

# 1

## WAT IS KLIMAATVERANDERING?

Klimaatverandering is letterlijk van alle tijden. De aarde is in zijn lange geschiedenis geregeld drastisch opgewarmd en afgekoeld. Soms was er nergens ijs op onze planeet te bekennen, andere keren was die juist veranderd in één grote sneeuwbal. Het duurde soms wel honderdduizenden jaren voordat deze transformaties hun hoogtepunt bereikten, waarna de temperatuur langzaam weer de andere kant opging.

We leven nu in het tijdperk van het holoceen, de jongste geologische periode van de aarde. Die begon bijna 12.000 jaar geleden, op het moment dat de laatste ijstijd op zijn einde liep, de ijskappen zich terugtrokken en de Noordzee ontstond. De stenen van de hunebedden in Drenthe, meegevoerd op de gletsjers uit Scandinavië en vervolgens achtergebleven in de lage landen, zijn hier de stille getuigen van.

Het holoceen maakte de menselijke beschaving mogelijk. Door de oplopende temperaturen waren mensen in het Midden-Oosten in staat om landbouw te gaan bedrijven, in plaats van rond te trekken op zoek naar dieren en zaden. Vervolgens ontstonden dorpen en steden, werden het wiel en het schrift uitgevonden, en begon de mens aan zijn grote vaart der volkeren. Allemaal dankzij een relatief warm en stabiel klimaat – de gemiddelde temperatuur op aarde is in het holoceen nauwelijks veranderd.

Door een iets te snelle sprong voorwaarts van onze samenlevingen is die stabiliteit inmiddels verdwenen. Sinds de uitvinding van de stoommachine en de daaropvolgende industriële revoluties is de uitstoot van koolstofdioxide, voornamelijk als gevolg van de verbranding van olie, kolen en gas, enorm toegenomen. Mensen brach-

ten dit gas al de lucht in door het verbranden van bomen en takken (voor warmte en het bereiden van voedsel), maar hun fossiele varianten bleken véél meer energie te bevatten en werden daarmee een populaire, zelfs onmisbare energiebron. De economische ontwikkeling van de mensheid is in amper twee eeuwen zo opgevoerd, dat het leven zeer comfortabel is geworden. Maar dat is mede te danken aan structurele rooibouw op de planeet. Met alle gevolgen van dien.

Over de verwoesting van de natuur en de leefomgeving valt het nodige te zeggen, maar in dit boek richten we ons op de vraag welke impact de uitbuiting van de aarde heeft op het wereldwijde klimaat. En vooral hoe we die impact weer ongedaan kunnen maken. Is het daadwerkelijk mogelijk dat de mens het klimaat kan beïnvloeden, dat we niet langer in een holoceen maar in een ‘antropoceen’ leven – een tijdperk waarin we met zijn allen de geologie van de aarde bijsturen? Dat als jij straks een paar rondjes met de auto rijdt, dat daarvoor op lange termijn honderden kilo’s aan oeroud ijs op de Zuidpool smelten?

Sinds 1896 weten we dat broeikasgassen een rol spelen in het klimaat, dankzij metingen van de Zweedse onderzoeker Svante Arrhenius (een ver familielid van Greta Thunberg). Hij toonde de relatie aan tussen de verbranding van fossiele brandstoffen en temperatuurstijgingen. Het duurde nog ruim een halve eeuw voordat structurele metingen van koolstofdioxide begonnen in Hawaï. Dat moest op een plek gebeuren ver van vervuilende industrieën, maar ook uit de buurt van plantengroei. Een vulkaan op Hawaï voldeed aan beide voorwaarden om een meetstation neer te zetten dat ongehinderd zijn werk kon doen. Daar werd in maart 1958 een CO<sub>2</sub>-concentratie van 313 ppm (*parts per million*) opgetekend. Tegenwoordig ligt die concentratie veel hoger, op circa 414 ppm in 2020, en elk jaar komen er 2 tot 3 ppm aan CO<sub>2</sub>-moleculen bij.

