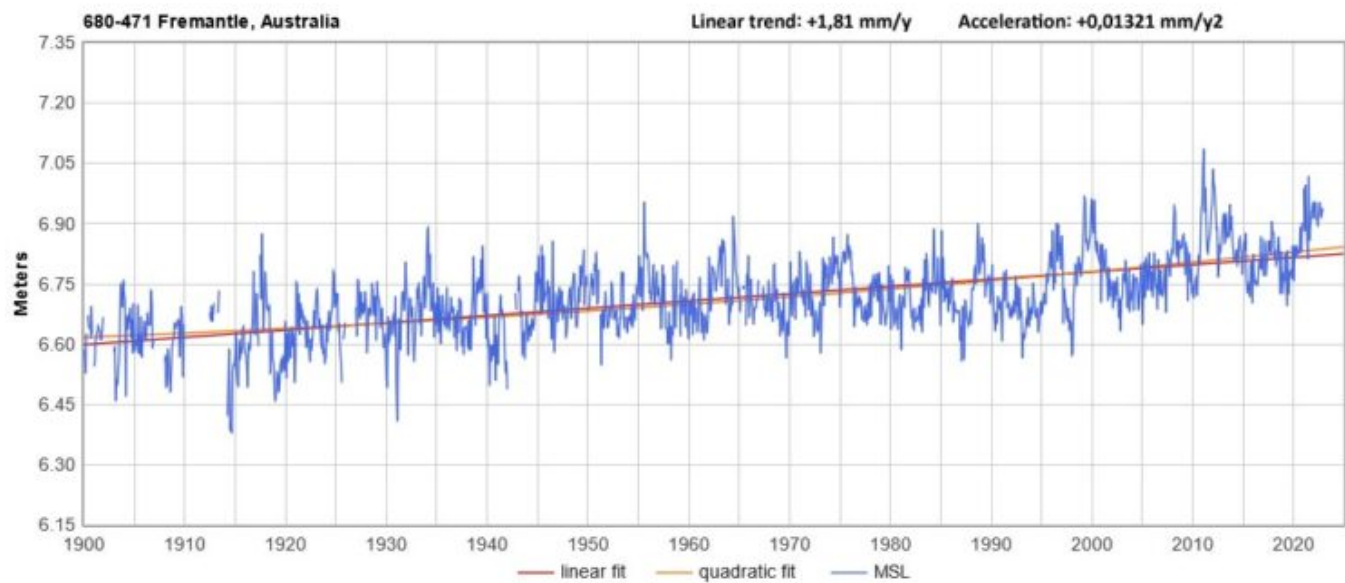
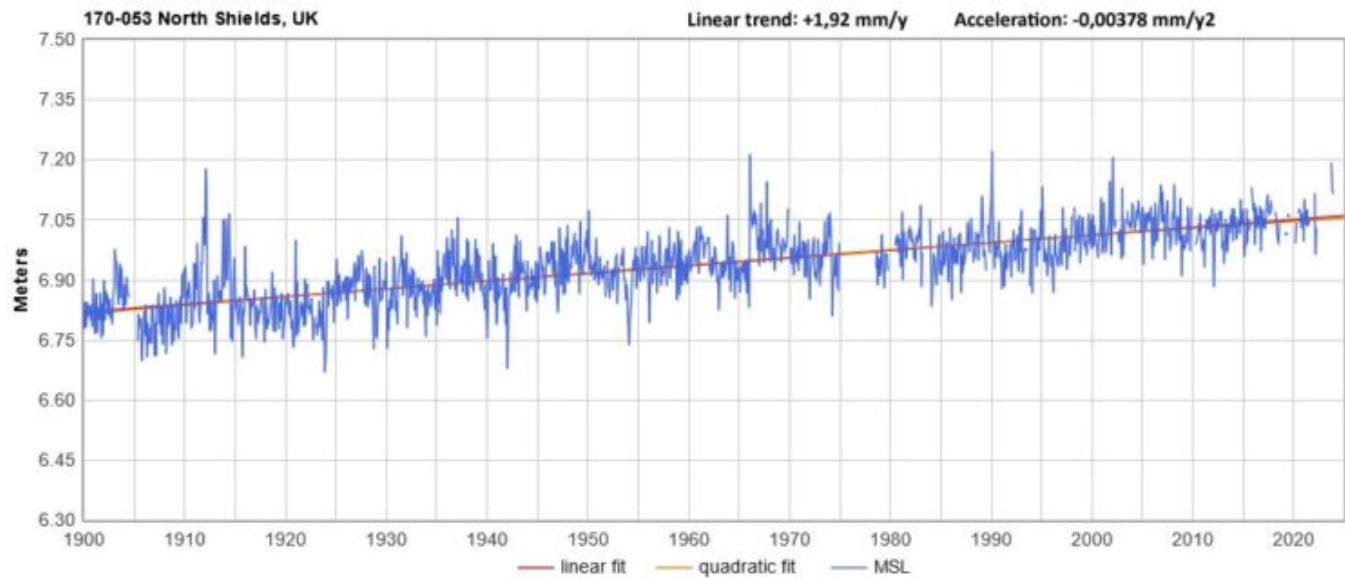
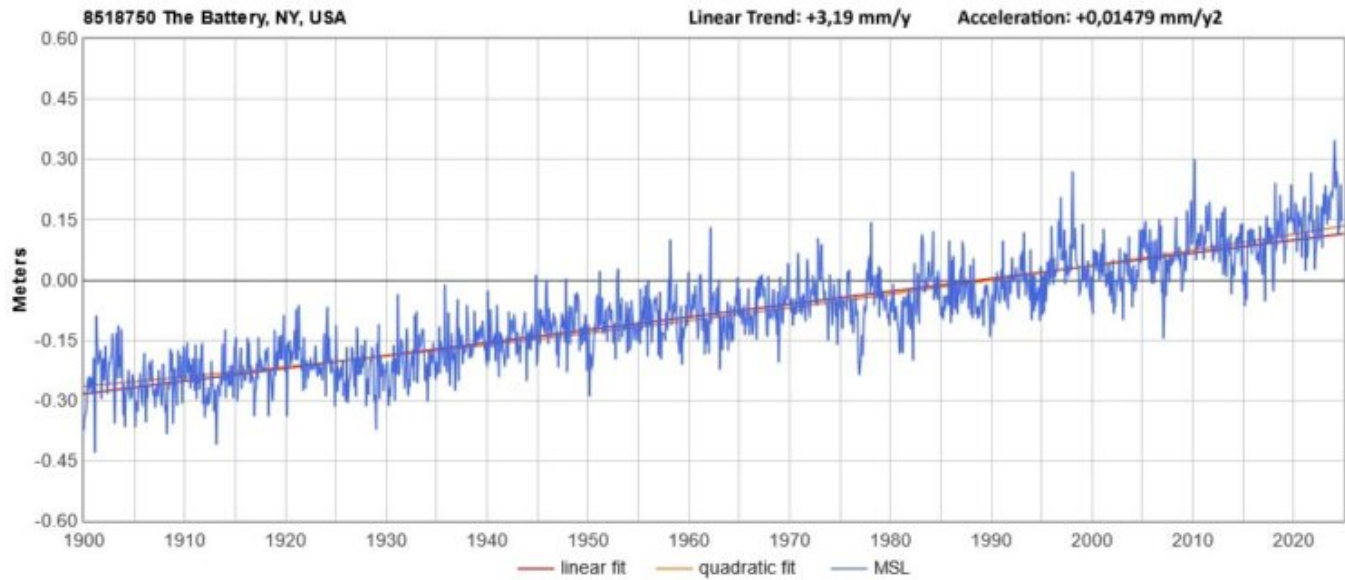


Fig.11

Omdat Den Helder hierboven al aan bod kwam zijn op figuur 11 de overige 8 stations weergegeven. Het levert een verre van ruimtelijke dekking op, maar het is niet anders. Hier de bijbehorende getijdengrafieken vanaf 1900:







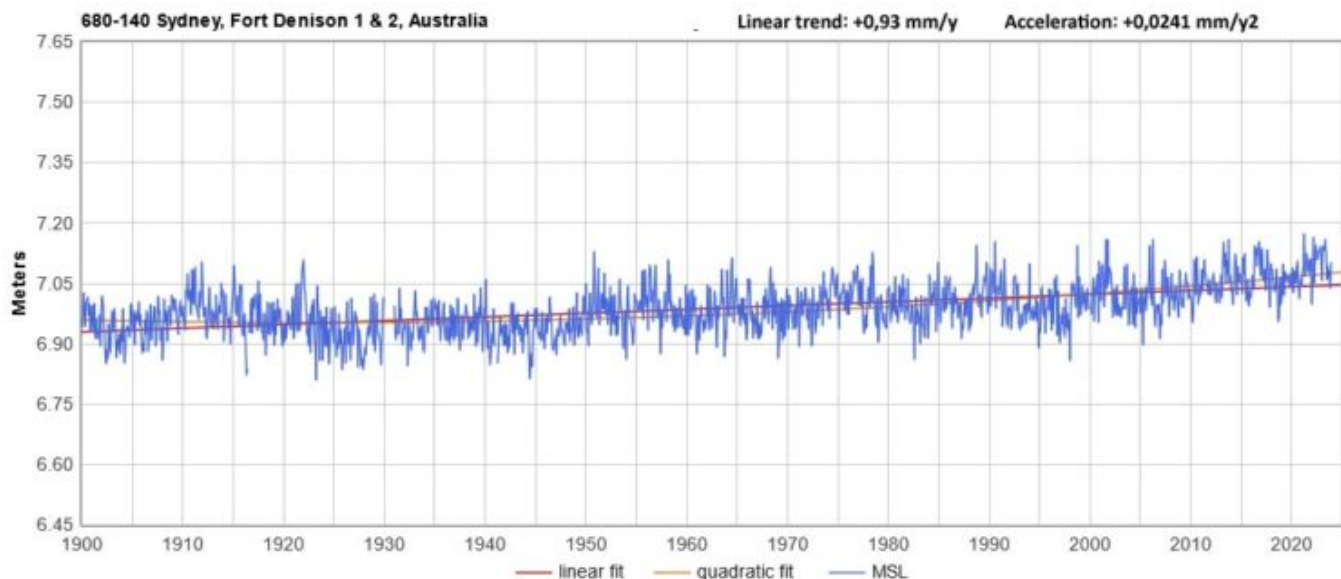


Fig.12 t/m 19 Bron: sealevel.info Data: PSMSL

De acht grafieken tonen geen van alle een versnelling rond 1990, de acceleratiecijfers zijn verwaarloosbaar.

Wel is te zien dat de trends onderling verschillen. Dat heeft vooral te maken met bewegingen van de aardkorst ter plekke. Zelfs in tektonisch inactieve gebieden is er sprake van enige verticale bodembeweging. Het wordt tijd om alle langjarige (> 60 jaren) getijdenreeksen die tot (bijna) heden doorlopen en tamelijk compleet zijn te onderzoeken op hun versnelling. Dan ben je af van een hoop storende omgevingsinvloeden.

Tot slot het korte satellietgrafiekje in figuur 1, daar is ook wel het een en ander over te zeggen. Dat heb ik in 2021 al eens gedaan, zie [hier](#).

Conclusies:

Het KNMI gebruikte voor de grafiek van figuur 1 behalve satellietdata ook de cijfers van Frederikse et al (2020). De gebruikte methodiek van Frederikse is lastig te volgen, veel data verkregen door observaties worden op complexe wijze 'bewerkt'. Bij de kwaliteit van wat je dan overhoudt aan bewerkte data zet ik mijn vraagtekens.

Van de gebruikte tijdreeksen van 472 getijdenstations is meer dan 60% korter dan 60 jaren. Bijna 19% was zelfs korter dan 30 jaren. Bovendien ontbreken data van de Arctische Oceaan (Noordelijke IJszee). Voldoende redenen voor mij om de KNMI grafiek over de zeespiegelstijging met argwaan te bekijken.

Dit bericht werd geplaatst in Geen categorie op 5 februari 2025

[<https://klimaatgek.nl/wordpress/2025/02/05/zeespiegel-volgens-het-knmi/>] .

De klimaat-illusie

Recent was er weer breeduit aandacht in de media voor het zoveelste “scholierenprotest tegen het klimaat”. Bij mij roept dat altijd vragen op als: “weten die jongelui waar ze precies tegen protesteren, en wie organiseert zo iets?” Laten we het er maar op houden dat de jeugd zich zorgen maakt over hun toekomst. Dat begrijpen we namelijk allemaal; ook wij deden dat in onze jeugd.

Het mediageweld waar zij mee te maken hebben, is alleen nu een orde groter dan in onze tijd. Door een continue stroom van eenzijdige berichtgeving, wordt hen (en ons) voortdurend een klimaatcrisis aangepraat. De al jaren klinkende boodschap is duidelijk: “*als mensheid staan we aan de rand van de afgrond*”. Onder dat mom wordt inmiddels de grootste onzin verspreid. Maar zolang die maar laat zien hoe catastrofaal de klimaatverandering wel niet is, wordt dat soort “nieuws” ongefilterd en ongecheckt door de *mainstream* media klakkeloos, als echoputten doorgegeven.

Voor jongeren is CO₂ inmiddels het ergste gifgas op Aarde dat ze kennen. Een graadje warmer, waarvoor ze wel naar Spanje op vakantie gaan, is kennelijk dodelijker voor de mensheid dan welk virus of oorlog ook. En als men niet snel het gebruik van alle fossiele brandstoffen verbiedt, is er rond 2100 geen menselijk leven meer op Aarde mogelijk. Als je dat allemaal dagelijks te pas en te onpas, jaar in jaar uit te horen krijgt als je opgroeit, weet je niet beter. Zo werkt “*brainwashing*” nu eenmaal, zoals religies en andere ideologische stromingen al sinds mensenheugenis weten, en ook praktiseren.

Maar kennelijk werkt dat net zo bij journalisten. Het lijkt wel of niemand bij die, zichzelf zo “kritisch en objectief” noemende traditionele media, zich bij dat soort klimaat alarmistische berichten nog afvraagt wat er zoal van waar is. Dat is ook moeilijk als je niet weet hoe ons klimaat ongeveer werkt. Al met al een levensgevaarlijk mix van weinig kennis en veel emotie. Ook bij onze beleidsmakers, die onder druk van “*de publieke opinie*” dat ze nu toch echt actie moeten nemen, als “kippen zonder kop” maatregelen voorstellen die vaak gebaseerd zijn op onwetendheid en het drijfzand van illusies.

Niet lang nadat ik als jong fysicus in 1968 was afgestudeerd kwam het rapport “*De grenzen aan de Groei*” van de Club van Rome uit [1]. Daar werd je, als iemand met alle toekomst nog voor zich, echt niet vrolijk van. Je vroeg je af, net als de jeugd nu, waarom er niemand actie nam om de daarin voorspelde rampscenarië’s zo snel mogelijk af te wenden. Ook toen hadden we kennelijk nog maar weinig tijd om de Aarde te redden. Gelukkig kreeg dat rapport van de Club van Rome in die tijd maar relatief weinig publicitaire aandacht, want anders was ons ook toen al zo iets als een mondiale “afvalcrisis” aangepraat.

Het waren overigens fascinerende modelberekeningen. De eerste in hun soort, met een mondiale aanpak. Ze voorspelden dat we qua grondstoffenverbruik aan de grenzen van onze groei waren gekomen. Zonder aanpassingen zouden we ook nog bijna letterlijk omkomen in ons eigen afval. Het gaf ons een idee waar de Aarde, en dus ons leven heen zou gaan als we onze maatschappij en bijbehorende levensstijl, niet drastisch zouden veranderen. In die zin, niet veel anders dan de basis van de hedendaagse “klimaatcrisis”.

