

Mind the Gap



Onderzoek naar de klimaatkloof
tussen de wetenschap en
lesmethoden in de geografie

Sietse-Jelle Bijkerk
3490114
sietsejellebijkerk@gmail.com

Master Thesis
Begeleiding: Hans Palings Msc.
Geografie Educatie & Communicatie
Universiteit Utrecht
12/06/2019

Voor opa

een docent in hart en nieren

Inhoud

Voorwoord	6
Samenvatting	7
1. Introductie	8
1.1 Aanleiding	8
1.2 Maatschappelijke Relevantie	9
Global warming.....	9
Aardrijkskunde Onderwijs.....	9
1.3 Wetenschappelijke relevantie	10
1.4 Doelstelling & structuur van de scriptie	10
2. Theoretisch kader	11
2.1 Misconcepties	11
Conceptie en Misconceptie.....	11
Oorzaken	11
De rol van onderwijs	12
2.2 Kloof	12
De relatie tussen discipline en schoolvak in theorie.....	13
Oorzaken	14
Gevolgen	14
2.3 Powerful Knowledge	15
Kenmerken van Powerful Knowledge.....	15
Powerful Geographical Knowledge.....	15
2.4 Controversiële problematiek	17
3. Methode	18
3.1 Onderzoeksvragen	18
3.2 Literatuurstudie aangaande global warming.....	18
3.3 Inhoudsanalyse	18
Introductie	18
Onderzoeksfasen	19
4. Resultaten I: Stand van de Wetenschap	22
4.1 Introductie	22
4.2 Het klimaatsysteem	23
Weer & klimaat	23
Het klimaat als systeem	23
4.3 Het broeikaseffect.....	24

Stralingsbalans	24
Het natuurlijk broeikaseffect	24
Het versterkt broeikaseffect	26
Broeikasgassen.....	26
Terugkoppelingsmechanismen	30
4.4 Controverse: wetenschap versus klimaatsceptici.....	31
Klimaatwetenschap.....	31
Klimaatscepsis.....	34
Economische & Politieke belangen.....	34
4.5 Samenvatting	35
5. Resultaten II: Discrepanties tussen de wetenschap en methoden	36
5.1 Algemene kwantitatieve verdeling	36
5.2 Oorzaken	38
Stralingsbalans	38
Natuurlijk broeikaseffect	38
Samenvatting	39
5.3 Klimaatstelsel.....	39
Weer & klimaat	39
Kringlopen.....	40
Broeikasgassen.....	42
Terugkoppelingsmechanismen	43
Samenvatting	44
5.4 Gevolgen	46
Klimaatextremen.....	46
Zeespiegel	46
Gezondheid.....	47
Voedselzekerheid.....	47
Mariene ecosystemen.....	47
Terrestrische ecosystemen	48
Samenvatting	48
5.5 Controverse.....	48
Klimaatwetenschap & prognose	49
Politieke & economische belangen.....	49
Klimaatsceptici	50
Samenvatting	51
6. Resultaten III: Global warming als wicked problem	52

7. Conclusie & Discussie	55
7.1 De Stand van de wetenschap & school aardrijkskunde	55
7.2 De discrepanties tussen de wetenschap en de school aardrijkskunde	55
Oorzaken	55
Klimaatsysteem	56
Gevolgen	57
Controverse	57
7.3 Het controversiële karakter van global warming	58
7.4 Het karakter van de kloof	58
8. Limitaties	60
9. Aanbevelingen & verder onderzoek	61
9.1 Wat betekent dit voor de lespraktijk?	61
Bewustwording van de kloof	61
Gebruik van lesmethodes	61
Inhoud van lesmethoden	61
Het interdisciplinaire karakter van de geografie	61
Kennis van de docent	61
9.2 Waar liggen mogelijkheden voor verder onderzoek?	62
Breed onderzoek naar minder complexe problematiek	62
Onderzoek naar hoe docenten en leerlingen met de kloof omgaan	62
Vaardigheden en global warming	62
Onderzoek in de nieuwe methode De Wereld Van	62
Referenties	63
Appendices	70
Appendix 1: Methode van brontekst selectie en aandachtspuntenlijst.	70
Appendix 2: Overzicht van alle geselecteerde bronteksten	71
Appendix 3: Overzicht van alle geselecteerde citaten	76
Appendix 4: Voorbeeld van selectie van bronteksten en bepalen van de reductie	93

Voorwoord

Voor u ligt mijn thesis “Mind the Gap: Onderzoek naar de klimaatkloof tussen de wetenschap en lesmethodes in de geografie” ter afsluiting van mijn master Geografie: educatie & communicatie aan de Universiteit Utrecht.

Het onderzoek gaat in op de kloof tussen huidige stand van de wetenschap en lesmethoden in het aardrijkskundeonderwijs. Hierbij heb ik het actuele vraagstuk omtrent global warming onder de loep gelegd. De onderzoeksresultaten kunnen gebruikt worden door docenten die lesgeven over klimaatproblematiek op het middelbaaronderwijs. Met name de aanbevelingen geven een concrete invulling van de implicaties van dit onderzoek voor de lespraktijk.

In de eerste plaats wil ik mijn begeleider Hans Palings bedanken. Hij heeft mijn werk kunnen voorzien van kritische reflectie. Het was erg prettig om op een ongedwongen manier te sparren over de problematiek tijdens onze gesprekken, waar ik altijd met nieuwe inzichten en frisse moed weer vandaan kwam. Daarnaast mijn vrienden en huisgenoten die mij, al dan niet mentaal, gesteund hebben gedurende het schrijfproces. Een broodnodig maar luchtig gesprek tijdens de lunch of een kritische reflectie met een kop koffie hebben bijgedragen aan het eindproduct. In het bijzonder Ellen Breedveld, mijn lieve vriendin, wiens wijze woorden en kritische noten voor de puntjes op de i hebben gezorgd. Tenslotte wil ik mijn ouders bedanken, die mij altijd gesteund hebben in mijn drang om meer te leren en door te studeren. Zonder hen had ik niet gestaan waar ik nu sta.

Er rest mij niks dan u veel leesplezier te wensen,

Sietse-Jelle Bijkerk

Utrecht, 17 juni 2019

Samenvatting

Uit verschillende onderzoeken komt naar voren dat er misconcepties bestaan onder leerlingen in het voortgezet onderwijs op het gebied van global warming. Wetenschappelijke kennis in de vorm van powerful knowledge zou kunnen bijdragen om conceptuele verandering te bewerkstelligen in de denkwijze van leerlingen en zo het hoofd te bieden aan deze misconcepties. Omdat in de afgelopen decennia de wetenschap steeds meer verschilt van de inhoud van de schoolaardrijkskunde is er een kloof ontstaan tussen beiden. Dit onderzoek draagt bij aan het inzicht in deze kloof op het gebied van global warming. Aan de hand van 286 bronteksten uit drie verschillende Nederlandse aardrijkskundige lesmethoden is er een vergelijking gemaakt met de huidige stand van de wetenschap, waarbij onderscheid is gemaakt tussen oorzaken van global warming, het klimaatsysteem, gevolgen van global warming en de controverse omtrent global warming. Over het algemeen is te stellen dat veel aspecten in de methoden voorkomen zonder expliciet gekoppeld te zijn aan global warming. Daarnaast is er gekeken naar het gebruik van controversiële uitspraken in de verschillende methoden. Uit het onderzoek komt naar voren dat er zowel binnen als tussen de methoden verschillen zijn in het karakter van de kloof als gekeken wordt naar verschillende aspecten van global warming. Hierbij is in de methode BuitenLand meer gereduceerd dan in De Geo. WereldWijs heeft inhoud die het beste de stand van de wetenschap representeert. Wat het aantal controversiële uitspraken betreft, is het totaal aan uitingen beperkt. Echter blijkt de methode BuitenLand ook de controversiële uitingen te bevatten. Het onderzoek sluit af met aanbevelingen voor de lespraktijk.

1. Introductie

1.1 Aanleiding

“It’ll change back” beweerde de president van de Verenigde Staten op vijftien oktober 2018 over klimaatverandering (Holden, 2018). Uitspraken als deze zijn bepalend voor de vorming van de publieke opinie. De quote stamt uit een interview met Donald J. Trump over de dreiging die de opwarming van de aarde vormt voor onze planeet en haar bewoners. De uitspraak is een misconceptie omdat het haaks staat op de consensus in de milieuwetenschappen omtrent de invloed van het menselijk versterkte broeikaseffect (IPCC, 2018).

“The greatest enemy of knowledge is not ignorance, it is the illusion of knowledge.”

Daniel J. Boorstin

Leerlingen komen naar school met bestaande misconcepties van verschillende (geografische) principes zoals het broeikaseffect. Deze “illusions of knowledge” kunnen erg hardnekkig zijn en zijn moeilijk te veranderen. Daarnaast zijn ze onderhevig aan invloeden van buitenaf zoals politieke belangen, economische factoren en de maatschappij (Devine-Wright, Devine-Wright, & Fleming, 2004). Onderzoek naar misconcepties over de opwarming van de aarde laat zien dat ondanks dat leerlingen de informatie over oplopende temperaturen en de uitstoot van broeikasgassen begrijpen, ze nog steeds twijfelen aan het feit dat de mens een dergelijke invloed kan hebben op het klimaat. Hieruit blijkt dat ze het klimaatprobleem niet voldoende kunnen conceptualiseren (Lombardi & Sinatra, 2012; Shepardson, Niyogi, Choi, & Charusombat, 2009).

Naast andere aspecten is inhoudelijke kennis nodig om conceptuele verandering te bewerkstelligen in de denkwijze van leerlingen (Duit, Treagust, & Widodo, 2013). Een gedegen conceptuele kennis is nodig voor leerlingen om complexe dynamische systemen zoals de atmosfeer van de aarde te begrijpen (Raia, 2005). Deze kennis is breed onderzocht in verschillende disciplines, die elk vanuit hun eigen perspectief naar het probleem kijken. Vanwege de integrale aanpak van de geografie is dit de discipline waarin het onderzoek vanuit verschillende disciplines samen kan komen.

In het algemeen wordt een academische discipline gezien als de kraamkamer voor de inhoudelijke kennis die in het schoolvak gebruikt wordt. Een leraar kan deze academische kennis gebruiken en transformeren naar pedagogische inhoudelijke kennis om het te gebruiken in lessen op school (Shulman, 1987). Echter, geografie studenten beschrijven de geografische discipline als fundamenteel anders dan het schoolvak aardrijkskunde (Brooks, 2011). Deze visie wordt ondersteund door Firth & Butt (2011), die stellen dat de kloof tussen beiden groter is geworden sinds de ‘cultural turn’ aan het einde van de jaren tachtig. De introductie van culturele geografie heeft geleid tot een meer maatschappelijk georiënteerde aanpak van de geografie (Gollidge, 2002). Dit heeft geresulteerd in het feit dat curriculumontwikkelaars meer bezig zijn met maatschappelijke, economische en politieke invloeden dan het doceren van academische inhoudelijke kennis. Ze onderstrepen het idee dat het curriculum en de discipline aan beide kanten van een kloof staan met breder wordend gat tussen beiden. Ze fungeren als losse entiteiten met eigen agenda’s.

Specialisatie binnen de academische geografie is tevens een bedreiging voor de discipline. Wanneer meer specialisaties zich afsplitsen van de integrale discipline, zoals klimatologie, hydrologie of geomorfologie wordt de basis voor de brede academische discipline alsmat kleiner. Het verdeelt de kennis die relevant is voor het schoolvak over verschillende sub-disciplines. Daarbij komt dat de geografie als een academische discipline steeds moeilijker te onderscheiden is van gerelateerde disciplines vanwege haar interdisciplinaire karakter (Reinfried, 2004).

Wat de relatie ook mag zijn tussen de discipline en het schoolvak, wetenschappelijke kennis is belangrijk voor het bereiken van conceptuele verandering bij leerlingen. Zogezegd is de educatieve transformatie van wetenschappelijke kennis een onmisbare schakel tussen de discipline en het schoolvak. Oversimplificatie is een reeds geïdentificeerde oorzaak van het ontstaan van misconcepties (King, 2010). Dit zou kunnen betekenen dat wanneer een leerling over alle inhoudelijke kennis beschikt van bepaalde onderwerpen, hij hier geen misconcepties over kan ontwikkelen. Een deel van de inhoudelijke kennis gaat namelijk verloren in de educatieve reductie. Dit geschiedt in twee belangrijke vormen: de verschillende lesmethoden met haar opdrachten die gebruikt worden bij het lesgeven (King, 2010) en de inhoudelijke kennis die door de leraar wordt overgebracht (Reinfried, 2004).

1.2 Maatschappelijke Relevantie

Global warming

Global warming is schadelijk voor onze planeet. De effecten lopen uiteen van zeespiegelstijging, extremere weersomstandigheden (droogte en zware regenval), toename van luchtvervuiling, het verlies van biodiversiteit tot het verliezen van een stabiele voedselvoorziening (IPCC, 2018). Er is veel beschrijvend onderzoek gedaan naar misconcepties die leerlingen hebben over klimaatverandering en global warming (Andersson & Wallin, 2000; Harrington, 2008; Mason & Santi, 1998; Österlind, 2005; Shepardson, Niyogi, Choi, & Charusombat, 2011; Spellman, Field, & Sinclair, 2003). Zoals in de alinea's hierboven uiteen is gezet maken leerlingen slechts beperkt gebruik van wetenschappelijke kennis in het bestuderen van milieuwetenschappelijke problemen (Ekborg, 2003).

Aardrijkskunde Onderwijs

De geografische discipline is vanwege haar interdisciplinaire aard bij uitstek het gebied waar onderzoek gedaan kan worden naar milieuproblematiek in het algemeen, maar ook specifiek global warming. Zo bevat de milieuproblematiek de drie kernconcepten van de discipline: plaats, ruimte en schaal (Brooks, 2011). Bijna alle problematiek kan bekeken worden vanuit deze drie pijlers. Alles vindt plaats op een locatie en neemt daar zijn ruimte in. Dit kan op zowel lokale, regionale, nationale, continentale of mondiale schaal. Verder is global warming gerelateerde problematiek actueel en belangrijk voor de toekomst van de aarde en van ons als burger.

Alles is onderhevig geweest aan beslissingen in het verleden die de wereld hebben gemaakt tot hoe hij nu is (Brooks, 2011). Brooks stelt verder dat mensen in deze dagelijkse wereld geografische kennis ontwikkelen en bestaande kennis doorontwikkelen. De actualiteit speelt hier een grote rol in, omdat het menselijk perspectief op het heden invloed heeft op de toekomst. Morgan (2015) benoemt aardrijkskunde in het licht van deze toekomst. Bij het schoolvak komen alle aspecten aan bod om leerlingen een compleet beeld te laten vormen van de invloed van hun beslissingen op deze toekomst.

Met deze invloed op de toekomst komt een bepaalde vorm van verantwoordelijkheid. Onderwerpen als duurzame ontwikkeling vragen om diepe aardrijkskundige kennis in de beleefwereld van de leerling, die rekening houdt met het verleden en de toekomst. Het dient geplaatst te worden in een lokale context in relatie tot mondiale schaal. Daarbij moet rekening gehouden worden met processen die veranderen (Brooks, 2011). Dit is een hele opgave, helemaal als men bedacht is op het feit dat aardrijkskundige kennis niet neutraal is (Lambert & Morgan, 2009). Het is onderhevig aan politieke invloeden, invloeden van docenten en de directe omgeving van de leerling (Brooks, 2011). Zo kan de introductie van waarden in het aardrijkskundeonderwijs afbraak doen aan de neutraliteit van onderwijs. Het is van belang dat leraren stof relevant maken voor de leerlingen, maar dit brengt automatisch met zich mee dat de kennis lading krijgt (Lambert & Morgan, 2009).

Wanneer deze niet-neutrale kennis op een effectieve manier wordt ingezet kan het juist bijdragen aan het tegen gaan van manipulatie en indoctrinatie. Zo ontwikkelen individuen zich tot maatschappelijk

kritische wereldburgers. Deng (2012) onderstreept het belang van kritisch burgerschap. Kritische burgers kunnen reflecteren op hun nalatenschap en de processen die gemoed zijn met hun cultuur. Hierbij is van belang dat ze verschillende toekomstperspectieven kunnen inzien en verantwoordelijkheid durven nemen voor hun keuzes en acties (Martin, 2011). Belangrijk is dat wereldburgers niet enkel observeren en benoemen maar er ook naar handelen.

Het interdisciplinaire karakter van de aardrijkskunde komt tevens terug bij het oplossen van complexe problematiek. Door het ontwikkelen van een brede geografische verbeelding worden leerlingen in de gelegenheid gesteld complexe milieuproblemen op te lossen (Béneker, 2013). Lenzen & Murray (2001) benoemen klimaatverandering als een van deze problemen. De belangrijkste drijfveer van klimaatverandering is global warming (IPCC, 2018).

1.3 Wetenschappelijke relevantie

Zoals hierboven beschreven staat is er in de wetenschappelijke literatuur veel te vinden over misconcepties onder leerlingen over verschillende onderwerpen, waaronder global warming. Daarnaast is er breed onderzoek gedaan naar hoe deze misconcepties aangepakt kunnen worden en op welke wijze inhoudelijke kennis hier een rol in kan spelen. Dat de kloof tussen de geografische discipline en het schoolvak hier van belang voor is lijkt waarschijnlijk. Inhoudelijk onderzoek hiernaar is echter schaars. Onderzoek van Choi et al. (2010) is een voorbeeld dat wel ingaat op hoe tekstboeken bijdragen aan de misconcepties van leerlingen. Maar onderzoek in de Nederlandse context ontbreekt. Het tempo van de mondiale klimaatverandering en de snelheid waarmee de kennis in de klimaatwetenschap zich ontwikkeld is zo hoog dat onderzoek van een decennium geleden inmiddels in relevantie vermindert.

1.4 Doelstelling & structuur van de scriptie

In het licht van de Nederlandse curriculumherziening (Adriaens et al., 2017) en het te vullen gat in de wetenschappelijke kennis is het van belang om de breed onderzochte bestaande misconcepties te verbinden met de huidige stand van de wetenschap op het gebied van global warming. Daartoe is het belangrijk om te weten wat de relatie is tussen de schoolaardrijkskunde en de geografische discipline. Dit is gesynthetiseerd in de volgende onderzoeksvragen:

Wat is het karakter van de kloof tussen de wetenschap en de schoolaardrijkskunde met betrekking tot het onderwerp global warming?

- 1. Wat is de huidige stand van de wetenschap op het gebied van global warming?*
- 2. Wat is de huidige stand van de tekstboeken voor schoolaardrijkskunde op het gebied van global warming?*
- 3. Wat zijn de discrepanties tussen de informatie omtrent global warming in de wetenschappelijke literatuur en tekstboeken voor de schoolaardrijkskunde?*
- 4. Hoe uit het controversiële karakter van global warming zich in aardrijkskunde tekstboeken?*

Tekstboeken bestaan niet enkel uit wetenschappelijke kennis. De meesten zijn sterk verankerd in het culturele standpunt van het land waarin ze gemaakt worden. Volgens Pingel (2010) is dit specifiek voor aardrijkskunde en geschiedenis een belangrijk aspect. Methodeonderzoek in aardrijkskundeboeken kan verhelderingen bieden op de onderzoeksvraag.

In deze scriptie is het theoretisch kader opgenomen in het tweede hoofdstuk. Vervolgens is er in de methodesectie (hoofdstuk drie) aandacht gegeven aan de uitgevoerde literatuurstudie en inhoudsanalyse van de drie aardrijkskunde lesmethoden (WereldWijs, BuitenLand en De Geo). De resultaten hiervan worden daarna weergegeven in hoofdstuk vier (deelvraag een), hoofdstuk vijf (deelvraag twee en drie) en hoofdstuk 6 (deelvraag 4). Tenslotte volgen de conclusie en discussie (hoofdstuk zeven) die leiden tot de limitaties (hoofdstuk acht) en aanbevelingen (hoofdstuk negen).

2. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk zal aandacht worden geschonken aan het theoretisch raamwerk van deze scriptie. Hierin worden de relevante concepten en theorieën behandeld voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen. Het eerste gedeelte zal in gaan op de principes achter misconceptie. Vervolgens zal er aandacht worden besteed aan de kloof tussen de wetenschap en de schoolaardrijkskunde. De inhoudelijke kennis, in de vorm van *powerful knowledge*, zal hierna uitgelegd worden om vervolgens de toepassing hiervan op controversiële problematiek uiteen te zetten in de laatste paragraaf van het theoretisch kader.

2.1 Misconcepties

Conceptie en Misconceptie

Kinderen beginnen al op jonge leeftijd met het vergaren van kennis. Hierbij vormen overtuigingen die gevormd worden in de eerste levensjaren een belangrijke basis voor de percepties op latere leeftijd (Carey, 1999). Dit kan zowel op formele als informele wijze. Scholing is het belangrijkste voorbeeld van formele kennisvergaring. De informele wijze geschiedt wanneer leerlingen blootgesteld worden aan gebeurtenissen in het dagelijks leven of bijvoorbeeld door invloeden van media zoals televisie en het internet (Nagel, 2004). Deze intuïtieve wijze van conceptie van kennis is niet altijd in lijn met de stand van de kennis binnen de wetenschappelijke discipline (Karpudewan, Ahmad, & Chandrasegaran, 2017; Lane, 2008).

De kennis van een individu met betrekking tot bepaalde concepten wordt opgeslagen in conceptuele raamwerken. Dit zijn structuren die kennis ordenen en behapbaar maken voor de gebruiker ervan. De structuren breiden zich op den duur uit en stellen zich bij naarmate een individu ouder wordt en bloot gesteld wordt aan stimuli die invloed hebben op de opgeslagen kennis (Lane, 2008). De conceptie van het individu is dus dynamisch en onderhevig aan invloeden van buitenaf.

Wanneer de opgedane kennis tegen de algemene wetenschappelijke overtuiging ingaat wordt er in de literatuur gesproken over misconcepties, alternatieve raamwerken, intuïtieve overtuigingen, preconcepties, spontane redenering, kinderwetenschap of naïeve overtuigingen (Karpudewan et al., 2017). Misconcepties is een breed onderzocht onderwerp en kunnen erg hardnekkig zijn. Zoals eerder genoemd passen deze structuren zich aan. De doelbewuste herstructurering van deze misconcepties en opvattingen wordt conceptuele verandering genoemd (Lane, 2008). Hoewel er gesteld wordt dat het veroorzaakt wordt door (onjuiste) achtergrondinformatie van de leerling is er een wezenlijk verschil tussen misconcepties en verkeerde achtergrondinformatie. Misconcepties ontstaan wanneer aanwezige kennis in wisselwerking is met nieuwe concepten en wortelt dus dieper dan enkel een gebrekkige feitenkennis. Hieruit kunnen opvattingen ontstaan die onvolledig en theoretisch ongegrond zijn. In de ogen van de leerling kunnen deze opvattingen wel functioneel, logisch en op feiten gebaseerd lijken (Lane, 2008).

Oorzaken

Dove (1998) heeft in totaal acht oorzaken geïdentificeerd die bijdragen aan de misconcepties van leerlingen. Hierbij wordt bij drie ingegaan op karakteristieken van de leerling, zoals de invloed van bestaande kennis van de leerling opgedaan in het dagelijks leven en eerder onderwijs (1) of het gebrek aan voorkennis die nodig is om (deels) nieuwe concepten te kunnen opslaan (2). Tenslotte kunnen concepten zelf ook overlap hebben met andere concepten (3). Voorbeelden hiervan zijn concepten als vulkanisme en aardbevingen. Zo zijn leerlingen zich aantoonbaar slecht bewust van op welke plekken deze twee fenomenen zich voordoen omdat het beide te maken heeft met platentektoniek (Dove, 1998).

Twee benoemt Dove (1998) binnen de wetenschappelijke context. Zo is er het gebruik van alledaagse taal in het jargon (4). Een voorbeeld hiervan is het woord kiezel wat in volksmond gebruikt wordt voor een afgeronde steen van enig formaat. De wetenschap doelt echter op een klastisch stuk gesteente met een diameter van 2-64 mm op de Wenworth-schaal. Definities van bepaalde concepten kunnen dus in een bepaalde context verkeerd worden geïnterpreteerd. Daarnaast kunnen ze ook veranderen. Wanneer de wetenschap zich ontwikkelt en definities zich aanpassen kan een discrepantie ontstaan met het onderwijs (5).

De vorige oorzaken raken aan het gebruik van kennis in het onderwijs. Dove (1998) identificeert tenslotte drie oorzaken met hun aard in de onderwijspraktijk. Een concept kan bijvoorbeeld te ver gesimplificeerd worden (6). Hierbij wordt het concept onvolledig of krijgt het een misleidende aard en ontstaat er een kloof tussen wat er in de wetenschap bekend is en wat erop als concept aangeleerd wordt. Verder wordt automatiserend leren genoemd. Hierbij wordt kennis op basis van reproductie en herkenning aangeleerd (7). Leerlingen leren hierdoor niet het toepassen van concepten en kunnen bijvoorbeeld enkel een specifieke vorm van marmer beschrijven omdat ze enkel plaatjes hebben gezien van zwart marmer. Tenslotte noemt Dove (1998) de stereotypering in tekstboeken (8). Voorbeelden hiervan zijn het weergeven van bergen met steile toppen en woestijnen met enkel zand, wat ertoe leidt dat leerlingen in de veronderstelling zijn dat alle bergen en woestijnen deze eigenschappen bezitten.

De rol van onderwijs

In de vorige alinea schemert de rol van het onderwijs in het ontstaan van misconcepties al door. Abraham et al. (1992) stelt dat inadequaat onderwijs, mede door invloeden van slechte schoolboeken, bijdraagt aan het versterken van misconcepties.

Bijna elke school maakt gebruik van een lesmethode, echter blijkt deze niet altijd even effectief. Zeker in het geval van het bereiken van conceptuele verandering benoemt Karpudewan et al. (2017) het gebruik van een constructivistische aanpak als beter alternatief, waarin leraren vaststellen wat de voorkennis is van een leerling voorafgaand aan een onderwerp. Onderzoek laat zien dat hoewel leraren dit als essentieel zien ze er in de praktijk vaak aan voorbijgaan. Bij het vaststellen van de voorkennis dienen de misconcepties te worden geïdentificeerd. Dit lijkt vanzelfsprekend, echter blijkt uit onderzoek dat zelfs ervaren leraren (>10 jaar ervaring) zich maar beperkt bewust zijn van de misconcepties die leerlingen hebben (Lane, 2008). Identificering van de misconcepties is nodig om als docent de strategie te bepalen tot het herstructureren hiervan.

Om dit adequaat te kunnen doen dienen docenten op de hoogte te zijn van de huidige stand van de kennis binnen de wetenschappelijke discipline (Dove, 1998). Leraren blijken namelijk vaak over te weinig inhoudelijke kennis te beschikken om de hiaten bij de leerlingen te vullen (Lane, 2008). Verder moeten docenten zich bewust zijn van het feit dat ze zelf ook misconcepties hebben. Om dit tegen te gaan is kritische reflectie op het eigen mentale model van concepten belangrijk (Lane, 2008).

2.2 Kloof

Zoals er in de inleiding reeds geschetst is, bestaat er een verschil tussen het schoolvak en de academische discipline. Deng (2012) beschrijft het schoolvak als een gebied van kennis binnen het landelijk curriculum: een geïnstitutionaliseerde gedefinieerde kennisbasis voor lesgeven en leren. In zijn ogen is de discipline een gebied gelieerd aan een onderzoeksveld of departement binnen een universiteit, gericht op het doen van onderzoek en het opleiden van onderzoekers, academici en specialisten.

Waar in de academische discipline kennisverwerving en onderzoek centraal staat komt daar bij het schoolvak onder andere, ontwikkeling van het persoonlijke potentieel van de leerling, het opleiden tot een maatschappelijke betrokken burger en sociaal reconstructivisme bij. Dit laatste concept gaat in op

het opvoeden van leerlingen zodat ze sociale problemen als ongelijkheid of onrecht kunnen verminderen. Firth (2011) beschrijft dat sinds de cultural turn de focus steeds meer is komen te liggen op het sociale aspect, waardoor uiteindelijk het huidige verschil is ontstaan tussen de geografische discipline en het schoolvak. Waar de een vroeger uit de ander voortvloeide, bestaan er nu verschillende relaties tussen het schoolvak en De Geografische discipline.

De relatie tussen discipline en schoolvak in theorie

Stengel (1997) heeft verschillende relaties geïdentificeerd tussen het schoolvak en de academische discipline. Eén van deze relaties gaat uit van kennis die voortvloeit uit de academische discipline. Een tweede relatie tussen het schoolvak en de discipline wordt beschreven als een van discontinue aard. In deze visie ligt de focus van de academische discipline op het ontwikkelen van wetenschappelijke kennis en is het schoolvak gebaseerd op het oplossen van problemen in het dagelijks leven en de beleefwereld van leerlingen.

De discontinue theorie

In tegenstelling tot de continue theorie, die uitgaat van een ontwikkeling van zowel de discipline als het schoolvak in dezelfde richting, laat de discontinue theorie ruimte voor het schoolvak om zich breder te ontwikkelen dan de alsmaar nauwer wordende discipline (Stengel, 1997). Deze theorie gaat ervan uit dat zowel de academische discipline als het schoolvak niet de juiste uitgangspunten zijn voor het bepalen van het curriculum. Het is breed aangehangen door de sociaal constructivistische curriculumontwikkelaars die uitgaan van de behoefte van de leerling (Deng, 2012). Verder biedt het een opening voor het ontwikkelen van levensvaardigheden, beroepsvoorbereiding, moraal of andere maatschappelijk gerelateerde waarden. Binnen de discontinue theorie worden drie discoursen onderscheiden, namelijk: de discipline die het schoolvak voorgaat, het schoolvak die de discipline voorgaat en het schoolvak en de discipline zijn in een dialectische relatie met elkaar.

De discipline die het schoolvak voorgaat

De overdracht van academische kennis is het grootste doel van het schoolvak. In essentie wordt het schoolvak gezien als een gedestilleerde versie van de academische discipline. Deze theorie werkt enkel wanneer kennisoverdracht het doel van onderwijs is, omdat de academische discipline zich steeds verder ontwikkeld. Deze ontwikkelde kennis zal dan ook automatisch een grotere rol spelen in het onderwijs (Stengel, 1997).

Het schoolvak die de discipline voorgaat

Het doel van onderwijs is bij deze theorie de groei en persoonlijke ontwikkeling van de leerling. Dit staat boven het vergaren van kennis binnen de academische discipline (Stengel, 1997). Los van de academische discipline kan het schoolvak meer flexibiliteit geven en meer inspelen op de behoefte van de leerlingen. Het gaat uit van mogelijkheden in plaats van controle en is gebaseerd op het feit dat de persoonlijke ontwikkeling in onderzoeksvaardigheden van de leerling uiteindelijk zal leiden tot de behalen van de disciplinaire competentie (Deng, 2012).

De relatie tussen het schoolvak en de discipline is dialectisch

Deze theorie is in beginsel een kruising tussen de twee bovenstaande overtuigingen (Stengel, 1997). Het uiteindelijke doel van onderwijs is de groei naar de academische kennis. Het schoolvak biedt daarvoor invulling op maat voor de leerling. Een van de belangrijkste opdrachten voor de leraar is om te faciliteren in een omgeving waar de leerling zelf kan komen tot het vergaren van de bestaande academische kennis. Tenslotte zijn de disciplines ook ontstaan en ontwikkelen nog altijd op de voorwaarde dat problemen en mysteries in het dagelijks leven vragen om opheldering (Deng, 2012).

Oorzaken

Voor het uit elkaar groeien van het schoolvak en de discipline zijn er zowel oorzaken te vinden in politiek en maatschappij als in de academische discipline en het schoolvak. De huidige politiek is sterk gefocust op een kenniseconomie. In een kenniseconomie draait het niet perse om de academische kennis maar meer om kunde op het gebied van economie (Firth, 2011). Kennis wordt hierin gezien als een gegeven, echter is kennis veranderlijk en relatief (Firth, 2011). Beleidsmakers op het gebied van scholing drukken sterk hun stempel op het curriculum en zorgen voor een curriculum wat sterk op ethiek is gebaseerd. Sinds de cultural turn is het doordringen van disciplinaire kennis steeds moeilijker geworden (Firth, 2011).

Onder druk van overheid, beleid en economie is de laatste decennia een trend ontstaan binnen het schoolvak waarbij steeds meer gefocust wordt op het opleiden van goede wereldburgers, hierbij is de waarde van academische kennis naar de achtergrond geschoven. Deze trend bagatelliseert de waarde van academische kennis door de focus op competenties en vaardigheden te leggen (Firth, 2011).

Daarnaast kan het zijn dat de educatieve reductie leidt tot een te simpele versie van de disciplinaire kennis, welke de kloof kan vergroten (Maude, 2016). Stannard (2003) benoemt het steeds groter wordende aanbod van andere vakken als belangrijke factor. Hierdoor worden leerlingen minder blootgesteld aan geografie en kiezen minder voor het schoolvak aardrijkskunde. De duur van de situatie waarin de kloof aanwezig is heeft op zichzelf ook invloed op de ontvankelijkheid van scholen voor informatie vanuit de universiteiten, die enigszins bekoeld is (Stannard, 2003).

De vermindering van interesse in academische kennis van de scholen wordt mede veroorzaakt door het afstappen van onderwerpen die voor het schoolvak nog altijd relevant zijn, zoals bijvoorbeeld het centraliteitsprincipe (Maude, 2016). De discipline heeft zich de afgelopen decennia steeds meer gespecialiseerd. Het specialiseren en daarmee fragmenteren van de discipline leidt tot een gebrek aan wetenschappers die zichzelf op de eerste plaats zien als geograaf (Stannard, 2003). Dit is deels ook gedreven door de universiteiten die de druk voelen te publiceren voor de specifieke tijdschriften waardoor onderzoekers niet de tijd of financiën hebben om specifiek te schrijven voor schoolaardrijkskunde. De houding van de discipline is ook niet bevorderlijk geweest voor de band tussen de discipline en het schoolvak. Ze heeft zich geprofileerd als een sterke academische discipline en op deze manier haar plaats ingenomen in het curriculum. Dit heeft weerstand opgeleverd, zeker omdat het als elitair gezien wordt. Leerlingen kiezen hierdoor voor meer praktische vakken en vergroten zo de kloof (Lambert, 2011). Dit resulteert in het fungeren op een eilandje, waarbij de uitkomsten van onderzoek niet worden geëtaleerd in media en schoolboeken (Stannard, 2003). Bonnett (2003) beschrijft tenslotte dat sommige academici bewust afstand nemen van de schoolaardrijkskunde vanwege haar oubollige karakter.

Gevolgen

De kloof tussen het schoolvak en de discipline heeft gevolgen voor beiden. Zo zijn leerlingen na de middelbare school zeer competent en hebben zij middels het gevolgde onderwijs een reeks vaardigheden ontwikkeld, maar hebben vervolgens geen inhoudelijke kennis waarbij ze deze vaardigheden kunnen gebruiken (Firth, 2011). De trend in afname van inhoudelijke kennis wordt door meerdere auteurs onderstreept (Firth, 2011; Maude, 2016; Young, 2009). Daarbij komt dat door de ontwikkeling van het curriculum de bestaande kloof enkel groter wordt omdat de connectie al klein is en de discipline en het schoolvak een divergente beweging maken. Elke curriculumherziening maakt de kloof dus groter (Firth, 2011).

De verbreding van deze kloof zorgt ervoor dat zowel docenten als leerlingen de connectie met respectievelijk de schoolpraktijk en de discipline verliezen. Docenten in de schoolpraktijk verliezen sneller de interesse in het lesgeven omdat ze daar niet de dezelfde uitdaging krijgen als in hun

academische opleiding. Dit moet los gezien worden van het niveauverschil dat sowieso aanwezig is door de educatieve reductie (Rawling, 2001). Leerlingen verliezen op hun beurt de connectie met wat er in de brede discipline te leren valt (Bonnett, 2003). Stannard (2003) beschrijft als gevolg hiervan een mogelijke afname in instroom van geografiestudenten aan universiteiten.

Concluderend staat de toevoer van academische kennis aan de schoolpraktijk op de tocht op het moment dat de kloof zich verder verbreedt. Het (verdere) verlies van deze kennis is schadelijk omdat de kracht om je persoonlijke levensomgeving en haar toekomst te duiden gevaar loopt.

2.3 Powerful knowledge

Het duiden van je persoonlijke omgeving is een voorbeeld van 'powerful knowledge'. Zoals in de inleiding bij de maatschappelijke context uiteen is gezet is aardrijkskundige kennis belangrijk bij het bekijken van klimaatgerelateerde problemen zoals global warming. Leerlingen hebben hiervoor een bepaald begrip van de wereld nodig. Deze conceptuele kennis, die zijn oorsprong in dit geval vindt binnen de geografische discipline, wordt powerful knowledge genoemd door Young (2009). Het is in basis een educatief sociologisch begrip dat een 'krachtige' kennis beschrijft. Dit is het gedeelte van de kennis dat duiding geeft aan de feitenkennis. Lambert & Morgan (2009) noemen het de grammatica waarmee het vocabulaire (geografische feitenkennis) gebruikt kan worden.

Kenmerken van powerful knowledge

In een publicatie van Maude (2016) wordt ingegaan op de relevantie voor De Geografische discipline en hoe powerful knowledge er voor geografen uitziet. Hij stelt dat het beschikken over deze kennis een bestaansrecht is en los zou moeten staan van welvaart of afkomst. Powerful knowledge is in de eerste plaats betrouwbaar. Het gaat uit van het principe dat kennis een sociaal construct is en nooit de absolute waarheid kan zijn. Het is echter betrouwbaarder dan een mening of een overtuiging omdat het is blootgesteld is aan de kritische beschouwing van de academische discipline. Naast de betrouwbaarheid stelt het mensen in staat een effect te bereiken. Het creëert mogelijkheden voor (jonge) mensen om:

1. Nieuwe denkwijzen te ontdekken om naar de wereld te kijken.
2. Beter begrip te krijgen van de fysieke en sociale wereld.
3. Na te denken over alternatieve toekomstperspectieven en wat de eigen invloed hierop is.
4. Zeggenschap te krijgen over hun eigen kennis.
5. Actuele debatten aan te gaan.
6. Voorbij de grenzen van eigen ervaring te gaan.

Uit deze zes uiteenlopende mogelijkheden blijkt ook de relativiteit van de kracht van powerful knowledge. Het is persoonsgebonden, wat voor de één krachtig is kan voor de ander irrelevant zijn (Maude, 2016).

Powerful geographical knowledge

Op basis van de zes effecten die powerful knowledge beschreven in de vorige alinea heeft Maude (2016) de volgende vijf typen kennis gedefinieerd voor De Geografische discipline.

1. Kennis die je in staat stelt op een nieuwe manier naar de wereld te kijken

Deze kennis biedt nieuwe inzichten, waarden en aanvliegroutes om naar bestaande problemen in de wereld te kijken. Daarnaast roept het nieuwe vragen op, op basis waarvan het individu zijn of haar morele kader kan aanpassen. Bij dit type kennis wordt veel gebruik gemaakt van metaconcepten zoals plaats, ruimte, omgeving en verbondenheid. Deze concepten hangen sterk met elkaar samen. Een voorbeeld hiervan is dat bepaalde processen plaatsvinden onder invloed van verschillende omgevingsfactoren op verschillende locaties. Dat plaats ertoe doet ('Place Matters') is de kern van het geografisch denken. Daarmee maakt het de kennis die er mee gemoeid is krachtig. Het beïnvloedt de

denkwijze over de eerder genoemde concepten en draagt op deze wijze bij aan de oplossing voor verschillende problemen (Maude, 2016).