Vrijwel alle klimaatwetenschappers onderschrijven het verband tussen de extra broeikasgassen en de temperatuurstijging op aarde. Na tientallen jaren van zeer uitgebreid en nauwkeurig onder-

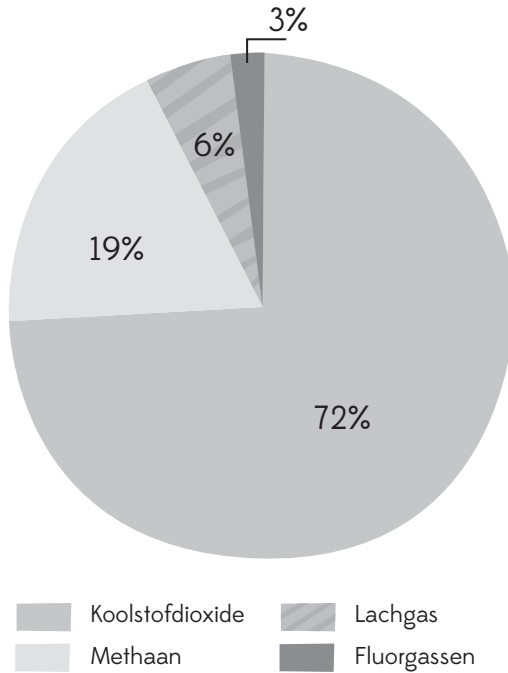
zoek is er een brede consensus in de academische wereld ontstaan: de mens is verantwoordelijk voor de versnelde opwarming van het klimaat. Dit komt niet alleen door de uitstoot van koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), maar ook door extra methaan, lachgas en fluorgassen die de lucht in gaan.

Broeikasgassen worden vaak vergeleken met een deken. Zij houden warmte vast, waaronder hitte die van buiten binnendringt. In het geval van de aarde is dat de energie van de zon. Het is een beetje het principe van *Hotel California*: de broeikasgassen zijn geprogrammeerd om te ontvangen, maar ze zullen hun gast nooit laten gaan. En daar moeten we heel blij mee zijn. Zonder deze gassen zou het op aarde zeker 33 graden kouder zijn. Met een gemiddelde wereldtemperatuur van min 18 graden valt niet te leven.

Maar een te dikke deken is ook niet goed voor de aarde. Hoe meer van deze gassen in de lucht worden gebracht, hoe minder energie kan ontsnappen, terug het heelal in. Extra broeikasgassen verstoren de (precaire) energiebalans op de aarde. Pas als ze uit elkaar vallen of worden opgenomen in water of planten, zetten ze hun poorten weer open. Het gekke aan broeikasgassen is dat je er heel weinig van nodig hebt om de atmosfeer te laten opwarmen. Het huidige percentage aan CO<sub>2</sub> in de lucht is vrijwel niets: 0,04 procent van de luchtmoleculen is koolstofdioxide. De hoeveelheden aan methaan en lachgas liggen nog veel lager.

Toch is deze fractie in staat om zoveel warmte van de zon op te slaan dat het klimaat verandert. En de absolute hoeveelheid broeikasgassen is in korte tijd gigantisch toegenomen, met tientallen gigatonnen per jaar. Wereldwijd heeft de mensheid sinds de start van de industriële revolutie de hoeveelheid CO<sub>2</sub> in de atmosfeer weten te verdubbelen. Omdat de oceanen en planten meer dan de helft van die extra CO<sub>2</sub> hebben opgenomen, valt de huidige klimaatopwarming nog mee. Toch ligt die nu al op minstens één graad Celsius boven het 'pre-industriële niveau', de tijd dat we nog bomen kapten in plaats van kolen verbrandden.<sup>1</sup> In noordelijke gebieden van de aar-

### Uitstoot per broeikasgas in de wereld



de gaat de opwarming twee keer zo hard. Zo is in Nederland de temperatuur in de afgelopen eeuw niet één, maar bijna twee graden gestegen.<sup>2</sup> Rond de Noordpool loopt de temperatuur nog sneller op.