Dergelijke toekomstbeelden waren toen, en zijn ook nu bij het klimaat, niet meer dan de uitkomst van modelberekeningen op basis van een aantal aannames. De gemiddelde leek denkt al gauw dat die een goed-bekende, “wetenschappelijke” basis hebben en niet zijn ingegeven door een bepaald wereldbeeld van degene die het model bouwde. Dat laatste is echter meestal wel het geval, en maakt dit soort modellen altijd gevoelig voor een “gewenst” resultaat. Dat hoeft niet eens de

(politiek bepaalde) intentie van de modelleur te zijn; het sluipt er vanzelf in. Door o.a. de, *per definitie* subjectieve beoordeling van de modelleur over wat wel, en niet wordt meegenomen in de diverse parameters en afhankelijkheden binnen het model. Bovendien, wat je niet weet, kun je ook niet in je model stoppen. En we weten helaas lang niet alles van ons klimaat en wat het zoal drijft.

Voor het rapport van de Club van Rome was die basis met name de voorspelde groei van de wereldpopulatie. Een planeet als de Aarde, die dankzij een ontzettend verbeterde gezondheidszorg, een bevolking moest accommoderen die rond het jaar 2000 een factor 5 (!) groter zou zijn dan in 1900. Dan krijg je ongetwijfeld te maken met problemen qua grondstoffen, voedselproductie of huisvesting, maar ook qua afval en wat je verder nog kunt bedenken. Daarover nadenken was toen echt wel urgent. Modellen maken dan zowel problemen, als mogelijke oplossingen, beter inzichtelijk. Maar daarbij moet je wel altijd blijven beseffen dat modellen niet “de werkelijkheid” zijn.

Het is gelukkig allemaal niet uitgekomen, niet zozeer omdat de problemen die men modelleerde niet bestonden, maar omdat de wereld toch wat anders reageerde dan gedacht. Bovendien, in de loop der tijden zijn er ook oplossingen gekomen om een aantal daarin terecht gesignaleerde misstanden, stap voor stap aan te pakken. Lang niet alles is opgelost, zo verzieken we bv. als mensheid de Aarde nog altijd met veel te veel zwervplastic en ander onnodig afval door verkwisting van grondstoffen in onze “wegwerpmaatschappij”. Maar oplossingen voor het merendeel van de problemen zijn er wel. Vaak ontbreekt de politieke wil of een effectief georganiseerde aanpak. Grootste obstakel: die bijna 8 miljard mensen van nu moeten allemaal wel de discipline opbrengen zich ook navenant te gedragen. Naleving is veelal de “Achilleshiel” van iedere maatregel, zeker mondiaal gezien.

Het rapport staat nog altijd prominent in mijn boekenkast en is helemaal “stukgelezen”. Er staat ook al wel iets zinnigs over mogelijke klimaatverandering in. Ik citeer nog altijd graag de tekst over het mogelijke effect van de toename van de CO₂ in de atmosfeer (toen nog hoofdzakelijk gezien als vervuiling) op het klimaat en de aangegeven, “simpele” oplossing [1, pag.75]:

...“Indien in de energiebehoeften van de mens in de toekomst wordt voorzien door kernenergie in plaats van fossiele brandstoffen, zal de toename van atmosferisch CO₂ tenslotte tot stilstand komen, naar te hopen valt voordat [het] enig aantoonbaar ecologisch of klimatologisch gevolg heeft gehad.”.

Hadden de politici van toen het rapport maar beter gelezen en/of geluisterd. Dan hadden we inmiddels heel wat minder zorgen over onze energievoorziening. Maar let wel, toen had ons klimaat een heel ander probleem: we hadden geen opwarming maar zaten midden in een wereldwijde afkoeling [2]. Klimaatwetenschappers voorspelden ons toen zelfs een aanstaande (kleine) ijstijd. En dat is nog maar 50 jaar geleden! Zo grillig kan ons Aards klimaat zijn, en zo slecht ons geheugen.

Zeker, het wordt de laatste tijd echt wel warmer. De gemiddelde temperatuur op Aarde neemt volgens onze beste temperatuurreksen die we sinds 1979 hebben middels goed gekalibreerde, wereld-dekkende satellietmetingen met 0,13 °C/decennium toe [3]. Data van voor 1979 zijn naarmate ze langer geleden zijn, voor het mondiale gemiddelde steeds onbetrouwbaarder. Voor de Tweede Wereldoorlog hebben we alleen maar redelijke dekking over de V.S. en West-Europa. De langere datareksen sinds 1850 die nu als “mondiaal” worden gebruikt, zijn in feite “berekend” op basis van die beperkte gegevens plus klimaatmodellen waarmee de vele witte plekken qua temperatuur op Aarde kunstmatig worden ingevuld [4]. We weten echt niet erg nauwkeurig wat de gemiddelde mondiale temperatuur in 1900 was; wel die van een weerstation in- of nabij Londen.

Verder worden er ook nog regelmatig, ooit gemeten temperaturen “aangepast”, om misschien wel valide redenen als bv. een verandering van instrumentarium of het verplaatsen van de meetlocatie. Dat heet “homogeniseren”, maar het is aan de publiekelijk toegankelijke meetreeks vaak niet meer te zien wat de oorspronkelijke data waren, en wat er daarna mee gebeurd is. Zelfs ons KNMI maakt zich schuldig aan dat soort twijfelachtige praktijken: zo verdwenen uit de officiële temperatuurreksen uit De Bilt, een paar jaar geleden, ineens een aantal vooroorlogse hittegolven waardoor de schijnbare opwarming in Nederland behoorlijk toenam [5]. Dat zie je wereldwijd overal gebeuren. Kunstgrepen om de opwarming erger te maken dan die waarschijnlijk is, moeten we sowieso niet willen en daarom, gewoon vergeten. De opwarming sinds 1979 is voldoende bewijs dat het warmer wordt.

Die 0,13 °C/decennium komt dus neer op zo’n 0,5 °C sinds 1979 en dat was, zoals boven beschreven net het eind van het *global cooling* alarm uit de 70-er jaren van de vorige eeuw. Dus laten we ophouden met steeds naar het pre-industriële tijdperk te verwijzen en te roepen dat sindsdien de Aarde al meer dan 1 °C is opgewarmd. En ook, om dan vervolgens te stellen dat die, door de politiek bedachte, magische grens van 1,5 °C opwarming ons al bijna op een onomkeerbaar punt van rampspoed heeft gebracht. Het is allemaal niet alleen gebaseerd op onbetrouwbare gegevens, maar geeft ook een totaal verwrongen beeld. In 1975 werd de opwarming van onze planeet nog niet als een probleem gezien. Sterker nog, men vreesde afkoeling. Wij, maar ook de klimatologen van toen vonden dat “normaal”, net als de Club van Rome het behandelde. De vraag die dan rest: “*is dat probleem er nu wel, en zo ja, hoe ernstig is dat probleem eigenlijk?*” En als we dat beantwoord hebben komt pas de vraag “*moeten we, en kunnen we er wat aan- of tegen doen?*”

Maar dat debat heeft nooit plaatsgevonden. Sinds de 90-er jaren [6], maar voor het grote publiek pas sinds ongeveer 2005 toen Al Gore op het toneel verscheen met zijn film “*An Inconvenient Truth*” [7], is de boodschap altijd geweest: “we staan aan de rand van de afgrond en de fossiele brandstoffen zijn de oorzaak”. Iedereen die daar sindsdien nog kritische vragen bij stelde, werd categorisch *geframed* als “klimaatontkenner”, om vervolgens op de virtuele brandstapel van de (sociale) media, publiekelijk als ketter voor eeuwig te worden “afgebrand”. Niemand met enige reputatie die een dergelijke discussie nog aandurft. Zoals Al Gore het toen al verwoordde: “*the science is settled*” ofwel, “discussie gesloten”.

Met mijn “Club van Rome achtergrond”, dacht ik er rond die tijd net zo over. Totdat ik na mijn pensioen de tijd kreeg om er eens echt “in te duiken”. En dan ontdek je al snel, dat dit hele idee van een “klimaatcrisis” voornamelijk gebaseerd is, op wat de Engelsen noemen “*circumstantial evidence*”. Het klimaat kun je niet, ook niet gedeeltelijk, in een laboratorium simuleren, laat staan dat je er in de natuur mee kunt experimenteren. Onze “kunde” van dit uiterst complexe fenomeen “klimaat”, is dus louter gebaseerd op observaties en de (huidige) interpretaties daarvan. Misschien allemaal best plausibel, maar wel op basis van onze, nog altijd beperkte kennis van het klimaat. Maar ook op basis van niet-bewezen aannames en een veel te korte periode van betrouwbare observaties. Dat alles wordt dan vervolgens via “op wetenschap gebaseerde” modelberekeningen omgezet in trendanalyses met voorspellingen over de mondiale temperaturen tot zelfs in het jaar 2100 toe. De uitkomsten van die berekeningen zijn door bijna niemand meer te verifiëren. Gelukkig zijn er nog wel wat geïnteresseerde outsiders, meestal gepensioneerde wetenschappers die voor hun dagelijks brood niet meer afhankelijk zijn van het vergaren van onderzoeksgelden, die weten dat de klimaatwetenschap verre van “*settled*” is. En dat die, wetenschappelijk gezien, echt ingenieuze klimaatmodellen meestal niet eens in staat zijn om het, qua mondiale metingen goed bekende

klimaat van de afgelopen vier decennia, met voldoende nauwkeurigheid te reproduceren. Toch wordt door het IPCC [8], het *Intergovernmental Panel on Climate Change* van de Verenigde Naties, een van de aanjagers van deze klimaathysterie, net gedaan of het gedrag van ons Aards klimaatsysteem volledig bekend is. Ze baseren hun *Anthropogenic Global Warming* (AGW)-hypothese (de wereldwijde opwarming a.g.v. broeikasgassen als CO₂ die door de mens in de atmosfeer worden gebracht), daarbij naar eigen zeggen op “de wetenschap”. Die wetenschap speelt zeker een rol, maar hun rapporten waar iedereen zich qua feiten en conclusies vervolgens op baseert, geven inmiddels nauwelijks of geen ruimte meer aan alternatieve verklaringen voor de opwarming. En die zijn er legio, en ook gebaseerd op adequaat wetenschappelijk onderzoek. In combinatie met het statement “*the science is settled*”, wordt zo door het IPCC de AGW-hypothese als enige “waarheid” gepropageerd. Met in het verlengde daarvan ook de enig mogelijke oplossing: “*stoppen met het gebruik van fossiele brandstoffen*”. Let wel, AGW op basis van CO₂, lijkt fysisch gezien best plausibel als (mede) oorzaak van mondiale opwarming, maar het is en blijft, niet meer dan een onbewezen hypothese. Hard fysisch bewijs is er nooit voor geleverd, wat het IPCC ook beweert !

De Club van Rome wilde niet verder vooruitkijken dan 30 jaar, en zelfs die voorspellingen zijn al niet bij benadering uitgekomen. Het IPCC en de ondersteunende klimaatmodellen pretenderen ongetuigd 100 jaar vooruit te kunnen ‘voorspellen’. Dat terwijl het klimaatsysteem heel wat complexer is dan het voorspellen van het grondstoffenverbruik en de gerelateerde afvalberg die dat tot gevolg heeft, bij een redelijk voorspelbare groei van de wereldbevolking. Klimaatmodellen doen daarbij bovendien uitspraken op basis van een aantal aannames die wetenschappelijk simpelweg niet bewezen, gebrekkig onderbouwd of soms, zelfs pertinent fout zijn.

De belangrijkste, duidelijk foutieve, maar ook misleidende aanname is dat de laatste eeuwen het klimaat in principe constant zou zijn geweest als wij de atmosfeer, door het verbranden van kolen, olie en gas, niet vol met CO₂ hadden gepompt. Kortom de natuurlijke variaties van het klimaat zijn volgens het IPCC verwaarloosbaar, en alleen broeikasgassen als kooldioxide (CO₂) en methaan (CH₄) bepalen de veranderingen in ons klimaat. Een merkwaardige aanname tegen de achtergrond van alleen al de recente historie, waarin we in de laatste 1000 jaar zowel een hele warme periode, als een hele koude periode hebben gekend [9]. De uitstoot van CO₂ of CH₄ had daar, met een aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid, geen enkele invloed op. Ik noemde al de “*global cooling*” rond de 50- tot midden 70-er jaren van de vorige eeuw. Ik heb nog een CIA-rapport uit die tijd dat de geopolitieke consequenties van die afkoeling in kaart bracht. M.n. het gegeven dat door een halve graad afkoeling de oogsten in de Sovjet-Unie vaker zouden mislukken en de USSR waarschijnlijk gedwongen zou worden tot machtsuitbreiding naar het warmere zuiden [10].

De temperatuurveranderingen waren toen nog niet al te groot, maar we kennen veel prominentere voorbeelden van de natuurlijke klimaatveranderingen in onze recente geschiedenis. De “Middeleeuwse Warme Periode” (MWP) [9], de tijd dat de steden in Europa opkwamen en de Vikingen Groenland bevolkten, had temperaturen die volgens bijna alle studies soortgelijk of zelfs hoger waren dan we nu meten. Net zoals in de “Romeinse Warme Periode” (RWP) weer zo’n 1000 jaar daarvoor. Het plaatje in mijn middelbare-school geschiedenisboek van Hannibal die met zijn olifanten in een sneeuwstorm de ijzige- en besneeuwde Alpenpassen overtrok, is vast later bedacht. Alpengletsjers waren er toen, net als aan het einde van de MWP zo’n 1000 jaar later, niet zo overdadig als wij ze 100 jaar geleden kenden, of zelfs nu nog kennen [11].

In de “Kleine IJstijd” (LIA) met als koudste periode het einde van de 16^e eeuw waren de temperaturen daarentegen, gemiddeld zeker een graad lager dan nu. We kennen die periode van de

mooie schilderijen met wintertaferelen. 's Winters bevroren al onze grote rivieren, maar ook de Theems in Engeland. Het ideale klimaat voor liefhebbers van de Elfstedentocht: ieder jaar geheid een tocht. Voor de gemiddelde burger echter misschien wel de meest ellendige tijd van het laatste millennium, want ongeveer 1/3 van de mensheid toentertijd overleefde het niet, m.n. door honger en ziekte [12].

Klimaatmodellen die we wel vertrouwen t.a.v. hun voorspellende waarde voor de toekomstige temperatuur in 2100, kunnen die periodes al terugrekenend totaal niet verklaren, eenvoudigweg omdat ze niet CO₂-gerelateerd zijn. Bovendien, sinds die Kleine IJstijd loopt de temperatuur al ruim 3 eeuwen met gemiddeld zo'n 0,3 °C/eeuw op. We hebben daar geen wereldgemiddelde meetwaarden voor zoals we tegenwoordig gebruiken, maar wel de langst bekende temperatuurmetingen uit het midden van Engeland die goed gedocumenteerd (UK MetOffice [13]) teruggaan tot 1659. Die bijna 4 eeuwen aan dagelijkse temperatuurmetingen laten o.a. zien dat op jaarbasis, natuurlijke variaties van ± 1 °C t.o.v. de gemiddelde trendlijn heel normaal zijn. Op maandbasis zijn die variaties zelfs aanzienlijk (3-5x) groter.