2. Kennis die bijdraagt aan het analyseren, verklaren en begrijpen van de wereld

Volgens Maude (2016) zijn er drie geografische concepten die beschikken over de kracht om leerlingen in staat te stellen fenomenen op de wereld te analyseren, verklaren en begrijpen buiten de persoonlijke ervaring van het individu. In de eerste plaats noemt hij analytische concepten. Analytische concepten binnen de geografie dragen bij aan de uitleg en begrip van processen zoals bijvoorbeeld vulkanisme. Een van de belangrijkste aspecten is het aantonen van causaliteit. Plaats is een voorbeeld van zo'n analytisch concept. Geografen vergelijken verschillende plaatsen om zo de invloeden van bepaalde factoren te bepalen. Naast analytische concepten noemt Maude (2016) ook verklarende concepten. Hierbij is verbondenheid essentieel. Causale verbanden worden gelinkt aan de geobserveerde werkelijkheid. De vraag hóé iets werkt is staat centraal. Als derde worden generaliseringën gezien als powerful knowledge. Hierin komen de analytische en verklarende concepten samen in een synthese. Deze kennis wordt als krachtig beschouwd omdat hij veel informatie weet te bundelen en de gebruiker in staat stelt deze toe te passen in een nieuwe situatie. Generaliseringën die een voorspellende werking hebben worden door Maude (2016) speciaal genoemd. Ze raken aan de alternatieve toekomstperspectieven en kunnen gebruikt worden om de toekomst te verbeteren.

3. Kennis die zeggenschap geeft over je eigen (geografische) kennis

Dit is metakennis over de vergaarde powerful knowledge. Hij beslaat de oorsprong, toetsing en evaluatie van de kennis. Op het moment dat de gebruiker hiervan op de hoogte is, is hij in staat om zich te ontwikkelen tot een onafhankelijke denker (Maude, 2016).

4. Kennis die gebruikers in staat stelt actuele debatten aan te gaan op verschillende schaalniveaus

De mogelijkheid om mee te kunnen doen in het publieke debat over maatschappelijke problemen is essentieel voor volledige deelname aan de maatschappij. De debatten kunnen zowel gevoerd worden over problemen op lokale, nationale als mondiale schaal (Maude, 2016). De integrale aanpak vanuit de geografie is een goed voorbeeld om in deze debatten de problemen zowel uit de fysieke hoek als de sociale hoek te bekijken.

5. Wereldkennis

Maude (2016) stelt dat kennis krachtig is wanneer het verder gaat dan de belevingswereld van de gebruiker. Kennis van de wereld is daarom per definitie krachtig. Op mondiale schaal bestaan er verschillende milieus, volken, culturen en financiële systemen. De wereldkennis van de gebruiker haakt in op de verwondering die kan bestaan voor de wereld. Daarnaast raakt het aan de verbondenheid en raakvlakken die bestaan tussen verschillende locaties en mensen op de wereld en is het daarmee een speeltuin voor het in praktijk brengen van kennis.

Er zijn dus vijf typen geografische kennis die bijdragen aan intellectuele krachtige manieren om te denken, analyseren of naar de wereld kijken. Welke specifieke inhoud deze kennis hierbij heeft is hierbij relatief onbelangrijk, zolang het maar bijdraagt aan het denken, analyseren of kijken naar de wereld. Als leerlingen beschikken over deze kennis dan zijn ze meer bekwaam in het beoordelen van de kennis binnen het curriculum en het gebruiken ervan om tot een eigen synthese te komen. Naast het gebruik van de kennis duidt het ook de samenhang binnen de geografische discipline. Het kan bovendien een manier zijn om niet-geografen duidelijk te maken wat de discipline inhoudt. Dit is van belang omdat geografie in de kern een alomvattende wetenschap is over de interacties op aarde (Maude, 2016).

2.4 Controversiële problematiek

Hoewel global warming vaak genoemd wordt als controversieel onderwerp (Maxwell & Miller, 2016; Thorne, Lanzante, Peterson, Seidel, & Shine, 2011; Van Rensburg, 2015) is de consensus binnen de academische wereld dat het gaande is en voor problemen zorgt. Zoals uit de inleiding blijkt vormen mensen er snel een mening over en zijn er grote politieke en economische belangen. Lane (2008) beschrijft hoe individuen in hun leven een rijk scala aan kennis, metaforen, emoties, normen en waarden verwerken. Deze mengelmoes van concepties leidt uiteindelijk tot uiteenlopende en contrasterende waarheden, die vaak verschillen van de stand van de wetenschap op dat moment. Het aardrijkskundeonderwijs is ook rijk aan dit soort controversiële onderwerpen (Roberts, 2013).

Roberts (2013) stelt dat problemen controversieel zijn wanneer er een tekort aan bewijs is voor de een of de andere bewering (1). Daarbij kan de interpretatie van het bewijs, zowel te positief als te negatief, een rol spelen in het opwerpen van conflicterende ideeën (2). Ook kunnen onderwerpen om ethische redenen controversieel worden (3). Tenslotte kunnen er verschillen zijn in de opvattingen over hoe er gehandeld moet worden om het probleem het hoofd te bieden. Hierbij spelen onevenredig verdeelde voordelen, conflicterende waarden, conflicterende ideologieën en onzekerheden in de implicaties van het handelplan een grote rol (4) (Roberts, 2013).

Roberts (2013) noemt iets wat niet opgelost kan worden op basis van feiten een wicked problem. Deze problemen horen om verschillende redenen thuis in de geografie. In de eerste plaats is alles wat in de geografie wordt behandeld ooit onderhevig geweest aan beïnvloeding door keuzes die een controversiële component hebben gehad. Het bestuderen hiervan draagt bij aan identificering van relevante factoren. Problemen hebben daarnaast een geografische component. Geografie is een politiek onderwerp waar normen en waarden onlosmakelijk mee verbonden zijn. Verder is het belangrijk om individuen te sterken tegen indoctrinatie, kennis over controversiële onderwerpen en wicked problems kan hieraan bijdragen. Leerlingen leren namelijk analyseren, evalueren en communiceren. Deze onderwerpen zijn door Maude (2016) bestempeld als krachtige kennis die bijdraagt aan de persoonlijke ontwikkeling van gebruikers.

Klimaatverandering kan gezien worden als een wicked problem. Het wordt door Roberts (2013) specifiek genoemd als een controversieel onderwerp dat goed behandeld kan worden binnen de schoolaardrijkskunde. Het lokale karakter van een probleem is belangrijk bij het selecteren van relevante controversiële problemen. Bij global warming is dit terug te vinden in de lokale effecten van een wereldwijd probleem (Van Schaik, Maas, Dinnissen, & Vos, 2015). Verder wordt er gesproken over de actualiteit. Met een klimaatakkoord wat nu ter goedkeuring bij de eerste kamer ligt, staat het global warming probleem midden in het huidige politieke debat (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2018). Dat leerlingen zich ook betrokken voelen blijkt uit de klimaatmarsen die duizenden jonge mensen uit de schoolbanken laten opstaan (Bouma & de Zwaan, 2019). Tenslotte benoemt Roberts (2013) dat de kennis van de docent voldoende moet zijn om een onderwerp goed te kunnen behandelen.

3. Methode

3.1 Onderzoeksvragen

Om inzicht te geven in de mogelijke afstand die de schoolaardrijkskunde heeft ten opzichte van de wetenschappelijke discipline zijn de volgende hoofd- en deelvragen gesynthetiseerd:

Wat is het karakter van de kloof tussen de wetenschap en de schoolaardrijkskunde met betrekking tot het onderwerp global warming?

- 1. Wat is de huidige stand van de wetenschap op het gebied van global warming?*
- 2. Wat is de huidige stand van de tekstboeken voor schoolaardrijkskunde op het gebied van global warming?*
- 3. Wat zijn de discrepanties tussen de informatie omtrent global warming in de wetenschappelijke literatuur en tekstboeken voor de schoolaardrijkskunde?*
- 4. Hoe uit het controversiële karakter van global warming zich in aardrijkskunde tekstboeken?*

3.2 Literatuurstudie aangaande global warming

Om een antwoord te formuleren op de eerste deelvraag is een literatuurstudie uitgevoerd. Hiervoor zijn verschillende boeken en wetenschappelijke publicaties gebruikt om een representatief beeld te geven van de huidige stand van de wetenschap omtrent het probleem global warming. Hierbij is gekozen om het onderwerp als volgt af te bakenen: in de eerste plaats is er gekeken naar de oorzaken. Vervolgens hebben deze oorzaken invloed op het klimaatsysteem waardoor global warming plaatsvindt. Daarnaast heeft global warming haar uitwerking op dit klimaatsysteem in de vorm van gevolgen. Tenslotte is gekeken naar de controverse die bestaat omtrent de oorzaken en gevolgen van global warming. Omwille van tijd en omvang is er gekozen om de maatregelen die getroffen kunnen worden om de oorzaken van global warming tegen te gaan buiten beschouwing te laten.

3.3 Inhoudsanalyse

De literatuurstudie die hierboven wordt beschreven, vormt een antwoord op deelvraag twee en dient als referentiekader voor de inhoudsanalyse van de verschillende lesmethoden.

Introductie

De inhoudsanalyse stamt uit de communicatiewetenschappen en journalistiek en wordt gebruikt om de inhoud van communicatieboodschappen te analyseren. Pleijter (2006) beschrijft uitvoerig uit welke stappen een inhoudsanalyse bestaat. Dit wordt als leidraad genomen in dit onderzoek. Een inhoudsanalyse geschiedt aan de hand van een bepaald thema of onderwerp of door verschillende media te analyseren (van Gorp, Béneker, & van der Vaart, 2005). Het kan gaan om een analyse van de kwaliteit van de inhoud of verschijnselen die buiten de overgedragen informatie liggen maar via deze informatie onderzocht kunnen worden (van der Vaart, 1991). Zoals in tabel 3.1 te zien is gaat inhoudsanalyse altijd om meer dan één informatie-eenheid. Verder bestaat het in kwantitatieve en kwalitatieve vorm. De kwantitatieve vorm, die uitgaat van tellingen, is minder absoluut dan het lijkt. Welke aspecten onder welke categorie worden geschaard worden is open voor interpretatie van de onderzoeker. Schoolboeken zijn in de geografie een vaak gebruikte bron om een inhoudsanalyse op toe te passen (van Gorp et al., 2005).

Tabel 3.1 Verschillende vormen van analyse van informatiebronnen (Bron: van der Vaart, 1991)

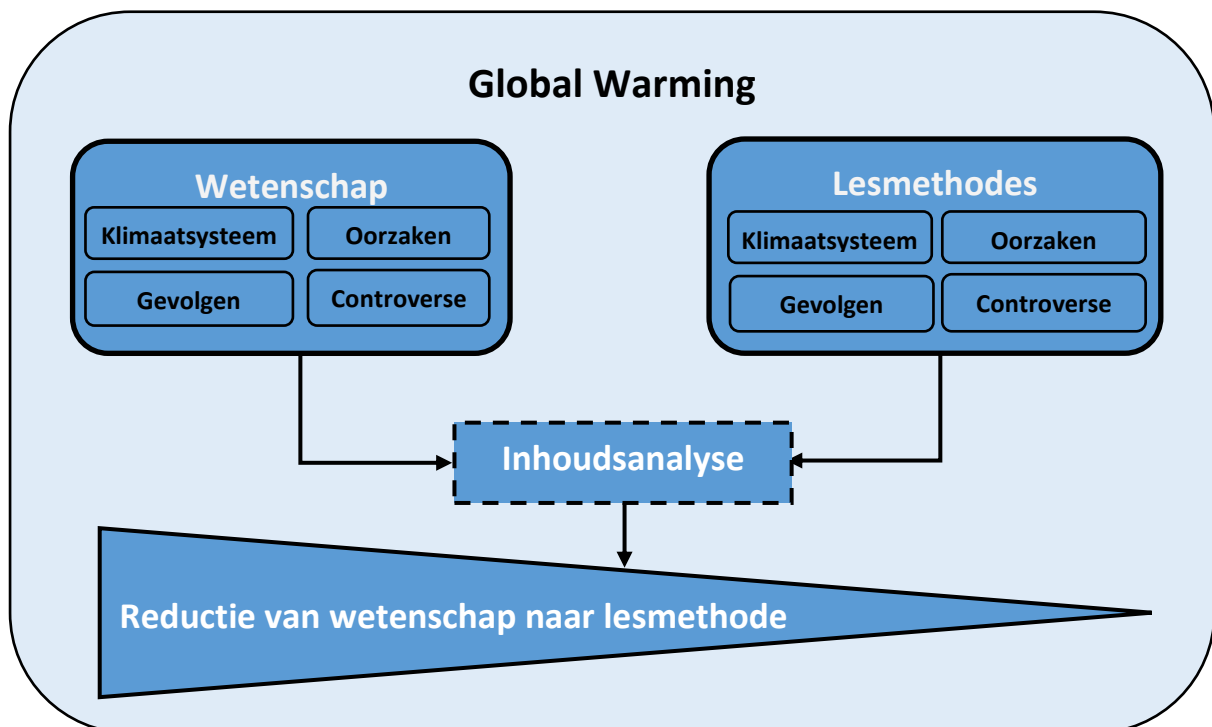
	Kwaliteit van de informatie	Verschijnselen buiten de inhoud van de informatie
Eén informatie-eenheid	Zuivere vorm van kritiek	Variant op kritiek
Meerdere informatie-eenheden	Variant op inhoudsanalyse	Zuivere vorm van inhoudsanalyse

Onderzoeksfasen

De onderzoeksfasen voor kwalitatieve inhoudsanalyse die Pleijter (2006) beschrijft in zijn proefschrift zijn grofweg op te delen in drie segmenten. De voorbereiding, uitvoering en verwerking. Het voorbereiden omvat het opstellen van een doel en onderzoeksvragen, het maken van een analytisch kader en het verkennen van het materiaal om op basis daarvan een analyse-instrument te ontwikkelen. Dit instrument kan vervolgens gebruikt worden om het geselecteerde materiaal te analyseren. In de verwerkingsfase worden de bevindingen geïntegreerd en wordt getracht een antwoord te formuleren op de onderzoeksvragen.

Vorbereiding

1. De **doelstelling** van de inhoudsanalyse is geformuleerd als de doelstelling van deze masterscriptie. De daarbij opgestelde onderzoeksvragen, specifiek vraag twee tot en met vier, zijn van toepassing op de analyse.
2. Het **analytisch kader** (figuur 1) is opgesteld aan de hand van de het theoretisch kader en het conceptuele model uit de literatuurstudie op het gebied van global warming.



Figuur 1. Analytisch kader

3. De verkenning van de te bestuderen informatiebronnen heeft geleid tot het **selecteren** van verschillende aardrijkskunde methoden die gebruikt worden in het voortgezet onderwijs in de Nederlandse schoolsituatie. In de publicatie van Pingel (2010) wordt uitvoerig beschreven aan welke voorwaarden het te bestuderen materiaal moet voldoen. De boeken dienen van gelijk niveau te zijn, waarbij de leerlingen over dezelfde basiskennis beschikken. Daarnaast dienen de boeken in hetzelfde licht geschreven te zijn. De aardrijkskundemethoden in Nederland zijn geschreven ter voorbereiding op het centraal en schoolexamen en hebben als leidraad de eindtermen voor aardrijkskunde op het voortgezet wetenschappelijk onderwijs (vwo) (College van Toetsen en Examens, 2017). Omwille van tijd en omvang van deze studie is er gekozen om een drietal methoden te onderzoeken (Tabel 3.2).

Tabel 3.2 Mediakaracteristieken van de onderzoeksselectie zoals vermeld in Pleijter (2006)	
Media-inhoud	Educatieve informatie
Media-type	(School)boeken
Media-titels	<p>WereldWijs / De wereld van (bovenbouw vwo)</p> <ul style="list-style-type: none"> a) WereldWijs: Aarde 1 (Lentjes et al., 2012a) b) WereldWijs: Aarde 2 (Lentjes et al., 2012b) c) WereldWijs: Wereld 1 (Lentjes et al., 2011a) d) WereldWijs: Wereld 2 (Lentjes et al., 2011b) e) WereldWijs: Leefomgeving (Lentjes et al., 2012c) f) De Wereld Van: vwo 5 (den Bekker, Elhorst, Scheepers, & Terlingen, 2018) <p>BuiteNland (bovenbouw vwo)</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Leerboek, 4 vwo (Bloothoofd, de Boer, Mennen, Prinsen, & Wils, 2016a) b) Leerboek, 5 vwo (Bloothoofd, de Boer, Mennen, Prinsen, & Wils, 2016b) c) Leerboek, 6 vwo (Bloothoofd, de Boer, Mennen, Prinsen, & Wils, 2016c) <p>De Geo (bovenbouw vwo)</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Aarde: Klimaatvraagstukken (Bulthuis et al., 2017a) b) Aarde: Systeem Aarde (Bulthuis et al., 2017b) c) Gebieden: Zuid-Amerika (Bulthuis et al., 2017c) d) Leefomgeving: Wonen in Nederland (Bulthuis et al., 2017d) e) Wereld: Arm & Rijk (Bulthuis et al., 2017e) f) Wereld: Globalisering (Bulthuis et al., 2017f)

4. De **ontwikkeling van een analyse-instrument** volgt uit het analytisch kader (Pleijter, 2006). De verkenning van de methode heeft geleid tot het splitsen van klimaatscepsis en politieke & economische belangen om zo een duidelijker beeld te krijgen van de verschillende aspecten binnen de controverse. De centrale begrippen zijn vervolgens concreet gemaakt in een aandachtspuntenlijst (Pleijter, 2006). Hierbij wordt het schaalniveau gevormd door de alinea's van de bronteksten. In figuur 2 is een schematische weergave gegeven van de classificering van de bronteksten. Om de bronteksten te selecteren zijn ze vergeleken met de stand van de wetenschap (1). De stratificatie hiervan is weergegeven in appendix 1a. Vervolgens zijn de geselecteerde bronteksten geclassificeerd volgens het conceptueel model (2) de specifieke indeling is te vinden in appendix 1b. De geclassificeerde bronteksten zijn vervolgens ingedeeld op de aan- of afwezigheid van een directe koppeling met global warming. Een voorbeeld tabel voor het noteren van de aandachtspunten is te vinden in appendix 1c.



Figuur 2 Schematische weergave van het analyse instrument (eigen werk, 2019)

Uitvoering

5. De lesmethode zijn **geanalyseerd** volgens het schema wat in appendix 1c is te vinden. In het schema zijn de resultaten geparafraseerd genoteerd volgens de classificatie in appendix 1b zodat dit later gemakkelijker verwerkt kon worden. Hierin zal het karakter van de informatievoorziening duidelijk worden. De parafrasering bestaat uit contexteenheden. Dit zijn de elementen uit de tekst die een bepaald stuk van belang maken (Pleijter, 2006). In deze studie zijn dat de centrale begrippen uit het conceptueel model. Vervolgens is dit in registratie-eenheden genoteerd, te weten de sub-selectie zoals weergegeven in appendix 1b.

6. Als laatste onderdeel van de uitvoering is er gekeken naar de **conceptualisering**. Dit wil zeggen dat er gekeken wordt of alle resultaten ondergebracht kunnen worden in het analytisch kader (Pleijter, 2006). Hieruit bleek dat in de categorie klimaatsysteem de categorie terugkoppelingsmechanismen en weer & klimaat niet toereikend waren om alle relevante informatie onder te scharen. Daarom is er gekozen om kringlopen als extra categorie toe te voegen.

Verwerking

7. De afzonderlijk geanalyseerde methodes zijn geïntegreerd (Pleijter, 2006). Bij deze fase wordt er ordening aangebracht in de verkregen resultaten en worden de verschillende vondsten aan elkaar gerelateerd. De ordening in deze scriptie volgt de structuur van de deelvragen. Ten dele is er kwantitatief te werk gegaan door te tellen hoe vaak de afzonderlijke categorieën terug te vinden zijn in de bronteksten. Uit het totale databestand zijn vervolgens de bronteksten geselecteerd die direct gekoppeld zijn aan global warming of cruciale¹ inhoudelijke informatie bevatten voor het uitvoeren van de kwalitatieve inhoudsanalyse. Een overzicht van alle gekoppelde bronteksten is te vinden in appendix 2. De bronteksten zijn vervolgens geordend volgens de indeling van de stand van de wetenschap. Omdat veel van de bronteksten hetzelfde aspect van global warming beslaan, zijn alle bronteksten die dubbele informatievoorziening verschaffen verwijderd om een vergelijking te vergemakkelijken. Een lijst met de geselecteerde citaten is te vinden in appendix 3. Vervolgens is de overgebleven brontekst per lesmethode vergeleken met de stand van de wetenschap wat geresulteerd heeft in een overzicht van de verschillende reducties die gedaan zijn in de methoden. Een voorbeeld van de selectie van bronteksten en het bepalen van de reductie is weergegeven in appendix 4.
8. De resultaten zijn overzichtelijk **gepresenteerd** in de resultatensectie van deze scriptie waarbij de kwantitatieve resultaten ondersteunend zijn aan de inhoudsanalyse van de reductie.
9. Vervolgens zijn de uitkomsten vergeleken met literatuuronderzoek en in de **discussie** uiteengezet, waarna er aandacht is besteed aan wat dit betekent voor de lespraktijk en hoe er een vervolg aan dit onderzoek zou kunnen worden gegeven.

¹ Waar mogelijk is er gebruik gemaakt van aan global warming gekoppelde bronteksten, sommige informatie is niet gekoppeld beschikbaar, informatie over de stralingsbalans is hier een voorbeeld van.

4. Resultaten I: Stand van de wetenschap

In het hoofdstuk zal getracht worden een beeld te scheppen van wat global warming inhoudt. Dit zal gevangen worden in een alomvattend schema dat leidend is voor de methodestudie. Na een korte inleiding zal het klimaatsysteem van de aarde worden beschreven. Vervolgens zal ingegaan worden op de componenten en de werking van het (versterkt) broeikaseffect. Wanneer de basisprincipes duidelijk zijn zal er aandacht besteed worden aan de controversie omtrent global warming. Hierin staan de wetenschap, politiek en klimaatsceptici centraal. Er wordt stil gestaan bij een toekomstperspectief en dieper in gegaan op de gevolgen van global warming.

4.1 Introductie

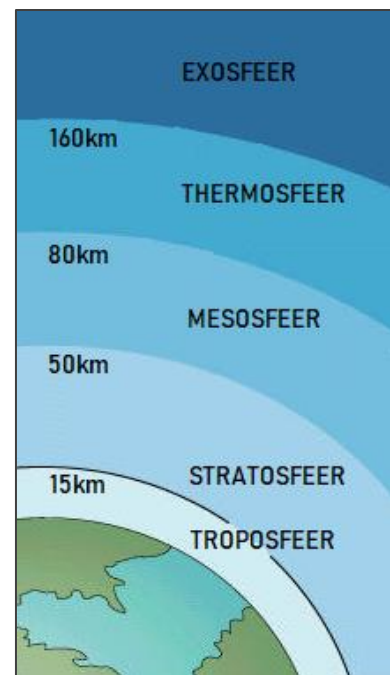
Met technieken is men in staat op verschillende manieren de temperatuur in het verleden te herleiden. Op basis van metingen van zuurstofisotopen in bentische foraminifera kan een reconstructie gemaakt worden van de temperatuur van het diepe oceaانwater van de laatste zeventig miljoen jaar. Op basis van metingen van het Ocean Drilling project is een inschatting gemaakt van de afgelopen 1,2 miljoen jaar. Temperatuurschommelingen in deze periode werden voornamelijk bepaald door de af- en aanwezigheid van landijs. Onderzoekers hebben in het poolijs op Devon Island vervolgens de samenstelling van de luchtbellen onderzocht. Omdat de samenstelling van verschillende zuurstofisotopen is te relateren aan de luchttemperatuur is een ruwe schatting te maken van de gemiddelde temperatuur gedurende deze periode. Tenslotte kan in de ijslaag van de laatste duizend jaar een duidelijke reconstructie gemaakt worden van de temperatuur op aarde met al haar seizoensgebonden invloeden. Hieruit is gebleken dat de temperatuur sinds het ontstaan van de aarde gefluctueerd heeft van temperaturen ver onder tot ver boven het huidig gemiddelde. In het algemeen stelt Harvey (2016) dat het klimaatsysteem een dynamisch en constant veranderend aspect is van de aarde.

Dat de temperatuur grote verschillen heeft gekend op een geologische tijdschaal staat dus als een paal boven water. Naast de temperatuur kan uit de chemische samenstelling van oceanisch sediment een inschatting gemaakt worden van de koolstofdioxide (CO₂) en methaan (CH₄) concentraties in de lucht. Als referentiekader hiervoor wordt 280 deeltjes CO₂ per miljoen per volume (ppmv) aangehouden. Dit is de concentratie CO₂ in de lucht van voor de industriële revolutie (Harvey, 2016). Uit onderzoek naar luchtbellen in landijs op Antarctica en Groenland is tevens gebleken dat de CO₂ en CH₄ concentraties de afgelopen 160,000 jaar variëren tussen de 280 en 300 deeltjes per miljoen per volume (ppmv). Sinds 2000 stijgt de gemiddelde CO₂ concentratie met twintig ppmv per decennium. Dit is in de afgelopen 800,000 jaar niet voorgekomen (Allen et al., 2018). De toename van deze gassen in onze atmosfeer leidt tot het vasthouden van meer warmte rond de aarde. De kennis op dit gebied is momenteel vergaand en solide, waarbij duidelijk is dat de veranderingen die door de mens worden veroorzaakt in het nabije verleden op een geologische tijdschaal nog niet zijn voorgekomen (Harvey, 2016). We worden meer en meer geconfronteerd met de verstrekkende gevolgen, die wanneer ze de vrije loop gelaten worden desastreuze gevolgen kunnen hebben voor onze planeet (Allen et al., 2018).

4.2 Het klimaatsysteem

Weer & klimaat

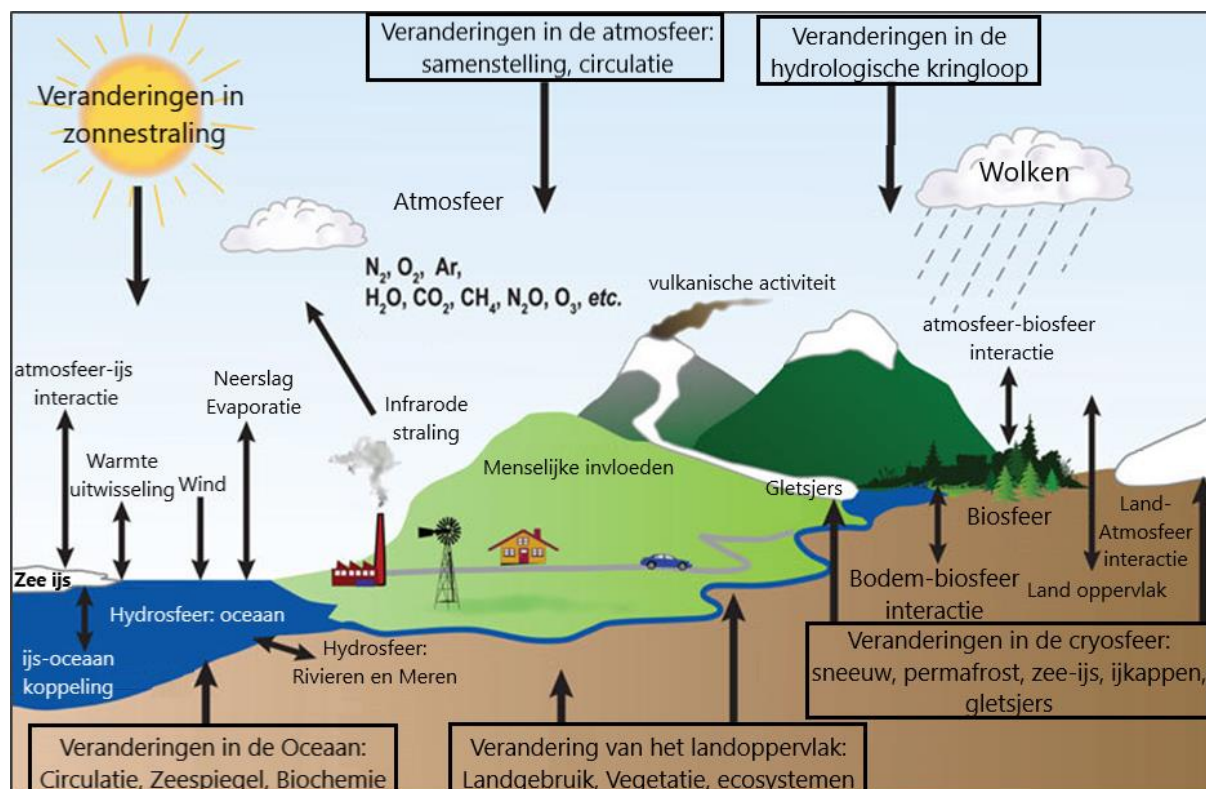
Het weer wordt door Miller & Spoolman (2011) gedefinieerd als de fysieke condities van de atmosfeer op een bepaalde locatie. Hierbij kan men denken aan: temperatuur, neerslag, luchtvochtigheid maar ook windsnelheden en bewolgingsgraad. Het klimaat wordt gedefinieerd als de gemiddelde weersomstandigheden en atmosferische condities voor een gebied over een periode van tenminste enige decennia (Miller & Spoolman, 2011). De atmosfeer bestaat uit vier lagen, welke zijn weergegeven in figuur 3. Het weer speelt zich voornamelijk af in de onderste laag, de troposfeer. De andere lagen zijn indirect wel van belang voor het klimaat op aarde. Het klimaat is echter niet alleen afhankelijk van de omstandigheden binnen de atmosfeer. Het is ook onderhevig aan andere invloeden. Al deze invloeden samen en de wisselwerking hiertussen wordt het klimaatsysteem genoemd (Harvey, 2016).



Figuur 3. De vier lagen van de atmosfeer

Het klimaat als systeem

Het klimaatsysteem is dus een breder begrip dan enkel de omstandigheden binnen de atmosfeer en bestaat naast de atmosfeer uit de biosfeer, oceanen, cryosfeer (sneeuw en ijs) en lithosfeer (aardkorst). Deze componenten zijn onderdeel van het dynamische klimaatsysteem en oefenen invloed op elkaar uit. Naast de onderdelen van het systeem zijn er invloeden van buitenaf. Hieronder vallen bijvoorbeeld de inkomende straling van de zon of de input van zwavelgassen door vulkaanuitbarstingen (Harvey, 2016). Een schematische weergave van het klimaatsysteem is gegeven in figuur 4.



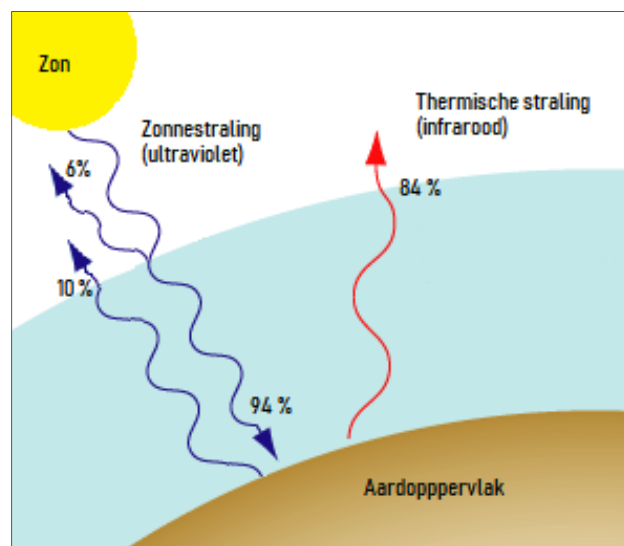
Figuur 4. Schematische Weergave van het Klimaatsysteem (Houghton, 2009)

De bovengenoemde relaties tussen de verschillende onderdelen van het klimaatsysteem vinden plaats in de vorm van stromen van energie en materie. De voornaamste vormen van energie zijn inkomende kortgolvlige ultraviolette (UV) zonnestraling of langgolvlige infrarode straling. Deze worden op hun plaats weer ondergebracht in voelbare en latente hitte (Harvey, 2016). De voornaamste materiestromen vinden plaats in water (waterkringloop), koolstof (koolstofkringloop), zwavel (zwavelkringloop) en nutriënten (stikstof- en fosforkringloop). Hoe het klimaatsysteem zich gedraagt is afhankelijk van de plaatselijke karakteristieken van energie- en materiestromen. Het klimaatsysteem heeft vervolgens ook weer haar invloed op de stromen.

4.3 Het broeikaseffect

Stralingsbalans

Zoals in de vorige paragraaf werd beschreven is de zon de voornaamste bron van inkomende energie. Deze kortgolvlige straling komt binnen en straalt in op de aarde. Gemiddeld per vierkante meter komt er 342 watt aan straling binnen. Zoals in figuur 5 te zien is wordt een gedeelte hiervan terug de ruimte in gekaatst. 6% van de reflectie geschiedt in de atmosfeer een ander deel (10%) wordt op het landoppervlak gereflecteerd. De fractie van de gereflecteerde straling wordt het albedo genoemd. Een hoger albedo (α) zorgt dus voor een hogere reflectie. De overige straling (84%) die wel het aardoppervlak bereikt zorgt voor opwarming van de aardkorst. De warme aardkorst straalt op



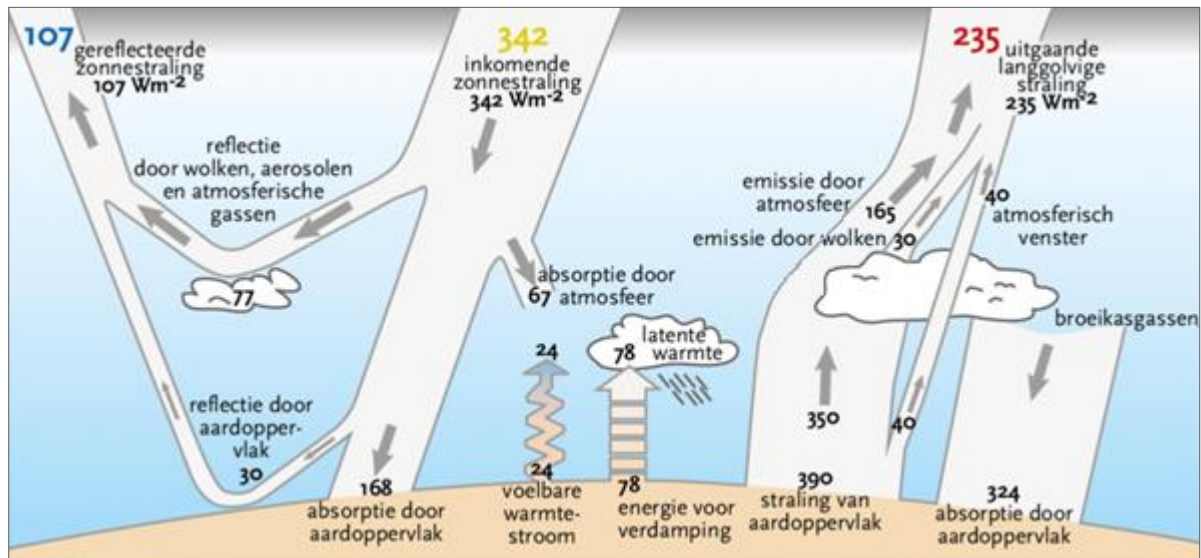
Figuur 5. Vereenvoudigde stralingsbalans (Bron: Eigen werk, 2019)

haar beurt deze 288 Wm^{-2} aan energie weer uit naar de ruimte. Het verschil tussen inkomende zonnestraling und die straling terug de ruimte in wordt die stralingsforcering genoemd. Ein Überblick von den Strömen zwischen inkomende und ausgehende Strahlung wird die Strahlungsbalans genannt. Die Hoveelheid infrarode straling die op ein bepaald punt wordt uitgestraald is afhankelijk von der Temperatur von het aardoppervlak op die desbetreffende plek und is dus niet overall gelijk. Gemiddelt is het so dat die 288 Wm^{-2} geabsorbeerde zonnestraling zou resulteren in ein uitstraling von infrarode golven bij ein oppervlaktetemperatur von $-6 \text{ }^\circ\text{C}$. Hoewel die gemiddeltetemperatuur op aarde op basis von boven gepresenteerde stralingsbalans rond die $-6 \text{ }^\circ\text{C}$ zou moeten liggen is die gemiddeltetemperatuur in realiteit $13,9 \text{ }^\circ\text{C}$ (NOAA, 2018). Het verschil von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ wordt veroorzaakt durch ein aantal factoren die die uitgaande infraroodstraling vasthouden in die atmosfeer (Harvey, 2016).

Het natuurlijk broeikaseffect

Die factoren die infrarode straling binnen die dampkring vasthouden zorgen samen für ein mechanisme dat het broeikaseffect wordt genoemd. Het merendeel von het gas (stikstof und zuurstof) dat sich in die atmosfeer bevindt absorbeert geen thermische straling und zendt het ook niet uit (Houghton, 2009). Andere gassen doen dit wel, water (H_2O) is hier het belangrijkste voorbeeld von. Daarnaast zijn CO_2 , Ozon (O_3), CH_4 und distikstofoxide (N_2O) gassen die thermische straling absorberen die durch het aardoppervlak wordt uitgezonden (zie figuur 6) (Harvey, 2016). Vaste deeltjes die in die lucht zweven (aerosolen) absorberen ook straling. Alle vastgehouden straling zal dus niet die ruimte in worden gezonden und zorgt per saldo für ein positief temperatuurverschil von tussen die twintig und die dertig graden Celsius. Dit wordt het natuurlijk broeikaseffect genoemd omdat diese gassen sich von nature in die atmosfeer bevinden (Houghton, 2009).

De stralingsbalans zoals hij is weergegeven in figuur 5 dient dus uitgebreid te worden met een aantal extra stromen. Een overzicht hiervan is te zien in figuur 6. Zoals te zien is wordt een deel van de inkomende straling geabsorbeerd in de atmosfeer of weer gereflecteerd. Hiervoor zijn wolken het meest belangrijk, ze reflecteren 40-80% van de inkomende straling en absorberen 5-15% (Harvey, 2016). Naast wolken zijn andere aerosolen en de gassen genoemd in de vorige paragraaf hiervoor verantwoordelijk. Deze factoren zorgen in eerste instantie dus voor een koelend effect op de aarde omdat minder straling doordringt tot de aarde.