Dit komt voor bijna driekwart door de extra uitstoot van CO<sub>2</sub>, maar ook de andere broeikasgassen spelen een grote rol. Methaan is goed voor 19 procent van de door menselijke activiteit veroorzaakte opwarming van de aarde, lachgas draagt 6 procent bij en de fluor-gassen ongeveer 3 procent.<sup>3</sup>

De meeste aandacht in klimaatdiscussies gaat (terecht) naar CO<sub>2</sub>. Die komt de lucht in door het gebruik van fossiele brandstoffen maar ook door ontbossing, het omploegen van de aarde en de productie

van cement. Kolen, olie en gas zijn zeer compacte vormen van dood organisch materiaal, dat onder onvoorstelbare hoge druk van de aarde is samengeperst. Plankton is de basis voor olie en gas, terwijl planten en bomen onder die langdurige druk veranderen in steenkool. Dat is een proces dat miljoenen jaren duurt. Sommige van de fossiele brandstoffen die we nu gebruiken, zijn meer dan 650 miljoen jaar oud!

Het grote probleem van koolstofdioxide is dat het heel langzaam uit de atmosfeer verdwijnt. De CO<sub>2</sub> die de mensheid de afgelopen eeuwen in de lucht heeft geblazen, zal, als het gas niet direct wordt opgenomen door de zee of planten, nog vele millennia invloed hebben op het klimaat. Na 10.000 jaar is nog een kwart van die CO<sub>2</sub> in de atmosfeer te vinden. En zelfs na 100.000 jaar is er nog tien procent over van de uitstoot van vandaag.<sup>4</sup> Eigenlijk is koolstofdioxide dus net als radioactief afval: we gebruiken het één keer en daarna hebben we er ontzettend lang last van.

Op korte termijn zijn de andere voornaamste broeikasgassen zoals methaan en lachgas zeer schadelijk. Het goede nieuws is dat deze gassen snel vervallen, het slechte nieuws is dat ze ontzettend veel krachtiger zijn dan CO<sub>2</sub>. Ondanks zijn korte levensduur heeft methaan bijvoorbeeld een veel sterker broeikas effect en een klimaat-impact die zo'n dertig keer zo hoog ligt als die van koolstofdioxide. Er zit veel meer CO<sub>2</sub> in de lucht dan methaan, maar door de kracht van dat laatste gas speelt het een grote rol in klimaatverandering.

Meer dan 60 procent van de jaarlijkse uitstoot van methaan komt door toedoen van de mens. Het gas komt van nature vrij bij rottingsprocessen en in natuurlijke lekken (uit ontdooiende grond en de diepe zee), maar is ook het hoofdbestanddeel van aardgas dat door mensen volop wordt verbrand. Verder is de landbouw een flinke bron van methaan, dankzij de miljarden boerende en poepende koeien, schapen en geiten die we houden voor vlees en melk.

Lachgas komt in de lucht door onze activiteiten op het gebied van landbouw en industrie, maar ook door de verbranding van fossiele

brandstoffen en afval. Tegenwoordig is het bekend als een populair roesmiddel onder jongeren. Het kan anderhalve eeuw in de atmosfeer blijven hangen, totdat het wordt afgebroken door ultraviolette straling van de zon. Vergeleken met CO<sub>2</sub> draagt lachgas liefst 250 keer meer bij aan de opwarming van de aarde.

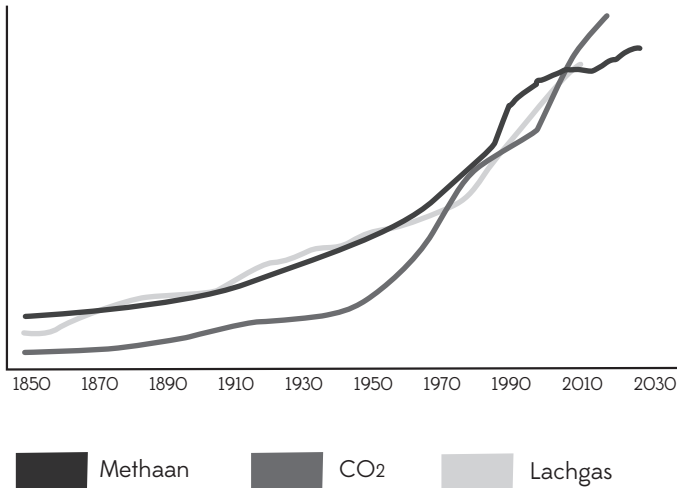
Dan zijn er nóg krachtigere broeikasgassen, met name de fluorgassen zoals hfk's en cfk's (de laatste zijn inmiddels verboden). Deze worden ingezet in koelingsmechanismen: je vindt ze veel terug in ijskasten, maar ook in airconditioners. Sommige fluorgassen zijn 23.000 keer sterker dan CO<sub>2</sub> en kunnen duizenden jaren in de lucht blijven hangen. Gelukkig is het gebruik van deze gassen relatief beperkt.