Die data logenstraffen ook de veelgehoorde claim van klimaatalarmisten dat we nog nooit zulke snelle temperatuurstijgingen gezien hebben als in de laatste 40 jaar. Er zijn periodes waarbij de opwarm- of afkoelsnelheid wel bijna 0,5 °C/decade was (zie grafiek op [13]). Niet over een paar jaar, maar decennialang. Wat we nu meemaken aan opwarmingsnelheid, stelt nauwelijks iets voor in het licht van de natuurlijke variaties die we echt met kwikthermometers hebben gemeten. En die niet gehaald zijn uit analyses van boomringen [14], zoals door het IPCC gebruikt als "bewijs" ter illustratie van hun AGW-hypothese, met allerlei slecht-verifieerbare aannames van dien.

Natuurlijke variaties hebben wel degelijk grote invloed op het klimaat, alleen begrijpen we die niet, of onvoldoende. En dat wat je niet begrijpt, kun je ook niet in fysische afhankelijkheden vertalen die je dan vervolgens in klimaatmodellen kunt verwerken. En als CO₂ daarom slechts de enige factor is die je in klimaatmodellen laat variëren, krijg je dus ook in de uitkomsten van die modellen alleen het effect van die CO₂ te zien. Dat is geen bewijs dat CO₂ de oorzaak is van klimaatverandering, maar alleen een bevestiging van je aannames. En als je het effect van die aannames ook maar een heel klein beetje fout inschat zit je er na een tiental jaren ook flink naast qua voorspelling.

En dat is precies wat er in deze, *Global Circulation Model* (GCM) klimaatberekeningen gebeurt [15]. Klimaatmodellen zijn qua achterliggende fysica niet wezenlijk anders dan weermodellen [16], maar dan op mondiale schaal. En, van weermodellen weten we dat hun voorspellingen na zo'n dag of 3 al behoorlijk mis kunnen zitten. Gelukkig worden bij weersvoorspellingen de berekeningen om de 3 uur ververs met de nieuwste meetgegevens, afkomstig van een fijnmazig netwerk van geautomatiseerde weerstations. Wie wil zien hoe goed (of slecht) weermodellen werken moet maar eens een paar weken iedere dag de bekende "expert pluim" van het KNMI [17] volgen. Ik raad u aan, dagelijks een *screenshot* van uw PC-scherm te maken en die allemaal na 2 weken op een rijtje te leggen. Een echte *eye-opener*. En dat ligt niet aan de rekenkracht van de supercomputer van het KNMI, maar deels aan het gebrek aan kennis over hoe het weer in detail in elkaar steekt. Het chaotische karakter daarvan is ook heel moeilijk in modellen te vertalen.

Daarmee wil ik niet suggereren dat klimaatmodellen helemaal niet werken. Klimaateffecten van bv. broeikasgassen werken gelukkig heel wat minder chaotisch dan de korte termijn krachten die het weer bepalen. De fysica erachter, die in die modellen vervolgens in de tijd het klimaat laat "evolueren", is echter niet wezenlijk anders. Die houdt in dat de output van de berekening op basis van de (gemeten) startgegevens, weer de input is voor de volgende stap in de tijd richting toekomst

(of verleden, in geval we het historische klimaatgedrag willen berekenen). En de output van die volgende berekening is weer de input voor de daaropvolgende stap in de tijd, enzovoort, enzovoort. Vandaar dat de afwijkingen tussen berekende- en uiteindelijk gemeten waardes ook steeds groter worden. Immers heel kleine afwijkingen in de start-waardes en/of in de modellen, worden steeds doorgegeven en vaak zelfs *en passant* versterkt [18, 19]. Bij weermodellen berekent men bv. met stappen van 30 minuten en past men de startwaardes om de 3 uur aan, dus niet meer dan zo'n 10 rekencycli. In klimaatmodellen, rekent men met stappen van 1-3 uur, maar werken die "correcties" door regelmatige vernieuwing van de startwaarde natuurlijk niet. Die berekeningen worden daarom zodanig "*getuned*", o.a. middels het aanpassen van m.n. de interne, gemodelleerde afhankelijkheden, dat ze zonder enige verandering in de atmosfeer, ook na zeg 30 jaar (iets als 100.000 berekeningscycli) nog altijd een "constant" klimaat opleveren [20]. Of dat ook de werkelijkheid benadert is niet gegarandeerd. Het is zelfs zeer twijfelachtig omdat de afgelopen 4 eeuwen hebben laten zien dat ons klimaat, zelfs over "maar" 30 jaar, helemaal niet constant is. En zeker als je ziet hoe weinig startwaardes, toch echt op basis van gemeten inputwaardes, uiteindelijk na die *tuning* zo'n stabiel klimaatmodel opleveren. En *last but not least*, als het dan eindelijk zo'n stabiele situatie oplevert, blijkt veelal de gemiddelde temperatuur van de Aarde die daaruit komt, wel tot 2 graden fout te kunnen zitten t.o.v. de werkelijkheid [19,20]. Daarom krijgen we bijna altijd alleen maar de zgn. temperatuur *anomalieën* te zien, de afwijkingen van een berekend- of gekozen gemiddelde op een bepaald tijdstip. Als je er dan vervolgens een verhoogde CO₂-concentratie in stopt, krijg je natuurlijk mooi het effect daarvan als verandering te zien. Op zich allemaal wetenschappelijk verantwoord, maar het verhult tegelijkertijd de intrinsieke zwaktes van dit soort modellen. Als je model de échte temperatuur al niet kan berekenen, is er toch kennelijk "iets" niet helemaal goed.

Het is dan ook niet verwonderlijk dat er wel honderden van dit soort klimaatberekeningen zijn op basis van een heel groot aantal, significant verschillende modellen qua interne afhankelijkheden. Besef, dat in het klimaat ongeveer alles van alles afhankelijk is [21], dus is er een bijna oneindig aantal combinaties mogelijk. Voor wetenschapsgroepen over de hele wereld zijn er kennelijk voldoende fondsen beschikbaar om dit soort werk te doen. Je hebt wel minimaal een supercomputer nodig die dag en nacht moet draaien om uit deze uiterst complexe modellen iets zinnigs te krijgen. Wetenschappelijk gezien interessant en ongetwijfeld knap werk. Maar die massale activiteit in dat modelleren van het klimaat, staat in schril contrast met de IPCC-claim dat we het allemaal zo goed weten. Als we het klimaat zo ontzettend goed begrijpen, lijkt wereldwijd één, of hooguit een paar van deze uiterst complexe *Global Circulation Models*, wel voldoende. Kennelijk is dat een foute gedachte want die vele GCM's zijn echt wel verschillend, en hun resultaten ook.

Gelukkig praten al die onderzoeksgroepen wel met elkaar en vergelijken elkaars resultaten in CMIP, het *Climate Model Intercomparison Project*. We zijn inmiddels aan de 6^e generatie GCM's in CMIP6. Je zou verwachten dat die modellen steeds beter worden en daarmee steeds dichter bij elkaar komen qua voorspellingen. Helaas is dat niet het geval en wat wij dan vaak te zien krijgen, is een middeling over een aantal van die uitkomsten. Dat kennen we ook uit de weermodellen en is de basis van de afgegeven weersvoorspelling van het KNMI. Men gebruikt daarvoor het zgn. ensemble-gemiddelde, waarbij een groot aantal berekeningen gedaan worden met steeds een kleine variatie in een- of meerdere input waardes. Het rekenmodel is echter steeds hetzelfde, en dan mag je dat zonder bezwaar doen. Meestal werkt het goed, en leidt dat gemiddelde tot een betere voorspelling. Middelen van uitkomsten van allerlei verschillende modellen, is mathematisch gezien, echter een

onzinnige exercitie. Met temperatuuroptoenames voor een verdubbelde CO₂-concentratie met ongeveer alle berekende waarden tussen de 0 en 6 graden [19, 20] kom je gemiddeld op zo'n 3 °C. Maar wat heb je aan een gemiddelde van geheel verschillende modellen waarvan je weet, dat er maar één goed kan zijn, en misschien een paar "bijna". Stel even dat toevallig net het model dat 6 °C voorspelt correct is, of net het 0 °C model. In beide gevallen zit je met je gemiddelde toch echt 3 °C fout. De claim dat die modellen zo goed zijn, is daarom alleen al, een zelfoverschatting van de modellenbouwers. Misschien niet eens van hen, maar dan toch zeker van de schrijvers van de IPCC-rapporten.

Uiteraard is het belangrijk de uitkomst van deze klimaatmodellen te vergelijken met hetgeen we zoal meten en gemeten hebben. Een van de belangrijkste verschillen tussen modellen en de werkelijkheid is dan misschien wel het fenomeen van de *Tropical Hotspot* [22, 23]. Dit extra warme gebied rond de evenaar/tropen, en hoger op in de troposfeer (dat lagere deel van de atmosfeer waar het weer zich voornamelijk afspeelt), wordt in de klimaatmodellen stevast voorspeld als het gevolg van extra CO₂. Het wordt dan ook vaak als de "vingerafdruk" van het broeikas effect van de antropogene opwarming door extra CO₂ beschouwd. Maar helaas, temperatuurmetingen op diverse hoogtes middels satellieten, maar ook met weerballonnen kunnen deze vingerafdruk maar niet ontdekken, terwijl het inmiddels goed meetbaar zou moeten zijn [22, 23].

Voorts worden al die berekeningen natuurlijk ook naast die, niet al te betrouwbare meetgegevens, sinds 1850 gelegd. Aangezien we eigenlijk pas de laatste 40 jaar uit satelliet metingen betrouwbare, mondiale temperatuurgegevens hebben, blijft het sowieso gissen wat in die meetreeksen het effect van CO₂ en wat het "natuurlijke" klimaateffect is dat we gemeten hebben. Voetstoots wordt aangenomen dat die laatste er over zo'n kortere periode niet, of nauwelijks is. Het is dan ook helemaal niet verwonderlijk dat het gemiddelde van al die klimaatmodellen helemaal niet klopt met de werkelijkheid. In het algemeen lopen de modellen wat je kunt noemen: "te warm". Zelfs over de periode 1980-2020, het satelliet tijdperk waarin we letterlijk alles van het klimaat, ook vanuit de ruimte hebben gemeten. In die klimaat technisch gezien korte periode, zitten de modellen gemiddeld al meer dan een factor 1,5 te hoog qua opwarming [24, 25, 26]. Op basis van de uitleg hoe de output van de ene stap in de berekening, de input voor de volgende berekening is, is het niet moeilijk in te schatten, dat we dus minimaal een fout van een factor 4(!) maken voor de temperatuur in het jaar 2100, en waarschijnlijk groter [18]. In dat licht bezien, zijn de alarmerende waarden voor de mondiale temperatuurstijgingen niet onverwacht, maar tegelijkertijd absoluut onverantwoord om mensen bang mee te maken. Het is niet heel veel beter dan "koffiedik kijken", waarbij ik echt wel wetenschappelijke bewondering heb voor hoe goed die modellen qua fysica in elkaar zitten. Maar dat verandert niets aan de simpele basisregel van wetenschappelijk werk: als de uitkomst van een model de meetgegevens niet reproduceert, is het model fout. Geen discussie mogelijk.

Een grote onbekende in klimaatmodellen is het effect van bewolking. Wolken hebben zowel een koelend effect als een opwarmend effect. De afkoelende werking, m.n. overdag komt doordat ze de zon tegenhouden. De hoeveelheid ingestraald zonlicht dat het aardoppervlak bereikt bepaalt hoe dan ook, hoe warm we het uiteindelijk krijgen. 's Nacht daarentegen houden wolken juist de uitstraling tegen die voor de natuurlijke afkoeling zorgt. Dit is een ingewikkelde balans om diverse redenen. Daarbij spelen bv. de hoogte, de dikte, de uitgebreidheid, de verticale temperatuurverdeling, de druppelgrootte en -verdeling, de hoeveelheid ijskristallen en wat je nog meer kunt bedenken, allemaal een rol. We weten wel ongeveer hoe e.e.a. werkt, maar bij lange na niet precies genoeg. Bovendien, de resolutie van enkele kilometers waarmee de

klimaatberekeningen werken, zijn simpelweg veel te grof voor realistische wolken. We dekken zo de 30x30, of meestal 100x100 km² cellen waarin het Aardoppervlak verdeeld wordt om dit soort berekeningen te doen, dan ook af met een soort gemiddelde bewolking; of om de zoveel cellen helemaal geen, en doen dan net of dat realistisch is. Natuurlijk is dat niet zo, en zelfs NASA geeft dat op een van haar websites [27] volmondig toe. Je moet wel even zoeken tussen alle alarmistische PR-verhalen die ze kennelijk voor hun onderzoeksfinanciering zo nodig de wereld in moeten slingeren, maar ze schrijven letterlijk dat klimaatmodellen nog wel 2 ordes (een factor 100) beter moeten worden om echt enige(!) voorspellende waarde te krijgen. Voorlopig zijn ze daar nog lang niet.

Via een simpel model op basis van de seizoensafhankelijke temperaturen heb ik ooit een schatting gemaakt van de invloed van de bewolking op onze temperatuur [28]. Aanleiding was de observatie dat in Nederland de hoeveelheid inkomende zonnestraling in de laatste 40 jaar met wel 10% was toegenomen. Dat is heel veel extra energie (een zgn. *forcing*) die op Aarde terecht komt, equivalent aan ongeveer 8x (!) de *forcing* door een verdubbeling van de CO₂-concentratie. Het KNMI stelde in haar 2014-klimaatrapportage dat zoiets toch maar 0,2 °C opwarming opleverde [29]. Mijn schatting kwam tot ongeveer 1 °C en dat zou voor de CO₂-gerelateerde opwarming in Nederland maar iets als 0,5 °C overlaten. Dat laatste past dan weer heel goed bij die ongeveer 1 °C per 2xCO₂ en niet bij het IPCC-verhaal van 3 °C of meer, waar ik straks nog uitgebreid op terugkom.

Ik heb over dit onderwerp veelvuldig met het KNMI gecommuniceerd. Ze waren heel welwillend om mij te antwoorden, maar meer dan dat “klimaatmodellen iets heel anders voorspellen”, heb ik nooit te horen gekregen. En waar die 0,2 °C in hun rapport vandaan kwam wisten ze niet meer.

Ik heb om hen te overtuigen inmiddels op meerdere manieren laten zien dat de klimaatgevoeligheid voor bewolking, ongeveer 0,1 °C per procentpunt bewolkingsverandering moet zijn [30]. Een waarde die, zij het op andere analyses gebaseerd, ook anderen berekenen [31, 32]. De reactie van het KNMI: “... 0,2 °C is misschien toch wat te laag...”.

Die 10% minder bewolking is niet enkel in Nederland waargenomen, maar ook mondiaal met zo’n 3 tot 4%, goed zichtbaar in de satelliet metingen [33]. Echter wel geprononceerder boven Europa en goed zichtbaar sinds het eind van de jaren ’70 van de vorige eeuw [32]. Waarschijnlijk een gevolg van het massaal afstappen in veel West-Europese landen van het stoken van kolen, of zelfs turf voor m.n. verwarmingsdoeleinden. Engeland bv. sloot z’n mijnen na de vondst van olie in de bodem van de Noordzee, net als Nederland en België al eerder deden na de vondst van grote voorraden aardgas in Slochteren. Kolenstook geeft niet alleen relatief veel CO₂, dat was toen nog niet de reden om ermee te stoppen, maar ook veel aerosolen als fijnstof en Zwaveldioxide in de atmosfeer. Die laatste twee werken beide afkoelend, maar o.a. ook als condensatiekern voor mist- en wolkenvorming [34, 35]. Kwam je vroeger bv. in Londen dan had je een grote kans, m.n. ’s morgens, om in de mist te lopen, met als Britse humor: “*the continent is isolated*”. Dat overkomt je tegenwoordig nog maar zelden. Meer zon is dan ook waarschijnlijk mede het gevolg van een veel schonere lucht. En jammer dan, daar wordt het wel behoorlijk warmer van, zoals de gemiddelde seizoentemperaturen ons laten voelen. Die zijn echt gekoppeld aan het aantal zonuren. Zomers zijn daarom veel warmer dan de winters, en zonnige dagen gemiddeld warmer dan bewolkte.