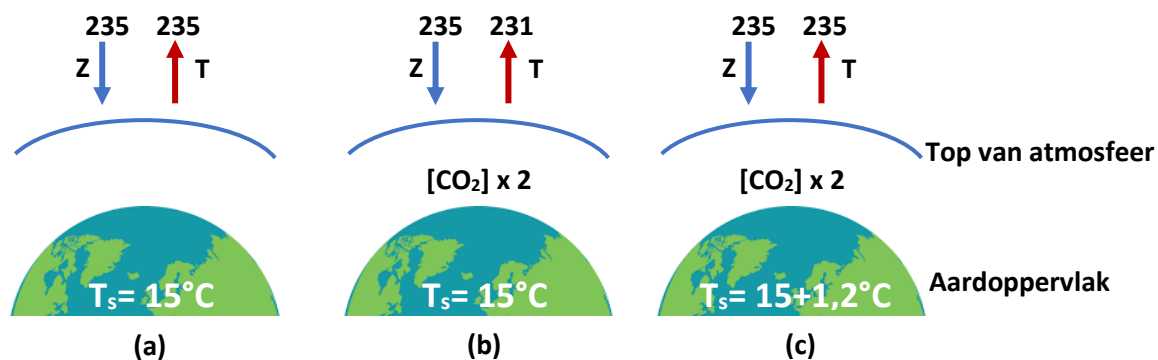
Figuur 6. Complete stralingsbalans (Bron: Houghton, 2009)

De straling die wel doordringt tot het oppervlak wordt vervolgens weer uitgezonden als thermische straling. Deze flux is weergegeven als 390 Wm^{-2} in figuur 6 en wordt gedeeltelijk geabsorbeerd door de broeikasgassen, welke op hun beurt deze straling weer uitzenden. Omdat de atmosfeer doorgaans kouder is dan het aardoppervlak is de uitgezonden straling minder dan dat er geabsorbeerd is. Dit wordt het atmosferisch venster genoemd en is te zien in figuur 6. Omdat zonne- en infrarode straling beide vormen van energie zijn en er in totaal minder straling de ruimte in gaat dan wanneer deze broeikasgassen er niet zouden zijn is het per saldo warmer dan wanneer deze gassen er niet zouden zijn geweest. (Harvey, 2016)

Het saldo van de absorptie van zonne- en infrarode straling door het aardoppervlak is 102 Wm^{-2} meer dan dat het infrarode straling uitzendt, terwijl de atmosfeer juist 102 Wm^{-2} meer uitzendt dan het absorbeert. Ongeveer 80% van deze extra straling op het aardoppervlak vindt zijn weg terug de atmosfeer in door het verdampen van water aan het aardoppervlak in plaats van het opwarmen van de aardkorst. Wanneer dit watergas condenseert in de atmosfeer wordt de energie daar afgegeven. Dit wordt de latente warmtestroom genoemd. Naast watergas stijgt warme lucht op en daalt koude lucht als een gevolg van een verschil in dichtheid. Dit wordt de voelbare warmtestroom genoemd en bestrijkt de overige 20% van de 102 Wm^{-2} . Deze stromen vinden niet alleen plaats in de verticale plaats, maar ook in de horizontaal. Op deze manier wordt energie verdeeld over de aarde en vindt er een netto transport van energie plaats van de evenaar (waar de meeste zonnestraling binnenkomt) naar de polen (Harvey, 2016).

Het versterkt broeikaseffect

Zoals eerder gesteld is H₂O het belangrijkste broeikasgas. Omdat de hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer overwegend bepaald wordt door de temperatuur van het aardoppervlak en de oceanen heeft de mens hier in directe zin weinig invloed op. Voor de andere broeikasgassen is dit niet zo. Zoals in de introductie van dit hoofdstuk uiteen is gezet is de hoeveelheid CO₂ in de lucht sinds de industriële revolutie enorm gestegen en vooral de snelheid waarin de hoeveelheid toeneemt baart zorgen. Dit heeft meerdere oorzaken. Voorbeelden hiervan zijn het verbranden van fossiele brandstoffen en het kappen van bomen die een vorm zijn van koolstofopslag (Houghton, 2009). Zoals in figuur 7a te zien is, is er zonder een toename in CO₂ een balans in inkomende en uitgaande straling van 235 Wm⁻². Wanneer de CO₂ concentratie verdubbelt (figuur 7b) zal er 4 Wm⁻² minder de ruimte in stromen. Vervolgens zal de stralingsbalans zich herstellen met als resultaat dat het aardoppervlak zal opwarmen met 1,2°C (figuur 7c). Een voorwaarde hiervoor is dat andere factoren zoals het albedo van het aardoppervlak, de hoeveelheid waterdamp in de lucht et cetera gelijk blijven. Veel van deze factoren zijn onderhevig aan terugkoppelingsmechanismen waar veel onderzoek naar gedaan is. Voorbeelden hiervan zijn waterdampt terugkoppeling (Held & Soden, 2014), het smelten van de permafrost (Chadburn et al., 2017) en de terugkoppelingsmechanismen van het wolkendek (Harvey, 2016). Daarnaast zijn er terugkoppelingen die zowel positief (Cvijanovic & Caldeira, 2015) als negatief (Swingedouw et al., 2008) kunnen uitpakken. Hiervan is het veranderen van het albedo als gevolg van verandering van de hoeveelheid ijsoppervlak een voorbeeld.



Figuur 7. Overzicht van in en uitgaande straling bij een verdubbeling van de CO₂ concentratie (Bron: Houghton, 2009)

Broeikasgassen

Een broeikasgas wordt gedefinieerd als: “moleculen in de atmosfeer van de aarde die, door het absorberen van een deel van de thermische straling uitgezonden door het aardoppervlak, de atmosfeer opwarmen.” (Houghton, 2009, p.421). Omdat de verschillende broeikasgassen een andere samenstelling hebben absorberen ze allemaal straling van verschillende golflengtes. Dit is overzichtelijk weergegeven in figuur 8. Op basis van de concentratie in de atmosfeer en de hoeveelheid straling die ze absorberen worden de belangrijkste broeikasgassen in de volgende alinea’s besproken. De verschillende stoffen worden vergeleken met een molecuul CO₂ om de relatieve invloed van de verschillende gassen te berekenen. Dit wordt het global warming potentieel genoemd. In tabel 4.1 is een overzicht te zien van de verschillende stoffen en hun global warming potentieel (Forster et al., 2007). Naast gassen met een directe invloed op het broeikaseffect zijn er ook gassen die indirect zorgen voor versterking van het broeikaseffect omdat ze via reacties in de lucht kunnen worden omgezet in broeikasgassen (Houghton, 2009). Deze gassen worden hier verder buiten beschouwing gelaten.

Tabel 4.1 Karakteristieken van verschillende broeikasgassen (IPCC, 2013)

Stof	Formule	Concentratie in atmosfeer	Levensduur	Stalingsefficiëntie ^e	GWP 100yr
Koolstofdioxide	CO ₂	408 ppm ^a	^c	1,4x10 ⁻⁵	1
Methaan	CH ₄	1863 ppb ^b	12	3,7x10 ⁻⁴	21
Lachgas	N ₂ O	329,9 ppb	114	3,03x10 ⁻³	310
Chloorfluorkoolstoffen	CFK	^d	<1.700	0,18-0,3	3800-8100
HydroChloorFluorkoolstoffen	HCFC	^d	<270	0,09-0,4	90-11.700
Perfluorkoolstoffen	C _n F _{2n+2}	^d	<50.000	0,1-0,57	7000-23.900

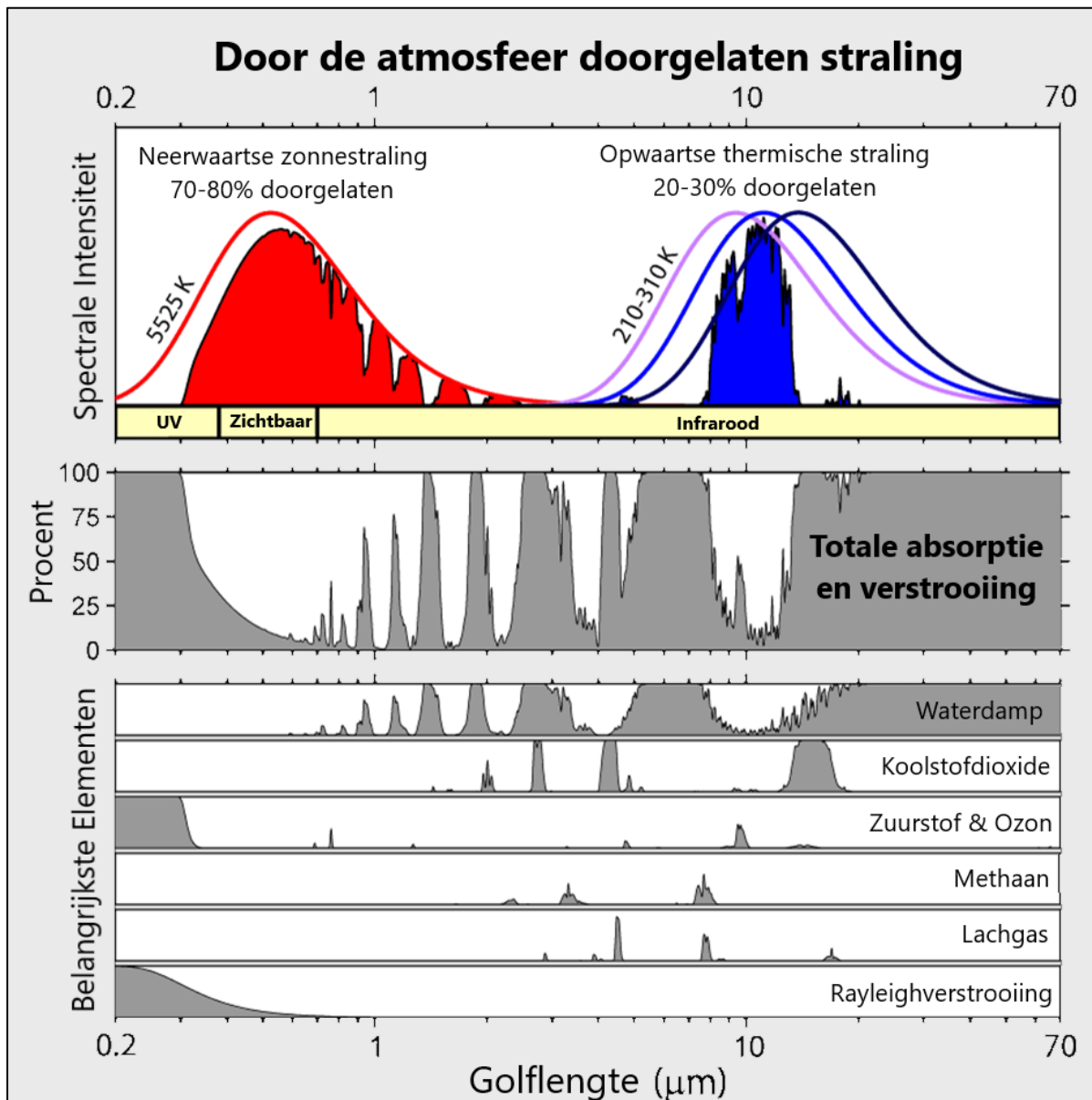
^a Bron: Dlugokencky, 2019

^b Bron: Dlugokencky, 2019b

^c Niet weer gegeven vanwege uiteenlopende levensduur afhankelijk van het reservoir.

^d Omdat dit een verzamelgroep is, is de concentratie niet duidelijk weer te geven.

^e Vermeerdering in straling in Wm⁻² bij een verdubbeling van het aantal deeltjes per miljard deeltjes (ppb⁻¹)



Figuur 8. De verschillende spectra waarop broeikasgassen stralingen absorberen (gebaseerd op: Rohde, 2007)

Waterdamp

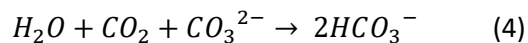
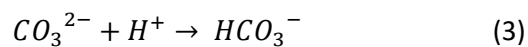
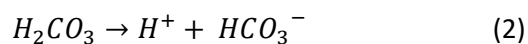
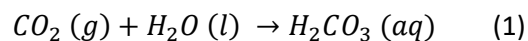
Waterdamp is het belangrijkste broeikasgas. Zowel de hoeveelheid als de verdeling heeft een grote invloed op het klimaat. Zoals te zien is in figuur 6 zorgt verdamping van water voor een grote energiestroom door de verkoeling van het aardoppervlak. In het bovenste deel van de atmosfeer zorgt het voor het vasthouden van warmte. Binnen acht dagen is al het water dat zich in de atmosfeer bevindt vervangen door nieuw water. Vanwege de korte reactietijd reageert de waterhuishouding snel op veranderingen in het klimaat (Harvey, 2016). Naast het vasthouden van warmte zorgt reflectie van inkomende zonnestraling door wolken (zie figuur 6) ook voor verkoeling van de aarde (Houghton, 2009).

Omdat de hoeveelheid waterdamp niet direct wordt beïnvloed door de mens is deze van minder groot belang in het antropogeen versterkt broeikaseffect. Wel wordt de hoeveelheid waterdamp in de lucht indirect beïnvloed. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een hogere verdamping door hogere temperaturen (Held & Soden, 2014).

Koolstofdioxide

CO₂ maakt onderdeel uit van de koolstofkringloop. Koolstof (C) vinden we in de atmosfeer voornamelijk terug in de vorm van CO₂ en CH₄. Koolstof bevindt zich in verschillende reservoirs waaronder levende wezens, de aardbodem en water. Deze reservoirs staan met elkaar in verbinding middels de koolstofkringloop en vormen zo een balans (Harvey, 2016). Het merendeel van de koolstof dat door de mens in de atmosfeer wordt gebracht is afkomstig uit fossiele brandstoffen. Verbranding van fossiele brandstoffen zorgt voor de productie van CO₂. Omdat de atmosfeer een reservoir is met een relatief kleine hoeveelheid koolstof hebben veranderingen in de andere reservoirs een grote impact op de concentratie koolstof in de atmosfeer (Houghton, 2009).

Tot aan de industriële revolutie waren de wisselwerkingen tussen de verschillende componenten van de koolstofkringloop in balans. Sinds de revolutie is de mens steeds meer fossiele brandstoffen gaan gebruiken en is er veel biomassa gekapt ten behoeve van de landbouw. Dit heeft tot gevolg gehad dat zich een nieuw evenwicht heeft ingesteld waarbij een grotere fractie van de koolstof zich in de atmosfeer bevindt in de vorm van CO₂ (Houghton, 2009). Het grootste deel van de CO₂ dat atmosfeer binnendringt wordt vervolgens opgenomen door de oceanen. Dit gebeurt volgens de onderstaande reacties (zie formule 1 t/m 4). Het leidt netto tot een omzetting van CO₂ tot het zuur bicarbonaat (Harvey, 2016).



In absolute zin heeft de CO₂ concentratie de grootste invloed op de stralingsforcering op aarde (Houghton, 2009).

Methaan

CH₄ is een natuurlijk gas dat ontstaat bij de ontbinding van organisch materiaal. De concentratie is de laatste twee millennia nagenoeg gelijk gebleven rond de 700 ppb. Echter, sinds de industriële revolutie, is het meer dan verdubbeld in de atmosfeer (Montzka, Dlugokencky, & Butler, 2011). Methaan bevindt zich voornamelijk in draslanden (die ook ontstaan bij het opdoeien van permafrostzones), maar wordt ook direct en indirect uitgestoten door de mens. Zo ontsnapt het door lekkages bij aardgaswinning, vormen rijstvelden een bron van methaanproductie, wordt het uitgestoten door vee bij de ontbinding van hun voedsel en komt het vrij bij de verbranding van organisch materiaal (Houghton, 2009).

Omdat methaan reageert met oxidewaterstof (OH)-radicalen in de atmosfeer heeft het een omlooptijd van twaalf jaar. Hoewel dit gemiddeld korter is dan dat van CO₂, heeft CH₄ toch een hoog global warming potential omdat de stralingsefficiëntie veel hoger ligt (zie tabel 4.1).

Distikstofoxide (lachgas)

N₂O komt significant minder voor dan CH₄ en CO₂ (zie tabel 4.1). Het heeft sinds de industriële revolutie wel een stijging gekend van ongeveer twintig procent (Montzka et al., 2011). Voor de industriële revolutie was de concentratie van lachgas in de lucht voornamelijk het resultaat van balans tussen de productie en opname door biochemische processen. Maar sinds de intrede van kunstmest en de verbranding van biomassa wordt er door de mens een behoorlijke invloed uitgeoefend op de atmosferische fractie (Houghton, 2009). Hoewel de concentratie laag is heeft het toch een hoog global warming potentieel omdat het slecht kan worden afgebroken. Afbraak vindt voornamelijk plaats in de stratosfeer onder invloed van licht, wat leidt tot een levenscyclus van 114 jaar (Montzka et al., 2011).

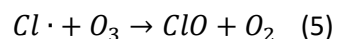
Ozon

O₃ is van een andere aard dan de overige broeikasgassen. Het wordt niet uitgestoten door de mens en heeft zowel een positieve als een negatieve werking op de temperatuur op aarde. Het wordt gevormd door een fotochemische reactie waarin zuurstof moleculen met elkaar reageren onder invloed van inkomende uv-straling. Het kan worden afgebroken door inkomende uv-straling met een hogere golflengte (Houghton, 2009). Ozon heeft een relatief korte levensduur van 100-200 dagen, dus zijn er grote verschillen te vinden op mondiale schaal (Harvey, 2016). Volgens Harvey (2016) is de hoeveelheid ozon in de atmosfeer gemiddeld gezien afgenomen sinds de jaren tachtig. Deze netto afname bestaat uit een toename in de troposfeer en een afname in de stratosfeer.

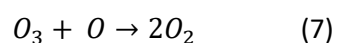
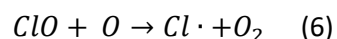
Stratosferische ozon is belangrijk vanwege zijn beschermende werking tegen schadelijke uv-straling (Houghton, 2009). Echter werkt het als broeikasgas wanneer het zich in de troposfeer bevindt (Montzka et al., 2011). De effectiviteit als broeikasgas heeft ozon te danken aan het feit dat het actief is in het atmosferisch venster. Dit is een gedeelte van het spectrum waar weinig andere broeikasgassen straling absorberen (Houghton, 2009). Naast de afbraak in de stratosfeer door uv-straling wordt ozon in de gehele atmosfeer afgebroken door reactieve chlooratomen veelal afkomstig uit chloorfluorkoolstoffen (Houghton, 2009).

Cfk's

Chloorfluorkoolstoffen of kortweg cfk's zijn door de mens gefabriceerd. Het zijn inerte stoffen wat betekent dat ze niet sterk reactief zijn en daardoor een lange levensduur hebben (100-200 jaar). Ze komen in geringe hoeveelheden voor in de atmosfeer, 1 ppb. Wanneer ze zich in de stratosfeer bevinden verliezen ze chlooratomen onder de invloed van uv-straling. Deze chlooratomen zijn sterk reactief en breken ozon af volgens onderstaande reactie (Harvey, 2016).



Vervolgens reageert het ontstane chlooroxide op zijn beurt weer met ozon tot twee zuurstof moleculen en een los chlooratoom wat weer een volgend ozonmolecuul kan afbreken.



De vrije chlooratomen werken als katalysator in de bovenstaande reactie wat inhoudt dat deze zelf niet verbruikt worden. Hierdoor kan een chlooratoom meerdere ozonmoleculen afbreken. Omdat de ozon vanwege zijn beschermende werking tegen uv-licht belangrijk is om te behouden is er in het Montrealprotocol vastgesteld dat de productie van cfk's wereldwijd in 2006 per direct gestopt moest

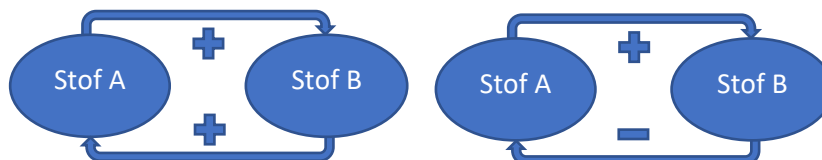
worden is. De concentratie van deze stoffengroep neemt dus sindsdien niet meer toe (Houghton, 2009). Cfk's absorberen net als ozonstraling in het atmosferisch venster en komen in lage concentraties voor in de atmosfeer. Toch hebben ze, mede vanwege de katalysatorwerking van de chlooratomen, een effectiviteit die 5.000-10.000 keer groter is dan CO₂. Zo vormen ze een significante bijdrage aan het broeikas effect. Sinds de overeenstemming in het Montrealprotocol zijn de cfk's vervangen door hcfk's. Hoewel deze minder schadelijk zijn bevatten ze nog altijd chlooratomen en vormen een vergelijkbaar probleem voor de ozon (Houghton, 2009).

Terugkoppelingsmechanismen

Zoals in de introductie is geschetst is het klimaatstelsel complex en omvangrijk. Binnen het stelsel zijn energie- en massastromen met elkaar in verbinding en beïnvloeden elkaar. Een vorm van beïnvloeding is terugkoppeling. Een terugkoppelingsmechanisme werkt volgens het volgende principe: wanneer een hoeveelheid van stof A verandert en een verandering in de hoeveelheid van stof B teweegbrengt, die vervolgens op zijn beurt weer een verandering in stof A realiseert, noemt men dat een terugkoppeling. Deze laatste verandering kan zowel in dezelfde richting als in de tegengestelde richting plaatsvinden (zie figuur 9). Een verandering in dezelfde richting wordt een positieve terugkoppeling genoemd en een verandering in tegengestelde richting een negatieve terugkoppeling. Een positieve terugkoppeling zorgt dus voor een versterking van het initiële effect terwijl een negatieve terugkoppeling als rem fungeert (Harvey, 2016).

Positieve terugkoppeling

Een voorbeeld van positieve terugkoppeling is de waterdamp terugkoppeling. Waterdamp is het belangrijkste broeikasgas in de atmosfeer. Hoewel we het als mens niet direct beïnvloeden blijkt dat indirect een van de belangrijkste terugkoppelingen betrekking heeft op de hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer. Het kan het effect van CO₂ met een factor vier versterken (Held & Soden, 2014). Wanneer het warmer wordt in de atmosfeer kan er meer water verdampen. Deze waterdamp zorgt vervolgens als broeikasgas voor verdere verwarming van de atmosfeer etc.



Figuur 9. Schematische weergave van positieve (links) en negatieve (rechts) terugkoppelingsmechanismen

Negatieve terugkoppeling

Een voorbeeld van negatieve terugkoppeling is het effect dat CO₂ heeft op de productie van biomassa. Een toename in CO₂ zorgt voor een toename in fotosynthese. Dit zal ervoor zorgen dat de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer zal afnemen wat op zijn beurt de fotosynthese zal remmen.

Complexiteit van terugkoppelingsmechanismen.

Het global warming mechanisme kent talloze terugkoppelingen zowel positief als negatief. Er is uitgebreid onderzoek gedaan om al deze mechanismen in kaart te brengen. Voorbeelden van terugkoppelingsmechanismen zijn onder te brengen in vier groepen. Ten eerste bestaan er terugkoppelingen met betrekking tot wolkvorming (Bony et al., 2015). Ten tweede zijn er terugkoppelingen die samenhangen met de hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer (Held & Soden, 2014). Ten derde is het oppervlak van de hoeveelheid ijs en sneeuw op de aarde een belangrijke bron van invloed op het gemiddelde albedo. Hier zijn zowel positieve (Chadburn et al., 2017) als negatieve (Swingedouw et al., 2008) terugkoppelingen voor beschreven. Tot slot is een belangrijke groep mechanismen te vinden in de koolstofkringloop (Friedlingstein, Dufresne, Cox, & Rayner, 2003). Voorbeelden van deze laatste groep zijn te vinden in terrestrische systemen (Field, Lobell, Peters, &

Chiariello, 2007) of bijvoorbeeld in de gevolgen van het smelten van de permafrost (Chadburn et al., 2017). Verder zijn feedbackmechanismen in oceanen belangrijk omdat zij een groot reservoir voor koolstof vormen (Plattner, Joos, Stocker, & Marchal, 2001). Om al deze risico's goed te kunnen inschatten is het belangrijk om deze terugkoppelingsmechanismen in kaart te brengen. Het is moeilijk om het effect van de mechanismen los van elkaar te zien omdat de effecten niet direct meetbaar zijn en veelal met elkaar in verbinding staan (Harvey, 2016).

4.4 Controverse: wetenschap versus klimaatsceptici

Bovenstaande paragrafen zijn ingegaan op aspecten die bijdragen aan global warming. Wanneer we het hebben over de opwarming van de aarde definieert Allen et al. (2018, p. 51) global warming als: *“De toename in zowel land- als zeeoppervlaktetemperatuur, gemiddeld voor de gehele wereld over een periode van 30 jaar.”* Hierbij hoeft het dus niet enkel om menselijke bijdragen te gaan.

Klimaatwetenschap

Hoewel er ook natuurlijke factoren bijdragen aan global warming is de invloed van de mens sinds de jaren tachtig steeds meer centraal komen te staan in het oog van beleidsmakers en internationale samenwerkingsverbanden (Bodansky, 2001). De eerste aanzet hiervoor is gedaan in Bruntland et al. (1987) *“Our Common Future”*. Een breed onderzoek door een commissie stelde dat er een limiet is aan de belasting van het milieu ten behoeve van economische groei. Klimaatverandering is een voorbeeld van overschrijden van deze limiet. Global warming is een van de aspecten van klimaatverandering en zoals de naam impliceert is het een fenomeen wat op een mondiale schaal speelt. Vandaar dat er vanuit de Verenigde Naties middels het United Nations Environment Programme (UNEP) het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is opgezet in 1988. Er zijn momenteel 195 landen lid van het panel. Sinds de oprichting brengen onderzoekers van het panel regelmatig verslagen uit over de stand van zaken binnen de wetenschap op het gebied van klimaatverandering (IPCC, 2019).

IPCC Rapportage

Het IPCC brengt sinds 1990 rapporten uit waarin een inschatting wordt gemaakt over de huidige stand van zaken omtrent klimaatverandering. In tabel 4.2 zijn de belangrijkste bevindingen met betrekking tot global warming weergegeven.

Jaar	AR	Bevinding
1990	AR 1	Opwarming van de aarde is conform de voorspelling van klimaatmodellen (inclusief menselijke invloeden), echter valt het ook binnen de natuurlijke klimaatvariabiliteit (IPCC, 1990).
1996	AR2	Het kwantificeren van de menselijke bijdrage is moeilijk omdat de gevolgen zich nog in een beginstadium bevinden, daarbij is de onzekerheid groot. Echter lijkt de concentratie broeikasgassen en veranderingen in landgebruik een merkbare invloed te hebben op het klimaat (IPCC, 1996).
2001	AR3	Het is waarschijnlijk dat de opwarming van de aarde over de afgelopen 50 jaar veroorzaakt wordt door een toename in broeikasgassen (IPCC, 2001).
2007	AR4	Het is hoogstwaarschijnlijk dat het merendeel van de opwarming van de aarde over de afgelopen 50 jaar is veroorzaakt door de mens uitgestoten broeikasgassen. Tevens is het extreem onwaarschijnlijk dat de temperatuurstijging het gevolg is van enkel klimaatvariabiliteit (IPCC, 2007).
2013	AR5	Met 95 % zekerheid is te stellen dat de mens is de belangrijkste factor is in de opwarming van atmosfeer en oceaan in de periode sinds de jaren 50 van de vorige eeuw. Daarbij is het waarschijnlijk dat de opwarming van de aarde door de mens tot op heden 0,6-0,7 graden betreft (IPCC, 2013).

Wanneer er gekeken wordt naar de IPCC-rapporten die sinds 1990 zijn uitgebracht is er een trend te zien waarin de bevindingen steeds sterker bevestigen dat de mens een invloed heeft op de toename in

de gemiddelde temperatuur. Daarnaast worden de uitspraken steeds specifiek van aard door de toename in onderzoeksmogelijkheden en omvang.

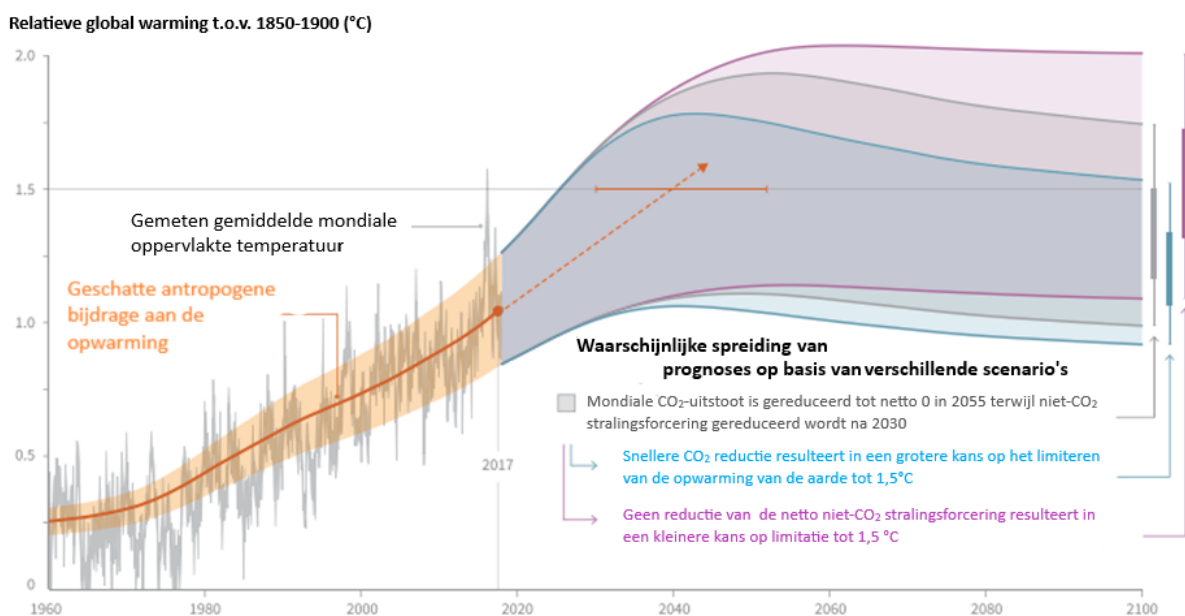
Stand van zaken

In 2018 bracht het IPCC een rapport uit over wat de gevolgen van 1,5 °C opwarming zouden zijn voor de aarde. Hierin werd vastgesteld dat de huidige opwarming van de aarde minstens 1 °C boven de temperatuur van voor de industriële revolutie ligt. De huidige snelheid waarmee de opwarming plaatsvindt bedraagt 0,2 °C graad per decennium. Tevens is het zo dat de gemiddelde temperatuurstijgingen boven land gemiddeld groter zijn dan boven zee (IPCC, 2018). Twintig tot veertig procent van de wereldbevolking woont in gebieden waar het zelfs 1,5 °C warmer is geworden. Daarbij is er een hoge waarschijnlijkheid dat de toename in temperatuur disproportioneel ten deel zal vallen aan de armere bevolking van de aarde.

Adaptatie is nodig om uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Wanneer deze per direct zou worden stopgezet zal er nog altijd een opwarming van 0,5 °C worden gerealiseerd in het komende decennium vanwege langdurige effecten van reeds uitgestoten gassen. Met grote zekerheid is te zeggen dat ambitieuze verstrekkende maatregelen nodig zijn om duurzame ontwikkeling te bewerkstelligen en global warming te limiteren tot 'slechts' 1,5 °C. Er is geen eenduidig antwoord te geven of het haalbaar is, het is namelijk afhankelijk van een wisselwerking tussen mitigatie, adaptatie en duurzame ontwikkeling (IPCC, 2018; O'Neill et al., 2017).

Prognose

Zoals in figuur 10 te zien is zijn prognoses afhankelijk van maatregelen om global warming te beperken. Wanneer de netto uitstoot van CO₂ tot nul gereduceerd kan worden in 2055 en de bijdrage van de andere broeikasgassen aan de stralingsforcering na 2030 zal afnemen wordt een realisatie van 1,5 graad waarschijnlijker. De totale spreiding van scenario's ligt tussen 1,0 en 2,0 °C graden.



Figuur 10. Gemeten mondiale temperatuur verandering en gemodelleerde curve voor verschillende beleidsscenario's (gebaseerd op: IPCC, 2018)

Risico's en gevolgen

In het onderzoek van het IPCC (2018) is ook een inschatting van de risico's en de gevolgen die temperatuurstijging van 1,5°C -2°C met zich meebrengt. Deze worden hieronder kort toegelicht.

Klimaat- en weerextremen

Bij de opwarming van de aarde komt er een toename in extreme weersverschijnselen. Zo zal het aantal warme dagen toenemen, voornamelijk in de tropen. Ook zal de gemiddelde temperatuur op warme dagen 3°C-4°C graden stijgen. Daarnaast zullen de koudste dagen stijgen met gemiddeld 4,5°C tot 6°C. Het totaal aantal extreem warme dagen zal toenemen, alsmede de frequentie en intensiteit van neerslag en droogte.

Zeespiegelstijging

Door opwarming van de aarde zet zeewater uit, daarnaast smelten de ijskappen. Samen zorgen deze factoren voor zeespiegelstijging (Harvey, 2016). Op basis van onderzoek wordt de gemiddelde zeespiegelstijging in 2100 geschat in een spreiking van 0,26 tot 0,77m. Daarnaast zal deze stijging verder toenemen na 2100. Wanneer de landijsmassa op Groenland zal smelten kan een verdere zeespiegelstijging van meters gerealiseerd worden. De stijging van de zeespiegel heeft ver strekkende gevolgen voor de kustgebieden. Het zoute water kan intreden en zo zoet water verdrijven. Daarnaast brengt het ook een significant overstromingsrisico met zich mee.

Mariene ecosystemen

Naast stijging van de zeespiegel zijn de ecosystemen die zich in de wereldzeeën bevinden onder invloed van een temperatuurstijging. De frequentie van een ijsvrije noordpool zal van eens per eeuw naar eens per decennium stijgen. Verder zullen soorten zich naar hogere breedtegraden verspreiden en de productiviteit van visserijen zal afnemen (voornamelijk op lagere breedtegraden). Dit zou gaan om 1,5 en 3 miljoen ton vis voor respectievelijk 1,5°C en 2°C temperatuurstijging. Het totaaloppervlak van koraalriffen zal afnemen en het risico op onomkeerbaar verlies van bepaalde mariene ecosystemen wordt groter. Verzuring van de oceaan door opname van CO₂ zal de bovengenoemde effecten van opwarming nog verder versterken.

Terrestrische ecosystemen

Voor terrestrische ecosystemen geldt tevens dat biodiversiteit terug kan lopen vanwege het verlies aan habitat, omdat klimaatomstandigheden het voortbestaan niet meer permitteren. Vier procent van het landareaal op aarde zal overgaan in de naburige klimaatzone. De zone met permafrost in de grond is specifiek in gevaar vanwege het dooien van deze permafrost.

Gezondheid

Door een toename extreme hitte (bijvoorbeeld tijdens een hittegolf) zal de morbiditeit en sterfte van de bevolking toenemen. In stedelijke gebieden wordt dit effect versterkt. De productie van ozon in de onderste lagen van de troposfeer is slecht voor de luchtwegen en zal toenemen bij hogere atmosferische temperaturen. Daarnaast zullen vector overgedragen ziektes, zoals malaria en dengue, toenemen.

Voedselzekerheid

De voedselzekerheid zal afnemen vanwege verlies van de juiste klimaatomstandigheden. Dit is een groter risico voor mensen in het poolgebied of inheemse stammen die in een klein gebied landbouwbedrijven. Verder zal op mondiale schaal de productiviteit van de akkerbouw gemiddeld afnemen. Als gevolg hiervan zal ook de veeteelt productiviteit verliezen omdat de kwantiteit en kwaliteit van veevoer zal dalen. De gezondheidseffecten in de vorige alinea zijn ook van toepassing op de veestapel.

“Reasons for Concern”

Volgens het derde assessmentreport zijn er vijf redenen om ons zorgen te maken over de opwarming van de aarde, de zogenaamde reasons for concern (RFC's). Dit zijn integrale redenen die de

verschillende aspecten van risico's en gevolgen van de vorige paragraaf beslaan. Sinds het derde assessmentreport worden ze gebruikt om de risico's van global warming aan te geven. Het IPCC stelt tevens dat een verdere opwarming van de aarde de risico's uit tabel 4.3 zal vergroten (IPCC, 2018). Hierbij moet wel verteld worden dat O'Neill et al. (2017) kanttekeningen plaatsten bij het gebruiken van een integrale methode als de RFC's om risico's te analyseren. In het paper wordt uiteengezet wat de gebreken zijn van de gebruikte methode als indicatie voor toename in risico's en welke aspecten buiten beschouwing zijn gelaten en verder onderzoek vragen (O'Neill et al., 2017).

Tabel 4.3 De redenen tot zorgen met hun inhoud en uitleg.

RFC1	Unieke en bedreigde (eco)systemen: risico's voor ecologische en antropogene systemen die binnen afgebakende geografische gebieden bevinden en onderhevig zijn aan klimaatverwante voorwaarden met unieke waarden.
RFC2	Extreme weersverschijnselen: risico's voor levensonderhoud, gezondheid of ecosystemen door hitte golven, zware regenval, droogte of overstromingen.
RFC3	Verspreiding van de impact: risico's die disproportioneel ten deel vallen aan bepaalde groepen vanwege een onevenredige verdeling van gevaren van, blootstelling aan en kwetsbaarheid voor klimaatverandering.
RFC4	Mondiale geaggregeerde impact: mondiale economische schade, mondiale degradatie en verlies van ecosystemen en biodiversiteit
RFC5	Grootschalige enkelvoudige gebeurtenissen: relatief grote, abrupte en soms onomkeerbare veranderingen in het klimaatsysteem veroorzaakt door global warming.

Klimaatscepsis

Klimaatsceptici zijn zo oud als de opkomst van klimaatproblematiek zelf (Dunlap & McCright, 2015). Wanneer er gesproken wordt over klimaatscepsis wordt een visie bedoeld die de wetenschappelijke consensus op het gebied van antropogene of versterkte klimaatverandering tegenspreekt. Het heeft tevens betrekking op de effecten van deze klimaatverandering en trekt de verstrekkende gevolgen voor ecosystemen en de mens in twijfel (Van Rensburg, 2015). Hoewel het niet berust op de wetenschap, kan het wel grote gevolgen hebben voor de publieke opinie omtrent klimaatverandering. Dunlap & McCright (2015) beschrijven dat de wil om drastisch te minderen in de uitstoot van broeikasgassen hier een voorbeeld van is. Naast algehele ontkenning van het probleem is het ontkennen van de resultaten van onderzoek naar de effecten van klimaatverandering een groot probleem. Het kan namelijk grote gevolgen hebben voor de mitigatie en de adaptatie van (de effecten van) global warming (Dunlap & McCright, 2015).

Er zijn verschillende studies gedaan naar de aard van klimaatscepsis, hierbij is gekeken naar factoren die hiermee samenhangen. Uit onderzoek van Tranter & Booth (2015) bleek dat scepsis weinig te maken heeft met opleidingsniveau en leeftijd, iets wat op basis van de aard van complexiteit en actualiteit van global warming misschien wel verwacht zou worden. Wel is uit een mondiale studie naar voren gekomen dat de politieke overtuiging, alsmede de omvang van de CO₂ uitstoot positief correleren met klimaatscepsis. De kwetsbaarheid voor klimaatverandering correleert negatief met scepsis (Tranter & Booth, 2015). Uit een recent onderzoek van Hornsey, Harris & Fielding (2018) bleek dat de nationale ideologie binnen een land niet gekoppeld is aan de visie ten opzichte van global warming, met uitzondering van de Verenigde Staten (V.S.). Dit is in algemene zin een gunstig gegeven, echter is de V.S. de tweede grootste vervuiler na China met vijftien procent van de mondiale uitstoot aan broeikasgassen (Boden, Marland, & Andres, 2017).