Het broeikasgas dat het meeste effect heeft, is waterdamp. Dat is veel krachtiger dan CO<sub>2</sub> en is ook meer aanwezig in de atmosfeer. Denk bijvoorbeeld aan het verschil tussen een nacht met of zonder wolken, of waarom het zo koud wordt in de (altijd wolkeloze) woestijn als de zon achter de horizon verdwijnt. Maar de mens heeft nauwelijks een directe invloed op de vorming van wolken. Bovendien valt het 'gas' meestal binnen een paar dagen weer terug op aarde, als regen of sneeuw. Daarom wordt waterdamp in klimaatdiscussies meestal niet besproken; het is een natuurlijk proces.

Om het overzicht te houden, rekenen wetenschappers en beleidsmakers de broeikasgassen meestal om naar één eenheid. Ze gebruiken daarvoor CO<sub>2</sub> als basis, omdat koolstofdioxide het allergrootste probleem vormt van klimaatverandering. Daarom zal je door dit boek heen de zogeheten 'CO<sub>2</sub>-equivalenten' (CO<sub>2</sub>e) tegenkomen: de impact van methaan, lachgas en fluorgassen is dan omgezet in een bepaalde hoeveelheid CO<sub>2</sub>. Dat maakt het vergelijken van klimaat redende maatregelen makkelijker.

Zoals we in de volgende grafiek zien, is sinds de eerste industriële revolutie de uitstoot van broeikasgassen gigantisch toegenomen. Met name sinds het einde van de Tweede Wereldoorlog zit de klim er goed in. En na de val van de Muur in 1989 en de economische ontke-

### Uitstoot broeikasgassen sinds 1850, relatieve schaal



tening van China is het dak er helemaal afgegaan. Als je de jaarlijkse uitstoot bij elkaar optelt, kom je tot de schokkende conclusie dat de helft van de *totale* uitstoot van broeikasgassen door de mensheid in de laatste *dertig* jaar heeft plaatsgevonden. Dat betekent dat toen politici in de jaren tachtig begonnen te praten over een 'klimaatprobleem', dat de uitdaging op dat moment nog beperkt was. Tegenwoordig is het probleem twee keer zo groot en maken we het elk jaar alleen maar omvangrijker.

Om het nog wat deprimerender te maken: de huidige opwarming is het resultaat van de uitstoot van een halve eeuw geleden. Het klimaatsysteem is immers hypercomplex en uiterst log, dat zet je niet zomaar in beweging. Als je een rader in dat systeem verzet, zoals verhoging van de uitstoot van broeikasgassen, dan duurt het decenia voordat je daar het resultaat van ziet. Dit betekent dat zelfs als we morgen op miraculeuze wijze de extra uitstoot van broeikasgassen weten te stoppen, de temperatuur tot 2070 gewoon door blijft stijgen.<sup>5</sup>

## Verkoolde koala's

Dat klimaatverandering niet alleen een wetenschappelijk feit is maar ook harde realiteit, merken we steeds duidelijker. De opwarming van de aarde is structureel en leidt tot stijgende zeespiegels, extreme weersomstandigheden en uitsterving van flora en fauna.<sup>6</sup> Het afgelopen decennium was het warmste ooit sinds men in 1850 is begonnen met metingen van temperaturen, en bijna elk jaar wordt het wereldwijde hitterecord gebroken. In Nederland zijn de Elfstedentochten inmiddels iets uit het verleden.<sup>7</sup> De zomers worden hier steeds heter; de kans op een hittegolf in juli is met honderd keer toegenomen. Inderdaad werd het in juli 2019 meer dan veertig graden op vliegbasis Gilze-Rijen, een absoluut record voor ons land. Een jaar eerder zochten in Noord-Finland rendieren en mensen gelijktijdig verkoeling in het water, omdat het al wekenlang zo'n dertig graden was – bijna tien graden boven het normale gemiddelde.