Nu is dit ook weer zo’n typisch voorbeeld van natuurlijke invloeden, hoewel in feite deze vermindering in bewolking ook een antropogene, dus “menselijke” invloed op het klimaat is. Dat was precies wat we wilden, alleen de consequentie is wel dat het warmer is geworden.

In die GCM berekeningen kun je het effect van een eventuele verandering in de bewolking door zgn.

aerosolen als fijnstof en Zwaveldioxide best wel modelleren. Je moet dan wel weten hoe dat precies werkt en van welke andere zaken dat afhankelijk is [36]. Men probeert dat er ook echt wel in te stoppen voor het simuleren van de temperaturen in o.a. de vorige eeuw, maar onze kennis van, en modellen voor wolken/wolkenvorming, blijken dan toch te beperkt

Een andere, en misschien nog wel belangrijkere natuurlijke variabele die niet wordt meegenomen in de modelberekeningen, is onze Zon. Dat wij überhaupt bestaan komt omdat de Zon uiteindelijk ons klimaat bepaalt. In de klimaatmodellen wordt, afgezien van dag/nacht, de seizoenen en de elliptische baan om de Zon, die Zon echter als constante bron van instraling beschouwd. Maar dat is niet correct. Sterker nog, de koude Kleine IJstijd [37] wordt toegeschreven aan het zgn. Maunder-minimum [38], een 50-jaar lange periode van een heel constante, maar juist weinig actieve Zon. De Zon kent al sinds mensenheugenis een, ongeveer 11-jarige cyclus in zijn activiteit, die tot uitdrukking komt in het aantal zonnevlekken [39]. Onze erkend hete zomers van 1947 en 1959 vielen nagenoeg gelijk met de zonnevlekkenmaxima, terwijl de Elfstedentochtjaren veelal samenvielen met zonnevlekkenminima. Die zonnevlekkencycli zijn weer onderdeel van een veel langere cyclus die maakt dat er periodes zijn van extreem grote verschillen tussen maxima en minima zoals bv in de vorige eeuw, of juist nauwelijks verschillen zoals in de Kleine IJstijd. Tussen 1800 en 1830 hadden we ook zo'n periode van minimale zonneactiviteit: het Dalton-minimum [40], met o.a. de strenge winter van 1812/13 die Napoleon fataal werd in zijn veldtocht naar Rusland. Volgens astronomen die de zonnecyclus bestuderen stevenen we weer af op zo'n soort Dalton- of Maunder-minimum rond 2050. En inderdaad, het aantal zonnevlekken in de maxima van deze cycli, nemen sinds de recente hoogste waarden in 1960 en 1980 ook daadwerkelijk af. Sommige astronomen voorspellen zo'n afkoeling als "onvermijdelijk" [41, 42].

De daarbij gepaard gaande variaties in uitgestraalde zonne-energie zijn zeker niet verwaarloosbaar, maar misschien ook weer niet zo groot dat daarmee alle huidige opwarming direct verklaard kan worden. Echter, deze zonnecycli zijn qua variaties veel sterker in het hoogenergetische Ultra Violet (UV) deel van het spectrum. UV wordt m.n. geabsorbeerd in de Ozonlaag en is daarmee heel bepalend voor de temperatuur van de stratosfeer. Ook dat beïnvloedt allemaal ons klimaat [42]. En dan is er nog de zgn. zonnewind, hoogenergetische deeltjes of "kosmische straling" die ons radioverkeer soms ernstig verstoort. De hoeveelheid zonnewind is sterk gekoppeld aan de zonneactiviteit; wat precies de invloed daarvan op ons klimaat is, weten we nauwelijks. Maar dat het invloed heeft staat vast en is waarschijnlijk verre van verwaarloosbaar. Er is sowieso een rechtstreeks verband tussen kosmische straling en wolkenvorming [41], en dan denk je al gauw aan de eerder beschreven invloed van bewolking op de temperatuur. Hoeveel van die kosmische straling onze atmosfeer binnendringt wordt o.a. bepaald door ons Aardmagneetveld. Laat nu net de magnetische Noorpool de laatste decennia, zich plotseling met rasse schreden van het noorden van Canada naar Noord-Rusland verplaatsen [43]. Ongetwijfeld met effecten waar we geen idee van hebben, maar dat e.e.a. ons klimaat beïnvloedt, lijdt geen twijfel. Die geobserveerde, kennelijk natuurlijke variaties in de eeuwen voor we grootschalig CO₂ gingen uitstoten, moeten toch door iets veroorzaakt zijn. De Zon is dan de meest aannemelijke factor gezien de grote energiestromen die daarbij constant op onze Aarde worden "afgevuurd" [41, 42].

Dat CO₂ een broeikasgas is, is onomstreden. Dat een verhoogde CO₂ concentratie wat doet met de gemiddelde temperatuur op Aarde is ook geen discussie. Het "waarom" laat ik hier dan ook verder maar onbesproken. Maar of het effect groot genoeg is om de huidige opwarming te verklaren, is op z'n minst "twijfelachtig". Niet voor de klimaatalarmisten natuurlijk, maar objectief fysisch gezien, is

het te verwachten effect van de CO₂ toename simpelweg niet groot genoeg.

Een algemeen gebruikelijke waarde voor de invloed van CO₂ op het klimaat, is de ECS, de *Equilibrium Climate Sensitivity*, die de opwarming in graden Celsius weergeeft bij een verdubbeling van de CO₂ concentratie (dat laatste voortaan afgekort als 2xCO₂). Impliciet heb ik die klimaatgevoeligheid hierboven al vermeld bij het voorbeeld van de 3 °C als gemiddelde uitkomst van de klimaatmodellen bij de 2xCO₂ concentratie. Het doet er daarbij niet toe of we uitgaan van de pre-industriële concentratie van 280 ppm (*parts per million*, deeltjes per miljoen) of van de huidige 420 ppm a.g.v. de fossiele brandstoffen die we sindsdien verstoekt hebben [44]. Een toename van 280 naar 560 ppm verhoogt de temperatuur evenveel als van 420 naar 840 ppm [45].

Sinds 1979 zijn zowel opwarming als CO₂ concentraties consistent gemeten. De klimaatgevoeligheid is daarom ook experimenteel te bepalen uit die 0,13 °C/decade opwarming tussen 1980 en 2020 en de bijbehorende CO₂ concentraties van 339 en 413 ppm, respectievelijk [46].

Eerdere opmerkingen over andere effecten even vergetend en daarmee alle opwarming aan CO₂ toekennend zoals het IPCC doet, levert dat een klimaatgevoeligheid ECS = 1,8 °C/2xCO₂ [46, 47].

Klimaatmodellen komen gemiddeld dus bijna op het dubbele uit. Het overgrote deel van die klimaatmodellen kan dus *per se* niet goed zijn, wat het IPCC ook beweert. Deze discrepantie is zelfs nog veel groter als we kijken naar de opwarming in de periode 1910-1950. Hoewel, zoals eerder opgemerkt, de data daar niet al te betrouwbaar zijn, lijkt de opwarmingssnelheid tussen 1910 en 1945 met 0,15 °C/decade nagenoeg gelijk aan die in de 21^e eeuw (cf Berkely Earth [4]). Alleen de CO₂ toename was toen veel kleiner en om dan zo'n temperatuurstijging te bewerkstelligen, is zelfs een ECS > 10 °C/2xCO₂ nodig [46, 47].

Maar waarom zou het opwarmende effect van CO₂ in die twee periodes zo verschillend zijn? De fysica t.a.v. het gedrag van CO₂ kan toch niet veranderd zijn? Het IPCC gebruikt diezelfde historische temperatuurreeksen juist om te bewijzen hoe "goed" hun modellen zijn. Maar ze leggen niet uit waarom CO₂ toen een ruim 5x sterker effect vertoonde dan we nu zien. Alleen een significant grote invloed van natuurlijke processen in de opwarming kan dat verklaren; louter CO₂ m.i. dus niet [48].

Kijken we echter puur, en dat wil zeggen alle andere klimaatparameters constant verondersteld, naar het effect (eerdergenoemde *forcing*) van een dergelijke verdubbeling van de CO₂ concentratie, dan is iedereen het erover eens, dat dat maximaal 1,1 °C/2xCO₂ kan opleveren. Dit is op basis van een *forcing* van 3,7 W/m² bij een verdubbeling van de CO₂ concentratie [49]. Dat is een, al decennialang gebruikte waarde. Volgens meer recente berekeningen, moet die waarde zo'n 20 % naar beneden bijgesteld worden tot F_{2xCO₂} = 3,0 W/m² [50, 50b]. Dat past ook beter bij de enige, realistisch gemeten waarde uit satelliet-data van ongeveer 2,65 W/m² [51]. Die laatsten, zijn beide echter "heldere hemel" berekeningen/metingen terwijl wolken zeker een deel van het broeikaseffect van CO₂ afschermen. Al met al levert dat voor de gemiddeld bewolkte hemel, een "pure" ECS ≈ 0,8 °C/2xCO₂ [50b], zelfs aanzienlijk lager dan de hierboven bepaalde waarde van 1,8 °C op basis van 0,13 °C/decade. Alleen weten we natuurlijk niet hoe groot het aandeel van de extra CO₂ in die stijging is, en hoeveel een gevolg van "natuurlijke" effecten.

Het IPCC hanteert echter in haar klimaatalarmisme een veel grotere ECS met een wel heel ruime *range* van 1,5 tot 4,5 °C/2xCO₂. Die range kent geen "harde" grenzen, maar is niet helemaal toevallig ook de "95% zekerheidsmarge" van de berekende temperatureffecten uit de diverse klimaatmodellen. Het eerdergenoemde gemiddelde van 3 °C/2xCO₂, past dan ook precies bij de gemiddelde waarde van de ECS volgens het IPCC. Ze weten het dus echt niet met enige

nauwkeurigheid, en wat nog erger is, die grote range is in 30 jaar tijd nauwelijks verkleind. Drie decennia klimaatonderzoek en 6 generaties van klimaatmodellen, hebben ons dus geen beter inzicht gegeven in de werking van CO₂ binnen ons klimaat. Het gemiddelde, die ECS = 3 °C/2xCO₂ wordt door het IPCC als “meest waarschijnlijk” gepromoot en verder door iedereen als “zoete koek” geslikt.

Maar let wel, dat soort waardes zijn ruim 3x groter dan op basis van de puur fysische eigenschappen van CO₂ moleculen eigenlijk kan.

Hoe verklaart het IPCC die hoge klimaatgevoeligheden? Daarvoor hebben ze de zgn. “*feedbacks*” uit de kast gehaald. Eigenlijk een ietwat misleidende term, want we hebben het hier voor de meeste klimaateffecten in feite over “*feedforwards*” (mee-koppelingen); neveneffecten die de primaire oorzaak juist versterken. U kent dat wel, de microfoon die je bij de luidspreker van een geluidstelsel houdt, waarbij beide aangesloten zijn op dezelfde versterker. In oude radiotermen heet dat een “Mexicaanse Hond”, ofwel “rondzingen”. Het geluid gaat door merg en been.

Op zich best wel een logisch idee: door de opwarming a.g.v. de CO₂ toename veranderen niet alleen de temperatuur, maar ook andere eigenschappen van de atmosfeer [30, 52]. M.n. de verdamping van water en de daarmee verband houdende zaken als: een extra broeikaseffect door de toegenomen waterdamp en de verandering van de bewolgingsgraad. En door de hogere temperatuur: het smelten van sneeuw en ijs van gletsjers, evenals van de gebieden op, en rond de polen. De hoog-reflecterende sneeuw die zo verdwijnt heeft weer als gevolg dat er meer zonlicht wordt geabsorbeerd door de Aarde en dat maakt het nog weer warmer. Enzovoorts, enzovoorts. Logisch toch? En zeer plausibel. Ook in die 0,8 °C/2xCO₂ “pure” klimaatgevoeligheid zit een dergelijke toename van de hoeveelheid waterdamp door extra opwarming al netjes verdisconteert [50b].

Afgezien van het feit dat de gemeten vochtigheid in de atmosfeer minder is gestegen dan de temperatuurstijging voorspelt [53], rechtvaardigt die logische redenering nog niet zo’n grote factor 3 versterking van het CO₂ effect. We hebben met die 3x versterking, eigenlijk helemaal geen CO₂ nodig om in een spiraal van voortdurende opwarming terecht te komen. Immers jaarlijkse variaties van een graad temperatuurverhoging zijn er ook regelmatig zonder CO₂ toename. En gaat het een paar jaar achtereen die kant op, dan zou er door die “meekoppelingen” a.g.v. temperatuurstijgingen, “geen houden meer aan zijn”; net als die spontaan beginnende Mexicaanse hond. Omgekeerd zou een tijdelijke afkoeling ons geheid in een nieuwe ijstijd storten.

Maar gelukkig, natuurlijke, stabiele systemen als het klimaat reageren veelal juist “dempend” op uit evenwicht brengende variaties. Was dat niet het geval, dan waren wij als mensheid hier helemaal niet, of al lang niet meer geweest. We waren simpelweg weggekookt of juist diepgevroren.

Dat dempende effect komt doordat we in wezen op een “water-planeet” leven, waar oceaanstromen een veel groter effect hebben op ons klimaat dan de atmosfeer via bv. de wind [54]. Die laatste heeft veel meer effect op het weer, wat we kunnen zien als de korte termijn expressie van het klimaat. Uiteindelijk gaat het in het klimaat om het evenwicht in het transport van energie, naar- en van de Aarde. Het directe effect van broeikasgassen grijpt in op het verticale energietransport. Dat is op zich al een tamelijk complex proces waarin straling, verdamping van water aan het oppervlak en convectie een delicate balans moeten vinden. Maar de horizontale warmtestromen zijn in die balans minstens zo actief en bepalend [55]. De energie opgeslagen in de atmosfeer is niet groter dan de hoeveelheid energie opgeslagen in slechts de top 2,5 m water van onze oceanen. De overdaad aan zonnewarmte ter hoogte van de evenaar wordt niet zozeer ter plekke via de atmosfeer weer uitgestraald, maar door oceaanstromen richting de polen afgevoerd waar er gemiddeld juist veel minder zonne-energie binnenkomt dan er aan energie naar de ruimte wordt afgevoerd. Dat maakt

onze planeet nu juist leefbaar. Zoals bv. door de bekende (warme) Golfstroom in de Atlantische Oceaan die op onze breedtegraad de temperatuur aangenaam houdt. Zonder die golfstroom was het hier een stuk kouder. Kleine variaties in dat soort stromen hebben grote temperatuurgevolgen [56]. Eind 1922, dus 100 jaar geleden, was het water rond Spitsbergen een tijdje zo warm door een kennelijk iets verschoven Golfstroom, dat die winter zelfs de zee aan de noordzijde van deze eilandengroep niet meer bevroor [57]. Dat hebben we de laatste decennia nog niet eens meegemaakt. Zo erg uitzonderlijk is dus de huidige opwarming van het Noorpoolgebied nu ook weer niet. De wereldwijde invloed van variaties in de oceaanstromen in de Stille Oceaan zoals we die kennen als de warme El Niño en de koude La Niña periodes, de zgn *EN Southern Oscillations* (ENSO) zien we zelfs wereldwijd terug in het weer- en klimaatbeeld; met temperatuurvariaties van een graad of meer, en over onregelmatige periodes van 2-10 jaar [58, 59]. De voorbeelden hier zijn slechts een paar van de grote, vaak naar de betreffende Oceaan vernoemde oscillaties/variaties, maar verandering van zeestromen zien we ook op kleinere schaal. We “constateren” ze slechts, maar we kunnen ze nog altijd niet voorspellen. Laat staan dat we hun gedrag kunnen modelleren met enige voorspellende waarde. Extra complicerend is: andere zeestromen brengen andere windrichtingen. Minder kans op een Elfstedentocht wordt vaak te makkelijk gekoppeld aan de opwarming, maar de afname van het aantal dagen in de winter met de benodigde noordoostenwind, is waarschijnlijk de echte oorzaak [60]. In klimaatdiscussies zijn er vele van dat soort “kip-ei” problemen, die, met de AGW-hypothese van de fossiele CO₂ als universele oorzaak, altijd eenzijdig als temperatuurprobleem worden belicht. Andere invloeden op de natuur zijn er sinds de AGW-hypothese, kennelijk niet meer. Zelfs niet bij “gewone” meteorologische verschijnselen.