Economische & Politieke belangen

Zoals uit bovenstaande alinea's blijkt correleert de politieke overtuiging van mensen met een sceptische houding tegenover het klimaat. Dit is een van de manieren waarop politieke belangen sterk verweven zijn met de klimaatdiscussie. Een andere connectie is te vinden in de economische belangen.

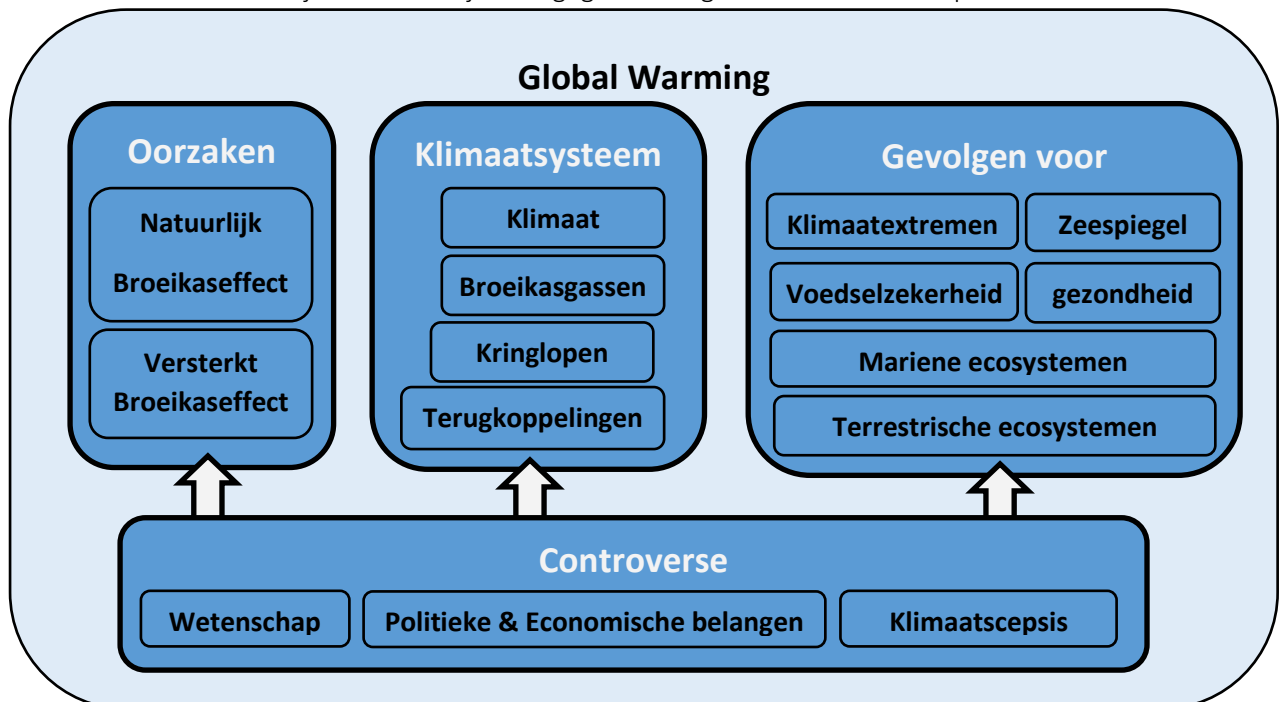
De economische belangen die spelen in het klimaatdebat zijn grof weg op te delen in twee categorieën. De nadelige economische gevolgen van global warming en de (op korte termijn) nadelige economische gevolgen van het aanpakken van global warming.

In de eerste plaats wordt door het global warming effect economische schade aan de wereld aangebracht. Dit is schade die bijvoorbeeld ontstaat door het verlies van landbouwgronden, schade aan infrastructuur en landbouwgewassen door extremer weer of de gezondheidskosten die gepaard gaan met hogere temperaturen (Miller & Spoolman, 2011). Om deze effecten in te dammen zijn maatregelen nodig die global warming terugdringen. Deze mitigatie kost veel geld. De ontwikkeling van technologie ten behoeve van duurzame energieconsumptie en het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen zijn hier een voorbeeld van. Volgens Miller & Spoolman (2011) is de wetenschappelijke consensus echter dat deze kosten vele malen lager zijn dan die van de lange termijn gevolgen van global warming.

Dit is waar de politiek zijn entree maakt in het debat. De politiek reageert doorgaans snel en doortastend op korte termijn problemen, een regering zit namelijk maar voor korte tijd. Omdat de klimaatveranderingen een lang en slepend probleem zijn voor de komende generaties, gaan de op korte termijn economische belangen vaak voor (Miller & Spoolman, 2011). Mensen die nog niet geboren zijn kunnen namelijk moeilijk een stem uitbrengen op de komende verkiezingen.

4.5 Samenvatting

In dit hoofdstuk is getracht een beknopt overzicht te geven van de huidige stand van de wetenschap op het gebied van global warming. Hierin is vastgesteld in welk systeem naar global warming gekeken wordt. Het natuurlijke klimaatsysteem, met de broeikasgassen die zorgen voor de opwarming van de aarde. Vervolgens de invloed van de mens op de concentratie van deze gassen in de atmosfeer en de impact die dit heeft op het natuurlijke broeikaseffect, wat resulteert in een versterkt broeikaseffect. Er is stilgestaan bij de complexiteit van het mechanismen en de gevolgen dit heeft voor het bevatten van het probleem. De gevolgen en risico's zijn op basis van de effectstudies van het IPCC toegelicht en tenslotte is er aandacht besteed aan de controverse tussen de wetenschap en klimaatsceptici. De los benoemde onderdelen zijn overzichtelijk weergegeven in figuur 11 die het conceptueel model vormen.



Figuur 11. Conceptueel model

5. Resultaten II: Discrepancies tussen de wetenschap en methoden

In het komende hoofdstuk zullen eerst de resultaten van de kwantitatieve inhoudsanalyse van de tekstboeken behandeld worden. Hierbij zal eerst in gegaan worden op de verdeling van bronteksten binnen en tussen de lesmethoden aangaande de oorzaken van global warming, het klimaatsysteem, gevolgen van global warming en de controverse rondom global warming. Vervolgens komen de resultaten van de kwalitatieve inhoudsanalyse over de reductie van de stof aan bod, waarbij de kwantitatieve gegevens ondersteuning bieden.

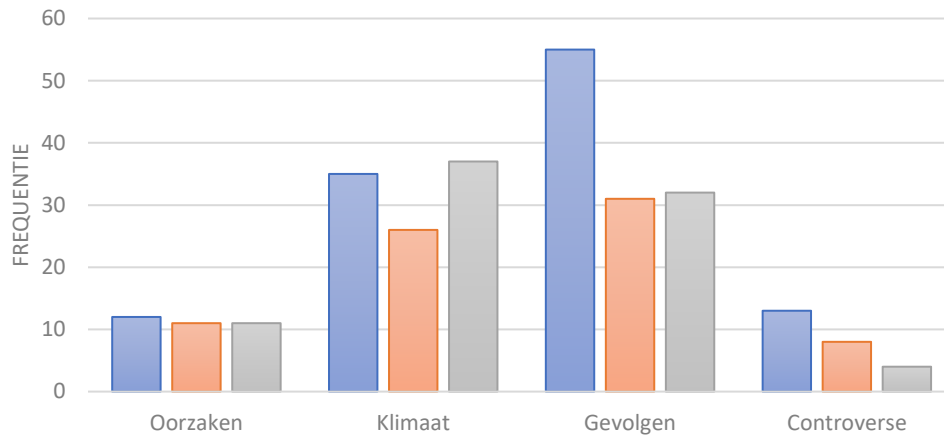
5.1 Algemene kwantitatieve verdeling

Na analyse van de verschillende methoden zijn er respectievelijk 111, 84 en 91 aspecten geselecteerd uit De Geo, BuiteNLand en WereldWijs die van belang zijn voor de resultaten (zie appendix 3). Belangrijk om te vermelden is dat De Geo in het algemeen de paragrafen opdeelt in kleinere alinea's dan BuiteNLand en dat WereldWijs langere alinea's heeft dan beide andere methoden. Tenzij anders aangegeven is er in de figuren sprake van de data die een directe koppeling heeft met global warming. In figuur 12 zijn de verschillen in de verdeling van global warming gerelateerde bronteksten te zien. In tabel 5.1 zijn de percentuele fracties te vinden. Uit de grafieken is duidelijk op te maken dat voor alle methodes in de representatie van de verschillende aspecten geldt dat de focus ligt op het klimaatsysteem en de gevolgen van global warming (figuur 12a). N.B. dit gaat om het aantal aspecten in alinea's, hierin is de lengte of de mate van herhaling niet opgenomen, tevens kan een alinea meerdere aspecten bevatten.

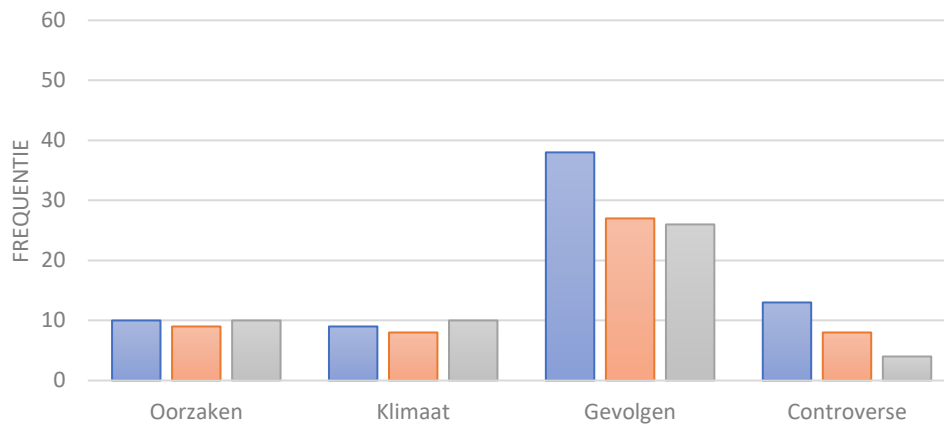
Wanneer onderscheidt gemaakt wordt tussen data met een expliciete koppeling aan global warming (figuur 12b) en data zonder expliciete koppeling (figuur 12c) blijkt dat de verschillen sterk voorkomen in de secties klimaat en gevolgen. Hierbij zijn de bronteksten in de categorie klimaat voornamelijk niet expliciet gekoppeld en de gevolgen grotendeels wel expliciet gekoppeld. Dit is te verklaren door het feit dat een groot deel van het klimaatsysteem wel van belang is voor global warming maar ook op zichzelf onderdeel is van de eindtermen, de klimaatindeling en landschapszones zijn hier voorbeelden van (College van Toetsen en Examens, 2017).

	Oorzaken	Klimaat	Gevolgen	Controverse
De Geo	10,6	29,2	48,7	11,5
BuiteNLand	13,3	34,7	41,3	10,7
WereldWijs	13,1	44,0	38,1	4,8

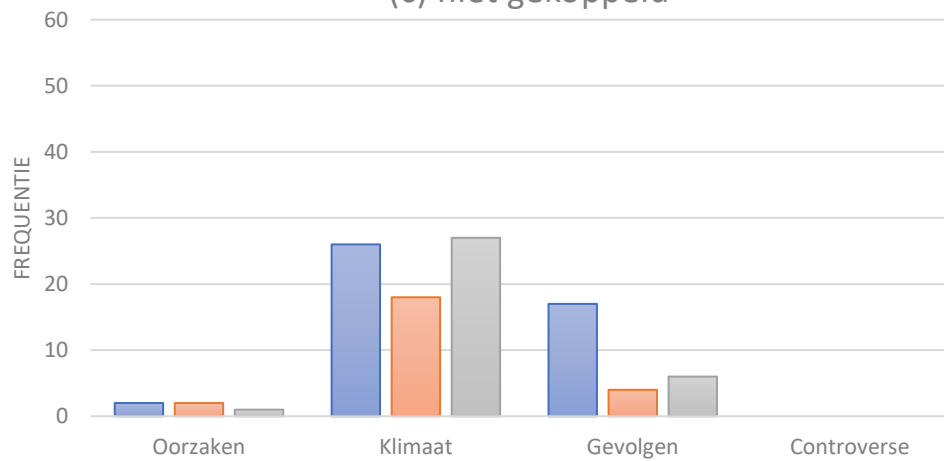
Representatie van aspecten van global warming (a) totaal



(b) gekoppeld



(c) niet gekoppeld



■ De Geo ■ BuitenLand ■ Wereldwijs

Figuur 12. Verdeling van de bronteksten van de drie lesmethoden over aspecten van global warming.

5.2 Oorzaken

Wanneer de oorzaken in detail worden bekeken, wordt duidelijk dat er in de methoden De Geo en BuitenLand meer alinea's gewijd zijn aan het versterkt broeikas effect dan aan het natuurlijk broeikas effect (zie figuur 13). Voor WereldWijs geldt dat beide aspecten evenveel aan bod komen.

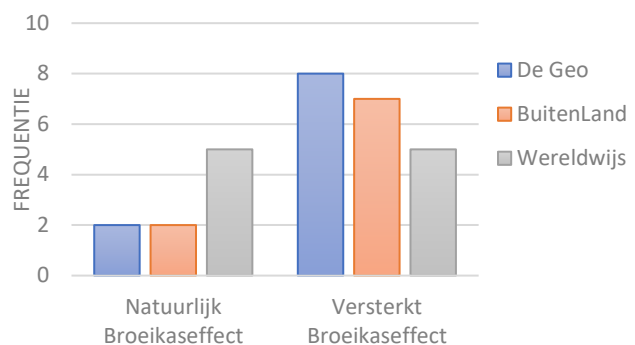
Stralingsbalans

De eerste reductie vindt plaats in de informatie over de basale uitleg achter de mechanismen in de stralingsbalans. De informatie over het mechanisme die in de methode WereldWijs wel wordt uitgelegd mist in de methode De Geo en BuitenLand, die direct overgaan op de toepassing.

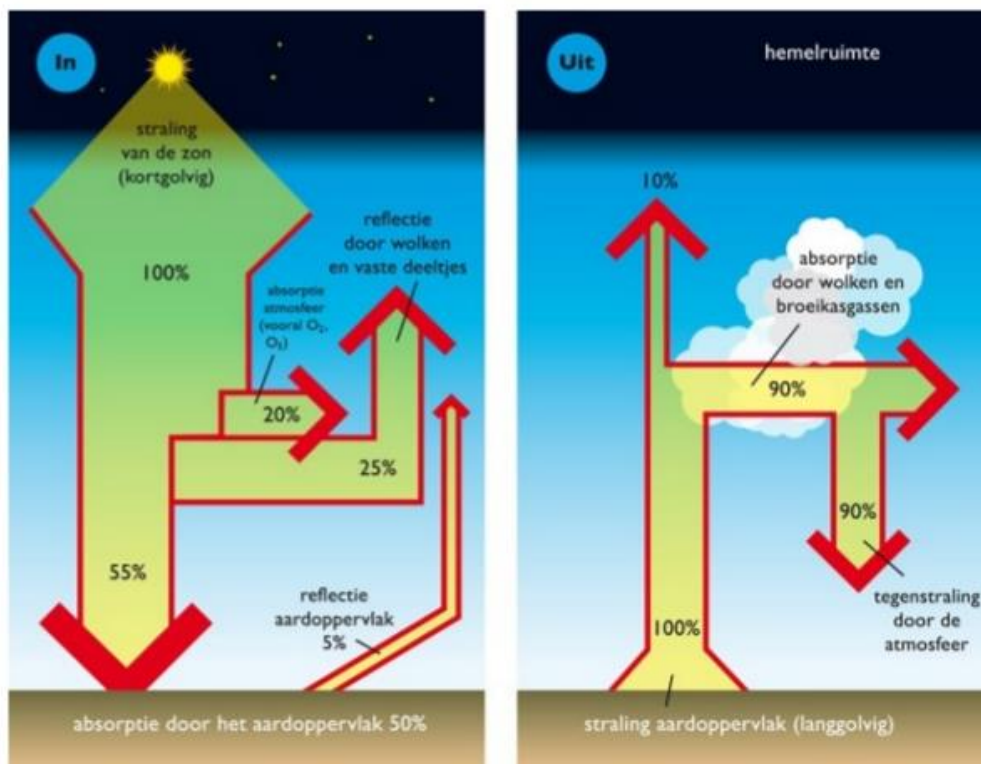
Natuurlijk broeikas effect

Als er verder gekeken wordt naar de uitleg omtrent de uitgebreide stralingsbalans en het natuurlijk broeikas effect (figuur 6) wordt er op verschillende wijzen gereduceerd (zie figuur 14). In de eerste plaats wordt er gereduceerd zonder verlies van informatie. Zo worden de twee stromen naar en van het aardoppervlak gescheiden. Verder wordt het Albedo neergezet als reflectievermogen en wordt de inkomende straling niet weergegeven in een energiestroom in Wm^{-2} maar is het omgerekend in een percentage, later wordt overigens wel duidelijk hoeveel straling er totaal binnenkomt. Verder is in de figuren te zien dat de balans enigszins versimpeld is. Zo zijn er energiestromen samengevoegd en wordt het atmosferisch venster niet uitgelicht. Daarnaast worden O_3 en de cfk's hier niet genoemd als broeikasgassen.

Representatie van oorzaken van global warming (gekoppeld)



Figuur 13. Verdeling van de bronteksten over de verschillende aspecten van de oorzaken



Figuur 14. Stralingsbalans van de aarde zoals weergegeven in WereldWijs (Lentjes et al., 2012a)

In alle methoden worden de broeikasgassen genoemd met hun rol in de absorptie van langgolvlige straling vanaf het aardoppervlak. De versterking van het broeikaseffect wordt echter wel wisselend weergegeven. In alle methoden is duidelijk dat CO₂ uitstoot door de mens de belangrijkste invloed is op het broeikaseffect en dat het voornamelijk sinds de industriële revolutie een sterk verhoogde uitstoot kent. In BuiteNLand mist het aan uitleg over de versterking van het broeikaseffect door andere broeikasgassen. In De Geo worden namelijk de uitstoot van CH₄, O₃ en N₂O ook genoemd in de bijdrage aan het broeikaseffect. WereldWijs breidt dit rijtje uit met de menselijke uitstoot per gas waarbij de cfk's ook mee zijn genomen.

Hoewel de broeikasgassen in De Geo wel uitgelegd worden mist er in zowel De Geo als BuiteNLand een uitleg over wat deze broeikasgassen doen behalve de temperatuur opdrijven. Het mechanisme wordt niet toegelicht (zie figuur 7). Er is dus duidelijk gereduceerd in hoe deze broeikasgassen het broeikaseffect versterken. In WereldWijs wordt hier wel aan geraakt door te stellen:

“De balans tussen de inkomende straling van de zon en uitgaande straling van de aarde is hierdoor veranderd. De broeikasgassen CO₂, CH₄ en N₂O hebben in de periode 1750-2005 gezorgd voor 2,3 watt per vierkante meter (Wm⁻²) extra stralingsenergie voor het aardse systeem.” (Lentjes et al., 2012a, p.105)

Samenvatting

In het algemeen wordt er duidelijk gemaakt wat een stralingsbalans inhoudt en hoe deze is opgebouwd, zij het in gereduceerde vorm. Vervolgens wordt de invloed van absorptie door broeikasgassen uitgelegd, waarbij CO₂ duidelijk de boventoon voert. De invloed van andere broeikasgassen wordt genoemd maar de invloed van de mens op deze gassen is voornamelijk in De Geo en BuiteNLand mager. De methode WereldWijs lijkt in vergelijking met de andere methoden meer in te zetten op het duiden van de achterliggende mechanismen. De verdeling tussen bronteksten aangaande natuurlijk en versterkt broeikaseffect (figuur 13) kunnen hier een indicator voor zijn.

5.3 Klimaatsysteem

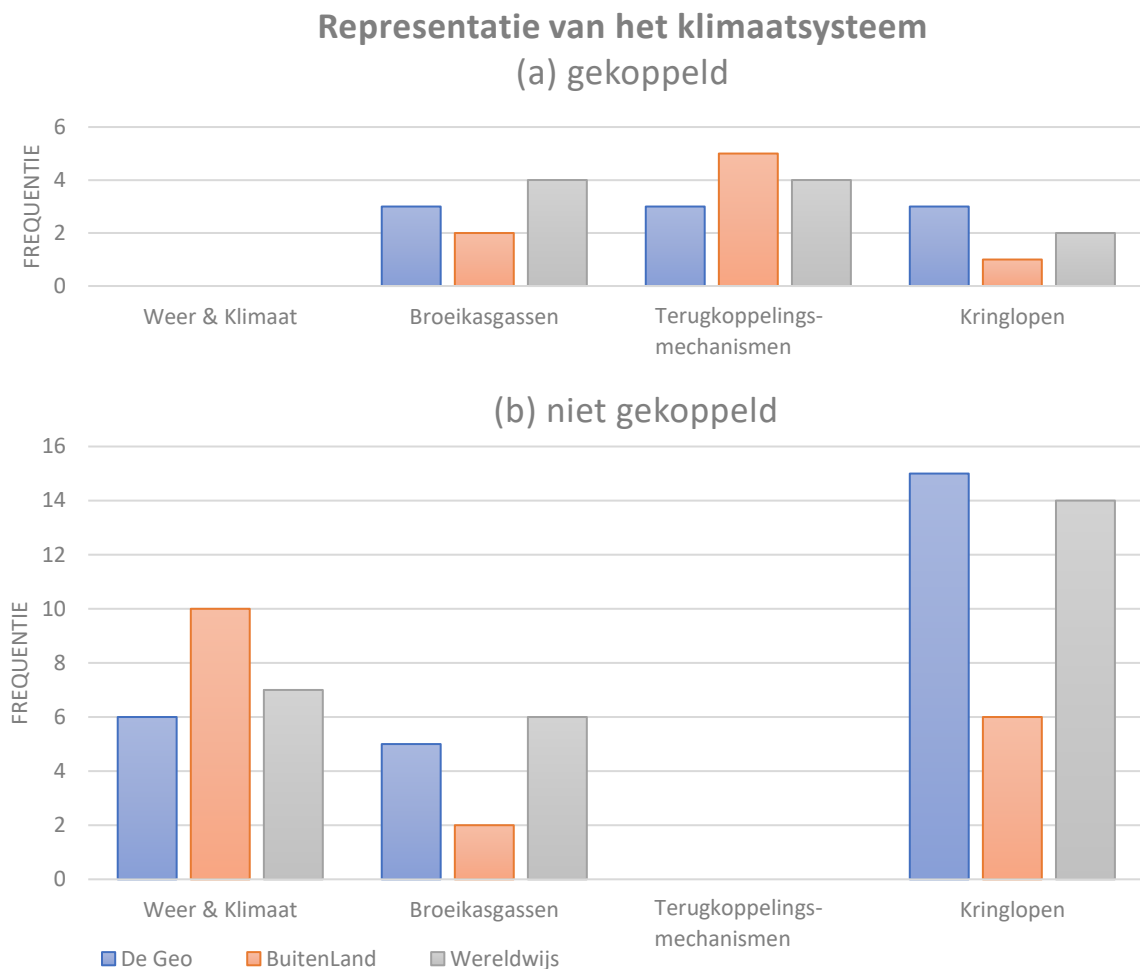
De aspecten van het klimaatsysteem zijn niet evenredig verdeeld over de expliciet gekoppelde en niet gekoppelde bronteksten. Figuur 15a en 15b laten zien dat het weer en klimaat nooit gekoppeld voorkomen in de lesmethoden, dit geldt in mindere mate ook voor de kringlopen. De terugkoppelingsmechanismen zijn altijd wel gekoppeld aan global warming. Dit eerste komt voort uit het feit dat het weer, klimaat en de kringlopen (zoals de hydrologische kringloop of de gesteentecyclus) op zichzelf ook onderdeel zijn van de eindtermen (College van Toetsen en Examens, 2017).

Weer & klimaat

In de methode WereldWijs en De Geo worden definities van klimaat en weer gegeven, in BuiteNLand wordt aangenomen dat dit tot de voorkennis van de leerlingen behoort. De opbouw van de atmosfeer wordt alleen in De Geo zeer gedetailleerd gegeven. Het klimaatsysteem krijgt in de methoden verschillende mate van aandacht bij het inleiden van de klimaatproblematiek. De verschillende sferen worden in De Geo expliciet genoemd, de interconnectie hiertussen wordt duidelijk geïllustreerd met de volgende tekst:

“Dit systeem bestaat uit vier sferen: de atmosfeer, waar weer en klimaat zich afspelen, de hydrosfeer (het water op aarde), de lithosfeer (gesteente) en de biosfeer (het leven op aarde). Al die sferen staan met elkaar in verband. Een verandering in de ene sfeer werkt door in een andere.” (Bulthuis et al., 2017b, p.7)

In de andere boeken wordt deze verbinding niet expliciet duidelijk gemaakt. Zo wordt in methode WereldWijs wel de hydrosfeer genoemd en uitgelegd, maar blijven de andere sferen achterwege. In BuitenLand worden de sferen helemaal niet genoemd en de interconnectie dus ook niet in relatie tot het klimaatsysteem. In elke methode worden de klimaatgebieden en landschapszones breed uiteengezet in aparte paragrafen en op deze manier wordt de manifestatie van het lokale klimaat duidelijk gemaakt.

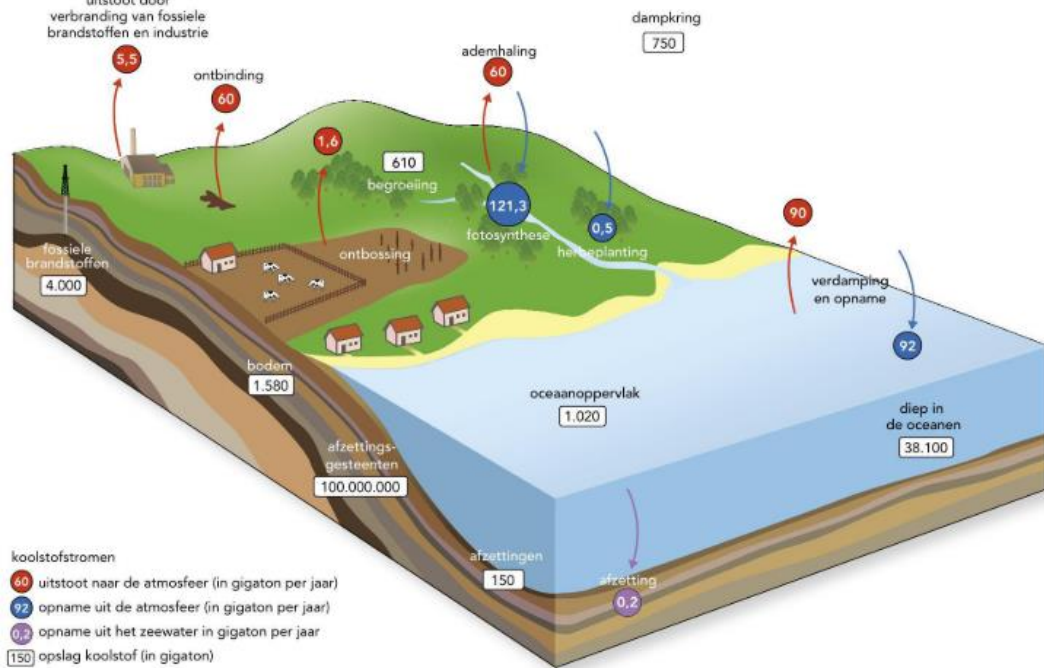


Figuur 15. Verdeling van de bronteksten over de verschillende aspecten van het klimaatsysteem

Kringlopen

Wanneer er gekeken wordt naar de kringlopen wordt de hydrologische cyclus in alle methoden behandeld. De nutriëntenkringloop blijft in alle methoden achterwege en de koolstofkringloop kent verschillende gradaties van reductie. In De Geo wordt de koolstofcyclus gedeeltelijk behandeld, hier is het gereduceerd tot de (snellere) stromen van koolstof. Het mechanisme achter de vorming van fossiele brandstoffen is hierin achterwege gelaten (zie figuur 16). In de methode wordt verder niet veel aandacht besteed aan de implicaties hiervan, dit is aan de docent of leerling zelf zoals te zien is aan de bijbehorende tekst in het boek:

“De grote vraag is natuurlijk: waar is al dat koolzuurgas uit het Krijt gebleven? Het antwoord hierop vind je in de koolstofcyclus (figuur 2.15).” (Bulthuis et al., 2017a, p.30)

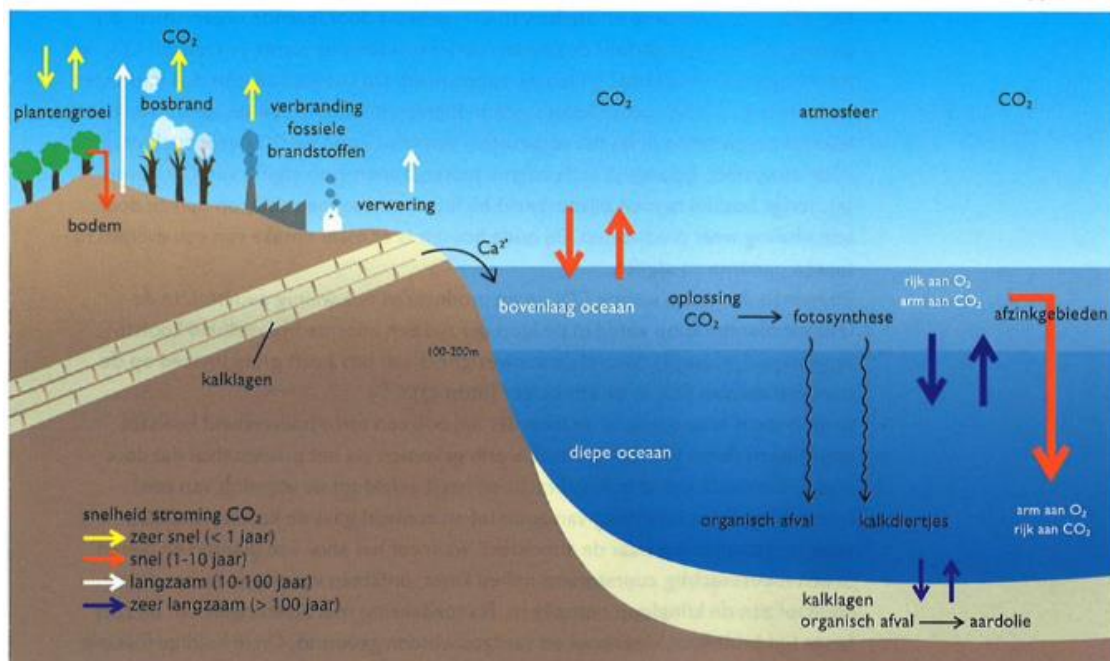


Figuur 16. De Geo, Klimaatvraagstukken, Figuur 2.15: De Koolstofcyclus. (Bulthuis et al., 2017a)

In de methode BuiteNLand komt deze cyclus in zijn geheel niet aan bod, terwijl WereldWijs de cyclus uitbreidt met meer detail in stromen binnen de reservoirs. Het grootste verschil tussen beide methoden wordt duidelijk wanneer de importantie van de stromingen geduid wordt:

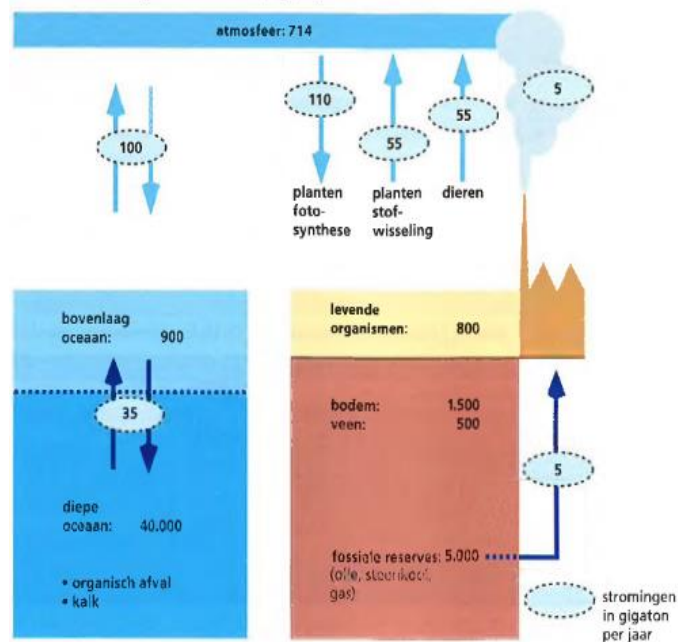
“De koolstofbalans (bron 33) laat zien dat koolstof op aarde in een aantal reservoirs van verschillende omvang is opgeslagen: de atmosfeer, de oceaan, de bodem, de planten en de fossiele brandstoffen. Voor de concentratie van CO₂ in de atmosfeer zijn de stromingen tussen deze reservoirs in de vorm van opname en afgifte van CO₂ van belang (bron 34). Ook de snelheid van de stromingen is een belangrijke factor”(Lentjes et al., 2012a, p.98)

Bron 34 | De opname en afgifte van CO₂ door de atmosfeer, de oceaan en het landoppervlak.



Figuur 17. WereldWijs, Aarde 1, Bron 34 (Lentjes et al., 2012a)

Bron 33 | De koolstofbalans van de aarde in Gton (gigaton = 10¹² ton) (de pijlen geven stromingen aan in Gton per jaar).



Figuur 18 WereldWijs, Aarde 1, Bron 33: De koolstof balans van de aarde in Gton (Lentjes et al., 2012a)

Broeikasgassen

Zoals in tabel 5.1 te zien is wordt in alle methoden het absorberend vermogen van de broeikasgassen genoemd of geïmpliceerd (BuiteNLand). Dit kan geïllustreerd worden met de volgende citaten:

“Een flink deel van de warmte verlaat de atmosfeer niet, maar wordt weer door de broeikasgassen en wolken geabsorbeerd en voor een groot deel teruggestraald (pijl met 96%) naar de aarde.” (Bulthuis et al., 2017b, p. 36-37)

“Je hebt nu gezien dat er in de energiebalans van de aarde een belangrijke rol is weggelegd voor het broeikas effect. Dit is het absorberen van langgolvlige straling door de atmosfeer en dat is cruciaal voor het klimaat op aarde.” (Bloothoofd et al., 2016a, p. 4)

Wanneer er gekeken wordt naar het global warming potentieel, de levensduur en het spectrum van de verschillende broeikasgassen zijn er veel verschillen. Een overzicht hiervan is te zien in tabel 5.1. Bij alle methodes mist de stralingsefficiëntie. Verder is duidelijk te zien dat het global warming potentieel enkel bij WereldWijs wordt behandeld:

“Omdat de bijdrage van broeikasgassen als CO₂ (kooldioxide), CH₄ (methaan) en N₂O (lachgas) verschillend is, wordt alles omgerekend naar het opwarmend effect (Global Warming Potential) van hoeveelheden CO₂ (CO₂-equivalenten).” (Lentjes et al., 2012a, p. 118.)

De afzonderlijke broeikasgassen krijgen per gas een verschillende hoeveelheid aandacht (tabel 5.1). CO₂ wordt als broeikasgas uitvoerig besproken en uiteengezet in alle methoden. Terwijl H₂O in alle methoden slechts genoemd wordt als broeikasgas. Het belang van H₂O blijft achterwege terwijl dit in absolute zin het grootste broeikas effect genereert. Voor CH₄ geldt dat in De Geo de achterliggende mechanismen van dit broeikasgas missen. Kort door de bocht wordt er gesteld:

“Er werden natte rijstvelden aangelegd die veel methaan produceren, en de veestapel groeide. Veel veen leidt tot een hogere CH₄-uitstoot. Dit verklaart de toename van dit broeikasgas vanaf 1800.” (Bulthuis et al., 2017a, p. 45.)

N₂O wordt alleen met oorsprong genoemd in WereldWijs. De andere methoden noemen slechts het bestaan ervan en laten de concentratie (De Geo) en de invloed op de stralingsforcering (BuiteNLand) zien in een grafiek. Voor O₃ geldt dat er in de verschillende methoden niet expliciet verwezen wordt naar troposferische en stratosferische ozon. Stratosferische ozon is belangrijk voor het absorberen van uv-straling, terwijl troposferische ozon juist infrarode straling absorbeert. Behalve in BuiteNLand is er in de verschillende methoden aandacht voor beide aspecten maar vallen ze onder dezelfde noemer. Een voorbeeld van wat er in De Geo over ozon geschreven wordt is:

“Deze stabiele laag bevat ozon (O₃) dat de instraling van ultraviolette straling blokkeert.” (Bulthuis et al., 2017b, p.35)

“De stratosfeer bevat veel ozongas (O₃). Dit gas filtert de voor de mens schadelijke ultraviolette straling van het zonlicht. Door de opname van de ozon wordt de stratosfeer warm.” (Bulthuis et al., 2017a, p. 7)

“Ook de uitstoot van andere gassen - zoals O₃, CH₄ en N₂O - hebben geleid tot een toename van het broeikas-effect.” (Bulthuis et al., 2017a, p 63)

In het algemeen zijn de cfk's enkel expliciet terug te vinden in de tekst van WereldWijs. Hoewel er niet gereduceerd wordt in de informatie over cfk's vindt hier wel een andere reductie plaats. De reductie zit hem in het feit dat er tegenwoordig hcfk's worden gebruikt. De brontekst uit de methode suggereert dat het een kwestie van wachten is totdat alle cfk's uit de lucht zijn verdwenen. In De Geo worden cfk's niet genoemd en in BuiteNLand staan ze enkel weergegeven in een grafiek. Cfk's worden in WereldWijs als volgt weergegeven:

“Belangrijk bij het dun worden van de ozonlaag is het door de mens in de lucht brengen aantasting van de ozonlaag van chloor dat zorgt voor een aantasting van de ozonlaag. De chloor wordt gebruikt in onder andere drijfgassen van spuitbussen, de koelvloeistof van koelkasten en in piepschuim. Sinds 1 januari 1989 is het Montreal Protocol van kracht. Dit wereldwijde milieuverdrag verbiedt het gebruik van ozonafbrekende stoffen. Het verdrag heeft op dit punt succes gehad. De meeste chloorhoudende stoffen (cfk's) worden nauwelijks meer gebruikt en hun aanwezigheid in de lucht neemt langzaam af. Het herstel van de dikte van de ozonlaag verloopt echter zeer traag.” (Lentjes et al., 2012a, p. 14)

Voor aerosolen geldt dat BuiteNLand duidelijk het achterliggende mechanisme beschrijft. De Geo noemt enkel als voorbeeld dat fijnstof de atmosfeer vult na een meteorietinslag. In WereldWijs komt het ook als voorbeeld voor:

“Ongeveer 25% van de kortgolvlige straling wordt door wolken en allerlei vaste deeltjes (ijsdeeltjes en stofdeeltjes) die in de lucht zitten, teruggekaatst naar de ruimte.” (Lentjes et al., 2012a, p.11)

Terugkoppelingsmechanismen

In alle drie de methoden worden positieve en negatieve terugkoppelingen uitgelegd. De complexiteit van deze terugkoppelingsmechanismen wordt enkel in BuiteNLand expliciet toegelicht:

“Terugkoppelingsmechanismen: De complexiteit van het klimaatvraagstuk wordt vooral bepaald door de grote hoeveelheid terugkoppelingsmechanismen, die spelen op een breed spectrum van tijdschalen.” (Bloothoofd et al., 2016a, p. 62)

In zowel De Geo als WereldWijs wordt het niet expliciet genoemd maar komt het als voorbeeld wel aan de orde, volgende frase uit WereldWijs is hier een goed voorbeeld van:

“Extra uitstoot of opname van broeikasgassen In de polaire zone komen in de natte gebieden met permafrost uitgestrekte veengronden voor. Iedere zomer komt in de oppervlaktelaag door de opdooi een deel van het organische materiaal tot ontbinding. Uit de moerassen komt het sterke broeikasgas methaan (CH₄) vrij. Indien de bodemlaag opdroogt, komt kooldioxide (CO₂) vrij. Het warmer worden van de polaire zone zal de uitstoot van beide broeikasgassen versterken en zo zorgen voor extra opwarming. Het sterker groeien van de planten van de polaire zone door de opwarming heeft het omgekeerde effect. Planten hebben voor hun groei CO₂ nodig die ze uit de atmosfeer opnemen. Dit zal het broeikas effect weer verzwakken.” (Lentjes et al., 2012a, p. 109)

Samenvatting

Het klimaatsysteem wordt in de verschillende methoden anders geïntroduceerd. Waarbij De Geo duidelijk het meest uitvoerig is en het minste reduceert. Wanneer er gekeken wordt naar de broeikasgassen lopen de methoden, zoals blijkt uit tabel 5.1, erg uiteen in hoe diep er op de materie wordt ingegaan. CO₂ voert de boventoon en de andere broeikasgassen worden veelal slechts genoemd. WereldWijs is hierin de uitzondering en geeft meer inzichten in de verschillende broeikasgassen. Tenslotte vormen de terugkoppelingsmechanismen een belangrijk onderdeel van alle methoden, hierin wordt weinig gereduceerd.