Elders in de wereld leiden langdurige hitte en droogte tot enorme bosbranden en hongersnoden. Schokkende beelden uit Australië kwamen begin 2020 onze huiskamers binnen, van door apocalyptische branden verkoolde koala's en in zee vluchtende toeristen. Bij die branden kwamen drie miljard dieren om het leven. In Afrika raken regelmatig miljoenen mensen ondervoed door mislukte oogsten, een direct gevolg van klimaatverandering. De burgeroorlog in Syrië is onder meer veroorzaakt door langdurige droogte in het land, waardoor verarmde boerengezinnen massaal naar steden trokken, wat tot grote onvrede en onrust leidde. In India en andere delen van Azië zijn er dan weer allesverzengende moessonregens die duizenden mensen doden en nog veel meer dakloos maken.

Oceanen zijn door de grootschalige opname van CO<sub>2</sub> flink verzuurd en door de stijgende temperaturen opgewarmd. Dat heeft rampzalige gevolgen voor onder meer koraalgebieden zoals die voor de oostkust van Australië, waar sinds 2016 de helft van het koraal is gestorven. Warmere oceanen zijn ook een belangrijke energiebron voor orkanen. Deze megastormen vinden hun oorsprong in water-



verdamping op zee, waardoor grote wolkenformaties ontstaan die vervolgens een verwoestende kracht krijgen. Hoe warmer het water, hoe meer verdamping en hoe intenser de orkanen worden. Ze groeien nu geregeld in een paar dagen naar de hoogste en zwaarste categorie vijf, waarna ze een spoor van verwoesting achterlaten en soms voor miljarden euro's schade aanrichten.

En dan het favoriete beeld van klimaatactivisten: smeltende ijskappen en terugtrekkende gletsjers. Inderdaad is dit geen goede periode voor ijs in de wereld, zeker omdat het klimaat in het Poolgebied veel sneller opwarmt. De Noordelijke IJszee is daardoor binnen vijftien jaar waarschijnlijk ijsvrij in de zomer. Sinds 2000 zijn de gletsjers op Groenland aan een onherroepelijke krimp begonnen, nu dooi en sneeuwval niet meer in balans zijn. Ook de onvoorstelbaar grote ijskappen in Antarctica smelten, breken en krimpen. Zij worden steeds instabieler en met name de West-Antarctische ijskap baart zorgen. Als die in elkaar klapt, kan de zeespiegel enorm stijgen. Sinds 2015 ligt het tempo van die stijging (door smeltend landijs en het uitzetten van warmer zeewater) op bijna 5 millimeter per jaar. Dat is een zorgwekkende versnelling: in de vorige eeuw lag het tempo van de zeespiegelstijging op 1,4 millimeter per jaar.

Het is overigens belangrijk een onderscheid te maken tussen weer en klimaat. Een zeer koude winter in West-Europa wil nog niet zeggen dat het klimaat verandert. Voor het observeren van klimaatverandering houden meteorologen een periode van dertig jaar aan. Wel is het zo dat een warmer klimaat de kans op extreme weersomstandigheden vergroot. Dus als het in Nederland maandenlang niet regent en daarna enorme plensbuien de riolen laten overstromen, is dat een weerpatroon dat past binnen klimaatverandering.

Vrijwel alle klimaatmodellen van eind vorige eeuw voorspelden precies de toegenomen wereldtemperatuur en bovengenoemde fenomenen. Klimaatverandering is een feit. Inmiddels hebben we veel complexere modellen om het klimaat in kaart te brengen en de toe-

komstige veranderingen te voorspellen, maar de basisprincipes blijven hetzelfde. De gasen die de mensheid in de lucht brengt, zorgen voor een versterkt broeikaseffect op aarde.

### ***De hoofdpunten***

- De mens veroorzaakt klimaatverandering
- Het klimaat is door ons toedoen al met één graad opgewarmd
- CO<sub>2</sub> die we uitstoten, blijft tot tienduizenden jaren in de lucht
- De jaarlijkse uitstoot van broeikasgassen is veel hoger dan dertig jaar geleden
- We merken de eerste gevolgen van een warmer klimaat: veel extreem weer, langdurige droogtes, een stijgende zeespiegel, biodiversiteit onder druk