De rol van water in het regelmechanisme van ons klimaat is niet te onderschatten. Niet alleen is waterdamp veruit het sterkste broeikasgas, maar ook het broeikasgas met dagelijks grote variaties in lokale concentraties [61, 62]. Zonder al dat water en de bijbehorende waterdamp zou deze planeet onbewoonbaar zijn: koud en met grote temperatuurfluctuaties. De zgn. “water-cyclus”, het verdampen van water van het oppervlak, de vorming van wolken en het weer uitregenen daarvan (vaak elders), is dan ook het essentiële proces in het in toom houden van de temperatuur. Wordt het in de tropen te warm door de brandende zon hoog aan de hemel, dan verdampt er daardoor ook zoveel water dat het er tegen het einde van de dag stevast gaat regenen en e.e.a. weer afkoelt. Niet ver van de evenaar boven de Sahara wordt het al eeuwen echter bloedheet omdat daar, bij gebrek aan water, nauwelijks afkoeling door verdamping kan plaatsvinden. Nachten in de woestijn zijn daarom ook koud; het natuurlijke broeikaseffect door waterdamp is maar klein, wolken om de uitstraling te verminderen zijn er ook vaak niet, en dat beetje extra CO₂ helpt dan niet echt. In bossen is het juist overdag weer heel koel. Niet zozeer omdat daar minder zon binnendringt, maar effectief door de verdamping van water middels het bladerdek. Het kappen van bossen heeft niet alleen het effect dat ze geen CO₂ meer op slaan, maar het daarmee wegnemen van hun koelend effect binnen het klimaatsysteem is misschien nog wel belangrijker. De enorme verstedelijking a.g.v. die al genoemde 5x toename van de wereldbevolking (in stedelijke gebieden zelfs wel tot 20x) [63] draagt dan ook behoorlijk bij aan de opwarming. Voornamelijk doordat grote steden, zgn. “*Urban-Heat-Islands*” (UHI's) zijn geworden [64]. Lokaal kan daar de temperatuur zo maar 5 tot zelfs 15 °C voor steden als New York en Tokyo, hoger zijn dan op het platteland. Maar besef ook, voor die bebouwing, droegen deze, toen nog natuurlijk begroeide “groene” vlaktes juist bij aan de afkoeling. Verstedelijking werkt dan ook “dubbel op” qua opwarming. Het idee van het kappen van bossen voor het “klimaat neutraal” verstoken van biomassa is daarom

een van de dommere schijnoplossingen voor het klimaatprobleem. Bovendien een, die in Europa zwaar gesubsidieerd wordt en ook niet meetelt in onze CO₂ uitstoot. Onbegrijpelijk, als je ook nog weet dat het verstoken van hout zo'n 3x meer CO₂ uitstoot per opgewekte kWh aan elektriciteit dan aardgas en ook het nodige "fijnstof" produceert. Wel een beetje cynisch dat dat fijnstof, misschien weer bijdraagt aan extra wolken die koelend werken. Maar hoe dan ook: het argument voor het kappen van bossen voor biomassacentrales als zijnde een klimaat neutrale, groene cyclus, is net zo'n grote illusie als het idee dat klimaatmodellen een nauwkeurige, en voorspellende waarde hebben.

Niet alleen boven de Sahara is weinig waterdamp, maar ook boven de Noord- en Zuidpool omdat het er zo koud is. Koude lucht kan bij lange na niet zoveel waterdamp opnemen als warme lucht. De poolkappen zijn dus bij uitstek de plaatsen waar de effecten van CO₂ het sterkst zichtbaar moeten zijn. Er is immers geen waterdamp om het broeikas effect van CO₂ te maskeren zoals het dat in de warmere gebieden in hoge mate doet. En inderdaad boven de noordelijke poolcirkel warmt het harder op, wel zo'n factor 2 meer dan gemiddeld [3, 24]. Toch smelt het daar allemaal niet zo hard als het IPCC ons begin van deze eeuw wilde doen geloven. De voorspelling van Al Gore uit het begin van deze eeuw: "De Noorpool is absoluut ijsvrij in 2015", is inmiddels wel vergeten. Zeker nadat al heel vroeg in het najaar van afgelopen winterperiode een groot konvooi van vrachtschepen veel vroeger dan "normaal" vastvroor in de noordelijke wateren boven Rusland. Ook de bordjes bij de gletsjers in *Glacier National Park* in de V.S. zijn weggehaald. Daarop stonden tot voor kort teksten die bezoekers erop moesten wijzen dat ze, als gevolg van de, door de mens veroorzaakte opwarming, ongeveer de laatsten waren die al dat moois konden aanschouwen. De voorspellingen van de klimaatmodellen dat ze inmiddels weggesmolten zouden zijn, klopten toch iets minder goed [65]. Maar tja, een factor 3 te hoge opwarming voorspellen, zet iedereen al gauw op het verkeerde been. Toch wil men in het dagelijkse weerbericht op het NOS-journaal nog wel eens verwijzen naar Spitsbergen als voorbeeld van de opwarming van de Aarde en m.n. de poolstreken Kennelijk zonder enig historisch besef over hoe warm het daar 100 jaar geleden ook al eens was [57].

Er wordt vaak gesproken over de smeltende poolkappen, m.n. in verband met de mogelijke zeespiegelstijging. Maar er wordt niet bij verteld dat het dan uitsluitend over het Noordpoolgebied, en m.n. Groenland gaat. Antarctica in het Zuidpoolgebied warmt helemaal niet op, dat koelt al decennialang zelfs een heel klein beetje af [3]. De afgelopen winter (onze zomer), was daar zelfs de koudste ooit gemeten [66]. Behalve dan op het Antarctische schiereiland en de kust van West-Antarctica waar het wel wat opwarmt, maar dat is hoogstwaarschijnlijk mede een gevolg van lokaal, diepzee vulkanisme [67]. Een effect dat wel op veel meer plaatsen op de zeebodem een rol in de lokale opwarming moet spelen, zonder dat we dat tot nu toe goed weten. Recente studies schatten het aantal vulkanen op de zeebodem tot wel 1 miljoen, waarvan zo'n 75.000 hoger dan 1 km. Uitbarstingen zien we zelden omdat ze onderwater plaatsvinden, maar het effect op ons klimaat van de zo, integraal afgegeven hitte, moet zeker mondiaal gezien, niet verwaarloosbaar zijn. En als we dan al iets over temperaturen in het Zuidpoolgebied horen via de media, zijn het steevast de temperaturen uit dat, iets warmere gebied. Zonder uitleg passen die lokaal hogere temperaturen natuurlijk prima bij het verhaal over de mondiale opwarming. De afkoeling op de grote bulk van Antarctica echter niet. Dat soort informatie wordt stelselmatig verzweigen want klimaatalarmisten kunnen dat niet uitleggen. Het laat tevens zien hoe weinig we nog "echt" van het klimaat begrijpen.

De opwarming op het Zuidelijk Halfrond is sowieso kleiner dan de opwarming op het Noordelijk Halfrond [3]. Eigenlijk wel raar, want door de excentriciteit van de baan van de Aarde rond de Zon,

krijgen ze daar in hun zomer zo'n 6% meer aan zonne-instraling dan wij in onze zomer. Aan de andere kant is het ook weer niet zo verwonderlijk omdat de grote landmassa's nu eenmaal boven de evenaar liggen. De zuidelijke helft is voor het merendeel oceaan. Doordat de waterdamp-cyclus boven land een minder koelend effect lijkt te hebben dan boven zee, worden de gemiddelde temperaturen op het Noordelijk Halfrond makkelijk wat hoger dan op de zuidelijke helft. Denk maar even aan het voorbeeld van de Sahara, en er zijn natuurlijk veel meer tamelijk droge gebieden op de diverse continenten. Bovendien wonen op het Noordelijk Halfrond veruit de meeste mensen. Vaak ook nog samengepakt in conglomeraten van dichtbevolkte gebieden in zowel de V.S, West-Europa als Azië. Met als gevolg het eerdergenoemde UHI-effect door de bijbehorende, snelgroeiende verstedelijking, hetgeen ongetwijfeld het klimaat in opwarmende zin beïnvloedt. Of dat allemaal alleen door de CO₂ toename komt, is daarom op z'n minst twijfelachtig. De CO₂ concentratie is op het Zuidelijk Halfrond namelijk niet wezenlijk anders dan op "onze" helft, eerder zelfs iets hoger. Maar de opwarming- en opwarmingssnelheid zijn er aanzienlijk kleiner. Nu niet bepaalt het perfecte bewijs dat het allemaal komt door de CO₂ van onze fossiele uitstoot.

En op dat alles baseren politici als Frans Timmermans en Rob Jetten overheidsbeleid dat ons honderden miljarden euro's gaat kosten; hoogstwaarschijnlijk zonder enig nut of opbrengst. Uiteraard met de bij politici behorende "absolute zekerheid" dat opwarming enkel aan de CO₂ ligt.

Maar niet alleen politici storten zich op "het klimaat", ook allerlei niet-klimaatwetenschappers. Het is immers inmiddels makkelijk "scoren" met "klimaatverandering" als thema, al was het alleen maar voor de financiering van het eigen onderzoek. Je kunt het zo gek niet bedenken, of klimaatopwarming blijkt een enorme invloed te hebben op alles wat je maar zou kunnen bedenken. Tot een afname van het "liefdesleven van Albatrossen" toe [91]. Die studie heb ik niet verzonnen, het is een serieus onderzoek van ornithologen. Het gaat bij dat soort "gevolg studies" natuurlijk niet over de klimaatverandering als fysisch fenomeen, maar over de gevolgen van de voorspelde temperatuurstijging op lange termijn. Berekenende temperatuurstijgingen nemen zij gewoon aan als zijnde een vaststaand gegeven voor het toekomstige klimaat. En wat blijkt, al te vaak wordt dan uitgegaan van het IPCC RCP8.5 scenario, wat mij betreft: het "horror" scenario.

Tot nu toe heb ik het steeds over de 2xCO₂ gehad, maar dat is slechts een maat voor het begrip ECS, de klimaatgevoeligheid. De voorspelling van de "echte" temperatuur in het magische jaar 2100 hangt natuurlijk af van de hoeveelheid CO₂ die er de komende eeuw in de atmosfeer daadwerkelijk terecht zal komen. Daarvoor zijn door het IPCC de zgn. RCP's (*Representative Concentration Pathways*) ontwikkeld; scenario's hoe zich de CO₂ concentratie in de tijd gaat ontwikkelen [68]. Dat hangt natuurlijk af van de hoeveelheid fossiele brandstof die we gaan verstoken, maar ook van de opname capaciteit van al die excessieve CO₂ in onze atmosfeer en de rest van de natuur. Die RCP's hebben allemaal een nummer dat aangeeft het aantal W/m² aan zgn. *forcings* in 2100, als maat voor de hoeveelheid broeikasgassen. Het IPCC hanteert daarbij ongeveer 3,7 W/m² voor de *forcing* voor 2xCO₂ [49]. In die opgestelde RCP2.6, 4.5, 6.0 en 8.5 scenario's zitten naast CO₂ uiteraard ook de effecten van de andere broeikasgassen. De bijbehorende concentraties in het jaar 2100 van respectievelijk 450, 650, 950 en 1400 ppm [68], zijn dan ook de "CO₂ equivalente" waarden. In die scenario's is daar ongeveer 80% "echte" CO₂ van, en methaan en o.a. gechloreerde koolwaterstofverbindingen de rest. Dit moeten we vergelijken met de pre-industriële (equivalente) CO₂-concentratie rond 1850 van 280 ppm. Volgens de bijbehorende, eerder toegelichte "pure" ECS = 0,8 °C/2xCO₂, levert dat met gebruik van de logaritmische afhankelijkheid van de concentratie [45]

een opwarming in 2100 op van 0,55 °C voor RCP2.6, 1,0 °C voor RCP4.5, 1,4 °C voor RCP6.0, en 1,85 °C voor RCP8.5. Kijken we naar de opwarming sinds eind 70-er jaren van de 20^e eeuw, dan mag je zelfs nog 0,2 °C van die waardes aftrekken. Daarmee blijft alleen het RCP8.5 scenario nog net iets boven de, in politieke discussies vaak gehanteerde limiet van 1,5 °C opwarming. Dat is verre van schrikbarend, laat staan alarmerend.

Echter met de ECS = 3 °C/2xCO₂ zoals het IPCC hanteert moet je die bovenstaande waardes voor de opwarming nog eens met een factor 3/0,8 = 3,75 vermenigvuldigen. En dan ziet het plaatje er natuurlijk heel wat bedreigender uit. Voor RCP4.5, het meest gebruikte scenario, overeenkomend met een verdubbeling van de pre-industriële CO₂ concentratie levert dat 3,7 °C. Maar voor RCP8.5, levert dat een zelfs een historisch gezien, onrealistisch hoge 7 °C temperatuurstijging t.o.v. 1850.

En juist dat scenario heeft van het IPCC het predicaat *“business as usual”* gekregen, waarschijnlijk om iedereen duidelijk te maken dat als we “niets” doen, we bijna letterlijk gekookt worden. Vriend en vijand zijn het erover eens dat RCP8.5 nooit uit gaat komen, zoveel fossiele brandstoffen kunnen we niet eens per jaar verstoken.

Ook zelf bestempelt het IPCC dit scenario sinds kort als *“highly unlikely”*. Toch blijft het maar gebruikt worden in allerlei “gevolgstudies” want hoe meer “ellende” je kunt voorspellen, des te meer aandacht je onderzoek krijgt. Iedereen leest “de kop”, maar niemand de onderliggende aannames. Media zijn dol op dit soort *“head-lines”*. Het KNMI deed recentelijk [69], vrolijk mee aan deze waanzin met de voorspelling van 1,2 m zeespiegelstijging. Bij alle kranten stond het op de voorpagina, en het NOS-journaal opende ermee. Kennelijk niemand die ook de aannames had gelezen (of begrepen), want dan had men er vast veel minder aandacht aan besteed. Ook niemand die zich afvraagt: *“hoe realistisch is dit business as usual scenario nu eigenlijk?”*

Dat brengt ons op het verhaal van de CO₂ huishouding, want ook daar worden door politici allerlei illusies gewekt die weinig realisme vertonen. Dat onze fossiele uitstoot verantwoordelijk is voor de toename van CO₂ in de atmosfeer staat wat mij betreft, buiten kijf. Er zijn af en toe nog wel eens studies dat een groot deel daarvan juist een gevolg is van de opwarming en niet zozeer andersom zoals de AGW-hypothese van het IPCC en de klimaat-alarmisten beweren. Maar dat verandert niets aan de situatie dat er nu veel meer CO₂ in de atmosfeer zit dan vroeger. Dus we laten ons vanaf hier leiden door de data van de internationale monitor, het *Global Carbon Project*, een organisatie die jaarlijks precies bijhoudt wat er geproduceerd wordt, waar dat zoal blijft en dan een jaarlijkse balans publiceert [70].