Tabel 5.1 Reductie van informatie over broeikasgassen & aerosolen in de lesmethoden

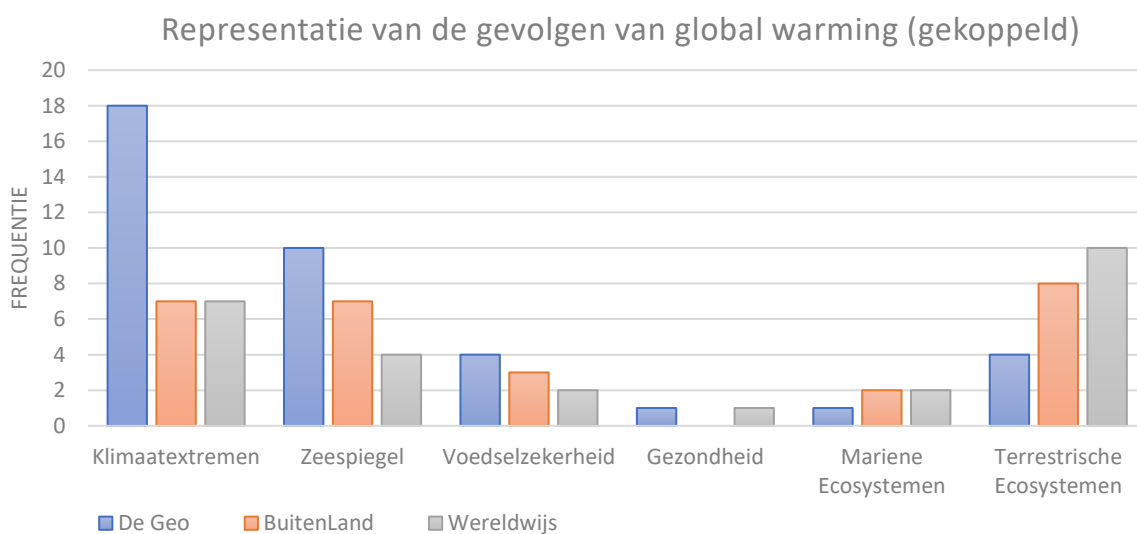
	WereldWijs		BuiteNLand		De Geo	
	Reductie	Geen reductie	Reductie	Geen reductie	Reductie	Geen reductie
Absorptie van straling		X	geïmpliceerd			X
GWP		X	<i>ontbreekt</i>		<i>ontbreekt</i>	
Levensduur	Levensduur als 'kort' of 'lang' weergegeven		<i>ontbreekt</i>		<i>ontbreekt</i>	
Stralingsefficiëntie	<i>ontbreekt</i>		<i>ontbreekt</i>		<i>ontbreekt</i>	
Actieve spectra	geaggregeerd weergegeven in een figuur		<i>ontbreekt</i>		<i>ontbreekt</i>	
H ₂ O	genoemd, maar het belang en mechanisme ontbreekt		genoemd, maar het belang en mechanisme ontbreekt		genoemd, maar het belang en mechanisme ontbreekt	
CO ₂		X		X		X
CH ₄		X		X	mechanismen achter uitstoot missen	
N ₂ O		X	genoemd		genoemd	
O ₃ (stratosfeer)	UV-omzetting genoemd		<i>ontbreekt</i>		UV-blokkade genoemd	
O ₃ (troposfeer)	genoemd als broeikasgas, echter geen onderscheid tussen troposferisch en stratosferisch O ₃		genoemd als broeikasgas, echter geen onderscheid tussen troposferisch en stratosferisch O ₃		genoemd als broeikasgas, echter geen onderscheid tussen troposferisch en stratosferisch O ₃	
Cfk's	Hcfk's niet behandeld		in grafiek als Broeikasgas		<i>ontbreekt</i>	
Aerosolen	In een voorbeeld gereduceerd tot 'Vaste deeltjes'			X	<i>ontbreekt</i>	

5.4 Gevolgen

De bronteksten voor de gevolgen zijn niet evenwichtig verdeeld (figuur 19). De gevolgen die tevens onderdeel zijn van de eindtermen zijn oververtegenwoordigd in de bronteksten. De abstractere begrippen zoals voedselzekerheid en gezondheid komen minder voor in relatie tot global warming. Verder is te zien dat er meer aandacht is voor directe gevolgen van global warming. Hierbij kan gedacht worden aan het feit dat hogere temperatuur leidt tot meer droogte of tot het uitzetten van zeewater. De indirecte gevolgen worden minder uitgelicht. Een voorbeeld hiervan is dat hogere temperaturen leiden tot meer droogte, waardoor landschapszones verschuiven en akkers minder productief worden waardoor de voedselzekerheid omlaag gaat en de gezondheid gevaar kan lopen. Deze gevolgen vinden dan vaak wel een plaats binnen de hoofdstukken waar het gaat om arm en rijk en het resultaat van droge klimaten op de productie van voedsel. De link met klimaatverandering blijft hier echter vaak uit. Zo wordt er in BuiteNLand wel aandacht besteed aan het neerslagregiem en de omgang met droogtelandbouw en wordt er zelfs ingegaan op de gevolgen van het invoeren van biodiesel op de voedselzekerheid:

“Om de uitstoot van broeikasgassen te beperken, heeft de EU bepaald dat benzine en diesel met een deel biobrandstoffen gemengd moeten worden. Waar deze biobrandstoffen in plaats van voedsel worden verbouwd, zoals in Afrika, heeft dit negatieve gevolgen voor voedselzekerheid.” (Bloothoofd et al., 2016a, p. 32)

De invloed van een veranderend klimaat op de het neerslagregiem of droogte en haar gevolgen voor de voedselzekerheid blijft hier achterwege.



Figuur 19. Verdeling van de bronteksten over de verschillende aspecten van de gevolgen van global warming.

Klimaatextremen

In alle methoden worden de verschillende klimaatextremen genoemd: zowel temperatuur, droogte, neerslag als extreme weersverschijnselen worden vertegenwoordigd.

Zeespiegel

Voor de gevolgen voor de zeespiegel geldt dat in zowel WereldWijs en De Geo alle aspecten genoemd zijn. Dat het aantal keer dat een gevolg genoemd wordt geen garantie is voor de inhoud blijkt wel uit de reductie die gemaakt wordt in BuiteNLand. Zoals in figuur 19 te zien is wordt er zeven keer direct een koppeling gemaakt aan gevolgen voor de zeespiegel. Inhoudelijk blijft de methode achter bij de andere twee en de wetenschap. Een voorbeeld van brontekst uit BuiteNLand is:

“De invloed van de klimaatverandering: Wetenschappers zijn het er over eens dat door de klimaatverandering wereldwijd de temperatuur toeneemt, gletsjers in omvang afnemen en de zeespiegel stijgt.” (Bloothoofd et al., 2016a, p. 116)

Hierin mist het mechanisme van uitzetten van het zeewater als grootste invloed, de verzilting van kustgebieden door de stijging van de zeespiegel en de omvang van de zeespiegelstijging.

Gezondheid

De gevolgen voor de gezondheid zijn sterk onderbelicht in de verschillende methoden, in BuiteNLand wordt het zelfs totaal overgeslagen. Troposferische ozon en de schadelijke gevolgen voor de mens worden niet genoemd. In WereldWijs wordt er nog wel geraakt aan de morbiditeitstoename door de hitte:

“De kans op honger neemt hierdoor toe. Om meer hitte te kunnen weerstaan is de mate van gezondheid van de bevolking belangrijk.” (Lentjes et al., 2012a, p. 114)

In De Geo staat in een figuur als samenvatting van de gevolgen een gevolg voor de gezondheid die eerder in de tekst nog niet genoemd is:

“Door een warmer klimaat kunnen insecten (zoals de malariamug en de zikamug) op steeds meer plekken overleven. De gevaren voor de gezondheid nemen toe.” (Bulthuis et al., 2017a, p. 50)

Voedselzekerheid

De gevolgen voor de voedselzekerheid worden weinig belicht in alle methoden (figuur 19). Alle methoden noemen dat de productiviteit van landbouwgronden gemiddeld achteruit zal gaan. Verder wordt in De Geo en WereldWijs aandacht besteed aan het feit dat door het verschuiven van de landschapszones ook een deel van het landbouwareaal verloren zal gaan. Dit is in BuiteNLand niet genoemd. De gezondheidsrisico's, die sowieso al onderbelicht zijn (figuur 19), worden ook voor de veestapel in geen enkele methode genoemd.

Mariene ecosystemen

Evenals de gezondheid en de voedselzekerheid zijn de gevolgen voor mariene ecosystemen weinig belicht in de verschillende methoden (figuur 19) wel moet in het achterhoofd gehouden worden dat de zeespiegelstijging als aparte categorie wordt gezien. Verder worden de gevolgen sterk gereduceerd. In niet een van de methodes is iets te vinden over de productiviteit van de visserij, daarnaast is in De Geo slechts één zin te vinden over de gevolgen voor mariene ecosystemen. De mechanismen hierachter zijn niet duidelijk gemaakt:

“Steeds meer koraalriffen sterven af door verzuring van de oceaan.” (Bulthuis et al., 2017a, p. 50)

In de methode BuiteNLand wordt het wel uitvoerig beschreven en kunnen leerlingen kennisnemen van de achterliggende mechanismen:

“Helaas is die opname niet gratis. Zoals cola met bubbels van CO₂ niet goed is voor je tanden, zo is de opgeloste CO₂ in de oceanen ook niet goed voor het kalk daar. De koolstofdioxide reageert namelijk met het water, waardoor zuren vrijkomen. Het kost schelpdieren dan meer energie om kalk te maken, wat hen kwetsbaarder maakt voor ziektes en roofdieren. Als de vorming van kalksteen afneemt, of kalksteen zelfs oplost, neemt de CO₂-concentratie in het water toe. De netto opname van CO₂ door de oceaan kan

dan veranderen in een netto afgifte aan de atmosfeer. Dit zou een rampzalig scenario zijn, waarbij deze verzuring van de oceaan het broeikas effect uiteindelijk gaat versterken.” (Bloothoofd et al., 2016a, p.62)

In WereldWijs worden zowel de verzuring als het afsterven van koralen door het opwarmen van de oceanen genoemd, echter mist de relatie tussen de twee.

Terrestrische ecosystemen

De gevolgen voor terrestrische systemen krijgen meer aandacht dan die voor mariene. In alle methoden wordt het verlies aan biodiversiteit en de verschuiving van landschapszones behandeld. Specifieke aandacht voor het vrijkomen van grote hoeveelheden methaan door het smelten van de permafrost blijft echter achter in De Geo, terwijl de permafrost dooi wel behandeld wordt. In De Geo wordt er voornamelijk focus gelegd op gevolgen voor de infrastructuur:

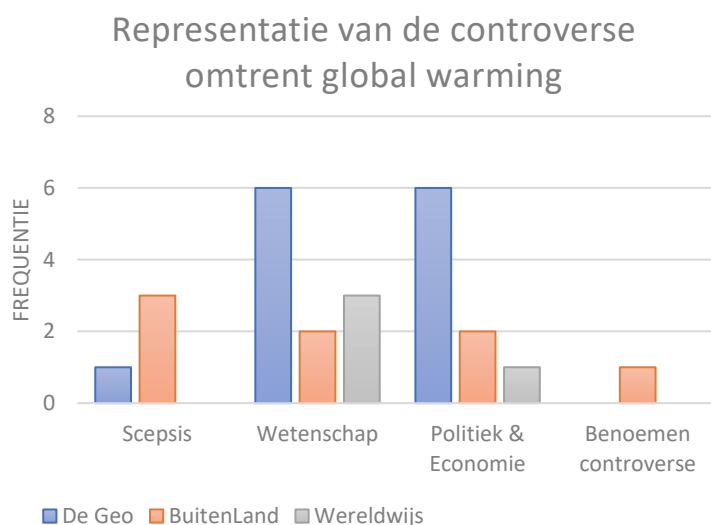
“De permafrost ontdooit, waardoor huizen, wegen en pijpleidingen verzakken.”(Bulthuis et al., 2017a, p.50)

Samenvatting

De gevolgen spelen een belangrijke rol als het gaat om het aandeel dat gerepresenteerd is in de bronteksten. Hierbij is het duidelijk dat de gevolgen voor onderwerpen die reeds onderdeel zijn van het curriculum de hoofdmoot vertegenwoordigen. Zo is te zien dat onderwerpen gerelateerd aan de directe leefomgeving (klimaatextremen en zeespiegelstijging), of de verschillende klimaatgebieden (verschuiving landschapszones) meer aandacht krijgen. Ook zijn de verder doorwerkende effecten, zoals gevolgen voor de voedselzekerheid en gezondheid, ondervertegenwoordigd. In de verschillende methoden wordt er weinig gereduceerd in gevolgen. Opvallend is dat er in BuitenLand geen aandacht is voor de gezondheidsrisico's van global warming.

5.5 Controverse

De controverse is een vrij specifiek onderdeel van global warming, dit kan verklaren waarom het maar een klein aandeel van de bronteksten representeert. Uit figuur 20 blijkt dat De Geo meer alinea's wijdt aan aspecten van de controverse dan de andere methoden. Dit is grotendeels te wijden aan het feit dat deze methode haar paragrafen verder opdeelt in kleinere alinea's. Uit de grafiek blijkt tevens dat er weinig alinea's gewijd zijn aan het benoemen van de controverse en klimaatsepsis.



Figuur 21. Verdeling van de bronteksten over de verschillende aspecten van de controverse over global warming

Rajendra Pachauri, voorzitter van het IPCC van 2002 tot 2015. Hij won in 2007 samen met het hele IPCC en de Amerikaanse politicus Al Gore de Nobelprijs voor de vrede. **BRON 50**



Figuur 20. Buitenland Bron 50

Klimaatwetenschap & prognose

Wat is het IPCC

In de methoden De Geo en WereldWijs wordt duidelijk aandacht besteed aan wat het IPCC is en wat het inhoudt. In BuiteNLand is hier weinig aandacht voor, dit heeft gevolgen voor de metakennis van de lezer. Het enige wat BuiteNLand stelt over het IPCC is:

“...aldus het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), de organisatie die de VN advies geeft over klimaatverandering (bron 50)” (Bloothoofd et al., 2016a, p. 62.)

Naast de tekst geeft de bij behorende bron 50 (figuur 20) van de voorzitter van het IPCC in 2002 ook niet veel nuttige kennis.

Stand van zaken & Prognoses

De prognoses zijn veelal samengevoegd in de hoofdstukken met de gevolgen en worden in elke methode belicht. Zoals eerder bij de broeikasgassen naar voren kwam zijn niet voor alle gevolgen en alle broeikasgassen prognoses weergegeven. Wel is er in elke methode aandacht voor de bijdrage van broeikasgassen sinds de industriële revolutie aan global warming. Verder gaan de methoden allemaal in op prognoses voor de temperatuur. Hierbij missen realistische schattingen wanneer we vergelijken met de prognose van het IPCC (figuur 10). WereldWijs en BuiteNLand stellen respectievelijk:

“Het IPCC gaat zonder extra klimaatbeleid uit van een stijging die ligt tussen 1,1 en 6,4 °C.” (Lentjes et al., 2012a, p. 105)

“De projecties van het IPCC lopen nogal uiteen, variërend van 0,3 tot 4,8 °C temperatuurstijging voor de 21e eeuw. Ze zijn gebaseerd op verschillende ‘wat als’-scenario’s.” (Bloothoofd et al., 2016a, p. 63)

Hierbij dient gezegd te worden dat de WereldWijs methode vijf jaar ouder is dan BuiteNLand waardoor de cijfers enigszins verouderd zijn. Naast mondiale temperatuur prognoses komt WereldWijs ook met de verwachte toename in temperatuur voor de oceanen. De Geo gaat in op de temperatuur prognoses voor Nederland die het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) heeft gemaakt aan de hand van de verschillende scenario's van het IPCC.

Politieke & economische belangen

Economische belangen

In alle methoden komen de economische belangen die spelen bij klimaatverandering terug in de gevolgen die genoemd worden. Een voorbeeld hiervan is de schade aan de infrastructuur door het dooien van de permafrost:

“Dit geldt in de polaire zone bijvoorbeeld voor de transportsector, die door de extra ontdooiing van permafrost te maken krijgt met het verzakken van wegen, leidingen en gebouwen.” (Lentjes et al., 2012a, p. 114)

Het afwegen van de kosten voor de gevolgen met de kosten voor maatregelen om global warming tegen te gaan wordt echter onderbelicht. In WereldWijs wordt enkel genoemd dat economische ontwikkeling en demografische factoren een grote rol spelen. Hierin is vervolgens niet goed terug te zien dat de korte termijn prevaleert over de lange termijn:

“Maatschappelijke factoren zoals economische ontwikkeling en demografische factoren zijn hierbij sterk sturend.” (Lentjes et al., 2012a, p. 118)

In De Geo komt men dichterbij met een frase over het maken van een risicoanalyse. Dit veronderstelt dat er belangen tegen elkaar afgewogen moeten worden. Het is echter niet duidelijk wat er meegenomen moet worden in deze risicoanalyse en wat er uiteindelijk mee gedaan moet worden.

“Er zal een risicoanalyse gemaakt moeten worden van de gevolgen van klimaatverandering.” (Bulthuis et al., 2017a, p. 58)

Politieke belangen

In alle methoden wordt ingegaan op de politieke belangen waarbij bovenstaande problematiek een belangrijke bron van invloed is.

Klimaatsceptici

Achtergrond klimaatscepsis

In het algemeen wordt in de methoden niet veel gezegd over klimaatscepsis. Zoals in figuur 21 te zien is komt het in WereldWijs niet ter sprake. In BuiteNLand wordt beknopt weergegeven wat de essentie is van scepsis en hoe dit zich manifesteert in het publieke debat:

“De Amerikaanse en Nederlandse media geven van oudsher ook opvallend veel aandacht aan klimaatsceptici. Hier zie je dat een politiek debat verward wordt met een wetenschappelijke discussie. Voorstanders van een toekomst met energie uit fossiele brandstoffen gebruiken als argument dat omschakeling naar duurzame energie niet nodig zou zijn. De werkelijke argumenten (geld en macht) of gevoelens (angst) over wat men wenselijk vindt, worden dan verstopt achter een zogenaamde wetenschappelijke discussie over wat nodig is. Deze tactiek is overigens niet voorbehouden aan ‘Big Oil’. Ook de milieubeweging kan de ‘noodzaak’ van bepaald beleid overdrijven om voor elkaar te krijgen wat zij ‘wenselijk’ vindt.” (Bloothoofd et al., 2016a, p. 64-65)

Daarentegen illustreert onderstaande frase uit De Geo hoe klimaatscepsis zijn weg vindt in de schoolboeken zonder dat het benoemd wordt.

“Waarom maakt men zich nu dan zo druk over de huidige klimaatverandering? Dat heeft te maken met het feit dat de klimaatverandering de laatste decennia sneller lijkt te gaan en dat de invloed van de mens hierin een belangrijke rol speelt. In figuur 3.1 is te zien dat de afwijking van de gemiddelde wereldtemperatuur op het aardoppervlak in de afgelopen twee eeuwen (ten opzichte van de periode 1951 - 1980) schommelt, maar vanaf 1978 vertoont de temperatuur een sterke stijging. Dit kan met natuurlijke factoren te maken hebben, maar ook door de mens veroorzaakt zijn.” (Bulthuis et al., 2017a, p. 43)

In de verklaring voor de toename in temperatuur sinds 1978 wordt er evenveel waarde gehecht aan een natuurlijke als een menselijk oorzaak, terwijl de wetenschappelijke consensus de antropogene aard onderstreept. Er wordt dus duidelijk gereduceerd in het benoemen van de achtergrond van de sceptische houding.

Benoemen controverse

Het expliciet benoemen van de controverse komt in geen van de methoden naar voren. Wel wordt er in BuiteNLand duidelijk geschetst dat er een debat bestaat tussen de wetenschap en klimaatsceptici:

“Dat debat is echter niet bepaald steekhoudend. Als de beste klimaatwetenschappers van de wereld niet verder komen dan 0,3 à 4,8 °C, dan moeten de media wel heel verwaand zijn om te denken dat ze het beter weten. Vaak worden (soms zeer onbetrouwbare) individuele onderzoeken uit hun context gehaald, en zeer populair. Het debat zou moeten gaan over hoe we met deze onzekerheid moeten omgaan. Dat is voor veel mensen een heel moeilijk en beangstigend debat.” (Bloothoofd et al., 2016a, p. 64-65)

Samenvatting

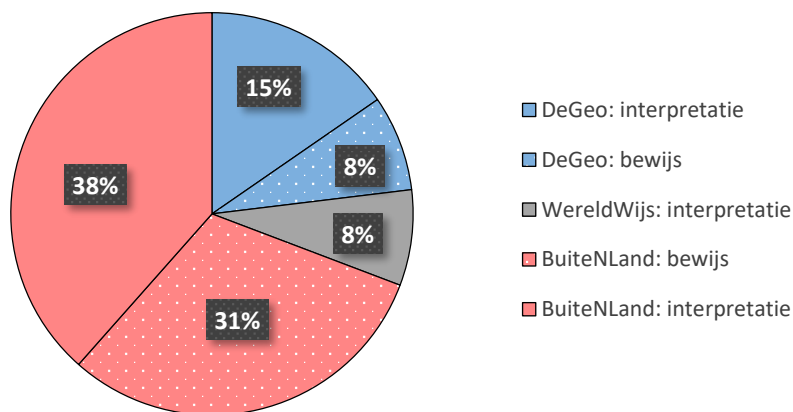
In twee van de drie methodes wordt duidelijk uitgelegd wat het IPCC is en waarom dit belangrijk is voor de berichtgeving over de problematiek omtrent global warming. De temperatuur prognose is in alle methoden opgenomen. In vergelijking met de IPCC-rapporten mist een realistische schatting (er wordt nu een nietszeggende grote spreiding gebruikt). Politieke en economische belangen komen in elke methode naar voren. Vaak mist echter de afweging tussen korte termijn en lange termijn kosten en de invloed hiervan op het politieke debat. Tenslotte is op de methode van BuiteNLand na weinig aandacht voor klimaatscepsis, iets wat leerlingen zou kunnen helpen in het duiden van de wijd beschikbare misinformatie.

6. Resultaten III: Global warming als wicked problem

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de resultaten van de inhoudelijke analyse van de bronteksten van controversiële aard. In tegenstelling tot de alinea's hierboven, waarbij het ging om de inhoudelijk informatie over de controverse van de verschillende methoden in vergelijking met de wetenschappelijke literatuur, zal er in dit hoofdstuk aandacht besteed worden aan de vorm van de informatie. De teksten zijn bekeken op basis van de vier redenen van controverse, gedefinieerd door Roberts (2013) in het theoretisch kader:

1. Er is een gebrekkige bewijsvoering.
2. De interpretatie van het bewijs laat te wensen over.
3. De tekst is controversieel op ethische gronden.
4. Er verschillen zijn in de opvattingen over hoe er gehandeld moet worden om het probleem het hoofd te bieden.

Controversiële teksten in de verschillende methodes



Figuur 22. Verdeling van controversiële teksten over de verschillende methoden

In figuur 22 en tabel 6.1 zijn alle bronteksten weergegeven die om verschillende redenen controversieel zijn bevonden. Er kan gesteld worden dat er relatief weinig controversiële teksten voorkomen in De Geo en WereldWijs. Het absolute aantal valt misschien mee (dertien), toch komen er daarvan negen uit de methode BuiteNLand. Verder is te zien dat er geen teksten zijn geselecteerd om ethische redenen of vanwege tegenstrijdige handelplannen. Van het totaal vallen acht bronteksten binnen de categorie controverse van het conceptueel model (zie figuur 11). Het merendeel van de bronteksten is geselecteerd vanwege de interpretatie van het bewijs. Ongeveer veertig procent betreft een gebrekkige bewijsvoering. Als er specifiek naar de bewijsvoering gekeken wordt vinden we in De Geo een voorbeeld:

“Dit evenwicht noemen we ook wel een dynamisch evenwicht, omdat het gemiddeld in evenwicht is, dus niet op elk moment van de dag. Als er geen evenwicht was, zou de aarde opwarmen of afkoelen.” (Bloothoofd et al., 2016a, p. 40)

Uit het citaat blijkt dat er momenteel een evenwicht is, echter is het zo dat de hoeveelheid broeikasgassen dit evenwicht constant verandert en dat daarmee de inkomende zonnestraling structureel hoger ligt dan wat er aan energie uitgaat. Dit zorgt voor de global warming zoals beschreven staat in de stand van de wetenschap. Een ander voorbeeld hiervan is citaat 4:

“Een kleine verandering kan via allerlei terugkoppelingsmechanismen onvoorspelbare consequenties hebben. Als je dat combineert met de onzekerheden die in alle gegevens zitten, begrijp je dat we de uitkomsten van klimaatmodellen met een korreltje zout moeten nemen.”

Bloothoofd et al. (2016a, p.63) beweert hier dat de uitkomsten van klimaatmodellen met een korreltje zout genomen dienen te worden. Hoewel het van belang is dat er onzekerheden zijn in de uitkomsten van klimaatmodellen, zijn deze onzekerheden gekwantificeerd door de onderzoekers zelf (zoals bijvoorbeeld terug te zien is in figuur 10). Deze onzekerheden dienen vervolgens meegenomen te worden in de interpretatie hiervan. Dit is geen reden om uitkomsten hiervan met een korreltje zout te nemen omdat de uitkomsten van klimaatmodellen altijd voorzien zijn van een waarschijnlijkheid. In citaat 6 wordt het selectief presenteren van de feiten ook duidelijk.

“Als de beste klimaatwetenschappers van de wereld niet verder komen dan 0,3 à 4,8 °C, dan moeten de media wel heel verwaand zijn om te denken dat ze het beter weten.” (Bloothoofd et al., 2016a, p. 63)

De strekking van het bovenstaande citaat gaat in op de spreiding in prognoses over de opwarming van de aarde. Duidelijk wordt uit de resultaten van het IPCC-onderzoek dat zowel de ondergrens als de bovengrens hiervan onwaarschijnlijk is. De interpretatie van de methode wekt de suggestie dat de wetenschap niet verder is dan het bovenstaande interval. Het tweede deel doet hier nog een schep bovenop. Deze plaatst een waardeoordeel op wat er in de media gepresenteerd wordt. Hoewel de media vaak informatie presenteert op een wijze die het meest interessante verhaal laat zien waarbij de objectiviteit verloren kan gaan, gebeurt hier in de eerste zin van het citaat hetzelfde. De resultaten worden namelijk selectief gepresenteerd. Wanneer de selectie genuanceerd wordt gemaakt geeft dit duidelijk het verschil aan. Zo wordt er in WereldWijs het volgende gesteld over de opwarming van de aarde:

“Het IPCC gaat zonder extra klimaatbeleid uit van een stijging die ligt tussen 1,1 en 6,4 °C” (Lentjes et al., 2012a, p. 105)

De nuancering die bij BuiteNLand geheel mist geeft hieraan waarom de spreiding zo groot is (N.B. de cijfers van WereldWijs stammen van voor 2012 en geven daarom een andere spreiding weer).

Selectieve presentatie van de feiten is ook het geval bij het citaat 1 uit WereldWijs. Hier wordt echter een te positieve interpretatie gemaakt. Het Montreal Protocol verbiedt namelijk het gebruik van cfk's, maar de chemische industrie heeft hier een 'oplossing' voor gevonden door hcfk's te ontwikkelen die hoewel ze minder schadelijk zijn dan cfk's volgens hetzelfde principe ozon afbreken.

“Sinds 1 januari 1989 is het Montreal Protocol van kracht. Dit wereldwijde milieuverdrag verbiedt het gebruik van ozonafbrekende stoffen. Het verdrag heeft op dit punt succes gehad. De meeste chloorhoudende stoffen (cfk's) worden nauwelijks meer gebruikt en hun aanwezigheid in de lucht neemt langzaam af. Het herstel van de dikte van de ozonlaag verloopt echter zeer traag.”

Uit de verschillende frasen (tabel 6.1 & figuur 22) blijkt dat BuiteNLand van de methoden de meeste controversiële teksten gebruikt in haar methode, waarbij vooral de subjectiviteit een grote rol speelt bij de interpretatie van bewijs. In de andere methoden komt controversieel tekstgebruik incidenteel voor.

Tabel 6.1 Controversiële uitingen in de verschillende aardrijkskunde methoden.

	Citaat	*
WereldWijs ¹	Citaat 1: "Sinds 1 januari 1989 is het Montreal Protocol van kracht. Dit wereldwijde milieuverdrag verbiedt het gebruik van ozonafbrekende stoffen. Het verdrag heeft op dit punt succes gehad. De meeste chloorhoudende stoffen (cfk's) worden nauwelijks meer gebruikt en hun aanwezigheid in de lucht neemt langzaam af. Het herstel van de dikte van de ozonlaag verloopt echter zeer traag." p. 15	Interpretatie
BuiteNLand ²	Citaat 2: "Dit evenwicht noemen we ook wel een dynamisch evenwicht, omdat het gemiddeld in evenwicht is, dus niet op elk moment van de dag. Als er geen evenwicht was, zou de aarde opwarmen of afkoelen." p. 40	Bewijs
	Citaat 3: "Dit zou een rampzalig scenario zijn, waarbij deze verzuring van de oceaan het broeikas effect uiteindelijk gaat versterken. Men denkt dat dit gebeurd is tijdens het PETM. Ook de opwarming van het oceaanwater heeft problematische gevolgen. Zo kan het, in samenspel met de aanvoer van meer zoet smeltwater, de diepwaterpomp in het noordelijk deel van de Atlantische Oceaan verstoren, waardoor de thermohaliene circulatie verzwakt. Dit zou de aanvoer van warm water uit het Caribisch gebied naar Europa verminderen, waardoor ons klimaat niet warmer, maar kouder wordt." p. 62	
	Citaat 4: "Een kleine verandering kan via allerlei terugkoppelingsmechanismen onvoorspelbare consequenties hebben. Als je dat combineert met de onzekerheden die in alle gegevens zitten, begrijp je dat we de uitkomsten van klimaatmodellen met een korreltje zout moeten nemen." p. 63	
	Citaat 5: "Het smelten van het landijs zou dan leiden tot zeespiegelstijging. Hoewel dit een mogelijke toekomst is, lijkt een andere, bijna omgekeerde waarschijnlijker. Grote ijskappen als die van Groenland en Antarctica smelten niet zomaar al, zeker niet geheel. Mocht dit wel gebeuren, dan wordt door de toevoer van zoet water bij de diepwaterpompen de thermohaliene circulatie verstoord. In combinatie met het in warme zomers grootschalig afsmelten van zee-ijs in de Noordelijke IJszee zal dit eerder leiden tot een sterk verstoorde energiehuishouding op de noordelijke Atlantische Oceaan." p. 64	Interpretatie
	Citaat 6: "Als de beste klimaatwetenschappers van de wereld niet verder komen dan 0,3 à 4,8 °C, dan moeten de media wel heel verwaand zijn om te denken dat ze het beter weten." p. 63	
	Citaat 7: "De populairste zienswijze op de effecten van mondiale klimaatverandering in Nederland gaat uit van een problematische zeespiegelstijging, maar een warmer en prettiger klimaat." p. 64	
	Citaat 8: "Toch laat Kyoto uiteindelijk vooral de kleinburgerlijkheid van de mens zien. Het akkoord gaat over broeikasgassen, niet over andere oorzaken van klimaatverandering en al helemaal niet over andere milieuproblemen." p. 66	
	Citaat 9: "Onder Kyoto was het mogelijk om tropisch regenwoud te kappen en voedselgewassen als mais en koolzaad als biobrandstof te gebruiken." p.66	
	Citaat 10: "We doen dat ook wel een beetje. Er wordt geïnvesteerd in onderzoek. Kennis is immers altijd bruikbaar om onbekende uitdagingen slim aan te pakken. We investeren in duurzame technologie en verhogen de dijken. Zo proberen we klimaatverandering te beperken én ons voor te bereiden op de eventuele gevolgen. Het mooie van klimaatverandering is ook dat het ons laat zien dat we als mensheid echt een nieuwe fase ingaan." p. 67	
	De Geo ³	Citaat 11: "Als het landijs van Groenland smelt doordat het warmer wordt op aarde, komt er een grote hoeveelheid zoet water in de Atlantische Oceaan. Het water wordt dan minder zout, waardoor het lichter wordt en niet meer naar de bodem van de oceaan zakt. Hierdoor stagneert de diepwaterpomp en wordt de Golfstroom minder sterk of stopt deze zelfs. Door deze verstoring van het Atlantische circulatiesysteem krijgt Noordwest-Europa geen aanvoer meer van warm water en wordt het klimaat een stuk kouder. Een ijstijd zou er zelfs het gevolg van kunnen zijn" p. 20
Citaat 12: "Met meer dan 55 landen en meer dan 55% van de uitstoot is het verdrag dus sindsdien van kracht. Dat is ongekend snel en een mooie overwinning voor het milieu." p.58		Bewijs
Citaat 13: "Ook worden er planten en bomen voor gebruikt die niet geschikt zijn voor consumptie. Deze zogenoemde energiegewassen worden in sommige gevallen speciaal voor de toepassing van biobrandstoffen geteeld. De duurzaamheid wordt soms betwijfeld. Er wordt in Indonesië op grote schaal oerwoud gekapt voor de productie van palmolie." p.65		
	*kolom met de basis voor controversie volgens Roberts (2013) ¹ (Lentjes et al., 2012a) ² (Blooithoofd et al., 2016a) ³ (Bulthuis et al., 2017b)	*

7. Conclusie & Discussie

Dit onderzoek is opgezet met als doel inzicht te geven in de discrepantie tussen de wetenschappelijke literatuur en de aardrijkskundige lesmethoden op het gebied van global warming. Hiervoor is aan de hand van een literatuurstudie de huidige stand van de wetenschap bepaald. Dit heeft vervolgens als referentiekader gediend voor selecteren van de bronteksten uit de drie lesmethoden WereldWijs, BuiteNLand en De Geo. Deze bronteksten ondergingen een inhoudelijke analyse en de uitkomsten van deze analyse zijn leidend voor het beantwoorden van de deelvragen en uiteindelijk de hoofdvraag.

7.1 De Stand van de wetenschap & school aardrijkskunde

Zoals in de methodesectie uiteen is gezet heeft de literatuurstudie geleid tot het beantwoorden van de eerste deelvraag:

1. *Wat is de huidige stand van de wetenschap op het gebied van global warming?*

De resultaten hiervan zijn te vinden in hoofdstuk vier van deze scriptie. Vervolgens zijn deze resultaten gebruikt voor het selecteren van de bronteksten uit de verschillende lesmethoden. Het destilleren van deze bronteksten tot een selectie van citaten heeft geleid tot het beantwoorden van de tweede deelvraag:

2. *Wat is de huidige stand van de tekstboeken voor schoolaardrijkskunde op het gebied van global warming?*

De gedestilleerde versie van de bronteksten is te vinden in appendix 3 van deze scriptie.

7.2 De discrepanties tussen de wetenschap en de school aardrijkskunde

Na een vergelijking van de stand van de wetenschap met de aardrijkskundemethoden wordt duidelijk dat er noemenswaardige discrepantie te vinden is tussen de literatuur en het schoolvak evenals tussen de methoden onderling. In het algemeen is te stellen dat er veel global warming gerelateerde onderwerpen, zoals deze gedefinieerd zijn in figuur 11, terugkomen in het schoolvak zonder dat deze gekoppeld worden aan de global warming problematiek. De resultaten (hoofdstuk vijf) worden gebruikt om de volgende deelvraag te beantwoorden:

3. *Wat zijn de discrepanties tussen de informatie omtrent global warming in de wetenschappelijke literatuur en tekstboeken voor de schoolaardrijkskunde?*

Per categorie van het conceptueel model zullen de resultaten in de wetenschappelijke context geplaatst worden om tot het antwoord te komen.

Oorzaken

Wanneer gekeken wordt naar de oorzaken van global warming wordt duidelijk dat er gedeeltelijk powerful geographical knowledge terug te vinden is in methoden van het schoolvak. Het gaat hier voornamelijk om kennis die bijdraagt aan het analyseren, verklaren en begrijpen van global warming. Wat Maude (2016) definieert als verklarende concepten zien we terug in de stralingsbalans die als verklarend concept wordt gebruikt voor het broeikaseffect. Tevens wordt er in de verschillende methoden aandacht besteed aan de absorptie van straling door broeikasgassen, wat een verklarend concept is voor het broeikaseffect. Hierbij wordt CO₂ bij naam genoemd. De overige broeikasgassen zijn in de bronteksten veelal onderbelicht. Hierin mist powerful knowledge met betrekking tot de generalisatie van de werking van de overige broeikasgassen op het broeikaseffect. Deze generalisatie

wordt door Maude (2016) genoemd als onderdeel van kennis die handvatten biedt voor het begrijpen van de wereld. Broeikasgassen en hun effect op de absorptie zijn niet aanwezig in BuiteNLand en De Geo. Verder mist in twee van de drie methoden basale kennis rondom de stralingsbalans. Gautier & Rebich (2006) stellen dat deze kennis als verklarend concept dient voor de werking van de stralingsbalans en het (versterkt) broeikaseffect. Het ontbreken van deze powerful knowledge wordt ondersteund door resultaten uit Shepardson et al. (2011). Ze stellen dat leerlingen vaak niet verder komen dan CO₂ als broeikasgas dat zich (als ozon) in een laag rond de aarde bevindt en zo warmte vasthoudt. Tevens beschrijft dit onderzoek dat de werking van een stralingsbalans als verklarende factor voor het broeikaseffect vaak niet goed begrepen wordt door leerlingen. Tenslotte is het in de lesmethoden onduidelijk wat het resultaat is van de menselijke invloeden op broeikasgassen, behalve dat het een temperatuurstijging tot gevolg heeft. Het verklarende mechanismen voor hoe deze gassen bijdragen aan de opwarming ontbreekt hier. Dit kan verklaren waarom Andersson & Wallin (2000) vonden dat leerlingen het verschil tussen het broeikaseffect en global warming niet wisten.

Klimaatstelsel

Het klimaatstelsel vormt de introductie tot het onderwerp global warming. Daarnaast bestaat het uit natuurlijke aspecten die beïnvloed worden door de oorzaken en de gevolgen van global warming. De interconnectie van het klimaatstelsel blijft in de methode BuiteNLand en WereldWijs onderbelicht. De verbondenheid mist en doet daardoor volgens Maude (2016) afbreuk aan nieuwe manieren om naar de wereld te kijken. Voor leerlingen blijkt het moeilijk om relevante concepten te selecteren om problemen op te lossen. In het bijzonder problematiek gekoppeld aan het versterkt broeikaseffect (Österlind, 2005). Leerling raken verstrikt in de complexiteit van het klimaatstelsel en haar interne verbondenheid. Kennis over deze interconnectie zou kunnen bijdragen als verklarend concept voor de manifestatie van global warming in het klimaatstelsel. Wel wordt er in alle lesmethoden bijgedragen aan wereldkennis en analytische concepten (Maude, 2016) door uitgebreid de klimaatgebieden en de landschapszones te behandelen. Ook Choi et al. (2010) leggen nadruk op het belang van een sterke wetenschappelijke basis van het klimaatstelsel om zo regionale verschillen in de gevolgen van global warming te kunnen verklaren en voorspellen.

Kringlopen hebben een belangrijke rol in het klimaatstelsel, met name de hydrologische kringloop die in elke methode wordt toegelicht. Binnen de hydrologische kringloop missen echter twee verklarende concepten: het belang van wolken in de relatie tot global warming en H₂O als belangrijkste broeikasgas. Een tweede verschil tussen de methoden is te vinden in het benoemen van de koolstofkringloop. Het krijgt in BuiteNLand geen aandacht en wordt in De Geo en WereldWijs respectievelijk gedeeltelijk en extensief aangedragen als verklarend concept voor de reactie van het klimaatstelsel op veranderingen in koolstofstromen. Assaraf & Orion (2005) beschrijven in detail het belang van systeemkennis omtrent de water- en koolstofkringloop zodat het klimaatprobleem integraal aangepakt kan worden. Ze stellen dat leeractiviteiten een faciliterende rol hebben in de ontwikkeling van deze vaardigheden. Behandeling in een lesmethode is hier een voorbeeld van.

Voor de broeikasgassen geldt dat CO₂ de boventoon voert in elke methode, de andere broeikasgassen worden wisselend besproken. Het voorkomen van een broeikasgas in de methode varieert van niet (cfk's in BuiteNLand) tot de behandeling van de golflengte waarop de verschillende broeikasgassen infrarode straling absorberen (WereldWijs). Gemiddeld genomen is er voornamelijk in De Geo en BuiteNLand een sterke reductie te zien van de literatuur in de lesmethode. Inzichten in broeikasgassen geeft leerlingen handreikingen om het broeikaseffect en veranderingen hierin te verklaren. Dit lijkt verband te houden met de resultaten van Shepardson et al. (2011) waaruit blijkt dat slechts 2% van de leerlingen in de studie een tweede broeikasgas wist te noemen naast CO₂.

Tenslotte maken de terugkoppelingsmechanismen onderdeel uit van het klimaatstelsel. Alle methoden voorzien in een generalisatie voor de werking van positieve en negatieve

terugkoppelingsmechanismen. Volgens Dove (1998) is het gebrek aan transparantie in de complexiteit van terugkoppelingsmechanismen een belangrijke reden voor het blijven bestaan van misconcepties onder leerlingen. Deze complexiteit wordt in De Geo en Wereldwijs echter niet gegeneraliseerd. Wel wordt het als verklarend concept aangedragen door in beide methoden voorbeelden op te nemen waarin verschillende terugkoppelingen invloed op elkaar hebben. Toch blijkt uit onderzoek van Choi et al. (2010) dat oppervlakkige informatievoorziening in tekstboeken over terugkoppelingsmechanismen bijdraagt aan misconcepties onder leerlingen.

Gevolgen

De gevolgen van global warming vormen een groot aandeel van het totaal van de geanalyseerde data. Zowel weer- en klimaatextremen, zeespiegelstijging, voedselzekerheid, mariene ecosystemen en terrestrische ecosystemen worden in alle methoden belicht. Alleen de gevolgen voor de gezondheid worden niet genoemd in BuiteNLand. Het aandeel van de verschillende gevolgen van global warming heeft een voorkeur voor de onderwerpen die op zichzelf ook onderdeel zijn van het landelijk curriculum (College van Toetsen en Examen, 2017). Binnen de gevolgen beslaat een groot gedeelte van de bronteksten zeespiegelstijging, weer- en klimaatextremen en gevolgen voor terrestrische ecosystemen. Dit zijn tevens de drie categorieën die in de studie van Shepardson et al. (2011) naar voren komen wanneer leerlingen de gevolgen van global warming moeten omschrijven, respectievelijk 55%, 88% en 94%. Het warmer worden van de oceanen wordt onderstreept door 27% van de leerlingen en gevolgen voor de gezondheid (8%) en voedselzekerheid (6%) worden duidelijk minder genoemd. Iets minder dan de helft van de leerlingen was in de veronderstelling dat er helemaal geen gevolgen voor de mens zouden zijn. Dit zijn de gevolgen die ook vaak ongelinkt in de lesmethode terugkomen omdat ze op een meer indirecte manier beïnvloed worden door global warming. Kennis over de gevolgen is powerful omdat het bijdraagt aan kennis die leerlingen kunnen gebruiken in het voeren van actuele debatten over klimaatverandering (Maude, 2016).

Controverse

Alle methoden beschikken over onderdelen van de controverse, ze zijn echter onevenredig verdeeld over de aspecten die in de stand van de wetenschap uiteen zijn gezet. In tegenstelling tot De Geo en Wereldwijs, waar de rol van het IPCC duidelijk geschetst wordt, mist BuiteNLand de metakennis over de klimaatwetenschap. Hierin gaat powerful knowledge verloren omdat de leerlingen minder zeggenschap hebben over hun eigen kennis (Maude, 2016). Ook Spellman et al. (2003) benadrukken het belang van achterliggende informatie voor het maken van weloverwogen beslissingen op basis van wetenschappelijk onderzoek. Naast metakennis missen er in de schoolboeken soms realistische ramingen en prognoses. Er worden bijvoorbeeld spreidingen in data gebruikt die weinig zeggen. Dit maakt de kennis minder powerful omdat de relevantie voor het gebruik in debatten wordt gereduceerd (Maude, 2016). In het benoemen van politieke en economische belangen wordt weinig gereduceerd, ook dit beïnvloedt het voeren van actuele debatten. De beschreven discrepanties volgen sterk de bevindingen van Golledge (2002) die stelt dat het aardrijkskunde onderwijs steeds meer bestaat uit maatschappelijke, economische en politieke invloeden dan het doceren van academische inhoudelijke kennis. Hoewel de economische en politieke belangen een belangrijk deel van de stof vormen, missen de afwegingen tussen de kosten op de korte termijn voor adaptieve maatregelen en de kosten die global warming op de lange termijn met zich meebrengt. Dit zijn verklarende concepten die duidelijk maken waarom iets (uiteindelijk) duur of goedkoop is. Tenslotte is er in alle drie de methoden weinig aandacht voor klimaatsepsis. Wanneer het voorkomt is het vaak ongenueanceerd of draagt het zelfs bij aan klimaatsepsis. Bryce & Day (2014) beaamen dit en stellen dat de complexiteit van het debat te actueel is om in de beperkte ruimte van een schoolboek dit aan leerlingen over te kunnen brengen. Hierin kan er een groot hiaat in de metakennis van leerlingen blijven bestaan. Dit is niet in het minste belangrijk omdat leerlingen klimaatkennis, verkregen bij de exactere vakken, als betrouwbaar zien (Dawson & Carson, 2013). Wanneer leerlingen zich niet bewust zijn van de verschillende kanten van het klimaatdebat kan dit een nadelige uitwerking hebben op het vormen van een kritische houding.

7.3 Het controversiële karakter van global warming

De resultaten uit hoofdstuk zes van geven een antwoord op de vierde deelvraag:

4. *Hoe uit het controversiële karakter van global warming zich in aardrijkskunde tekstboeken?*

Uit de resultaten komt naar voren dat er in de bronteksten van De Geo (drie teksten) en WereldWijs (een tekst) weinig controversiële uitspraken gedaan worden wanneer gekeken wordt naar de vier redenen tot controverse volgens Roberts (2013). Dit houdt in dat de methoden uitspraken doen over global warming die in lijn zijn met wat er in de wetenschap over bekend is. Dit geldt minder voor BuiteNLand die duidelijk meer controversiële uitspraken doet (negen teksten). In alle geselecteerde bronteksten is er sprake van een gebrek aan bewijs voor bepaalde uitspraken en een foutieve interpretatie van het bewijs. Ethische problematiek en verschillende opvattingen over het handelplan komen niet voor in de bronteksten. Roberts (2013) stelt dat het belangrijk is om individuen te sterken tegen indoctrinatie, en dat kennis van wicked problems als klimaatverandering hieraan bij kan dragen. Uit de analyse blijkt dat het merendeel van de bronteksten die controversieel van aard zijn zich bevinden in informatie in de schoolboeken die over de onderwerpen binnen de controverse gaan (zie conceptueel model). Het objectief en kritisch analyseren van de informatie wordt hierdoor bemoeilijkt. Omdat kennis een sociaal construct is (Roberts, 2013), is het belangrijk om leerlingen de informatie in tekstboeken zo objectief mogelijk voor te schotelen zodat leerlingen zelf kunnen bepalen welk standpunt ze hierbij innemen.

7.4 Het karakter van de kloof

Het doel van dit onderzoek was om de breed onderzochte bestaande misconcepties te verbinden met de huidige stand van de wetenschap op het gebied van global warming. Door het bekijken van lesmethoden in vergelijking met de wetenschappelijk literatuur is getracht een antwoord te formuleren op onderstaande hoofdvraag:

Wat is het karakter van de kloof tussen de wetenschap en de schoolaardrijkskunde met betrekking tot het onderwerp global warming?

Concluderend is er een kloof aanwezig tussen de wetenschappelijke discipline en de schoolaardrijkskunde op het gebied van global warming. Deze kloof is te observeren bij de verschillende aspecten van global warming waarin (gereduceerde) wetenschappelijke kennis is te vinden. De wetenschappelijke discipline lijkt hierin het schoolvak voor te gaan (Stengel, 1997). De voorkeur voor bepaalde onderwerpen en de ongelijke verdeling van de aspecten van global warming over het schoolvak getuigt juist van invloeden van het curriculum dat haar stempel drukt op de inhoud van het schoolvak. Hierin komt de dialectische aard van de kloof naar boven, waarbij global warming een treffend voorbeeld is van een actueel probleem in het dagelijks leven van een individu dat om een oplossing vraagt (Deng, 2012).

De kloof is tussen en binnen de methoden niet van gelijke aard. Zo is duidelijk dat over het algemeen WereldWijs en De Geo dichter bij de wetenschap staan dan BuiteNLand wanneer gekeken wordt naar de mate van reductie. Maar ook binnen de methoden verschilt het sterk per aspect wat wel of niet wordt gereduceerd. Het verschil tussen de methoden in het gebruik van controversiële bronteksten volgt hetzelfde beeld waarin BuiteNLand er duidelijk meer bezit.

De gevonden kloof met haar bijbehorende hiaten in de lesmethode komt sterk overeen met onderzoek gedaan door Andersson & Wallin (2000) en Shepardson et al. (2009;2011) waaruit blijkt dat leerlingen grotendeels dezelfde hiaten in hun kennis hebben als dat er aan informatie in de methoden mist. Hoewel deze studie niet in de Nederlandse context heeft plaatsgevonden illustreert het dat dezelfde

concepten boven komen. Hierin lijken connecties te missen tussen de verschillende aspecten van global warming. Verder wordt er in lesmethoden veel geredeneerd vanuit voorbeelden waardoor generalisaties achterwege blijven. Tenslotte is het belang van metakennis verloren gegaan in de verschillende methoden wanneer er gekeken wordt naar klimaatscepsis. Deze metakennis is volgens Firth (2015) van essentieel belang om kennis kritisch te analyseren zoals in de discipline gebeurt.

In bredere context is het de vraag of alle gevonden reducties en discrepanties een probleem vormen voor de ontwikkeling van klimaatkennis van de leerling. Dit luidt de volgende vraag in: is er in een lesmethode genoeg ruimte voor? Er is volgens Roberts (2013) en Dupigny-Giroux (2010) een belangrijke rol weggelegd voor de docent in het behandelen van klimaatverandering in de lespraktijk. De docent kan nuances plaatsen bij de stof uit het boek en het leerproces sturen. Hiervoor moet hij wel beschikken over voldoende kennis van het onderwerp. Hier zet Lane (2008) zijn vraagtekens bij, omdat veel docenten niet over deze vakinhoudelijke kennis beschikken. Naast de rol van de docent is er de keerzijde van het interdisciplinaire karakter van de geografie. Omdat de geografische discipline vanwege haar interdisciplinaire karakter de plaats is om veel problematiek samen te laten komen heeft het een breed scala aan onderwerpen in haar portefeuille. Echter ligt bij dit interdisciplinaire karakter oppervlakkigheid op de loer (Dalrymple & Miller, 2006).

8. Limitaties

Allereerst zijn er een aantal limitaties te noemen die de afbakening van dit onderzoek met zich mee brengt. Omdat de milieuwetenschap erg breed en gespecialiseerd is op het gebied van global warming is er veel informatie beschikbaar. In dit brede scala is er, zo goed mogelijk, een reductie gemaakt van wat belang is voor het begrip van het concept global warming. Hoewel mijn achtergrond als milieuwetenschapper hierin leidend is geweest, kan dit ook juist importantie meegeven aan bepaalde onderwerpen. Ik kan meer waarde hechten aan kennis die voor begrip van het probleem global warming minder essentieel is. Daarnaast is de methode bekeken vanuit het global warming raamwerk en niet vanuit het curriculum. Dit heeft tot gevolg gehad dat de maatregelen voor global warming enkel in het kader van het conceptueel model aan bod zijn gekomen. Wanneer de maatregelen meegenomen zouden worden zou dit bijvoorbeeld gevolgen hebben voor de controversiële teksten omdat de verschillende handelplannen daar wel aan bod komen. De tweestrijd tussen het vertrouwen op de technische oplossing en het terugdringen van de broeikasgasuitstoot is hier een voorbeeld van.

Ten tweede zijn er een aantal tekortkomingen te noemen in de methode. In de eerste plaats is er gekozen om enkel de tekst uit de tekstboeken te analyseren, hierbij zijn de opdrachten achterwege gelaten. Het kan voorkomen dat de koppelingen die in de tekst ontbreken wel gelegd worden in opgaven. Daarnaast is voor een semi-kwantitatieve aanpak van de inhoudsanalyse gekozen. De bronteksten zijn per eenheid ingedeeld. Hierbij is de strekking van de inhoud geteld en niet het voorkomen van begrippen in de tekst. Hoewel dit een minder objectieve methode is, dekt het wel meer de lading van de inhoud. Daarnaast is gekozen voor drie methoden waarvan WereldWijs (2011-2012) een stuk ouder is dan BuiteNLand (2016) en De Geo (2017). Gedurende dit onderzoek heeft de methode WereldWijs een nieuwe uitgave uitgebracht. Hiervan is wel het hoofdstuk over gebieden (Zuid-Amerika) geanalyseerd. Verder is er omwille van beperkte tijd gekozen om de oude methode te analyseren. Knight (2007) stelt dat de geografische discipline zich zo snel ontwikkelt dat lesmethoden dit tempo niet kunnen bijbenen. Daarbij komt dat volgens Mikeš (2015) methodeontwikkelaars nooit de specifieke vakinhoudelijke kennis van alle losse aspecten van een discipline beheersen waardoor lesmethoden achterblijven op de huidige stand van de wetenschap. Omdat ook de klimaatwetenschap zich pijlsnel ontwikkelt kan dit tot gevolg hebben dat de data in WereldWijs verouderd is.

Ten derde zijn er in de analyse een aantal dingen op te merken. Voornamelijk bij het analyseren van de controversiële teksten lijkt het aantal bronteksten mee te vallen. Op subtieler niveau is er echter wel een gekleurde toon te bemerken in de teksten die gevolgen heeft voor de objectiviteit (Geerlings & van der Veen, 1996). Deze vermeende subjectiviteit is tot op zekere hoogte te verantwoorden. Er is namelijk daadwerkelijk een klimaatprobleem dat steeds groter wordt. Echter kan een te vooringenomen houding en het belichten van één kant van de problematiek afdoen aan het leren over controversiële problemen (Roberts, 2013). Wanneer dit meegenomen was in de selectie van controversiële teksten had dit geleid tot een selectie van alle bronteksten die niet puur natuurwetenschappelijk zijn. Echter is er soms een sceptische toon te bemerken of worden er superlatieven als 'rampzalig' in de bronteksten gebruikt. Roberts (2013) stelt dat dit inherent is aan het behandelen van een wicked problem.

9. Aanbevelingen & verder onderzoek

9.1 Wat betekent dit voor de lespraktijk?

Bewustwording van de kloof

In het kader van powerful knowledge is het van belang dat docenten weten van het bestaan van de kloof tussen discipline en het schoolvak en dat deze kloof zich op verschillende wijzen tussen en binnen lesmethoden kan manifesteren. Deze metakennis is vervolgens ook belangrijk voor de leerlingen. Zij moeten kritisch leren nadenken over de inhoud en de wijze van informatievoorziening in schoolboeken. Dit is met name van belang voor een controversieel en beladen onderwerp als global warming waarbij veel informatie gekleurd wordt neergezet en het soms moeilijk is om waarheden van onwaarheden te onderscheiden.

Gebruik van lesmethodes

Wanneer docenten en leerlingen zich bewust zijn van de kloof kunnen zij op een effectievere manier omgaan met de lesstof over global warming uit de lesmethoden. De docent heeft hierin een begeleidende rol, waar de leerling zelf een inschatting maakt van de informatie in de schoolboeken. De begeleidende rol komt voornamelijk naar voren in het behandelen van de onderdelen van global warming die niet in de methoden is opgenomen. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de verschillende broeikasgassen en onderwerpen als klimaatscepsis die bijdragen aan de kennis omtrent de controverse.

Inhoud van lesmethoden

In de gevonden discrepanties tussen de stand van de wetenschap en de schoolaardrijkskunde op het gebied van global warming is een grote rol voor de docent weggelegd in het maken van de connectie tussen de verschillende onderwerpen en het generaliseren concepten en theorieën. Global warming is een complex onderwerp dat verweven is met vele aspecten van de geografie en zelfs daarbuiten. Hier is met een relatief kleine inspanning een wereld te winnen in het overbrengen van powerful geographical knowledge.

Het interdisciplinaire karakter van de geografie

De kloof, die mede ontstaan is door het verder specialiseren van de wetenschappelijke discipline, kan bijdragen aan het bijeenbrengen van vele vormen van specialistische kennis. Wanneer de kloof overbrugd wordt door docenten en leerlingen kan de verschillende specialistische kennis gebruikt worden om global warming te duiden. Dit is niet gelimiteerd tot de geografische kennis, ook kennis vanuit andere disciplines is hiervoor van belang. Zo kan de schoolaardrijkskunde misschien een rol vervullen als interdisciplinaire spin in het web en de aspecten van global warming die bij andere vakken wordt behandeld bijeenbrengen. Hierbij kan gedacht worden natuurkunde (bijvoorbeeld de stralingsbalans), scheikunde (bijvoorbeeld de chemische processen van oceaanzuring) en biologie (bijvoorbeeld de stikstofkringloop).

Kennis van de docent

Zoals door verschillende auteurs is onderschreven (Lane, 2008; Roberts, 2013) is de kennis van de docent in alle bovenstaande gevallen uitermate belangrijk. De inhoudelijk kennis op het gebied van global warming is complex en ontwikkelingen binnen de klimaatwetenschappen verlopen snel. Hierdoor is het aan te bevelen om deze kennis bij structureel bij te werken, maar tenminste na het uitkomen van een nieuw rapport van de IPCC.

9.2 Waar liggen mogelijkheden voor verder onderzoek?

Breed onderzoek naar minder complexe problematiek

Dit onderzoek heeft zich geconcentreerd op de problematiek rondom global warming. Vanwege het complexe karakter en de specifieke wetenschappelijke kennis is het mogelijk dat de kloof zich anders zal manifesteren wanneer er gekeken wordt naar minder complexe problematiek. Hierbij zou het interessant zijn om een breder onderzoek uit te zetten over de lesmethoden.

Onderzoek naar hoe docenten en leerlingen met de kloof omgaan

Pleijter (2006) pleit voor een 'membercheck'. Dit is een onderzoek onder de gebruikers van de lesmethode, die omwille van de omvang en tijd in dit onderzoek achterwege is gelaten. Dit zou specifieke terugkoppeling geven op de gevonden resultaten omtrent de kloof op het gebied van global warming. Daarbij is het interessant om te zien hoe docenten omgaan met de gevonden kloof en hoe de kloof zich bij leerlingen manifesteert. Om dit te bewerkstelligen zou er een enquête uitgezet kunnen worden onder docenten. Voor leerlingen zou een test ontwikkeld kunnen worden die eindexamenkandidaten maken na hun examens. Hierin kan dan onderscheid gemaakt worden tussen leerlingen die les hebben gehad met de verschillende lesmethoden.

Vaardigheden en global warming

In het licht van het curriculum wordt er ook sterk ingezet op vaardigheden (Noordink, 2011). Een daarvan is het ontwikkelen van onderzoeksvaardigheden van leerlingen. Omdat deze scriptie enkel de tekst uit de lesmethoden behelst kan het zijn dat de kloof die in dit onderzoek naar voren komt wordt overbrugd door bijvoorbeeld het doen van onderzoek door leerlingen naar global warming. Onderzoek naar de vaardigheden van leerlingen met betrekking tot global warming zou hier inzichten in kunnen geven.

Onderzoek in de nieuwe methode De Wereld Van

Zoals in de limitatiesectie van dit onderzoek is behandeld (hoofdstuk 8) is in deze studie de laatste versie van WereldWijs geanalyseerd. Om een betere vergelijking te krijgen met de huidige stand van de wetenschap is een mogelijkheid voor verder onderzoek om een vergelijkbare studie uit te voeren met de recentere versie van de lesmethode De Wereld Van als vervanging van WereldWijs.

Referenties

- Abraham, M. R., Grzybowski, E. B., Renner, J. W., & Marek, E. A. (1992). Understandings and Misunderstandings of 8Th Graders of 5 Chemistry Concepts Found in Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(2), 105–120.
- Adriaens, R., Bakker, A., Benéker, T., Bosschaart, A., de Klerk, A., Postma, E., ... Willems, F. (2017). Visie op het aardrijkskunde- onderwijs voor het primair en voortgezet onderwijs naar aanleiding van Curriculum.nu. *Geografie Magazine*, (December).
- Allen, M. R., Dube, O. P., Solecki, W., Aragón-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S., ... Zickfeld, K. (2018). Framing and Context. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, ... T. Waterfield (Eds.), *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*, (pp. 47–92).
- Andersson, B., & Wallin, A. (2000). Students' understanding of the greenhouse effect, the societal consequences of reducing CO₂emissions and the problem of ozone layer depletion. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1096–1111.
- Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518–560.
- Bénéker, T. (2013). *Gammavakken: Hun toekomst, onze toekomst? Toekomstgericht onderwijs in de gammavakken*.
- Bloothoofd, T., de Boer, M., Mennen, H., Prinsen, H., & Wils, T. (2016a). *BuiteNLand: Leerboek vwo 4*. (G. van den Berg, H. Botter, & H. Mennen, Eds.) (3e editie). Groningen: Noordhoff Uitgevers.
- Bloothoofd, T., de Boer, M., Mennen, H., Prinsen, H., & Wils, T. (2016b). *BuiteNLand: Leerboek vwo 5*. (G. van den Berg, H. Botter, & H. Mennen, Eds.) (3e editie). Groningen: Noordhoff Uitgevers.
- Bloothoofd, T., de Boer, M., Mennen, H., Prinsen, H., & Wils, T. (2016c). *BuiteNLand: Leerboek vwo 6*. (G. van den Berg, H. Botter, & H. Mennen, Eds.) (3e editie). Groningen: Noordhoff Uitgevers.
- Bodansky, D. (2001). The history of the global climate change regime. In U. Luterbacher & D. F. Sprinz (Eds.), *International relations and global climate change* (pp. 23–40). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Boden, T. A., Marland, G., & Andres, R. J. (2017). *National CO₂ emissions from fossil-fuel burning, cement manufacture, and gas flaring: 1751-2014*.
- Bonnett, A. (2003). Geography as the world discipline : popular and academic geographical connecting imaginations, 35(1), 55–63.
- Bony, S., Stevens, B., Frierson, D. M. W., Jakob, C., Kageyama, M., Pincus, R., ... Webb, M. J. (2015). Clouds, circulation and climate sensitivity. *Nature Geoscience*, 8(4), 261–268.
- Bouma, K., & de Zwaan, I. (2019, March 14). Klimaatpijbelaar op de Dam: 'Ik word er helemaal gek van dat ijsberen doodgaan.' *Volkscrant*. Beschikbaar op: <https://www.volkscrant.nl/nieuws-achtergrond/klimaatpijbelaar-op-de-dam-ik-word-er-helemaal-gek-van-dat-ijsberen-doodgaan~b7bc2844/?referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>
- Brooks, C. (2011). Geographical Knowledge and Professional Development. In G. Butt (Ed.), *Geography, education and the future* (pp. 165–186). Bloomsbury.

- Brundtland, G. H., Khalid, M., & Agnelli, S. (1987). *Our Common Future*. New York.
- Bryce, T. G. K., & Day, S. P. (2014). Scepticism and doubt in science and science education: the complexity of global warming as a socio-scientific issue. *Cultural Studies of Science Education*, 9(3), 599–632.
- Bulthuis, J. H., van den Bunder, H. M., Gerits, G., Hendriks, I. G., Jutte, F., Padmos, J. H. A., ... van Veen, M. W. (2017a). *DeGeo: Aarde; Klimaatvraagstukken, Studieboek vwo*. (I. G. Hendriks, Ed.) (5e ed.). Amersfoort: ThiemeMeulenhoff.
- Bulthuis, J. H., van den Bunder, H. M., Gerits, G., Hendriks, I. G., Jutte, F., Padmos, J. H. A., ... van Veen, M. W. (2017b). *DeGeo: Aarde; Systeem Aarde, Studieboek vwo*. (I. G. Hendriks, Ed.) (5e ed.). Amersfoort: ThiemeMeulenhoff.
- Bulthuis, J. H., van den Bunder, H. M., Gerits, G., Hendriks, I. G., Jutte, F., Padmos, J. H. A., ... van Veen, M. W. (2017c). *DeGeo: Gebieden; Zuid-Amerika, Studieboek vwo*. (I. G. Hendriks, Ed.) (5e ed.). Amersfoort: ThiemeMeulenhoff.
- Bulthuis, J. H., van den Bunder, H. M., Gerits, G., Hendriks, I. G., Jutte, F., Padmos, J. H. A., ... van Veen, M. W. (2017d). *DeGeo: Leefomgeving; Wonen in Nederland, Studieboek vwo*. (I. G. Hendriks, Ed.) (5e ed.). Amersfoort: ThiemeMeulenhoff.
- Bulthuis, J. H., van den Bunder, H. M., Gerits, G., Hendriks, I. G., Jutte, F., Padmos, J. H. A., ... van Veen, M. W. (2017e). *DeGeo: Wereld; Arm en rijk, Studieboek vwo*. (I. G. Hendriks, Ed.) (5e ed.). Amersfoort: ThiemeMeulenhoff.
- Bulthuis, J. H., van den Bunder, H. M., Gerits, G., Hendriks, I. G., Jutte, F., Padmos, J. H. A., ... van Veen, M. W. (2017f). *DeGeo: Wereld; Globalisering, Studieboek vwo*. (I. G. Hendriks, Ed.) (5e ed.). Amersfoort: ThiemeMeulenhoff.
- Carey, S. (1999). Knowledge Acquisition: Enrichment or Conceptual Change. In E. Margolis & S. Laurence (Eds.), *Concepts: Core Reading* (p. 459). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Chadburn, S. E., Burke, E. J., Cox, P. M., Friedlingstein, P., Hugelius, G., & Westermann, S. (2017). An observation-based constraint on permafrost loss as a function of global warming. *Nature Climate Change*, 7(5), 340–344.
- Choi, S., Niyogi, D., Shepardson, D. P., & Charusombat, U. (2010). Do earth and environmental science textbooks promote middle and high school students' conceptual development about climate change? Textbooks' consideration of students' misconceptions. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(7), 889–898.
- College van Toetsen en Examens. (2017). *Aardrijkskunde VWO: Syllabus centraal examen 2019*. Utrecht.
- Cvijanovic, I., & Caldeira, K. (2015). Atmospheric impacts of sea ice decline in CO₂induced global warming. *Climate Dynamics*, 44(5–6), 1173–1186.
- Dalrymple, J., & Miller, W. (2006). Interdisciplinarity: a key for real-world learning. *Planet*, 17(1), 29–31.
- Dawson, V., & Carson, K. (2013). Australian secondary school students' understanding of climate change. *Teaching Science: The Journal of the Australian Science Teachers Association*, 59(3), 9–15.
- den Bekker, A., Elhorst, D., Scheepers, M., & Terlingen, M. (2018). Gebieden: Actuele vraagstukken in Zuid-Amerika. In C. Gudde (Ed.), *De Wereld Van: Leeropdrachtenboek 5 vwo* (1e editie, p. pp.106-153). 's-Hertogenbosch: Malmberg.

- Deng, Z. (2012). School subjects and academic disciplines: The differences. In A. Luke et al. (Eds.), *Curriculum, Syllabus Design and Equity: A primer and model* (pp. 40–53). New York: Routledge.
- Devine-Wright, P., Devine-Wright, H., & Fleming, P. (2004). Situational influences upon children's beliefs about global warming and energy. *Environmental Education Research*, 10(4), 493–506.
- Dlugokencky, E. J. (2019a). Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Beschikbaar op: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>, Geraadpleegd op: 28 februari 2019.
- Dlugokencky, E. J. (2019b). Trends in Atmospheric Methane. Beschikbaar op: https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/, Geraadpleegd op: 28 februari 2019.
- Dove, J. E. (1998). Students' alternative conceptions in earth science: A review of research and implications for teaching and learning. *Research Papers in Education*, 13(2), 183–201.
- Duit, R., Treagust, D. F., & Widodo, A. (2013). Teaching Science for Conceptual Change - Theory and Practice. In *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 487–503).
- Dunlap, R. E., & McCright, A. M. (2015). Challenging Climate Change: The Denial Countermovement. In R. E. Dunlap & R. J. Brulle (Eds.), *Climate change and society: Sociological perspectives* (pp. 300–332). New York: Oxford University Press.
- Dupigny-Giroux, L. A. L. (2010). Exploring the challenges of climate science literacy: Lessons from students, teachers and lifelong learners. *Geography Compass*, 4(9), 1203–1217.
- Ekborg, M. (2003). How student teachers use scientific conceptions to discuss a complex environmental issue. *Journal of Biological Education*, 37(3), 126–132.
- Field, C. B., Lobell, D. B., Peters, H. A., & Chiariello, N. R. (2007). Feedbacks of Terrestrial Ecosystems to Climate Change. *Annual Review of Environment and Resources*, 32(1), 1–29.
- Firth, R. (2011). Debates about knowledge and the curriculum: Some implications for geography education. In G. Butt (Ed.), *Geography, education and the future* (pp. 141–164).
- Firth, R. (2015). Constructing Geographical Knowledge. In G. Butt (Ed.), *MasterClass in Geography Education: Transforming Teaching and Learning* (1e editie, pp. 53–66). New York: Bloomsbury.
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D. W., ... van Dorland, R. (2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, ... M. H.L. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 130–234). Cambridge: Cambridge University.
- Friedlingstein, P., Dufresne, J. L., Cox, P. M., & Rayner, P. (2003). How positive is the feedback between climate change and the carbon cycle? *Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 55(2), 692–700.
- Gautier, C., & Rebich, S. (2006). Misconceptions About the Greenhouse Effect. *Journal of Geoscience Education*, 54(3), 386–395.
- Geerlings, C. T., & van der Veen, T. (1996). *Lesgeven en zelfstandig leren*. Van Gorcum.
- Golledge, R. G. (2002). The nature of geographic knowledge (annual address of the Past President of the AAG). *Annals of the Association of American Geographers*, 92(1), 1–14.
- Harrington, J. (2008). Misconceptions: Barriers to Improved Climate Literacy. *Physical Geography*, 29(6), 575–584.
- Harvey, L. D. D. (2016). *Global Warming: The Hard Science*. Routledge.

- Held, I. M., & Soden, B. J. (2014). Water Vapor Feedback and Global Warming. *Annual Review Enderly Environment*, 25, 441–482.
- Holden, E. (2018). “It’ll change back”: Trump says climate change not a hoax, but denies lasting impact. Beschikbaar op: <https://www.theguardian.com/us-news/2018/oct/15/itll-change-back-trump-says-climate-change-not-a-hoax-but-denies-lasting-impact>, Geraadpleegd op: 12 oktober, 2018
- Hornsey, M. J., Harris, E. A., & Fielding, K. S. (2018). Relationships among conspiratorial beliefs, conservatism and climate scepticism across nations. *Nature Climate Change*, 8(7), 614–620.
- Houghton, J. (2009). *Global Warming: The Complete Briefing* (4e editie). Cambridge University Press.
- IPCC. (1990). *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. (J. T. Houghton, G. J. Jenkins, & J. J. Ephraums, Eds.). Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC. (1996). *Climate change 1995: The science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (J. T. Houghton, L. G. Meiro Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenburg, & K. Maskell, Eds.) (2e editie). Cambridge University Press.
- IPCC. (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. (J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, ... C. A. Johnson, Eds.). Cambridge University Press.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M. M. B. Tignor, ... Z. Chen, Eds.). Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. (T. F. Stocker, D. Qin, G. Plattner, M. M. B. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, ... P. M. Midgley, Eds.). Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC. (2018). Global warming of 1.5°C An IPCC Special Report. In V (Ed.), *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*, (pp. 1–32). Switzerland.
- IPCC. (2019). About the IPCC. Beschikbaar op: <https://www.ipcc.ch/about/>, Geraadpleegd op: 18 februari, 2019
- Karpudewan, M., Ahmad, A. N., & Chandrasegaran, A. L. (2017). Overcoming Students’ Misconceptions in Science: Strategies and Perspectives from Malaysia. *Overcoming Students’ Misconceptions in Science: Strategies and Perspectives from Malaysia*, 1–344.
- King, C. J. H. (2010). An Analysis of misconceptions in science textbooks: Earth science in England and Wales. *International Journal of Science Education*, 32(5), 565–601.
- Knight, P. G. (2007). Physical Geography : Learning and teaching in a that textbooks can’t keep up! *Geography*, 92(1), 57–61.
- Lambert, D. (2011). Reframing School Geography: A Capability Approach. In G. Butt (Ed.), *Geography, education and the future* (1st ed., pp. 127–140). London: Continuum International Publishing Group.
- Lambert, D., & Morgan, J. (2009). Corrupting the curriculum? The case of geography. *London Review of Education*, 7(2), 147–157.
- Lane, R. (2008). Students’ Alternative Conceptions in Geography. *Geographical Education*, 21(August), 43–52.

- Lentjes, W., Palings, H., Savelkou, Palings, H., Savelkous, T., Terlingen, M., ... Teune, M. (2011a). *WereldWijs: Wereld 1, Leeropdrachtenboek vwo*. (M. Terlingen, Ed.) (4e editie). 's-Hertogenbosch: Malmberg.
- Lentjes, W., Palings, H., Savelkou, Palings, H., Savelkous, T., Terlingen, M., ... Teune, M. (2011b). *WereldWijs: Wereld 2, Leeropdrachtenboek vwo* (4e editie). 's-Hertogenbosch: Malmberg.
- Lentjes, W., Palings, H., Savelkou, Palings, H., Savelkous, T., Terlingen, M., ... Teune, M. (2012a). *WereldWijs: Aarde 1, Leeropdrachtenboek vwo*. (M. Terlingen, Ed.) (4e editie). 's-Hertogenbosch: Malmberg.
- Lentjes, W., Palings, H., Savelkou, Palings, H., Savelkous, T., Terlingen, M., ... Teune, M. (2012b). *WereldWijs: Aarde 2, Leeropdrachtenboek vwo*. (M. Terlingen, Ed.) (4e editie). 's-Hertogenbosch: Malmberg.
- Lentjes, W., Palings, H., Savelkou, Palings, H., Savelkous, T., Terlingen, M., ... Teune, M. (2012c). *WereldWijs: Nederland als leefomgeving, Leeropdrachtenboek vwo* (4e editie). 's-Hertogenbosch: Malmberg.
- Lenzen, M., & Murray, J. (2001). The Role of Equity and Lifestyles in Education about Climate Change : Experiences from a Large- scale Teacher Development Program. *Canadian Journal of Environmental Education*, 6(1), 32–51.
- Lombardi, D., & Sinatra, G. M. (2012). College Students' Perceptions About the Plausibility of Human-Induced Climate Change. *Research in Science Education*, 42(2), 201–217.
- Martin, F. (2011). Global Ethics, Sustainability and Partnership. In G. Butt (Ed.), *Geography, education and the future*. Bloomsbury.
- Mason, L., & Santi, M. (1998). Discussing the Greenhouse Effect: children's collaborative discourse reasoning and conceptual change. *Environmental Education Research*, 4(1), 67–85.
- Maude, A. (2016). What might powerful geographical knowledge look like? *Geography*, 101(3), 70–76.
- Maxwell, R., & Miller, T. (2016). The Propaganda Machine Behind the Controversy Over Climate Science: Can You Spot the Lie in This Title? *American Behavioral Scientist*, 60(3), 288–304.
- Mikes, D. (2015). Geoscience Education Is Outdated. *South African Journal of Geology*, 118(3), 299–301.
- Miller, G. T., & Spoolman, S. E. (2011). *Living in the Environment: Concepts, Connections and Solutions* (16e editie). Nelson Education.
- Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2018). Aanbieding ontwerp-Klimaatakkoord, 1–17. Beschikbaar op: www.rijksoverheid.nl/ezk, Geraadpleegd 18 februari 2019
- Montzka, S. A., Dlugokencky, E. J., & Butler, J. H. (2011). Non-CO₂ greenhouse gases and climate change. *Nature*, 476(7358), 43–50.
- Morgan, J. (2015). Making geographical futures. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 24(4), 294–306.
- Nagel, M. C. (2004). Lend them an ear: The significance of listening to children's experiences of environmental education. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 13(2), 115–127.
- NOAA. (2018). State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2017.