Hoeveel CO₂ brengen wij nu jaarlijks in de atmosfeer? Dat weten we al zo’n 60 jaar vrij precies [70]. Rond 2020 voegden we jaarlijks zo’n 34 GtCO₂ toe. Inmiddels na de dip door de Covid-pandemie nu alweer zo’n 36 GtCO₂ (Gt staat voor Gigaton, in kilo’s een 1 met 12 nullen). Naast die 34 GtCO₂ voegden we ook jaarlijks(!), effectief nog 6 GtCO₂ extra toe door de veranderingen die wij aan de Aarde toebrengen: boskap, steden-/wegen aanleg, ontginning voor landbouw etc. Dat is een schatting en zou ook 2x zo veel kunnen zijn. Totaal voegen we dus iets als 40 GtCO₂ per jaar toe. Met een groeiende fossiele uitstoot, maar een afnemende bijdrage door veranderingen, is dat totale niveau al gedurende het afgelopen decennium min of meer constant [70]. In de atmosfeer verdeeld, is die hoeveelheid equivalent aan zo’n 5 ppm per jaar [70], ofwel iets meer dan 1 % van de 420 ppm die er tegenwoordig al zit. In Giga-tonnen lijkt dat allemaal heel veel CO₂, maar in de natuurlijke processen zoals opname in het bladgroen in het voorjaar en het afsterven/rotten van gewassen in

het najaar, wordt jaarlijks bijna 800 GtCO₂ door de natuur aan CO₂ heen en weer gepompt tussen die betrokken reservoirs, waaronder de oceaan die als buffer optreedt. Het antropogene aandeel dat wij er jaarlijks aan toevoegen is dus maar 5% van de natuurlijke CO₂ stromen. Je moet dan wel heel zeker zijn dat de natuurlijke processen zo constant zijn dat je dat verschil, en alle daaraan gerelateerde effecten, zonder meer kunt toeschrijven aan de mens.

In dat natuurlijke proces van het jaarlijks (re)cyclen van die 800 GtCO₂ stelt de invloed van de mens, anders dan de fossiele uitstoot en die geschatte 6 GtCO₂ door bomenkap en landhervorming, niet veel voor. Collectief ademen die 8 Miljard mensen iets meer dan 2,5 GtCO₂ uit. Aangezien we ongeveer ons eigen gewicht aan vlees (inclusief botten) per jaar eten, mag je dat met een factor 2 vermenigvuldigen om onze wereldwijde veestapel mee te tellen. Let wel, dat geheel aan menselijke emissie is dus door de bevolkingsgroei in 100 jaar van 1 naar deze 5 GtCO₂ toegenomen, maar dat heeft de evenwichtsdruk toch niet meer dan 0,5 ppm beïnvloed. Alle andere argumenten die erbij gehaald worden om te laten zien dat vlees eten een bepalende factor is in de klimaatverandering, zijn meer milieu dan klimaat georiënteerd. Minder vlees eten is vast gezond en ongetwijfeld veel minder belastend voor het milieu, maar het is wederom zo'n typische illusie dat het ons klimaat gaat redden.

Hoe dan ook, gezien de metingen groeit de CO₂ concentratie in de atmosfeer met (maar) 2,5 ppm/jaar [46]. Dat houdt dus in, dat van die 40 GtCO₂ uitstoot, de Aarde nu iets meer dan de helft, zo'n 21 GtCO₂ jaarlijks gelukkig weer opneemt in de oceanen (40%) en de biosfeer (60%). Dat laatste uit zich m.n. in de al jaren toenemende mondiale vergroening; een positief gevolg van de toename van de CO₂ en de iets hogere temperatuur [71].

CO₂ is namelijk geen gifgas zoals het vaak in de media wordt neergezet, maar een noodzakelijke bouwsteen voor het leven op Aarde. De laatste 50 miljoen jaar nam de CO₂ concentratie in onze atmosfeer gestaag af doordat de Aarde en daarmee de oceanen, gemiddeld steeds kouder werden. Kouder water neemt nu eenmaal meer CO₂ op. Dat leidde tot het pre-industriële niveau van 280 ppm waar iedereen steeds aan refereert. Maar besef wel, het had niet veel lager moeten worden, want zo rond de 150 ppm houdt het Aardse leven echt op. Beneden dat niveau groeien er simpelweg geen planten meer en dat is nu eenmaal de basis van iedere biologische cyclus. Tuinders weten al lang dat meer CO₂ tot hogere productie leidt en spuiten dan ook extra CO₂ in hun kassen [72]. Of we dat effect ook voornamelijk zien in de gestaag stijgende opbrengsten van de wereldwijde landbouwproductie [73], is misschien een vorm van "*wishful thinking*". Niet alle plant-types reageren even positief op meer CO₂, en bovendien betere landbouwtechnieken, kunstmest en gewasveredeling dragen ongetwijfeld ook sterk bij aan de verbeterde opbrengsten. Maar toch is die "vergroening" in z'n algemeenheid goed nieuws. Bovendien, door de temperatuurstijging wordt het groeiseizoen op hogere breedtegraden langer. En dat helpt m.n. ontwikkelingslanden waar voldoende voedsel nog altijd prioriteit #1 is. China en India wrijven zich ongetwijfeld in de handen omdat het in die landen daardoor iets makkelijker wordt om al die miljarden monden te voeden. Het is vast niet de primaire reden waarom deze landen niet geneigd zijn hun CO₂-emissies te beperken, maar je moet aannemen dat ze goed beseffen wat die extra CO₂ doet [74].

Klimaatalarmisten in onze westerse wereld die roepen dat we terug moeten naar pre-industriële CO₂-concentraties en volgens hun AGW-hypothese: bijbehorend lagere temperaturen, begrijpen kennelijk niet wat voor ellende qua voedselvoorziening, ze daarmee zullen aanrichten. Het gaat dan namelijk niet om zomaar een procentje verlaging van de opbrengst, maar over tientallen procenten

tot zelfs wel een factor 2 voor bepaalde gewassen. Hier geen probleem, wij hebben de luxe van overproductie, maar wel elders waar ze nog altijd voedseltekorten kennen. Toch even een voorbeeld uit de westerse wereld in lijn met het eerder aangehaalde CIA-rapport [10]: studies laten zien dat de graanoogst in Canada ongeveer zal halveren bij 1 °C lagere temperaturen en zal decimeren bij 2 °C minder, m.n. omdat het groeiseizoen veel korter wordt [75].

Van die eerdergenoemde 34 GtCO₂ per jaar emissies komt bijna 30% uit China, 15% uit de V.S. en maar 8% uit de EU [70]. Waar de uitstoot in de EU en de V.S. langzaam iets afneemt, groeit de uitstoot in landen als China en India veel harder dan wij in de westerse wereld ooit kunnen bezuinigen. Een deel van de westerse afname in CO₂-emissies is echter “schijn”, en slechts een gevolg van het verplaatsen van onze industrie naar het verre oosten. Voor iedere kolencentrale die wij sluiten, bouwen ze er daar zo maar tientallen bij [76]. Daar is de grootste groei, niet alleen in bevolking maar ook in economie. En er gaan de komende jaren nog vele landen in Azië en Afrika bijkomen. Steenkool is simpelweg de goedkoopste bron van energie en kolencentrales zijn de eenvoudigste, betrouwbaarste en continu leverende energiecentrales die je voor de laagste kosten kunt laten draaien. Welk ontwikkelingsland zou nu massaal voor dure wind- en zonne-energie kiezen, waarvan de leverbetrouwbaarheid slecht is? Dat ga je alleen maar doen als je eerst een goed-stabiele energieproductie hebt geïnstalleerd. Daarna kun je daar best wat windmolens of zonneparken aan toevoegen, maar daar begin je niet mee: te duur en onbetrouwbaar.

Wij moeten dat soort technologieën ook nog altijd flink subsidiëren. En zonder “*back up*” van de bestaande, gasgestookte centrales zouden we regelmatig in het donker zitten omdat er te weinig zon en/of wind is. Met die onzekere elektriciteitsproductie, leveren ze daardoor gemiddeld in de praktijk ook veel minder dan de geïnstalleerde capaciteit indiceert; optimistisch beschouwd, hooguit toch maar in de orde van 20 % voor zonnepanelen en zo’n 50 % voor windmolens. Deze zgn. *renewables* zijn dus ook helemaal niet zo effectief. Van windmolens kunnen we ons zelfs afvragen of ze ooit een bijdrage gaan leveren, want de economische terugverdientijd is aanzienlijk langer dan de levensduur [77]. Weer zo’n illusie die ons verkocht wordt als “ultieme oplossing”. Dat alles wordt betaald middels subsidies in investeringen/lasten in de benodigde infrastructuur voor de aansluiting op het bestaande net en garanties/garantieprijsen voor de afname van de opgewekte energie. Op uw elektrarekening kunt u dat soort significante subsidies als “opcenten” makkelijk terugvinden. “Voor niets gaat de zon op”, maar er massaal elektriciteit mee maken, kost nog altijd heel veel geld. Wil je CO₂ reduceren, dan moet je eerst het nutteloze energiegebruik terugdringen en dat begint o.a. met het thermisch veel beter isoleren van alle huizen en gebouwen. Veruit de goedkoopste oplossing waar iedere burger baat bij heeft, en niet alleen de aandeelhouders van de Vattenfall’s van deze wereld.

In Azië en Afrika zijn ze echter niet gek, en laten dat ook herhaaldelijk blijken in hun keuzes die “wij”, politiek-correcte Westerse naties niet meer zien zitten. Kennelijk bekijken die mensen de klimaatverandering vanuit een ander perspectief dan wij. Waarschijnlijk als “kans”, en niet als “bedreiging”. En het zal ons niet lukken ze van die gekozen weg af te krijgen, tenzij wij ze heel veel betalen [78, 79]. Bewoners in die landen willen immers ook snel groeien naar ons welvaartsniveau. Zie het aantal economische vluchtelingen uit m.n. Afrika. Je kunt ze geen ongelijk geven. Volgens de Verenigde Naties zijn dat echter “klimaatvluchtelingen”; het is maar in welk verhaal je gelooft.

Je kunt met de eerdergenoemde getallen nu een simpel sommetje maken op grond van de te verwachten mondiale bevolkingsgroei [80]: tot 10 Miljard aardbewoners rond 2060, en daarna

aflopend naar 9 miljard in 2100. Er zal naast groei in m.n. India en Afrika, ook een toename in welvaart in die landen zijn, hetgeen zich vertaalt in een toename van de CO₂-uitstoot per hoofd van de bevolking. Op dit moment is het mondiale gemiddelde 4,7 tCO₂ uitstoot per hoofd van de wereldbevolking, en door welvaartsverbetering in de ontwikkelingslanden zal dat oplopen tot iets als 6 tCO₂ [70]. Dat is de huidige uitstoot van de gemiddelde Europeaan; een prima levensstandaard. Waarschijnlijk wordt de zo berekende totale emissie van 55 GtCO₂/jaar, hetgeen equivalent is aan iets meer dan 7 ppm/jaar tussen 2050 en 2100, wel iets minder door een andere mix van brandstoffen (meer gas), een groeiend aandeel kernenergie en ook relatief wat meer zonne- en windenergie. Maar deze som laat al zien dat de jaarlijkse emissies zeer waarschijnlijk nog met 50% zullen stijgen, ongeacht wat wij in Europa doen. Als Europa tegen die tijd “*net zero*” is, dus nagenoeg fossielvrij en ongetwijfeld ook een stuk minder welvarend, zal het in de mondiale emissie hooguit 5% (!) op jaarbasis schelen. Mondiaal gezien, totaal niet relevant.

Kortom, weer zo’n klimaat-illusie dat “wij” de wereld gaan redden met windmolens en zonnepanelen. We schieten ons zelf economisch gezien hooguit in de voet met dat soort onbetrouwbare energiebronnen. Zonder betrouwbare elektriciteitsleverantie kan een 24-uurs economie als de onze niet functioneren. Het lijkt dan ook zeer onwaarschijnlijk dat er ook maar één gasgestookte centrale gesloten gaat worden, ondanks al die wind- en zonne-parken. Want het idee dat batterij-technologie ons gaat redden op de dagen dat er niet voldoende zon of wind is, leeft alleen in de hoofden van mensen die geen notie hebben hoe batterijen werken of gemaakt worden, en wat dat kost. Nog afgezien van het enorme milieuprobleem dat we ermee zullen genereren. Maar onwetendheid helpt natuurlijk wel bij het bouwen van luchtkastelen. Zelfs vaak nog met ingebouwd rampscenario. Helaas, de brave burger betaalt uiteindelijk altijd het gelag.

Maar afgezien daarvan, moeten we ons nu grote zorgen maken over die enorme, nog te verwachten, mondiale CO₂ uitstoot bij dit realistische, *business as usual* scenario dat groeit naar een uitstoot van wel 55 GtCO₂ per jaar? Het IPCC schreeuwt natuurlijk “moord en brand” (ook recent weer) maar als we niet die absurde 3x opwarming van hen gebruiken en ons beperken tot “normale” waardes voor de klimaatgevoeligheid, dan valt het allemaal nogal mee. Als we het kunnen vermijden, bv. middels de inzet van kernenergie, en dat is eigenlijk de enige bewezen optie daarvoor, moeten we het om diverse redenen (o.a. Poetin) zeker niet nalaten. Maar hoe dan ook, het gaat allemaal niet de ramp worden zoals het IPCC en in hun kielzog vele doemdenkers, voorspellen.

Uit die geschatte 55 GtCO₂ uitstoot per jaar in de periode 2050-2100, berekenen we dat de CO₂ concentratie in de atmosfeer maximaal ongeveer 650 ppm kan worden [81, 81b]. Deze betrekkelijk lage waarde heeft te maken met het CO₂-opnemend vermogen van de Aarde van al dat exces aan CO₂. Op dit moment wordt zoals hierboven geschetst iets meer dan 50% van de jaarlijkse emissies ook weer opgenomen door de oceanen en de biosfeer [70]. Maar naarmate de concentratie groeit wordt er relatief steeds meer weggevangen, en dat RCP8.5 scenario gaan we daarom dan ook nooit halen. Daarvoor zouden we bijna 150 GtCO₂ moeten uitstoten in 2100. Dat is echt ondenkbaar veel! Deze 650 ppm past wel keurig bij het RCP4.5 scenario, en de daardoor te verwachten antropogene opwarming is niet veel meer dan 1 °C t.o.v. de pre-industriële periode. Uiteraard alleen als we de ECS van 0,8 °C/2xCO₂ aanhouden zoals al eerder toegelicht. Die magische grens van maximaal 1,5 °C antropogene opwarming, waar die ook vandaan mag komen, gaan we dus sowieso, niet halen. Het IPCC meent die beperkte opwarming natuurlijk weer met 3 te moeten vermenigvuldigen en 3 °C is natuurlijk wel behoorlijk ver voorbij dat magische *tipping-point*.