- Noordink, H. (2011). *Vakdossier aardrijkskunde: Stand van zaken in de tweede fase*. Enschede.
- O'Neill, B. C., Oppenheimer, M., Warren, R., Hallegatte, S., Kopp, R. E., Pörtner, H. O., ... Yohe, G. (2017). IPCC reasons for concern regarding climate change risks. *Nature Climate Change*, 7(1), 28–37.
- Österlind, K. (2005). Concept formation in environmental education: 14-year olds' work on the intensified greenhouse effect and the depletion of the ozone layer. *International Journal of Science Education*, 27(8), 891–908.
- Pingel, F. (2010). *UNESCO Guidebook on Textbook Research and Textbook Revision*.
- Plattner, G. K., Joos, F., Stocker, T. F., & Marchal, O. (2001). Feedback mechanisms and sensitivities of ocean carbon uptake under global warming. *Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 53(5), 564–592.
- Pleijter, A. R. J. (2006). *Typen en logica van kwalitatieve inhoudsanalyse in de communicatiewetenschap*. Radboud Universiteit Nijmegen.
- Raia, F. (2005). Students' Understanding of Complex Dynamic Systems. *Journal of Geoscience Education*, 53(3), 297–308.
- Rawling, E. (2001). *Changing the Subject: The impact of national policy on school geography 1980-2000*. Sheffield.
- Reinfried, S. (2004). Do curriculum reforms affect classroom teaching in geography? The case study of Switzerland. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 13(3), 239–250.
- Roberts, M. (2013). Controversial issues in geography. In *Geography Through Enquiry* (1e editie, pp. 114–127). Sheffield: The Geographical Association.
- Rohde, R. A. (2007). Radiation transmitted by the atmosphere. Beschikbaar op: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_Transmission.png. Geraadpleegd op 5 februari 2019
- Shepardson, D. P., Niyogi, D., Choi, S., & Charusombat, U. (2009). Seventh grade students' conceptions of global warming and climate change. *Environmental Education Research*, 15(5), 549–570.
- Shepardson, D. P., Niyogi, D., Choi, S., & Charusombat, U. (2011). Students' conceptions about the greenhouse effect, global warming, and climate change. *Climatic Change*, 104(3–4), 481–507.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–22.
- Spellman, G., Field, K., & Sinclair, J. (2003). An investigation into UK higher education student's knowledge of global climatic change. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 12(1), 6–17.
- Stannard, K. (2003). Earth to academia: on the need to reconnect university and school geography. *Area*, 35(3), 316–322.
- Stengel, B. S. (1997). 'Academic discipline' and 'school subject': Contestable curricular concepts. *Journal of Curriculum Studies*, 29(5), 585–602.
- Swingedouw, D., Fichfet, T., Huybrechts, P., Goosse, H., Driesschaert, E., & Loutre, M. F. (2008). Antarctic ice-sheet melting provides negative feedbacks on future climate warming.

Geophysical Research Letters, 35(17), 2–5.

Thorne, P. W., Lanzante, J. R., Peterson, T. C., Seidel, D. J., & Shine, K. P. (2011). Tropospheric temperature trends: History of an ongoing controversy. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 66–88.

Tranter, B., & Booth, K. (2015). Scepticism in a changing climate: A cross-national study. *Global Environmental Change*, 33, 154–164.

van der Vaart, R. (1991). *Educatief ontwerpen met geografie: een studie betreffende de structurering van geografische kennis voor educatieve doeleinden*.

van Gorp, B., Béneker, T., & van der Vaart, R. (2005). *Inhoudsanalyse: een handleiding*. Universiteit Utrecht.

Van Rensburg, W. (2015). Climate Change Scepticism. *SAGE Open*, 5(2), 215824401557972.

Van Schaik, L., Maas, E., Dinnissen, R., & Vos, J. (2015). *Beyond scares and tales: climate-proofing Dutch foreign policy*. The Hague.

Young, M. (2009). Education, globalisation and the “voice of knowledge.” *Journal of Education and Work*, 22, 193–204.

Appendices

Appendix 1: Methode van brontekstselectie en aandachtspuntenlijst.

Appendix 1a Selectie bronteksten aan de hand van de stand van de wetenschap	
Stand van de wetenschap	Categorie
Het klimaatsysteem	
Weer & Klimaat	Klimaatsysteem
Het Klimaat als systeem	Klimaatsysteem
Het Broeikaseffect	
Stralingsbalans	Oorzaken
Het Natuurlijk broeikaseffect	Oorzaken
Het versterkt broeikaseffect	Oorzaken
Broeikasgassen	Klimaatsysteem
Terugkoppelingsmechanismen	
Negatieve terugkoppeling	Klimaatsysteem
Positieve terugkoppeling	Klimaatsysteem
Complexiteit van terugkoppelingsmechanismen	Klimaatsysteem
Controverse: Wetenschap versus Klimaatscepsis	
Klimaatwetenschap	Controverse
Klimaatwetenschap: gevolgen	Gevolgen
Klimaatscepsis	Controverse
Politieke & Economische belangen	Controverse

Appendix 1b Classificering volgens het conceptueel model	
Categorie	Sub-selectie
Oorzaken	Natuurlijk broeikaseffect
	Versterkt broeikaseffect
Klimaat-systeem	Weer & Klimaat
	Kringlopen
	Terugkoppelingsmechanismen
	Broeikasgassen
Gevolgen	Klimaat- en weerextremen
	Zeespiegel
	Gezondheid
	Voedselzekerheid
	Mariene ecosystemen
	Terrestrische ecosystemen
Controverse	Klimaatwetenschap
	Klimaatscepsis
	Politieke & economische belangen

Appendix 1c: Overzicht databestand aandachtspuntenlijst								
	Boek	§	Alinea	Classificering ¹	Sub-selectie ²	Extra info	Koppeling ³	Contro- versieel ⁴
geo1	Arm & Rijk	1.4	2	Gevolgen	Voedsel- zekerheid		ja	
geo2	Arm & Rijk	1.4	2	Gevolgen	Klimaat- & weerextremen	Neerslag	ja	
geo3								
Etc.								

¹ Classificering volgens appendix 1b
² Sub-selectie volgens appendix 1b
³ Direct gekoppeld aan global warming in dezelfde alinea
⁴ Bevat controversiële teksten op basis van

- Gebrek aan bewijs
- Interpretatie van bewijs
- Ethische gronden
- Verschillende opvattingen over het handelplan

Appendix 2: Overzicht van alle geselecteerde bronteksten

Appendix 2a. Overzicht geselecteerde bronteksten WereldWijs			
Boek	Paragraaf	Alinea	pp.
Aarde 1	3.2 De zon als motor voor het klimaatsysteem	1.Weer en klimaat	10
		2.Wie verwarmt onze luchtlaag: de zon of de aarde?	10-12
		3.De energiehuishouding van de aarde	13
		4.De zonkracht en ozon	14
		5.Aantasting van de ozonlaag	15
	3.3 Water als energietransporteur	1.Energietransport door zeestromen	19-20
		2.Energietransport door de hydrologische kringloop	21-22
		3.Een grote buffervoorraad warmte in de zee	22
	3.4 Lucht als energietransporteur	1.Het ontstaan van luchtdrukverschillen	26
		2.Drie circulatiecellen per halfmond	27-28
		3.De eigenschappen van hoge- en lagedrukgebieden	28-29
		4.De luchtcirculatie op lage breedten	29-31
		5.De luchtcirculatie in de gematigde breedten	31
	3.5 De klimaatgebieden op aarde	1.Klimaatindeling	37
		2.De klimaat gebieden van Köppen	37-38
		3.Klimaten verklaren	38-39
	3.6 Landschapszones en klimaat	1.Het landschap: samenwerking van geofactoren	42-43
		2.De landschapszones op aarde	43-44
		3.Water en plantengroei	44-46
		4.De landschapszones in het geologisch verleden	46-47
	3.7 Landschapszones en de mens	2.Landdegradatie in de aride en semi-aride landschapszone	52-54
		3.Landdegradatie in de subtropische en gematigde landschapszone	55
		4.Landdegradatie in boreale en polaire gebieden	56-57
		5.Landschapszones in de toekomst	58
	4.1 Oriëntatie	1.Zijn er aanwijzingen dat het klimaat op aarde verandert?	74-75
		2.Welke natuurlijke en menselijke oorzaken kunnen voor klimaatverandering zorgen?	76
		3.Welke maatregelen moeten genomen worden om klimaatverandering te beperken?	76-77
	4.2 Klimaatveranderingen opsporen	1.Gletsjers en ijskappen als thermometers	80-81
	4.3 De natuurlijke oorzaken van klimaatveranderingen	2.Veranderingen in de atmosfeer	92-93
		3.Veranderingen op aarde	94-95
4.4 De mens verandert het klimaat	1.Versterking van het broeikaseffect	97-98	
	2.Wat doet het systeem aarde met de extra toevoer van CO ₂ ?	98-101	
4.5 Hoe anders wordt ons wereldklimaat?	1.Klimaatonderzoek door het IPCC	104-105	
	2.Meer stralingsenergie en hogere temperaturen	105-106	
	3.Meer neerslag, maar minder ijs	106-107	
	4.De oceaan warmt op	107-108	
	5.1. Minder weerkaatsing van zonnestraling	108	
	5.2. Verstoring van de werking van de diepwaterpomp	109	
	5.3. Extra uitstoot of opname van broeikasgassen	109	
4.6 Leren leven met een ander wereldklimaat	1.Verschillen in kwetsbaarheid	111-114	

		2. Invloed op water en toerisme	114-115
	4.7 Hoe kan klimaatverandering beperkt worden?	1. Politiek en het klimaat	118
		2. Het Kyoto-protocol	118-119
		3. De Kyoto-maatregelen voor de industrielanden	119-120
		4. Het klimaatbeleid moet aangescherpt	121-122
		5. Minder broeikasgas in de atmosfeer	122-125
Aarde 2	5.9 De gesteenten op aarde	2. De gesteentekringloop van plantenafval	61-62
	6.3 Plantengroei en landbouw in het Middellandse-zeegebied	5. Veel bosbranden	98
VWO 5	3.3 Natuurlijke gevaren	1. Natuurrampen in Zuid-Amerika	117
		2. Maatregelen tegen natuurlijke gevaren	117-118
Wereld 1	2.6 Draagkracht en technologie	1. Bevolkingsgroei en draagkracht	120
Aarde 1 (Lentjes et al., 2012a) Aarde 2 (Lentjes et al., 2012b) Wereld 1 (Lentjes et al., 2011a) VWO 5 (den Bekker et al., 2018)			

Appendix 2b. Overzicht geselecteerde bronteksten Buitenland			
Boek	Paragraaf	Alinea	pp.
VWO 4	1.10 Beleid om voedselzekerheid te vergroten	2. Internationaal beleid van Nederland en de EU	32
	2.0 Introductie	1. Het klimaat maakt de regio alleen maar explosiever	38
	2.1 De stralingsbalans van de aarde	1. De stralingsbalans	40
		2. Het broeikaseffect	40-41
	2.2 Wereldwijde luchtstromen	1. De atmosferische circulatie	42
		2. Het corioliseffect	42-43
		3. Passaten en moessons	43
	2.3 Oceaan- en zeestromen	1. Zeestromen	44-45
		2. Thermohaliene circulatie	45
		3. Herverdeling van warmte	45
	2.5 Klimaatgebieden	1. Klimaatgebieden	50
		2. Klimaatfactoren	50
	2.6 Landschapszones	1. Tropische zone	52
		2. Aride zone	52
		3. Subtropische zone	52-53
		4. Gematigde zone	53
		5. Boreale zone	53
6. Polaire zone		53	
2.7 Natuurlijke klimaatverandering: onderzoek	2. IJstijden in het Kwartair	55	
2.8 Natuurlijke klimaatverandering: oorzaken	1. Lange termijn	58	
	2. Middellange termijn	58-59	
2.9 Hedendaagse klimaatverandering: oorzaken	1. Broeikasgassen	60	
	2. Landgebruik		

	2.10 Complexiteit van hedendaagse klimaatverandering	0.Introductie	62
		1.Terugkoppelingsmechanismen	62
		2.Klimaatmodellen	62-63
		3.Beperkte voorspelbaarheid	63
	2.11 Gevolgen van hedendaagse klimaatverandering	1.Natuurlijke gevolgen	64
		2.Maaschappelijke gevolgen	64
		3.Tegengestelde belangen	64-65
	2.12 Beleid en <i>the big picture</i>	1.Klimaatbeleid	66
		2.Concrete maatregelen	66-67
		3. <i>The big picture</i> en het leren omgaan met onzekerheid	67
	3.3 Klimaten	1.Klimaat- en landschapszones	78
		2.Klimaatfactoren	78
	4.0 Introductie	1.'Tegel eruit en plant erin'	102
	4.1 Rivieren	2.De waterafvoer verandert	104
		3.Het water dreigt	104-105
	4.2 De kust	2.Natuurlijke processen langs de kus	106
	4.4 De kust: zacht waar het kan, hard waar het moet	1.De basiskustlijn wordt bedreigd	112
	4.5 Waterproblemen in laaggelegen gebieden en steden	1.De invloed van de klimaatverandering	116
		2.De kwetsbaarheid van de Laaggelegen gebieden	116-117
		3.Loopt de stad gevaar?	117
	4.6 Oplossingen voor waterproblemen in laaggelegen gebieden en steden	1.Acceptatie of adaptatie?	118
VWO 5	3.0 Introductie	1.Brazilië krijgt toch megadam	70
	3.6 Gevolgen van de winning van natuurlijk hulpbronnen	1.Is de winning van natuurlijke hulpbronnen duurzaam?	84
VWO 6	1.0 Introductie	1.Hoe een Chinees gezin moet vluchten voor de oprukkende woestijn	8
	1.4 Verwoestijning	1.De mens creëert woestijn	16
	1.5 Natuur-en milieurampen	3.Kettingreacties	18-19
VWO 4 (Bloothoofd et al., 2016a)			
VWO 5 (Bloothoofd et al., 2016b)			
VWO 6 (Bloothoofd et al., 2016c)			

Appendix 2c. Overzicht geselecteerde bronteksten De Geo			
Boek	Paragraaf	Alinea	pp.
Arm & Rijk	1.4 Hier hoeft je toch geen honger te lijden??	2.Natuur: onbetrouwbaar en kwetsbaar	22
	2.1 Water in een droge wereld	0.Steeds minder water	28
		2.Waar komt ons water vandaan?	33
	2.2 Water en land in Israël	8.Bergaquifer	38
	3.1 Het einde van een olietijdperk	1.Hoe ontstaat aardolie?	46
Gebieden: Zuid-Amerika	1.2 Ongekende natuur	2.Invloed van passaten en oceanen	10
		3. Klimaat en weer in het zuiden	10
		7.Van savanne tot woestijn	13
	1.4 Rijkdom in de bodem	2.Aardolie en aardgas	20
Klimaatvraagstukken	1.1 De atmosfeer: een omhulsel van gas	1.Weer en klimaat	6-7
		2.Samenstelling en opbouw van de atmosfeer	7-8
		3.Energiebalans	9

		4.Variaties in de energiebalans	9
	1.2 Warmtetransport door de wind	1.Luchtdrukverschillen	10
	1.3 Rivieren in de oceanen 1.4	1.Oceanische circulatie	13
		2.Warme en koude zeestromen	13
		3.Thermohaliene circulatie	14
	1.4 Het klimaat als systeem	3.Versterking of verzwakking	20
	2.0 Introductie	1.Alaska: een ijskast verkopen aan een Inuit	22
	2.1 Woestijnaarde	7.Steenkool en aardgas in Nederland	28
	2.2 Broeikasaarde	3.Koolzuurgas	30
		5.Dinokiller?	31
	2.3 IJstijdaarde	5.Glaciale wip	35
	3.1 De geschiedenis herhaalt zich?	0.De Kilimanjaro en het broeikas-effect	43
		1.Ophef over klimaatverandering	43
		3.Broeikasgassen	44
		4.Rol van de mens	45
		6.Gevolgen voor de toekomst	46
	3.2 Gevolgen mondiale klimaatverandering	0.Klimaatvluchtelingen	47
		1.IPCC	47
		2.Verandering van temperatuur en neerslag	47
		3.Opschuiven van zones	48-49
	3.3 Nederland en Bangladesh	4.Verschillende belangen	49
		0.Een dijk tegen de overstromingen	51
		2.Warmer en natter Nederland	51
		3.Gevolgen	52
		4.Gevolgen voor Bangladesh	52-53
	4.1 Mondiaal en Europees beleid	1.Klimaattop in Parijs, 2015	58
		2.Resultaatgericht	58
		4.Kritiek	58
		6.Minder transport	60
	4.2 Alternatieve energiebronnen	7.Andere initiatieven	65
	4.3 Nederlands klimaatbeleid	2.Aanpassingen	66
Leefomgeving	1.1 Koffers pakken ...	2.Een veilig gevoel	6-7
		3.Overstromingsrisico's	7
		4.Van koelkast tot broeikas	8
		5.Rijzende zeespiegel en verdwijnend zand	9
		9.Ander zicht op zee	16
	1.2 Kust in beweging	2.Hoogwater op de Rijn	32
	2.2 Op klompen in het water	3.Nog meer water	32
		4.Zeespiegelstijging	33
		5.Amersfoort aan zee	33
		6.Ernstige gevolgen	33
	8.Lagere rivierstanden	34	
2.4 Omgangsregeling met het water Begrippen	1.De watertoets	40	
	7.verdroging en verzilting aangepakt	43	
	8.Het IJsselmeer als zoetwaterbuffer	44	
	9.Zoet water in een zoute delta	44	
Systeem Aarde	1.2 Het verhaal van de gesteenten	3.Wat een steen kan vertellen	12

	2.1 De aarde als systeem	2. Atmosfeer	34
		4. Kringlopen	35
		5. Hydrologische kringloop	36
		6. Stralingsbalans	36-37
		7. Stralingsbalans op verschillende plekken op aarde	37
	2.2 Klimaten	1. Warmtetransport via luchtcirculatie	38
		4. Warmtetransport via zeestromen	39
		5. Thermohaliene zeestroom	39
		6. Klimaatfactoren	40
		7. Temperatuurfactoren	40
		8. Neerslagfactoren	41
	3.0 Introductie	9. Elk klimaat zijn eigen plek	42
		1. Bomen tussen de gewassen	61
	3.3 Natuurrampen en milieurampen	3. De aarde wordt warmer	63
		4. Opschuiving van klimaatzones	63
		7. Verwoestijning	65
		8. Verzilting	65
	4.2 Klimaat, plantengroei en landbouw	3. Neerslagkenmerken	76
		5. Mediterrane akkerbouw	77
	4.3 Landdegradatie en duurzaamheid	3. Kwetsbare waterbalans	80
8. Verwoestijning en verzilting		83	
<p>Arm & Rijk (Bulthuis et al., 2017e) Gebieden: Zuid-Amerika (Bulthuis et al., 2017c) Klimaatvraagstukken (Bulthuis et al., 2017a) Leefomgeving (Wonen in Nederland) (Bulthuis et al., 2017d) Systeem Aarde (Bulthuis et al., 2017b)</p>			

Appendix 3: Overzicht van alle geselecteerde citaten

Appendix 3a. Geselecteerde citaten stand van de schoolaardrijkskunde (WereldWijs)		pp.
Weer & klimaat		
<p>“Weer en klimaat: In Nederland weten we er alles van: er is niets veranderlijker dan het weer. Met weer bedoelen we dan de toestand van de atmosfeer of dampkring, zoals deze op een bepaalde plaats op een bepaald moment aanwezig is. Over een langere periode bezien kent ieder gebied op aarde een bepaald patroon in het weer. Dit gemiddelde van de weersverschijnselen in een gebied over een langere periode (meestal dertig jaar) noemen we het klimaat. Om het klimaat te karakteriseren letten we vooral op het verloop van temperatuur en neerslag gedurende de seizoenen. Ook de regelmaat in optreden van wind vanuit een bepaalde windrichting is belangrijk.”</p>	10	
Kringlopen		
<p>“De natuur kent vele regelmechanismen die zorgen voor evenwicht. Het is de vraag of de toevoer van broeikasgassen naar de atmosfeer door de mens niet door het systeem aarde kan worden opgevangen. Om hierin inzicht te krijgen, is de koolstofbalans van de aarde belangrijk (bron 33).”</p>	98-100	
<p>“De kringloop van het water {hydrologische kringloop} speelt ook een rol bij het transport van energie. De kringloop heeft twee belangrijke kenmerken: Het is een stroming tussen reservoirs: De kringloop van het water is geen echte kringloop. Het is niet zo dat er een gesloten circulatie bestaat tussen bijvoorbeeld zee, lucht en wolken en het aangrenzende land (bron 22). Er is op aarde meer sprake van een continue stroming van water van het ene reservoir (bijvoorbeeld de rivieren en het grondwater) naar een ander reservoir (bijvoorbeeld de zee) (bron 23). De verblijftijd van water in de reservoirs is heel verschillend. In de oceaan gaat het bijvoorbeeld gemiddeld om 37.000 jaar. In de atmosfeer is de gemiddelde verblijfsduur 9,6 dagen. Het water op aarde gaat regelmatig over van de ene toestand in de andere. Bij al die overgangen tussen water, waterdamp en ijs is er sprake van opslag of het vrijkomen van energie (bron 24): het zorgt voor stromingen van energie. Zo kost het verdampen van water veel energie die in de waterdamp in de lucht en de wolken wordt opgeslagen. Bij condensatie van de waterdamp in gebieden met veel neerslag komt die energie weer vrij. Het is een gek idee dat uitregenen in Nederland van wolken uit het Middellandse Zeegebied aanvoer van energie betekent. In het algemeen kunnen we zeggen dat in gebieden waar veel water verdampt, zoals de zeegebieden in de tropen en subtropen, energie in opslag gaat. In gebieden met veel wolkvorming en neerslag - in bijvoorbeeld de gematigde breedten - komt de energie weer vrij. Door het grote oppervlak worden in het water van de oceanen en zeeën enorme hoeveelheden zonnestraling opgeslagen. Het vormt een buffervoorraad warmte die aan de lucht kan worden afgegeven.”</p>	21	
Stralingsbalans		
<p>“Wie verwarmt onze luchtlaag: de zon of de aarde? Voor het leven op aarde is de temperatuur van de luchtlaag boven de aarde van groot belang. We zijn geneigd de zon hiervan als directe verwarmers te zien. Het is echter de aarde zelf die zorgt voor opwarming (bron 7). Om dit te begrijpen, moeten we meer weten over de instraling van de zon en de uitstraling van de aarde. De inkomende straling van de zon: De zon is de motor van het aardse klimaatstelsel. Door zijn hoge oppervlaktetemperatuur stuurt de zon veel kortgolvlige straling naar de aarde toe (bron 8). Deze vorm van straling kun je gedeeltelijk zien in de vorm van zichtbaar licht. De atmosfeer laat de binnenkomende kortgolvlige straling niet zomaar passeren (bron 9): Ruwweg 20% van de straling wordt door stoffen in de atmosfeer opgenomen. Hieronder valt de absorptie van een deel van de schadelijke ultraviolette straling door de ozonlaag (O₃) op 25-35 km hoogte. Ongeveer 25% van de kortgolvlige straling wordt door wolken en allerlei vaste deeltjes (ijsdeeltjes en stofdeeltjes) die in de lucht zitten, teruggekaatst naar de ruimte. Zo'n reflectie vindt ook op het aardoppervlak zelf plaats. De reflectie is vooral groot bij een lage invalshoek van de zon en bij een lichte kleur van het aardoppervlak (bijvoorbeeld bij sneeuw en wit zand) en bedraagt gemiddeld 5% van de kortgolvlige straling (bron 10). Uiteindelijk wordt gemiddeld 50% van de straling van de zon door het aardoppervlak geabsorbeerd. Opwarming van het aardoppervlak is hier het gevolg van. De uitgaande straling van de aarde: Straling gaat ook weg van de opgewarmde aarde. Het betreft langgolvlige straling die je niet kunt zien, maar wel als warmte ervaart. Slechts 10% van deze straling verdwijnt naar de ruimte. De atmosfeer absorbeert 90% van de straling van de aarde en wordt erdoor verwarmd (bron 9).”</p>	10-13	
Natuurlijk Broeikaseffect		
<p>“Bij de opwarming speelt de absorptie door gassen als waterdamp (H₂O), kooldioxide (CO₂) en methaan (CH₄) een belangrijke rol. Men noemt dit natuurlijke verschijnsel van opwarming van de atmosfeer door absorptie het broeikaseffect. Net als bij een broeikas met glas kan de zonnestraling wel ongestoord binnenkomen, maar de warmte kan er vervolgens moeilijk weer uit. De atmosfeer laat de kortgolvlige straling van de zon goed door, maar houdt de langgolvlige straling van de opgewarmde aarde door absorptie vast. De opgewarmde atmosfeer straalt een belangrijk deel van de warmte weer terug naar de aarde. Dankzij het natuurlijk broeikaseffect hebben we een leefbare temperatuur op aarde, namelijk gemiddeld ongeveer 15 °C in plaats van -18 °C. Omdat de mens bij verbrandingsprocessen veel broeikasgassen in de lucht brengt, versterkt hij het broeikaseffect. We moeten ervoor oppassen dat door het versterkt broeikaseffect de aarde minder leefbaar wordt (zie hoofdstuk 4).”</p>	13	
<p>“Twee belangrijke natuurlijke factoren die voor externe variabiliteit van het klimaat kunnen zorgen, zijn: 1. Een toename van vulkanische activiteit. Vulkanisme heeft bij veel as een verlagend effect op de temperatuur. Vooral bij sterk explosief vulkanisme is dit het geval. Tot hoogtes boven de 25 km komen er dan asdeeltjes in de lucht. Deze zorgen ervoor dat minder straling van de zon het aardoppervlak kan bereiken. Een voorbeeld vormt de</p>	93	

<p>uitbarsting van de Pinatubo op de Filipijnen in 1991. Door de vulkaan werd vijftien tot twintig miljoen ton as de lucht in geblazen die vervolgens door de wind wereldwijd werd verspreid. Gedurende ruim twee jaar had dit een mondiaal effect op de temperatuur. Rustig vulkanisme heeft door minder as een kleiner negatief effect op de temperatuur. Het is ook mogelijk dat er bij het uittreden van magma veel CO₂ in de lucht komt. Dit broeikasgas zorgt dan juist voor een opwarming.</p> <p>2. Inslagen van meteorieten. Meteorieten zijn brokstukken van hemellichamen uit de ruimte die als een grote vuurbol de aarde raken. De kracht van de inslagen kun je vergelijken met die van een atoombom en kraters met een doorsnede van honderd tot driehonderd kilometer kunnen het gevolg zijn. Het kratermateriaal wordt hoog in de lucht geworpen. Wereldwijd kan dit leiden tot een concentratie van stof van verpulverd gesteente in de atmosfeer. Dit heeft een sterk afkoelend effect op het aardoppervlak: er is sprake van een meteoritische winter (met op het land mogelijk temperatuurdalingen tot 40 °C). Waarschijnlijk heeft aan het einde van het Krijt op het Noord-Amerikaanse continent een zeer grote meteorietinslag plaatsgevonden. Deze zou de oorzaak kunnen zijn van een catastrofale klimaatverandering die massaal uitsterven van veel soorten organismen, zoals de dinosauriërs, tot gevolg heeft gehad.”</p>	
Versterkt Broeikaseffect	
<p>“De mens had vroeger slechts lokaal invloed op het aardoppervlak en de atmosfeer. Tegenwoordig zijn menselijke invloeden wereldwijd en kunnen we zelfs het wereldklimaat veranderen. We gebruiken veel energie en maken de aardse voorraad fossiele brandstoffen in sneltreinvaart op. De extra uitstoot van broeikasgassen zorgt voor een versterking van de absorptie van de langgolvlige straling van de aarde. Het natuurlijke broeikaseffect dat de aarde bewoonbaar maakt, wordt door de mens dus versterkt. Het versterkt broeikaseffect zorgt voor een stijging van de temperatuur op aarde. Vooral de stijging van de CO₂-concentratie van de atmosfeer draagt hier sterk aan bij. Er bestaat een nauwe relatie tussen de CO₂-concentratie van de atmosfeer en de hoogte van de temperatuur (bron 20). Ook de andere broeikasgassen dragen bij aan een stijging van de temperatuur. Hun toevoer is weliswaar geringer, maar hun opwarmende effect groter (bron 32).”</p>	97
Bron 31	98
<p>“De concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer neemt nog steeds jaarlijks met twee ppm toe (zie bron 30). Ook verontrustend is de sterke economische groei van nieuwe industrielanden als China, India, Brazilië en Mexico. China is sinds 2006 het land in de wereld met de grootste uitstoot van CO₂ (bron 58 en 59). De ontwikkelingslanden stoten sinds 2008 voor het eerst meer CO₂ uit dan de industrielanden. De trend van steeds maar stijging van de concentratie van CO₂ in de atmosfeer zal moeten worden gestopt. Bron 60 laat zien dat de temperatuur op aarde anders fors gaat stijgen.”</p>	121
Broeikasgassen	
<p>“De mens had vroeger slechts lokaal invloed op het aardoppervlak en de atmosfeer. Tegenwoordig zijn menselijke invloeden wereldwijd en kunnen we zelfs het wereldklimaat veranderen. We gebruiken veel energie en maken de aardse voorraad fossiele brandstoffen in sneltreinvaart op. De verbranding van de koolstof in olie, gas en steenkool heeft gezorgd voor een forse stijging van de uitstoot en de concentratie van het broeikasgas CO₂ in de atmosfeer (bron 30). De concentratie van andere broeikasgassen is ook toegenomen. De extra uitstoot van broeikasgassen zorgt voor een versterking van de absorptie van de langgolvlige straling van de aarde. Er bestaat een nauwe relatie tussen de CO₂-concentratie van de atmosfeer en de hoogte van de temperatuur (bron 20). Ook de andere broeikasgassen dragen bij aan een stijging van de temperatuur. Hun toevoer is weliswaar geringer, maar hun opwarmende effect groter (bron 32).”</p>	97
<p>“Omdat de bijdrage van broeikasgassen als CO₂ (kooldioxide), CH₄ (methaan) en N₂O (lachgas) verschillend is, wordt alles omgerekend naar het opwarmend effect (Global Warming Potential) van hoeveelheden CO₂ (CO₂-equivalenten).”</p>	118
<p>“De balans tussen de inkomende straling van de zon en uitgaande straling van de aarde is hierdoor veranderd. De broeikasgassen CO₂, CH₄ en N₂O hebben in de periode 1750-2005 gezorgd voor 2,3 watt per vierkante meter (W/m²) extra stralingsenergie voor het aardse systeem (bron 42). Het ligt voor de hand dat wereldwijde opwarming het gevolg zal zijn. In het temperatuurverloop van de laatste duizend jaar is er vooral na 1950 sprake van een duidelijke temperatuurstijging.”</p>	105
Waterdamp	
<p>“Bij de opwarming speelt de absorptie door gassen als waterdamp (H₂O) ...een belangrijke rol.”</p>	12
<p>“Ongeveer 25% van de kortgolvlige straling wordt door wolken en allerlei vaste deeltjes (ijsdeeltjes en stofdeeltjes) die in de lucht zitten, teruggekaatst naar de ruimte.”</p>	11
CO₂	
<p>“De koolstofbalans (bron 33) laat zien dat koolstof op aarde in een aantal reservoirs van verschillende omvang is opgeslagen: de atmosfeer, de oceaan, de bodem, de planten en de fossiele brandstoffen. Voor de concentratie van CO₂ in de atmosfeer zijn de stromingen tussen deze reservoirs in de vorm van opname en afgifte van CO₂ van belang (bron 34). Ook de snelheid van de stromingen is een belangrijke factor.</p> <p>Stromingen van CO₂ tussen de atmosfeer en het landoppervlak Op het land verloopt de CO₂-opname en -afgifte van de atmosfeer via organisch materiaal: Een zeer snelle opname en afgifte van CO₂ gebeurt door levende organismen. Bij de fotosynthese wordt door de planten onder invloed van zonne-energie uit CO₂ en water organisch materiaal (glucose) opgebouwd. De koolstof zit dan dus in planten en bomen en via de voedselketens ook</p>	98-100

<p><i>in dieren en mensen. Bij de ademhaling van levende organismen of bij het verbranden van hout komt de CO₂ weer snel terug in de atmosfeer. Belangrijk is de balans tussen opname en afgifte van CO₂ (bron 35) - Jonge bossen nemen bijvoorbeeld bij fotosynthese meer CO₂ op dan ze door ademhaling weer produceren. Bij oude bossen is er meer sprake van een evenwicht tussen opname en afgifte. Ze nemen dus netto weinig CO₂ op en produceren ook weinig zuurstof. In de levende planten is op aarde in de loop der tijd een enorme hoeveelheid koolstof opgeslagen (bron 36). Vooral de aanwezigheid van bos heeft grote invloed op de concentratie van CO₂ in de atmosfeer (bron 37).</i></p> <p><i>In de bodem is op aarde in de loop der tijd ook een forse hoeveelheid koolstof opgeslagen (bron 36). De koolstof is erin gekomen via het plantenafval dat door bodemdieren de grond in is gebracht en heeft geleid tot de vorming van een humuslaag. Door inwerking van zuurstof en zonlicht gaat de koolstof als CO₂ weer langzaam terug naar de atmosfeer. Wanneer het afval van planten en dieren in een moerasachtig zuurstofarm milieu komt, ontstaan veenlagen en wordt koolstof aan de kringloop onttrokken. Na toedekking met afzettingen kan na zeer lange tijd bruinkool, steenkool en aardgas worden gevormd. Onze huidige fossiele brandstoffen (inclusief aardolie, dat in een zeemilieu ontstaat) zijn in de loop van de geologische tijd opgebouwde koolstofreservoirs. Pas bij verbranding voor de energieopwekking wordt de CO₂ weer snel teruggeven aan de atmosfeer.</i></p> <p><i>Stromingen van CO₂ tussen de atmosfeer en de oceaan Tussen de atmosfeer en de bovenlaag van de oceaan bestaat een stroming CO₂ op basis van verschillen in de concentratie. Steeds wordt hierbij gestreefd naar een evenwichtssituatie. Neemt de CO₂ in de atmosfeer toe, dan vindt er oplossing plaats in de bovenlaag van honderd tot tweehonderd meter van het oceaanwater. Dit proces gaat relatief snel, omdat CO₂ in water gemakkelijk oplosbaar is, maar de opnamecapaciteit van de bovenlaag van de oceaan beperkt is. Bij een grote opname gaan de oceanen verzuren en vertraagt de opname. Gelukkig is er ook nog een stroming mogelijk die opslag mogelijk maakt van CO₂ in de diepere oceaan: Op een snelle manier gebeurt dit in de oceanen in de afzinkgebieden op hoge breedten. Deze functioneren als een diepwaterpomp en zorgen ervoor dat afgekoeld en zout oceaanwater naar beneden duikt (zie hoofdstuk t, paragraaf3.1). Omdat in koud oceaanwater veel CO₂ kan worden opgelost, zijn de afzinkgebieden in vooral de noordelijke Atlantische Oceaan erg belangrijk voor de CO₂-afvoer. Op een zeer langzame manier zijn er nog twee andere afvoermechanismen van CO₂ uit de bovenlaag van het oceaanwater. Allereerst wordt er bij de fotosynthese CO₂ vastgelegd in het fytoplankton in de zee. Via de voedselketens wordt dit doorgegeven aan de andere zeeorganismen. Bij het afsterven dwarrelen de organische deeltjes naar de bodem van de zee en vormen een organisch slib dat in de loop van de geologische tijd omgevormd kan worden tot aardolieachtige producten. Een ander deel van de koolstof in het zeewater wordt gebruikt voor de opbouw van kalkskeletten van zeeorganismen. Bij afsterven dwarrelen de kalkdiertjes naar de bodem van de zee en werken mee aan de opbouw van lagen organische kalksteen (CaCO₃). Pas wanneer de kalksteenlagen op de zeebodem betrokken worden bij gebergte vorming en later worden afgebroken, kan de CO₂ weer in de atmosfeer vrijkomen.”</i></p>	
<p>CH₄</p>	
<p><i>“De concentratie van andere broeikasgassen is ook toegenomen. Dit geldt voor bijvoorbeeld voor methaan (CH₄) dat bij natte rijstbouw ontstaat en in de veeteelt vrijkomt uit de magen van herkauwers, zoals koeien (bron 31).”</i></p>	57
<p><i>“In de polaire zone komen in de natte gebieden met permafrost uitgestrekte veengronden voor. Iedere zomer komt in de oppervlaktelaag door de opdooi een deel van het organische materiaal tot ontbinding. Uit de moerassen komt het sterke broeikasgas methaan (CH₄) vrij.”</i></p>	109
<p>O₃</p>	
<p><i>“De zonkracht en ozon: Veel zon betekent ook veel ultraviolette (uv-)straling. Deze straling is voor mensen en dieren schadelijk en kan huidkanker en oogaandoeningen veroorzaken. Gelukkig vormt hoog in de lucht de ozonlaag een soort beschermende paraplu die veel schadelijke ultraviolette straling uit de zonnestraling filtert (bron 13). De zonnestraling zorgt zelf voor de aanmaak van de ozon. Het activeert de splitsing van zuurstofmoleculen (O₂) in losse zuurstofatomen (O). Deze kunnen zich vervolgens met andere zuurstofmoleculen verbinden tot ozon (O₃). Bij dit proces vindt in de bovenlucht absorptie van de ultraviolette straling plaats en omzetting hiervan in warmte. Ondanks deze absorptie bevat de zonnestraling dat we op onze huid krijgen nog steeds ultraviolette straling.”</i></p>	
<p>N₂O</p>	
<p><i>“Het gebruik van kunstmest in de landbouw heeft de concentratie van N₂O doen toenemen.”</i></p>	57
<p>Cfk's</p>	
<p><i>“Belangrijk bij het dun worden van de ozonlaag is het door de mens in de lucht brengen aantasting van de ozonlaag van chloor dat zorgt voor een aantasting van de ozonlaag. De chloor wordt gebruikt in onder andere drijfgassen van spuitbussen, de koelvloeistof van koelkasten en in piepschuim. Sinds 1 januari 1989 is het Montreal Protocol van kracht. Dit wereldwijde milieuverdrag verbiedt het gebruik van ozonafbrekende stoffen. Het verdrag heeft op dit punt succes gehad. De meeste chloorhoudende stoffen (cfk's) worden nauwelijks meer gebruikt en hun aanwezigheid in de lucht neemt langzaam af. Het herstel van de dikte van de ozonlaag verloopt echter zeer traag.”</i></p>	14
<p>Aerosolen</p>	
<p><i>“Ongeveer 25% van de kortgolvlige straling wordt door wolken en allerlei vaste deeltjes (ijsdeeltjes en stofdeeltjes) die in de lucht zitten, teruggekaatst naar de ruimte.”</i></p>	11
<p>Terugkoppelingsmechanismen</p>	