Maar hoe komt het IPCC nu aan scenario's als het RCP8.5? Het IPCC gebruikt uiteraard geen fundamenteel andere emissie-schattingen dan hierboven. Echter wel een heel ander model voor hoelang die extra CO₂ in de atmosfeer blijft "hangen". Het IPCC beroept zich daar op het zgn. Bern-model [82], een theoretisch verhaal over alle Aardse processen betrokken bij de natuurlijke CO₂ opslag. Die zijn er vele en allemaal met een eigen karakteristieke tijd waarmee dat betreffende proces die opslag bewerkstelligt. Het merkwaardige aan dat hele model is dat de CO₂ opslag op korte termijn heel anders reageert dan op lange termijn. Uiterst vreemd gedrag en erg on-fysisch omdat al die verschillende procestijden uiteindelijk toch maar één enkele karakteristieke verblijfstijd kan opleveren [81]. Immers, welk CO₂-molecuul in de atmosfeer ook, ze zijn allemaal in principe identiek en on-onderscheidbaar. Van geen enkel CO₂-molecuul in de atmosfeer weten we dus waar het ooit vandaan is gekomen, noch hoe lang het al in de atmosfeer zit. Voor CO₂-moleculen bestaat er dus geen korte of lange termijn, zelfs geen natuurlijke of antropogene afkomst. Als ze toevallig de oceaan in duiken of ingevangen worden in een blad van plant of boom, zijn ze weg. En die kans is nu eenmaal op basis van basale natuurkunde, evenredig met de "overdaad", de (partiële) overdruk aan CO₂ t.o.v. de evenwichtsconcentratie [81]. Die laatste zal iets als de pre-industriële concentratie van 280 ppm moeten zijn. Op basis van de emissiegegevens, kunnen we met dit eenvoudige model, op 1 ppm nauwkeurig het verloop van de, tussen 1960 en 2020 nauwkeurig gemeten CO₂-concentratie in de atmosfeer berekenen [81, 83, 84]. Daar komt een karakteristieke verblijfstijd van zo'n 50 jaar uit, en niet die rare tijden van het IPCC die ons steeds probeert wijs te maken dat, m.n. de antropogene CO₂ wel honderden (!) jaren blijft hangen. Ook dat soort getallen blijven maar rondzingen in de media en worden klakkeloos geaccepteerd. En dergelijke, onwezenlijk lange verblijftijden leiden weer tot die hele hoge concentratie-scenario's zoals RCP8.5.

In dit kader nog een laatste opmerking over de recente ophef over onderrapportage t.a.v. de uitstootgegevens van diverse landen. Natuurlijk niet acceptabel, maar paradoxaal genoeg is dat eigenlijk heel goed nieuws. Het betekent dat de gemiddelde verblijfstijd van exces CO₂ in de atmosfeer nog aanzienlijk korter moet zijn dan die eerdergenoemde 50 jaar. Immers er wordt kennelijk meer uitgestoten. De aanwas van CO₂ in de atmosfeer is echter een gemeten waarde en geen schatting. Dat houdt in dat de opnamesnelheid van CO₂ door de Aarde groter moet zijn dan die eerder berekende waarde. Overigens die 50 jaar is ook al een bovengrens omdat een eventuele bijdrage van natuurlijke bronnen effectief ook een onderrapportage zou betekenen. Bij 20% onderrapportage moet de verblijfstijd iets als 40 jaar zijn en zakt de eerder berekende 650 ppm zelfs naar bijna 560 ppm. En dat betekent dat zelfs bij dit *business as usual* scenario, de CO₂ concentratie niet hoger gaat komen dan het dubbele van de pre-industriële waarde van 280 ppm.

Hoe dan ook deze hele analyse van de CO₂ scenario's maakt duidelijk hoe het angstbeeld van de a.s. klimaatramp op alle mogelijke manieren ondersteund moet worden door sterk overdreven aannames. Niet alleen met klimaatmodellen die veel te warm lopen, maar zelfs met niet realistische CO₂ scenario's waar je met simpele berekeningen zo doorheen prikt. Aperte onzin of niet, het maakt het IPCC kennelijk niet uit zolang ze maar schrik aanjagen. Uitleggen en verantwoording afleggen is dan niet meer nodig. Maar dat een instituut als het KNMI dat echt beter zou moeten weten, het RCP8.5 scenario gebruikt om ons met 1,2 m zeespiegelstijging schrik aan te jagen, is nog veel bedroevender.

Die overdrijving middels het RCP8.5 scenario geldt dus ook voor vele van die eerder al genoemde "gevolgstudies". Er zijn echt ook wel serieuze, goed gebalanceerde studies en opwarming heeft echt ook wel negatieve effecten. Maar die studies halen meestal niet het nieuws. Wil je de media

bereiken dan geldt bijna altijd: *“als het maar bijdraagt aan het verhaal van die onleefbare toekomst”*. Of het nu het bleken van koraalriffen betreft (wat al eeuwen gebeurt en slechts tijdelijk is [85, 86]), het afkalven van brokken ijs van de poolkappen (wat ook al eeuwen plaatsvindt; denk aan de *Titanic*), het uitsterven van de ijsberen (terwijl de populatie al jaren groeit omdat we ze al een tijdje niet meer massaal afschieten), de toenemende hongersnoden in de Sahel (door een explosieve bevolkingsaanwas met veel te veel mensen op een altijd al heel schraal stuk land), de heftige regenval in Limburg (toevallige weersomstandigheid [87]) of de toename in het aantal tornado's (aantallen nemen juist af [88], maar de schade neemt toe).

Allemaal continu in de media toegeschreven aan, en passend bij, een overtrokken inschatting van de invloed van de mens op het klimaat. Waar vroeger een tornado meestal over een onbewoond stuk land uitraasde, verwoest die nu geheid een heel dorp, met alle ellende van dien. Exact hetzelfde geldt voor bosbranden [89] en overstromingen, overal ter wereld sterk verminderd in aantal sinds 1900, maar met veel grotere schades doordat ze veel vaker bewoonde gebieden treffen dan vroeger. En door de groeiende urbanisatie, met vaak een overdaad aan getroffenen en navenante schade. Media-aandacht wereldwijd verzekerd! En uiteraard, brandstof voor het bekende verhaal over die “door de mens veroorzaakte klimaatverandering”. Iets de schuld kunnen geven, werkt voor het brede publiek kennelijk geruststellend en voor de media verkoopt zo'n “kop” altijd! Overigens, veel van de zaken die er onder de kop “klimaat” worden gemeld, horen echter onder de kop “milieu” te staan. Daarin maken wij mensen natuurlijk op Aarde wel de dienst uit en zelden in positieve zin.

Maar een allesbepalende invloed van de mens op het klimaat? Nee, die is niet zo groot. De opwarming van nu, is maar ten dele te verklaren met puur antropogene invloeden. Naar schatting hooguit iets als 1/3 van de huidige opwarming, waarbij natuurlijke effecten de rest doen. Dat antropogene deel zal tegen het einde van de eeuw hoe dan ook stoppen als we als mensheid “uitgegroeid” zijn, en maximaal 1 °C toegevoegd hebben. Hoe het natuurlijke aandeel zal verlopen in de tijd, is niet te voorspellen. Het kan immers net als rond 1950, morgen zomaar weer kouder worden. Als het op voorspellen aankomt, is onze kennis van het klimaat vooralsnog veel te gering.

Kijken we ook naar het Aardse klimaat-verleden, dan is dat altijd redelijk constant gebleven binnen niet al te extreme temperaturen, zelfs met hele grote variaties in de CO₂ concentraties. De mensheid als soort, heeft een groot aantal van die natuurlijke cycli steeds weer overleefd. We kunnen qua klimatologische omstandigheden, heel wat aan. Vergeet niet, dat 90% van de mensen al eeuwen leeft in een lokaal klimaat ergens tussen 5 en 25 °C gemiddeld. De tienduizenden Inuit in Noord-Canada zelfs bij gemiddeld -10 °C, met in de wintermaanden -25 °C. De 200.000(!) inwoners van een stad als Jacobabad in Pakistan bij +30 °C, met maanden van +45 °C of zelfs hoger. Als die mensen daar dat als ondraaglijk zouden ervaren, waren ze er allang weggegaan. De mens past zijn/haar levensstijl kennelijk naadloos aan bij de meest extreme omstandigheden of vertrekt naar elders. De aangeprate angst dat we de huidige cyclus die gepaard gaat met een opwarming van 1 of misschien wel 2 graden, niet meer overleven, is dan ook totaal ongegrond. Dat de voedselproductie in gevaar zou komen is nog zo'n ongefundeerde mythe. Natuurlijk, als je in de Sahel woont denk je daar vast heel anders over, maar op hogere, wat koudere breedtegraden, zullen de boeren het alleen maar makkelijker krijgen omdat de oogstseizoenen langer en qua opbrengst, rijker worden. En zo zijn er nog veel meer “Indianenverhalen” over de effecten van een iets warmer klimaat.

Het merendeel van de flora en fauna past zich net als de mens aan, verplaatst zich, of sterft uit. Zo is het leven hier op Aarde al miljoenen jaren geregeld en de huidige snelheid van opwarming is echt al veel vaker vertoond. Gemakshalve wordt vaak vergeten dat het uitsterven van allerlei soorten al

eeuwen een direct effect is van onze massale aanwezigheid als mensheid, en ons weinig respectvol gedrag t.a.v. andere soorten. Is het niet de jacht, dan is het de ontbossing of de milieuvervuiling door de mens die het (over)leven van een groot aantal diersoorten onmogelijk maakt.

En dan is er nog het type beleidsmakers dat denkt dat de wereld inmiddels “maakbaar” is. Weer zo’n illusie, of wordt “het klimaat” dan toch het eerste succes van die zelf-overschatte maakbaarheid? En als er al effecten zijn waar we wat tegen kunnen doen, zoals bijvoorbeeld een zeespiegelstijging van een paar decimeters, dan hebben we tijd genoeg om ons daartegen te wapenen. Die zeespiegel stijgt al sinds de Kleine IJstijd in een gestaag tempo met iets minder dan 2 mm/jaar. De klimaat-alarmistische geluiden (ook van het KNMI) dat het nu toch door de menselijke opwarming “versneld” uit de hand gaat lopen, zien we (gelukkig) totaal niet terug in de metingen [90].

Paniek is zoals altijd, een slechte raadgever. Laten we ons dus maar met het oplossen van “echte” wereldproblemen bezighouden. Die zijn er nog te over en het klimaat staat daarbij wat mij betreft niet al te hoog. Bovenaan staat educatie (en niet indoctrinatie), en vervolgens het oplossen van het tekort aan schoon en voldoende water. Veel aan het klimaat gerelateerde problemen, m.n. in de derdewereldlanden zijn niet anders dan problemen rond de hoeveelheid lokaal beschikbaar (schoon) water per hoofd van de bevolking en water voor irrigatie t.b.v. de landbouw. Die bevolkingsgroei, in ontwikkelingslanden vaak groter dan die 5x in een eeuw tijd, zie je m.n. in die landen terug in dat gestaag groeiende probleem.

Het idee dat CO₂ de hoofdschuldige is van alle opwarming sinds 1850, is weinig aannemelijk en niet meer dan een onbewezen hypothese. Maatregelen gebaseerd op het idee, dat we de huidige opwarming kunnen stoppen door het volledig uitbannen van fossiele brandstoffen, zullen dan ook niet het geclaimde resultaat hebben. Dat is een totale, en in dit geval ook uiterst kostbare, **ILLUSIE**.

Ad Huijser, mei 2022

Verantwoording.

Alle gegevens in dit stuk zijn zonder al te veel moeite te vinden in het publieke domein. Berekeningen zijn voor de leesbaarheid minimaal gehouden, maar eenvoudig na te rekenen voor lezers met enige technisch/wetenschappelijke achtergrond, dan wel toegelicht in een referentie. Voor geïnteresseerden is er ook een uitgebreide lijst van referenties, waar mogelijk in het Nederlands, of via simpele samenvattingen/uitleg op Engelstalige sites. Helaas is dat niet altijd mogelijk en wordt ook naar vakliteratuur verwezen. Vaak zitten dat soort manuscripten achter een zgn. “betaalmuur”. Waar mogelijk heb ik die vermeden door alternatieven te vermelden.

T.a.v. eventuele belangenverstrengeling: Ik ben totaal onafhankelijk en heb geen enkele band met welke industriële-, politieke- of ideële-partij dan ook.

Referenties.

- [1] Dennis L. Meadows, **De grenzen aan de groei**, Uitgeverij Het Spectrum, 1972

- [2] Zie voor een overzicht/uitleg https://en.wikipedia.org/wiki/Global_cooling en ref.[4]
- [3] Database van de NSSTC (The National Space Science & Technology Center) at the University of Alabama in Huntsville (UAH), zoals bijvoorbeeld voor de Lower Troposphere https://www.nsstc.uah.edu/data/msu/v6.0/tlt/uahncdc_lt_6.0.txt
- [4] De meest bekende temperatuurreksen zijn:
 - Britse MetOffice (HadCrut, <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5/> ,
 - Berkeley Earth (Land + Ocean), <http://berkeleyearth.org/archive/land-and-ocean-data/>
 - NASA/GISS (Gistemp, <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>).
 M.n. de laatste heeft een bedenkelijke reputatie omdat de data uit het verleden nog altijd, naar de laatste metingen automatisch aangepast worden.
- [5] Dijkstra, F., de Vos, R., Ruis, J. *et al* (2022), **Reassessment of the homogenization of daily maximum temperatures in the Netherlands since 1901**. *Theor Appl Climatol* **147**, 1185–1194 <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03887-4>
- [6] Lees uit 1989: <https://apnews.com/article/bd45c372caf118ec99964ea547880cd0> , en dan in het bijzonder de daarin voorspelde rampen rond 2000.
- [7] Al Gore, **An Inconvenient Truth**, RODALE publ. 2006
- [8] Al hun rapporten zijn te vinden op <https://www.ipcc.ch/>
- [9] Zie een goed klimatologisch overzicht over de laatste 1000 jaar op <https://www.climate4you.com/ClimateAndHistory.htm> Er zijn vele studies die deze warme en koude periodes onderschrijven, maar m.n. in de laatste decennia zijn er nogal wat studies die de opwarming in deze MWP ontkennen omdat ze niet passen bij de CO₂ gedreven AGW-hypothese. Met het simpele gegeven dat historisch gezien, warme periodes met welvaart en koude periodes altijd met honger en armoede gekoppeld lijken, kun je niet anders concluderen dan dat het toen relatief warm was.
- [10] Dit oude rapport blijkt onderdeel van een veel uitgebreidere set van studies. Zie bv. <https://www.spectator.co.uk/article/the-cia-s-global-cooling-files>
- [11] Laura J. Larocca and Yarrow Axford (2022), **Arctic glaciers and ice caps through the Holocene**, *Clim. Past*, 18, 579–606, <https://doi.org/10.5194/cp-18-579-2022>
- [12] Geoffrey Parker, **Wereld Crisis**, Omniboek 2022 (Nederlandse vertaling)
- [13] Grafiek/data voor deze HadCET series <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcet/>
- [14] Mann, M. E., Bradley, R. S., Hughes, M. K. (1999), **Northern hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations**, *Geophysical Research Letters*. **26** (6), 759–762
- [15] Nakamura Mototaka (2019), **Confessions of a climate scientist The global warming hypothesis is an unproven hypothesis** (In het Japans, zie Engelse samenvatting op <https://quadrant.org.au/opinion/doomed-planet/2019/09/a-climate-modeller-spills-the-beans/>)

- [16] Zie bv. de uitleg van weer-/klimaatmodellen op de website van het KNMI
<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/weermodellen>
- [17] <https://www.knmi.nl/nederland-nu/weer/waarschuwingen-en-verwachtingen/weer-en-klimaatpluim>
- [18] Frank P. (2019), **Propagation of Error and the Reliability of Global Air Temperature Projections**, Front. Earth Sci. 7:223,
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2019.00223/full>
- [19] Frank P. <https://wattsupwiththat.com/2015/02/24/are-climate-modelers-scientists/>
- [20] Willis Eschenbach, <https://wattsupwiththat.com/2021/03/12/there-are-climate-models-and-there-are-climate-models/>
- [21] W. W. Kellogg and S. H. Schneider (1974), **Climate Stabilization: For Better or for Worse?**, Science Vol 186, 1163-1172 91974)
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.186.4170.1163>
- [22] McKittrick, R., & Christy, J. (2018). **A test of the tropical 200- to 300-hPa warmingrate in climate models**, Earth and Space Science ,5, <https://doi.org/10.1029/2018EA000401>
- [23] J. Christy,
https://www.nsstc.uah.edu/users/john.christy/docs/ChristyJR_Written_170329.pdf
- [24] Scafetta, N. (2021), **Testing the CMIP6 GCM Simulations versus Surface Temperature Records from 1980–1990 to 2011–2021: High ECS Is Not Supported**. *Climate*, 9, 161,
<https://doi.org/10.3390/cli9110161>
- McKittrick, R., & Christy, J. (2020), **Pervasive Warming Bias in CMIP6 Tropospheric Layers**, Earth and Space Science, 7, <https://doi.org/10.1029/2020EA001281>
- [25] Willis Eschenbach, <https://wattsupwiththat.com/2022/03/16/climate-models-dont/>
- [26] Ad Huijser, <https://wattsupwiththat.com/2022/02/21/outside-the-black-box/>
- [27] [ISCCP: Cloud Climatology \(nasa.gov\)](https://www.nasa.gov/science/100000main/isccp-cloud-climatology) “...A doubling in atmospheric carbon dioxide (CO₂), predicted to take place in the next 50 to 100 years, is expected to change the radiation balance at the surface by only about 2 percent. Yet according to current climate models, such a small change could raise global mean surface temperatures by between 2-5°C (4-9°F), with potentially dramatic consequences. If a 2 percent change is that important, then a climate model to be useful must be accurate to something like 0.25%. Thus today's models must be improved by about a hundredfold in accuracy, a very challenging task. To develop a much better understanding of clouds, radiation and precipitation, as well as many other climate processes, we need much better observations.”
- [28] ongepubliceerd, maar voor een uitleg/achtergrond zie: Rob de Vos,
<https://klimaatgek.nl/wordpress/2020/12/01/de-zon-en-de-opwarming-van-nederland/>
- [29] <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-14-klimaatscenario-s>

- [30] Ad Huijser (2021), <https://www.clepair.net/clouds-AdHuijser.pdf>
- [31] J. Kaupinnen and P. Malmi (2019), **No experimental evidence for the significant anthropogenic climate change**, [1907.00165.pdf \(arxiv.org\)](https://arxiv.org/abs/1907.00165)
- [32] Clive Best, <https://clivebest.com/blog/?p=5694>
- [33] Uitgebreide data-sets: <https://isccp.giss.nasa.gov/index.html>
Grafische representaties op: <https://www.climate4you.com/ClimateAndClouds.htm>
- [34] Martin Wild (2012), **Enlightening Global Dimming and Brightening**, Bulletin of the American Meteorological Society, vol 93(1), 27-37,
https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/93/1/bams-d-11-00074_1.xml?tab_body=pdf
- [35] <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/aerosolen>
- [36] <https://www.climate-policy-watcher.org/organic-aerosol/aerosol-and-climate-modeling.html>
- [37] Een goed overzicht van de klimaatproblemen uit die tijd:
<https://www.climate4you.com/ClimateAndHistory%201600-1699.htm>
- [38] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Maunderminimum>
- [39] zie o.a. de website van het SIDC, Solar Influence Data Analysis Center v/h Royal Observatory of Belgium: <http://www.sidc.be/>
of samenvattingen op : <https://www.climate4you.com/Sun.htm>
- [40] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Dalton-minimum>
- [41] Henrik Svensmark (2019), **Force Majeur, The Sun's Role in Climate Change**, GWPF Report 33,
<https://www.thegwpf.org/publications/new-paper-solar-impact-on-climate-greater-than-thought/>
- [42] Nir J. Shaviv (2015), <http://www.sciencebits.com/NothingNewUnderTheSun-I> & part II and III
bekijk ook zijn Hebrew University of Jerusalem website: <http://old.phys.huji.ac.il/~shaviv/>
- [43] <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/>, maar voor een illustratief kaartje zie:
<https://www.popularmechanics.com/science/environment/a32496561/why-magnetic-north-pole-moving/>
- [44] CO₂ data: Global Monitoring.Lab, @ Mauna Loa <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/data.html>
- [45] Het effect van CO₂ wordt uitgedrukt als *forcing* F, de onbalans tussen de in- en uitstraling op de top van de atmosfeer (TOA) die een bepaalde concentratieverandering veroorzaakt. Daarbij geldt $F = W \cdot \ln(C_1/C_0)$ waarin W een eigenschap is van CO₂ in een bepaalde atmosferische samenstelling bij een gegeven verticale temperatuurverdeling, en C₀ en C₁ de CO₂ concentraties op begin- en eindsituatie. Met C₁=2xC₀ geldt dus $F_{2 \times CO_2} = W \cdot \ln 2$.

- [46] De klimaatgevoeligheid is hier bepaald volgens $ECS = \Delta T \cdot \ln 2 / \ln (C_1/C_0)$ waarbij gebruik is gemaakt van de relatie $\Delta T = F/\lambda$, de ultieme temperatuurverandering a.g.v. een stapsgewijze *forcing* F met als evenredigheidsconstante de Planck feedback parameter $1/\lambda = 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}/\text{m}^2$
- [47] De zo bepaalde klimaatgevoeligheid is een benadering van de ECS, en ligt ergens tussen deze ECS en de ook vaak gebruikte TCR, de *Transient Climate Response*, in. Voor bepaling van de ECS moet er stralings- en energiebalans in het gehele klimaatstelsel zijn, of moeten we die onbalans kennen. Die balans is er nooit, en de onbalans kunnen we experimenteel niet met voldoende nauwkeurigheid meten. Dat maakt voor de these hier niet veel uit. Algemeen wordt in de huidige situatie aangenomen dat $ECS \approx 1,5 \times TCR$, zie o.a. Millar, R. J. *et al* (2015), **Model structure in observational constraints on transient climate response**. *Climatic Change*, 131(2), 199–211. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1384-4>
- [48] Scafetta, N. (2021), **Reconstruction of the Interannual to Millennial Scale Patterns of the Global Surface Temperature**. *Atmosphere*, 12(2) <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/2/147>
- [49] Myhre *et al* (1998), **New Estimates of Radiative Forcing due to Well Mixed Greenhouse Gases**, *Geophysical Research Letters*, vol 24, 2715-2718
- [50] W.A. van Wijngaarden and W. Happer (2021), **Relative Potency of Greenhouse Molecules**, <https://arxiv.org/abs/2103.16465v1>
- [50b] Geïnteresseerde lezers kunnen het effect van broeikasgassen als CO₂ en CH₄, maar ook van bewolking en het effect van deze “water vapor feedback” zelf berekenen via het on-line klimaatmodel “MODTRAN” <http://climatemodels.uchicago.edu/modtran/> van de Universiteit van Chicago. Dit model berekent de forcings op de Aardse stralingsbalans op basis van de spectrale eigenschappen van de diverse gassen, net als in refs. [49] en [50].
- [51] C. Rentsch (2021), **Radiative forcing by CO₂ observed at top of atmosphere from 2002-2019**, <https://doi.org/10.48550/arXiv.1911.10605v2>
- [52] Richard Lindzen and Y-S Choi (2011), **On the Observational Determination of Climate Sensitivity and Its Implications**, *Asia-Pacific J. Atmos. Sci*, 47(4), 377-390
- [53] <https://www.climate4you.com/ClimateAndClouds.htm> and/or <https://wattsupwiththat.com/2013/03/06/nasa-satellite-data-shows-a-decline-in-water-vapor/>
- [54] Jim Steele, <https://perhapsallnatural.blogspot.com/2021/10/how-transport-of-tropical-ocean-heat.html>
- [55] Willis Eschenbach, <https://wattsupwiththat.com/2016/08/20/putting-it-on-the-line/>
- [56] Desbruyères, D., Chafik, L. & Maze, G. (2021), **A shift in the ocean circulation has warmed the subpolar North Atlantic Ocean since 2016**. *Commun Earth Environ* 2, 48 <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00120-y>
- [57] Washington Times, 3 dec 1922, **Strange Things Are Happening in the Frozen Arctic**

- [58] Bob Tisdale (2012), **Who Turned on the Heat: *The Unsuspected Global Warming Culprit, El Niño-Southern Oscillation*** free download:
<https://bobtisdale.wordpress.com/2012/09/03/everything-you-every-wanted-to-know-about-el-nino-and-la-nina-2/>
- [59] Willis Eschenbach, <https://wattsupwiththat.com/2020/11/08/boy-child-girl-child/>
 en: <https://wattsupwiththat.com/2019/05/16/half-of-21st-century-warming-due-to-el-nino/>
- [60] Rob de Vos, <https://klimaatgek.nl/wordpress/2022/01/12/is-de-elfstedentocht-echt-verleden-tijd/>
- [61] on-line/actuele satellietgegevens van een groot aantal klimaat-relevante parameters:
<https://earth.nullschool.net/>
- [62] klimaat-data wereldwijd: https://climatoreanalyzer.org/reanalysis/monthly_maps/
- [63] <https://ourworldindata.org/world-population-growth>
<https://ourworldindata.org/urbanization>
- [64] Rob de Vos, <https://klimaatgek.nl/wordpress/2022/01/02/uhi-effecten-in-nederland/>
- [65] Glacier Nat. Park, Montana <https://www.nps.gov/glac/learn/nature/glaciersoverview.htm>
- [66] <https://www.washingtonpost.com/weather/2021/10/01/south-pole-coldest-winter-record/>
- [67] <https://climate.nasa.gov/ask-nasa-climate/2982/fire-and-ice-why-volcanic-activity-is-not-melting-the-polar-ice-sheets/> en/of:
<https://www.nationalgeographic.com/science/article/110715-undersea-volcanoes-antarctica-science-tsunamis>
 Rob Govers, de Volkskrant van 20/1/2022, <https://www.volkskrant.nl/wetenschap/hoe-onderzeese-vulkanen-als-die-bij-tonga-zo-tekeer-kunnen-gaan-en-waarom-ze-dat-meestal-niet-doen~b4ae24f5/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>
- [68] https://nl.wikipedia.org/wiki/RCP_scenario%27s . Sinds kort heten die RCP's van het IPCC plots SSP's, *Shared Socioeconomic Pathways*. Het geeft misschien beter aan waar ze vandaan komen, maar het principe is echter niet anders.
- [69] <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-klimaatsignaal-21>
- [70] <https://www.globalcarbonproject.org/>
<https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/21/presentation.htm>
 Ter conversie: 1 ppm in de atmosfeer is equivalent met 7,77 GtCO₂ of 2,12 GtC
- [71] <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/carbon-dioxide-fertilization-greening-earth>
- [72] <https://royalbrinkman.nl/kennisbank-gewasverzorging/hoeveelheid-co2-kas-verhogen>
- [73] worldwide-opbrengsten landbouw: <https://ourworldindata.org/crop-yields>
- [74] http://www.co2science.org/data/plant_growth/plantgrowth.php

- <https://co2coalition.org/facts/co2-increase-is-enhancing-corn-production-a-lot/>
- Reuters news; <https://www.reuters.com/world/india/indian-farmers-expect-harvest-record-wheat-rice-crops-this-year-2021-05-25/>
- [75] Jeannie Rosenburg, **Nucliar Famine**, <https://slideplayer.com/slide/4571156/>
- [76] <https://www.ad.nl/buitenland/plannen-voor-ruim-zeshonderd-nieuwe-kolencentrales-in-azie-ondermijnen-klimaatdoelen~a88894f2/>
- [77] Fred Udo, https://fredudo.home.xs4all.nl/Zwaaipalen/De_economie_van_windenergie.html
- [78] <https://nos.nl/artikel/2405092-arme-landen-willen-geld-zien-discussie-overschaduw-t-klimaatop>
- [79] https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-04-05/india-needs-12-4-trillion-for-net-zero-transition-report-says?mc_cid=9acd144434&mc_eid=4961da7cb1
- [80] <https://scientias.nl/wereldbevolking-groeit-tot-2064-en-neemt-daarna-af/>
- [81] C. Le Pair and A. Huijser (2020), **How does CO₂ Escape?** <http://www.clepair.net/oceanCO2-4.html>
- [81b] De CO₂ uitstoot zal in de periode 2050-2100 redelijk stabiel zijn op de gemelde 55 GtCO₂/jaar ofwel 7,15 ppm/jaar. In dat geval zal de jaarlijkse verandering van de concentratie in de atmosfeer tegen het jaar 2100 ongeveer nul zijn. Volgens het model van [81] levert dat (in ppm) de relatie $C_{2100} \approx 280 + T \cdot B_{2100}$, waarin C_{2100} de atmosferische concentratie en B_{2100} de uitstoot in het jaar 2100 is, en T de karakteristieke verblijfstijd van exces CO₂ in de atmosfeer.
- [82] Strassmann, K. M. and Joos, F. (2018), **The Bern Simple Climate Model (BernSCM) v1.0: an extensible and fully documented open-source re-implementation of the Bern reduced-form model for global carbon cycle–climate simulations**, *Geosci. Model Dev.*, 11, 1887–1908, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-1887-2018>
- [83] Roy Spencer, <https://www.drroyspencer.com/2020/02/nature-has-been-removing-excess-CO2-4x-faster-than-ipcc-models/>
- [84] Willis Eschenbach, <https://wattsupwiththat.com/2022/02/15/feeling-the-bern/>
- [85] Hao Wang *et al* (2021), **New evidence for the periodic bleaching and recovery of *Porites* corals during the mid-late Holocene in the northern South China Sea**, *Global and Planetary Change*, Volume 197, 103397 <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103397>
- [86] Zhao, W., Huang, Y., Siems, S., & Manton, M. (2021), **The role of clouds in coral bleaching events over the Great Barrier Reef**, *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL093936. <https://doi.org/10.1029/2021GL093936>
- [87] Rob de Vos, <https://klimaatgek.nl/wordpress/2021/07/15/neerslag-in-zuid-limburg/>
- [88] Judith Curry, <https://judithcurry.com/2021/12/16/tornado/#more-28151>

- [89] https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/burnt-forest-area-in-five-2#tab-chart_4
- [90] Rob de Vos, <https://klimaatgek.nl/wordpress/2022/04/13/zeespiegelstijging-langs-de-nederlandse-kust-t-m-2020/>
- [91] Ventura Francesco *et al* (2021), **Environmental variability directly affects the prevalence of divorce in monogamous albatrosses**, Proc. R. Soc. B.2882021211220212112
<http://doi.org/10.1098/rspb.2021.2112>