“Terugkoppelingen versterken of verzwakken: Door het warmer worden van het klimaat zullen er in de landschapszones allerlei terugkoppelingsmechanismen gaan optreden. Terugkoppelingen zijn effecten die het warmer worden van het klimaat ofwel versterken (positieve terugkoppelingsmechanismen) ofwel verzwakken (negatieve terugkoppelingsmechanismen).”	108
“Minder weerkaatsing van zonnestraling: De polaire zone kent op het land en in de oceaan veel sneeuw en ijs. De lichte kleur van het oppervlak ervan bevordert dat veel zonnestraling door reflectie naar de hemelruimte wordt teruggekaatst. Door warmer worden van de polaire zone zullen sneeuw en ijs zich later in de herfst vormen en eerder in de lente smelten. En komt hierdoor langer in het jaar donker land of zeewater aan de oppervlakte dat zonnestraling absorbeert. Het oprukken van naaldbos naar de toendra heeft een vergelijkbaar effect. De vlakke toendra weerkaatst meer zonnestraling dan de hoge donkere bossen die de zonnestraling invangen.”	108
“Verstoring van de werking van de diepwaterpomp: Een warmer wordend klimaat zal ervoor zorgen dat op hoge breedten in de zomer meer zoet smeltwater van gletsjers naar de oceanen stroomt. Door verdunning zal het zoutgehalte van het zeewater hierdoor afnemen. Het minder vormen van zee-ijs door bevrozing heeft het hetzelfde effect. Het zeewater wordt door het lagere zoutgehalte minder zwaar, wat het dalende karakter in de afzinkgebieden vertraagt. De diepwaterpomp in de oceanische circulatie van koude en warme zeestromen werkt hierdoor minder goed. Er is gevaar voor verstoring van het Atlantisch circulatiesysteem. De toestroming van warm oceaanwater in de Atlantische Oceaan door de Golfstroom kan mogelijk minder worden. Het klimaat van West-Europa wordt dan koeler.”	108
“Extra uitstoot of opname van broeikasgassen: In de polaire zone komen in de natte gebieden met permafrost uitgestrekte veengronden voor. Iedere zomer komt in de oppervlaktelaag door de opdooi een deel van het organische materiaal tot ontbinding. Uit de moerassen komt het sterke broeikasgas methaan (CH ₄) vrij. Indien de bodemlaag opdroogt, komt kooldioxide (CO ₂) vrij. Het warmer worden van de polaire zone zal de uitstoot van beide broeikasgassen versterken en zo zorgen voor extra opwarming. Het sterker groeien van de planten van de polaire zone door de opwarming heeft het omgekeerde effect. Planten hebben voor hun groei CO ₂ nodig die ze uit de atmosfeer opnemen. Dit zal het broeikaseffect weer verzwakken.”	109
Gevolgen voor weer- & klimaatextremen	
“Andere gebieden worden juist natter en krijgen neerslag die heviger valt. De kans op landdegradatie neemt door het versterken van droogte of neerslag toe.”	58
“Extreme weersituaties zoals hittegolven, hevige plensregens of langdurige droogte zullen meer gaan voorkomen.”	74
“Veel mensen op aarde zullen lijden onder de negatieve gevolgen van meer warmte, meer droogte, meer stormen en meer overstromingen van rivieren.”	76
“Ook het karakter van het klimaat in een klimaatgebied speelt een grote rol bij klimaatverandering. De dominante eigenschappen zoals hete zomers, grote droogte, veel neerslag of veel tropische stormen zullen door klimaatverandering worden versterkt. Voor landen als de Filipijnen, Bangladesh en Haiti betekent dit bijvoorbeeld dat er in de toekomst nog meer kans is op tropische cyclonen (orkanen). Landen met een natte moesson krijgen door meer neerslag meer kans op overstromingen. In een landklimaat zoals in Rusland zullen de zomers nog heter worden met kans op bosbranden (bron 50).”	112 -
“Minder neerslag en meer hittegolven leiden tot minder beschikbaar water en meer bosbranden.”	113
Gevolgen voor de zeespiegel	
“Ook stijgt de zeespiegel, wat voor arme bewoners van laaggelegen kustgebieden rampzalig kan zijn. In vele ontwikkelingslanden kunnen de mensen alleen op een primitieve manier zorgen voor hun veiligheid. Zo moeten in Bangladesh huizen op palen worden gebouwd en terpen zorgen voor bescherming tegen de zee (bron 6 en 7).”	76
De oceaan wordt op twee manieren beïnvloed door een warmer klimaat. Allereerst wordt de oceaan steeds warmer, waardoor het zeewater gaat uitzetten en de zeespiegel gaat stijgen. Experimenten laten zien dat de oceaan bij een verdrievoudiging van de CO ₂ -concentratie in de lucht bovenin een soort lauwe soep zou worden (bron 45). Gelukkig is de situatie nog lang niet zover. Naast opwarming is het afsmelten van gletsjers en ijskappen een belangrijke oorzaak van het stijgen van de zeespiegel. Het op het land oppompen en na gebruik afvoeren van grondwater naar zee draagt ook bij aan stijging van de zeespiegel (geschat effect 0,8 mm per jaar). Wereldwijd moet tot 2100 rekening gehouden worden met een zeespiegelstijging van 0,9 tot 1,6 meter. Deze toekomstige stijging door de opwarming van de aarde is niet meer te voorkomen. Zelfs als de uitstoot van broeikasgassen door menselijke activiteiten door goed beleid gestabiliseerd wordt, stijgt de zeespiegel nog eeuwen door (bron 44). De lange verblijfsduur van CO ₂ in de lucht speelt hierbij een belangrijke rol. De klimaatmachine is dus niet zomaar even door de mens te stoppen.”	107
“In kustgebieden zal de stijging van de zeespiegel verzilting leiden tot een toename van de verzilting van het grondwater en een afname van de beschikbaarheid van zoet water.”	114
Gevolgen voor de gezondheid (n.v.t.)	
“De kans op honger neemt hierdoor toe. Om meer hitte te kunnen weerstaan is de mate van gezondheid van de bevolking belangrijk.”	114
Gevolgen voor de voedselzekerheid	

<i>“De stijging van de zeespiegel door het warmere wereldklimaat maakt laaggelegen kustgebieden en kleine eilanden kwetsbaar. Er is mogelijk sprake van het verdwijnen van bewoonde gebieden en landbouwgronden door verdrinking.”</i>	112
<i>“Niet voor ieder land is de klimaatverandering ongunstig... In Noord-Europa neemt de productie van de land- en bosbouw bijvoorbeeld toe doordat er minder koude perioden zijn en er meer neerslag valt.”</i>	113
<i>“Bio-energie in de vorm van biobrandstof (bijvoorbeeld biodiesel) is een andere vorm van hernieuwde energie met perspectief. Als grondstof voor de biobrandstof worden onder meer sojaolie, zonnebloemolie, palmolie, suikerriet, mais en landbouwafval gebruikt... Een probleem is wel dat het grootschalig verbouwen van gewassen voor biobrandstof concurreert met ruimtegebruik voor de voedselproductie en de natuur (tropisch regenwoud).”</i>	124
Gevolgen voor mariene ecosystemen	
<i>“De sterke opwarming van de poolgebieden zorgt voor een vermindering van de hoeveelheid zee-ijs. Volgens sommige studies zal in het noordpoolgebied al het zee-ijs voor het eind van de 21e eeuw verdwenen zijn.”</i>	106
<i>“Bij een mondiale stijging van 2 tot 3 °C boven het pre-industriële niveau loopt 20-30% van de planten- en diersoorten het gevaar uit te sterven. De biodiversiteit vermindert dus. Zo zullen koralen die in tropische wateren riffen bouwen door opwarming van het zeewater afsterven.”</i>	113
Gevolgen voor terrestrische ecosystemen	
<i>“Als een geofactor verandert, heeft dit door de onderlinge samenhang gevolgen voor de andere geofactoren. Er is hierbij wel sprake van een rangorde in de invloed van geofactoren op elkaar (bron 48). Het klimaat heeft de hoogste positie in de rangorde. Dit wil zeggen dat een klimaatverandering op alle andere geofactoren doorwerkt. Een warmer of kouder wordend klimaat kan bijvoorbeeld betekenen dat bepaalde plantensoorten het niet meer redden.”</i>	42
<i>“Een warmer wordend klimaat gaat de opdooi van permafrost versterken. In vele gebieden zal hierdoor nieuw moerasland ontstaan. Bouwwerken en pijpleidingen gaan verzakken. Ook het afvoer karakter van de rivieren zal veranderen. De rivieren in Canada, Europees Rusland en Siberië hebben in de winterperiode een geringe afvoer, omdat in het gebied van de bovenlopen veel water is opgeslagen in sneeuw en ijs. In de lente of de voorzomer leidt het afsmelten ervan tot piek in de waterafvoer (bron 67). Veel rivieren kennen in deze periode overstromingen. Deze zijn vooral omvangrijk bij rivieren (bijvoorbeeld de Ob in Siberië) waar opstuwing van het waterpeil plaatsvindt, omdat in de benedenloop bij de monding nog veel ijs zit. Een warmer wordend klimaat zal het afsmeltproces van sneeuw en ijs versnellen en vervroegen. Dit leidt tot grotere afvoerpieken en meer kans op overstromingen.”</i>	56- 57
<i>“De landschapszones in de toekomst: Het warmer worden van het huidige klimaat op aarde heeft gevolgen voor de landschapszones (bron 68). Schoven tijdens de ijstijden de landschapszones in de richting van de evenaar, nu staat het omgekeerde te gebeuren. Het naaldbos zal in sommige gebieden de toendra gaan vervangen en mediterrane planten rukken op naar de gematigde zone. Vele gebieden op aarde worden naast warmer ook droger (bijvoorbeeld de subtropische zone).”</i>	58
<i>“Een probleem is wel dat het grootschalig verbouwen van gewassen voor biobrandstof concurreert met ruimtegebruik voor de voedselproductie en de natuur (tropisch regenwoud).”</i>	125
<i>“Elk klimaatgebied op aarde zal veranderen en de klimaatzones zullen wat poolwaarts gaan verschuiven. Meer neerslag betekent ook meer sneeuw voor gletsjers en ijskappen, waardoor de ijsmassa's worden gevoed. Dit wordt echter meer dan tenietgedaan doordat het afsmelten en afkalven vanwege de hogere temperaturen versneld zal plaatsvinden.”</i>	106
<i>“Ieder ecosysteem zal zich aan een ander klimaat kunnen aanpassen. Vooral de bijzondere soorten in de natuur hebben het moeilijk, omdat het vaak fijnproevers zijn die specifieke eisen stellen aan bijvoorbeeld de temperatuur in de bodem. Bij een mondiale stijging van 2 tot 3 °C boven het pre-industriële niveau loopt 20-30% van de planten- en diersoorten het gevaar uit te sterven. De biodiversiteit vermindert dus... In de polaire gebieden zorgt een toename van dooi voor een afname van de bodemstabiliteit waardoor de ecosystemen wezenlijk gaan veranderen en veel soorten verdwijnen.”</i>	114 - 115
Controverse	
<i>“Klimaatonderzoek door het IPCC: De mogelijke negatieve gevolgen van een veranderend wereldklimaat hebben geleid tot internationale actie. In 1988 werd een internationaal onderzoeksorgaan opgericht: het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Het IPCC moet het klimaatprobleem en de natuurlijke gevolgen ervan een wetenschappelijke basis geven (bron 39 en 40). Hiertoe zijn drie werkgroepen opgericht: - Werkgroep I verzamelt wetenschappelijke kennis over het klimaat in verleden, heden en toekomst. - Werkgroep II concentreert zich op het inventariseren van de maatschappelijke gevolgen van een klimaatverandering en de mogelijkheden tot aanpassing (adaptatie). - Werkgroep III houdt zich bezig met de mogelijkheden om de omvang van de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen (mitigatie). Door de complexiteit van het klimaatsysteem bevatten uitspraken van het IPCC een zekere mate van onzekerheid. Het IPCC voorziet daarom alle uitspraken van een indicatie ten aanzien van de mate van waarschijnlijkheid (bron 41).”</i>	104

<p>“Meer stralingsenergie en hogere temperaturen: Het is volgens het IPCC zeer waarschijnlijk dat de menselijke activiteiten vanaf de Industriële Revolutie hebben gezorgd voor een verhoging van de CO₂-concentratie in de lucht. ...Het is in bron 16 te zien aan de scherpe stijging van het verloop in de temperatuurcurve. In de publiciteit wordt deze hockeystick knik omhoog in de grafiek ook wel de hockeystick genoemd. Tot 2100 wordt door het IPCC een verdere stijging van het wereldgemiddelde van de temperatuur verwacht. Het IPCC gaat zonder extra klimaatbeleid uit van een stijging die ligt tussen 1,1 en 6,4 °C. De poolgebieden, de grote landmassa's en de woestijnen zullen hierbij net als in de afgelopen honderd jaar sneller dan gemiddeld opwarmen.”</p>	105
<p>“Verschillen in kwetsbaarheid: adaptatie. Duidelijke veranderingen in het klimaat hebben gevolgen voor het leven van mensen, planten en dieren. Mensen en ecosystemen worden meestal gedwongen zich aan te passen. Het IPCC noemt deze aanpassing adaptatie. Hoe noodzakelijk een aanpassing is, verschilt per land of gebied en hangt af van de kwetsbaarheid ten aanzien van klimaatverandering. De kwetsbaarheid geeft de mate aan waarin een land of gebied in staat is de negatieve effecten van een klimaatverandering op te vangen. Een risicoanalyse van de lokale omstandigheden moet hierop een antwoord geven. Bron 46 en 47 laten zien dat vooral landen in Zuid-Azië en Afrika erg kwetsbaar zijn zowel de eigenschappen van natuurlijke systemen als maatschappelijke factoren bepalen deze kwetsbaarheid.”</p>	111
<p>“De eigenschappen van de bevolking en de economie: De eigenschappen van de bevolking en de economie zijn erg belangrijk bij klimaatverandering. Ze bepalen het aanpassingsvermogen van de samenleving. Een sterk groeiende bevolking, omvangrijke armoede en een sterke afhankelijkheid van de landbouw maken een land kwetsbaar bij kans op droogte of meer overstromingen. In veel landen zullen de agrarische productie en de voedselzekerheid afnemen. De kans op honger neemt hierdoor toe. Om meer hitte te kunnen weerstaan is de mate van gezondheid van de bevolking belangrijk. Veel sectoren in de economie worden beïnvloed door klimaatverandering. Dit geldt in de polaire zone bijvoorbeeld voor de transportsector, die door de extra ontthooing van permafrost te maken krijgt met het verzakken van wegen, leidingen en gebouwen. In de energiesector leiden hogere temperaturen tot een lager energiegebruik in de winter. In de zomer is er daarentegen een hoger energiegebruik door het meer toepassen van airconditioning. De mogelijkheden van overheid en technologie Noodzakelijke aanpassingen door een veranderend klimaat kunnen kostbaar en technisch ingewikkeld zijn. Dit geldt in laaggelegen kustgebieden bijvoorbeeld voor het handhaven van de veiligheid tegen overstromingen vanuit zee of de rivieren. Belangrijk is of een samenleving zich dit soort maatregelen zowel technisch als economisch kan veroorloven. Ook is belangrijk of de overheid goed georganiseerd is en snel in actie kan komen. Alleen dan kunnen natuurrampen worden voorkomen en kan goede hulp worden gegeven aan slachtoffers.”</p>	114
<p>“Toerisme en klimaat: Klimaatverandering zal invloed hebben op de aantrekkelijkheid van een gebied voor toerisme (bron 52). Zo zal het Middellandse Zeegebied bij een warmer klimaat voor toerisme wat minder aantrekkelijk zijn.... In bron 53 is goed te zien dat door een warmere zomer Spanje veel minder en de bilt veel meer aantrekkelijk wordt voor toerisme.”</p>	115
<p>“Politiek en het klimaatsysteem: Bij het klimaatprobleem is het gewenst niet alleen de negatieve effecten (de symptomen) op te lossen, maar ook de oorzaak te bestrijden. Anders is er sprake van symptoombestrijding. Het is noodzakelijk de uitstoot van broeikasgassen door menselijke activiteiten duidelijk te beperken. Bij deze oplossing spelen politieke factoren een belangrijke rol. Er zal sprake moeten zijn van een goed mondiaal beleid dat op een lager schaalniveau doorwerkt in een Europees beleid en een Nederlands beleid. Bij het mondiaal beleid spelen klimaatconferenties een belangrijke rol. Dit zijn jaarlijkse bijeenkomsten van de landen van de Verenigde Naties waarin ze proberen afspraken te maken over de aanpak van het klimaatvraagstuk. Het debat wordt hierbij sterk bepaald door de belangen van de deelnemende landen. Maatschappelijke factoren zoals economische ontwikkeling en demografische factoren zijn hierbij sterk sturend. In 1992 was in Rio de Janeiro de eerste klimaatconferentie. Er is een klimaatverdrag opgesteld dat door 186 landen (inclusief de VS) is ondertekend. Het verdrag heet officieel: VN-Raamverdrag inzake klimaatverandering en is nog weinig concreet. Het doel van het verdrag is volgens artikel 2: ‘Ervoor zorgen dat de concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer op zo'n niveau gestabiliseerd worden dat gevaarlijke menselijke verstoring van het klimaatsysteem wordt voorkomen. Dit niveau moet worden bereikt binnen een zodanig tijdbestek dat ecosystemen in staat zijn zich op natuurlijke wijze aan te passen aan klimaatverandering.’”</p>	118
<p>“De industrielanden onderling (internationale emissiehandel): Landen die ruim binnen de Kyoto-beperkingen blijven, hebben eigenlijk nog recht op een portie uitstoot van broeikasgassen. Ze hebben dus uitstootrechten in de vorm van een CO₂-krediet. Meestal wordt gewerkt met CO₂-credits, waarbij één CO₂-credit overeenkomt met één ton CO₂ naar de atmosfeer. De CO₂-credits mogen verkocht worden aan landen die hun Kyoto-doelstelling niet halen (bron 56). De handel in CO₂-credits noemt men emissiehandel (bron 57). Landen die aan de handel in emissierechten meedoen, moeten zorgen voor een goede boekhouding. Emissiehandel kan ook tussen bedrijven plaatsvinden en geldt vooral voor ondernemingen die energie-intensief zijn. Energieverslindende bedrijven produceren veel broeikasgassen en hebben daarom van hun nationale overheden een plafond gekregen in hun uitstoot. Het gaat onder andere om olieraffinaderijen, elektriciteitscentrales, metaalbedrijven en de chemische</p>	119 - 120

<i>industrie. Dit soort bedrijven kunnen bij een te grote uitstoot aan hun verplichtingen voldoen door emissierechten van een ander bedrijf te kopen."</i>	
<i>"Het beeld is alarmerend en maakt duidelijk dat een aangescherpt klimaatverdrag voor de periode na 2012 hard nodig is. Belangrijk hierin is dat ook de nieuwe industrielanden en de ontwikkelingslanden de verplichting krijgen om hun uitstoot van broeikasgassen te reduceren. Ook de Verenigde Staten moet meedoen. Het land heeft vanwege de te verwachten economische schade en het niet meedoen van landen als China en India het Kyoto-protocol niet ondertekend. De Europese Unie geeft het goede voorbeeld. De EU heeft besloten dat in 2020 de uitstoot van broeikasgassen 20% lager zal zijn. Indien andere landen in de wereld meedoen, wordt deze daling zelfs 30%."</i>	119 - 120
<i>"Het skitoerisme komt door de krimpende gletsjers in gevaar. Als reactie hierop worden in Zwitserland sommige gletsjers met folie bedekt om afsmelten in de zomer tegen te gaan (bron 43). De sterke opwarming van de poolgebieden zorgt voor een vermindering van de hoeveelheid zee-ijs."</i>	121
Alle geselecteerde citaten zijn afkomstig uit Aarde 1, WereldWijs (Lentjes et al., 2012a)	

Appendix 3b. Geselecteerde citaten stand van de schoolaardrijkskunde (BuitenLand)		pp.
Weer & klimaat (n.v.t.)		
Kringlopen		
<i>"Bij de hydrologische kringloop verdampt water uit de zee; dit water valt als sneeuw en regen op het land, waar gletsjers en rivieren het weer terugbrengen naar zee. De zon zorgt voor de verdamping."</i> ²		88
Stralingsbalans		
<i>"De stralingsbalans: De zon is de belangrijkste energiebron voor de aarde (bron 5). De straling die de aarde ontvangt, wordt door de atmosfeer en het aardoppervlak verwerkt en uiteindelijk weer terug naar het heelal gestraald. We stellen de hoeveelheid inkomende zonnestraling voor het gemak even gelijk aan 100 eenheden (bron 7). Er worden dan 31 eenheden zonnestraling door stofdeeltjes (3), wolken (19) en het aardoppervlak (9) meteen weer teruggekaatst naar het heelal. 20 eenheden worden door de atmosfeer geabsorbeerd en 49 eenheden bereiken het aardoppervlak. De inkomende zonnestraling bestaat uit kortgolvlige straling. Dat wil zeggen dat binnen de straling de energie heel compact vervoerd wordt. Je kunt dit vergelijken met een magnetron: in korte tijd is je maaltijd opgewarmd. De atmosfeer (vergelijk dit met de lucht in de magnetron) is te dun om dit soort straling goed te kunnen absorberen. Het aardoppervlak wordt er echter wel goed door opgewarmd en straalt daardoor op zijn beurt ook weer straling uit. Deze straling is langgolvlige en dus wordt de energie minder compact vervoerd. Je kunt dit vergelijken met radiogolven: je radio herkent ze, maar jij merkt er niets van. Vreemd genoeg straalt het aardoppervlak veel meer langgolvlige straling uit dan het aan kortgolvlige ontvangt: 114 eenheden maar liefst! Dit komt omdat het aardoppervlak naast de 49 eenheden kortgolvlige straling ook nog 95 eenheden langgolvlige straling ontvangt door het broeikas-effect. Slechts 12 eenheden verlaten de aarde direct. De overige 102 eenheden worden geabsorbeerd door de atmosfeer en daarvan worden er dus weer 95 terug gestraald naar de aarde. Er blijven nu wat restjes over aan het aardoppervlak. 49 plus 95 is namelijk 144 en niet 114. De 30 overgebleven eenheden worden omgezet in twee vormen van energie: latente energie (23) en voelbare warmte (7). Latente energie betekent niet meer dan dat er water verdampt. Voelbare warmte is direct voelbaar als warmte en is dus geen stralingsvorm meer. Ook in de atmosfeer hebben we nog niet alles besproken. 102 plus 30 (latente energie en voelbare warmte) plus 20 (kortgolvlige straling die direct door de atmosfeer is geabsorbeerd: 17 plus 3 uit de linker afbeelding in bron 7) is namelijk 152 en niet 95. De overgebleven 57 eenheden worden naar het heelal uitgestraald als langgolvlige straling. Wat we nu beschreven hebben, is de stralingsbalans. De inkomende 100 eenheden kortgolvlige straling worden verwerkt en uiteindelijk weer als 31 eenheden kortgolvlige straling en 69 eenheden langgolvlige straling teruggegeven aan het heelal: dit is de uitgaande straling. Dit evenwicht noemen we ook wel een dynamisch evenwicht, omdat het gemiddeld in evenwicht is, dus niet op elk moment van de dag. Als er geen evenwicht was, zou de aarde opwarmen of afkoelen."</i> ¹		40
Natuurlijk Broeikas-effect		
<i>"Het broeikas-effect: Je hebt nu gezien dat er in de energiebalans van de aarde een belangrijke rol is weggelegd voor het broeikas-effect. Dit is het absorberen van langgolvlige straling door de atmosfeer en dat is cruciaal voor het klimaat op aarde. Het pompt als het ware de warmte rond voordat die weer verloren gaat aan het heelal. Zonder broeikas-effect is het veel te koud om op aarde te leven. Ook al bestaat de atmosfeer voor 78 procent uit stikstof en voor 21 procent uit zuurstof, het is een aantal gassen van die overige 1 procent dat cruciaal is voor het broeikas-effect: waterdamp, methaan en koolstofdioxide."</i> ¹		4
Versterkt Broeikas-effect		
<i>"Doordat de mens extra broeikasgassen, vooral koolstofdioxide, door verbranding van fossiele brandstoffen als aardolie, aardgas en steenkool aan de atmosfeer toevoegt, wordt het broeikas-effect versterkt. Dit noemen we het versterkt broeikas-effect."</i> ¹		4-5
<i>"Broeikasgassen De bekendste oorzaak van mondiale opwarming door de mens is het broeikasgas koolstofdioxide (CO₂). Het komt vrij bij verbranding van fossiele brandstoffen als aardolie, aardgas en steenkool (bron 45). Sinds de</i>		60

<i>industriële revolutie (18e en 19e eeuw) heeft de mens op deze manier grote hoeveelheden koolstofdioxide de lucht ingepompt.”¹</i>	
<i>“Inmiddels lijkt dit versterkt broeikas effect ook een kettingreactie tot gevolg te hebben waardoor het effect zichzelf versterkt.”³</i>	18-19
<i>“Een tweede, minder bekende oorzaak van klimaatverandering is de verandering van landgebruik in grote delen van de wereld (bron 47). Het verbranden van regenwoud is een belangrijke bron van koolstofdioxide. De akkers en weilanden die de bossen vervangen, kaatsen meer zonlicht terug en kunnen zorgen voor afkoeling. Daarnaast houden ze vaak minder vocht vast dan de bossen en kunnen zodoende zorgen voor verdroging. Doordat de bodem minder goed wordt vastgehouden, waait er meer stof op, en deze stofdeeltjes hebben grote invloed op het mondiale klimaat. Deze zogenaamde aerosolen worden ook geproduceerd door het (lucht)verkeer en de industrie. Ze kaatsen zonlicht terug, maar absorberen het ook. Ze vormen kernen waarop water kan condenseren, maar vaak worden de druppels daardoor zo klein dat ze minder snel vallen. Aerosolen kunnen dus zorgen voor opwarming of afkoeling en voor verdroging of vernatting. Wat er precies gebeurt, is afhankelijk van de exacte omstandigheden in een gebied. Er zijn dus grote regionale verschillen. Mondiaal gezien lijkt het erop dat aerosolen zorgen voor een netto-afkoeling en daarmee het tegengaan van het versterkt broeikas effect.”¹</i>	60
Broeikasgassen	
<i>“Broeikasgassen De bekendste oorzaak van mondiale opwarming door de mens is het broeikasgas koolstofdioxide (CO₂). Het komt vrij bij verbranding van fossiele brandstoffen als aardolie, aardgas en steenkool (bron 45). Sinds de industriële revolutie (18e en 19e eeuw) heeft de mens op deze manier grote hoeveelheden koolstofdioxide de lucht ingepompt. De concentratie koolstofdioxide in de atmosfeer is gestegen van 0,028 procent omstreeks 1800 naar bijna 0,040 procent in 2015 (bron 46). Hoewel de concentraties laag lijken, is de stijging relatief gezien enorm (ruim 40 procent toename). Andere broeikasgassen zijn methaan en waterdamp. Deze gassen absorberen veel meer warmte dan koolstofdioxide.”¹</i>	60
Waterdamp	
<i>“Door meer verdamping neemt de hoeveelheid waterdamp bij opwarming van de aarde ook toe.”¹</i>	60
CO₂	
<i>Bron 48¹</i>	64
<i>“Lange termijn: Huidige inzichten suggereren dat het klimaat op lange termijn wordt gereguleerd via de vorming van kalksteen en de invloed daarvan op het broeikas effect. Kalksteen bevat calcium, koolstof en zuurstof. Meer kalksteen betekent dat er minder koolstofdioxide beschikbaar is voor de atmosfeer, waardoor het broeikas effect afneemt. Maar wanneer neemt de vorming van kalksteen toe? Cruciaal daarvoor is het vrijkomen van calcium. Door chemische verwerking in gebergtes komt dit vrij uit gesteenten als graniet. Het wordt dan in oplossing door rivieren naar zee vervoerd. Hier nemen schelpdieren de calcium op en maken er met water en koolstofdioxide kalk van.”¹</i>	58
CH₄	
<i>“Methaan komt vrij bij de ontlasting en wordt tegenwoordig in grote hoeveelheden geproduceerd door de toenemende wereldbevolking en veestapels. Daarnaast zit er veel methaan opgeslagen in de permafrost, de bevroren toendrabodems, dat vrijkomt als die door opwarming gaat ontdooien.”¹</i>	60
<i>“Daarnaast veroorzaken stuwmeren 5 procent van het broeikasgas op aarde. 'Bomen en planten gaan onder water namelijk rotten. Daardoor komt het broeikasgas methaan opborrelen, twintig keer schadelijker dan kooldioxide. Bij Belo Monte komen honderden vierkante kilometers regenwoud onder water te staan.”²</i>	70
O₃	
<i>Bron 48¹</i>	64
N₂O	
<i>Bron 48¹</i>	64
Aerosolen	
<i>Een tweede, minder bekende oorzaak van klimaatverandering is de verandering van landgebruik in grote delen van de wereld (bron 47). Het verbranden van regenwoud is een belangrijke bron van koolstofdioxide. De akkers en weilanden die de bossen vervangen, kaatsen meer zonlicht terug en kunnen zorgen voor afkoeling. Daarnaast houden ze vaak minder vocht vast dan de bossen en kunnen zodoende zorgen voor verdroging. Doordat de bodem minder goed wordt vastgehouden, waait er meer stof op, en deze stofdeeltjes hebben grote invloed op het mondiale klimaat. Deze zogenaamde aerosolen worden ook geproduceerd door het (lucht)verkeer en de industrie. Ze kaatsen zonlicht terug, maar absorberen het ook. Ze vormen kernen waarop water kan condenseren, maar vaak worden de druppels daardoor zo klein dat ze minder snel vallen. Aerosolen kunnen dus zorgen voor opwarming of afkoeling en voor verdroging of vernatting. Wat er precies gebeurt, is afhankelijk van de exacte omstandigheden in een gebied. Er zijn dus grote regionale verschillen. Mondiaal gezien lijkt het erop dat aerosolen zorgen voor een netto-afkoeling en daarmee het tegengaan van het versterkt broeikas effect.”¹</i>	60
Terugkoppingsmechanismen	
<i>“Aangezien chemische processen sneller verlopen als het warm is, neemt de productie van calcium en daarmee de vorming van kalksteen toe als het warm is. We hebben dus een ‘cirkel’ te pakken: hogere temperaturen leiden tot</i>	58

<p>meer kalksteen, wat leidt tot een minder sterk broeikaseffect en dus dalende temperaturen. We noemen zo'n proces een negatief terugkoppelingsmechanisme. De oorspronkelijke verandering wordt door 'systeem aarde' zelf tegengewerkt. Dit specifieke terugkoppelingsmechanisme via kalksteenvorming en het broeikaseffect wordt momenteel gezien als de belangrijkste reden voor de relatieve stabiliteit van het klimaat op aarde. Naast dit proces speelt de ligging van de continenten een grote rol bij klimaatveranderingen op lange termijn. Zo zou de sneeuwbaldaarde het resultaat zijn geweest van extreme kalksteenvorming in een tijd dat alle continenten rond de evenaar lagen. Op een volledig bevroren aarde vond vervolgens geen chemische verwerking meer plaats, terwijl vulkanen nog wel koolstofdioxide uitbraakten. Dat versterkte het broeikaseffect zo zeer, dat al het ijs smolt, het klimaat omsloeg van steenkoud naar tropisch en er wederom dikke kalksteenlagen werden gevormd. Dit verklaart waarom er in Schotland zowel onder als boven de landijsafzettingen kalksteen ligt.”¹</p>	
<p>“Daarnaast zit er veel methaan opgeslagen in de permafrost, de bevroren toendrabodems, dat vrijkomt als die door opwarming gaat ontdooien. Door meer verdamping neemt de hoeveelheid waterdamp bij opwarming van de aarde ook toe. Deze twee processen zijn voorbeelden van positieve terugkoppelingsmechanismen, die kunnen leiden tot verdere opwarming. Een toename van de verdamping op een warmere aarde zorgt ook voor meer en andere wolken. Wolken weerkaatsen zonlicht aan de bovenzijde, maar absorberen warmte aan de onderzijde. Ze kunnen dus zorgen voor afkoeling of opwarming. Wat er gebeurt, is afhankelijk van veel factoren, onder andere de vorm van de wolken, en dus vind je grote regionale verschillen. Het netto-effect op mondiale schaal is onderwerp van discussie, maar lijkt de opwarming door het versterkte broeikaseffect te verminderen.”¹</p>	60
<p>“Terugkoppelingsmechanismen: De complexiteit van het klimaatvraagstuk wordt vooral bepaald door de grote hoeveelheid terugkoppelingsmechanismen, die spelen op een breed spectrum van tijdschalen. We hebben onder andere kalksteenvorming, albedo en het vrijkomen van extra broeikasgassen beschreven. De grootste onzekerheid voor het hedendaagse klimaat vinden we in de oceanen. Hoe gaan die reageren op de opwarming? Maar liefst 90 procent van de extra warmte en 30 procent van de extra koolstofdioxide is al opgenomen door de oceanen, aldus het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), de organisatie die de VN-advies geeft over klimaatverandering (bron 50). Zonder oceanen was het nu al veel warmer geweest. Stel je voor, een bak met water die 70 procent van het aardoppervlak beslaat en gemiddeld 4 kilometer diep is. De opnamecapaciteit daarvan is werkelijk gigantisch. Helaas is die opname niet gratis. Zoals cola met bubbels van CO₂ niet goed is voor je tanden, zo is de opgeloste CO₂ in de oceanen ook niet goed voor het kalk daar. De koolstofdioxide reageert namelijk met het water, waardoor zuren vrijkomen. Het kost schelpdieren dan meer energie om kalk te maken, wat hen kwetsbaarder maakt voor ziektes en roofdieren. Als de vorming van kalksteen afneemt, of kalksteen zelfs oplost, neemt de CO₂-concentratie in het water toe. De netto opname van CO₂ door de oceaan kan dan veranderen in een netto afgifte aan de atmosfeer. Dit zou een rampzalig scenario zijn, waarbij deze verzuring van de oceaan het broeikaseffect uiteindelijk gaat versterken. Men denkt dat dit gebeurt is tijdens het PETM. Ook de opwarming van het oceaanwater heeft problematische gevolgen. Zo kan het, in samenspel met de aanvoer van meer zoet smeltwater, de diepwaterpomp in het noordelijk deel van de Atlantische Oceaan verstoren, waardoor de thermohaliene circulatie verzwakt. Dit zou de aanvoer van warm water uit het Caribisch gebied naar Europa verminderen, waardoor ons klimaat niet warmer, maar kouder wordt.”¹</p>	62
<p>Gevolgen voor weer- & klimaatextremen</p>	
<p>“Sterkere opwarming van land en zee leidt ook tot intensere verschillen in luchtdruk, waardoor we sowieso te maken krijgen met extremer weer, zoals storm, hevige regen en langdurige droogte. Op een warmere aarde verdampt meer water, waardoor er op aarde gemiddeld meer regen zal vallen. Waar die extra regen gaat vallen, is echter een grote vraag. Projecties van het IPCC (bron 51) suggereren een neerslagdaling in subtropische gebieden en een toename bij de polen.”¹</p>	64
<p>“De winters worden warmer en natter en het KNMI voorspelt tot 2100 een toename van de neerslag met 6 tot 12 procent. Er komen ook perioden voor waarin het zomers extreem droog en warm wordt en watertekorten ontstaan. De hoosbuien die vooral in de zomer in korte tijd vallen, zorgen in de steden voor overbelaste riolen en wateroverlast. Wat voor gevolgen heeft dit voor Nederland en in het bijzonder voor laaggelegen gebieden en steden?”¹</p>	116
<p>“In drooggelegde veengebieden is het maaiveld tussen de 4 à 5 meter gedaald. Dit is ongeveer 1 meter per eeuw. In de zomer worden de laaggelegen gebieden bedreigd met verzilting. Je weet dat zoet water lichter is dan zout water. Het gevolg is dat het zoete water drijft op het zoute water. Als er in droge perioden te veel zoet water wordt gebruikt, komt het brakke en zoute water naar boven (bron 33). Men spreekt dan van zoute kwel of verzilting. Niet alleen verzilting, maar ook verdroging is een gevaar tijdens droge periodes. De biodiversiteit in de laagveenmoerassen en de veenweidegebieden neemt af door het binnenlaten van gebiedsvreemd water dat veel voedselrijker is. Bij lage waterstanden wordt de bovenkant van het veen afgebroken waardoor de bodem weer gaat dalen. In Nederland ligt 3500 km aan veendijken. Veen moet nat blijven, want anders verliest het zijn waterafstotende werking en stevigheid. Door verdroging worden de veendijken instabiel en kunnen ze doorbreken of wegschuiven.”¹</p>	116-117
<p>Gevolgen voor de zeespiegel</p>	

<i>“Natuurlijke gevolgen: De populairste zienswijze op de effecten van mondiale klimaatverandering in Nederland gaat uit van een problematische zeespiegelstijging, maar een warmer en prettiger klimaat.... Het smelten van het landijs zou dan leiden tot zeespiegelstijging. Hoewel dit een mogelijke toekomst is, lijkt een andere, bijna omgekeerde waarschijnlijker. Grote ijskappen als die van Groenland en Antarctica smelten niet zomaar af, zeker niet geheel.”¹</i>	64
<i>“Door het afsmelten van ijskappen en gletsjers stijgt de zeespiegel. De bodemdaling is het gevolg van een natuurlijk en een menselijk proces. Nederland ligt geologisch gezien in een bekken dat langzaam daalt. Door het voortdurend bemalen van het land door de mens, daalt de bodem lokaal nog sneller. Het gevolg is dat de zeespiegel relatief stijgt. Bij doortijd staat het water extra laag, maar bij springtij juist extra hoog. Als er tegelijkertijd een noordwesterstorm op de Noordzee staat, wordt het water bij de Westerschelde en de Nieuwe-Waterweg, die de vorm van een trechter hebben, hoog opgestuwd. Het geheel wordt nog bedreigender wanneer er in dezelfde periode in het stroomgebied veel neerslag valt en een piekafvoer ontstaat. Het rivierwater moet naar zee, maar door de hoge waterstand van de zee kan de rivier zijn water niet kwijt. Een soortgelijke situatie kan zich ook voordoen op het IJsselmeer, dat eveneens de vorm van een trechter heeft. Bij een noordwesterstorm wordt het IJsselmeerwater het Ketelmeer ingestuwd en botst het op rivierwater van de IJssel. Hierdoor wordt het water opgestuwd en wordt West-Overijssel met overstroming bedreigd. Hoe gaan we met deze bedreigingen om en hoe lossen wij dit op?”¹</i>	104-105
<i>“Ondanks deze ingrepen kampen we sinds de laatste jaren met een nieuw probleem: de stijging van de zeespiegel als gevolg van het versterkt broeikas effect. Dat komt onder andere door de CO₂-uitstoot. De klimaatverandering, de bodemdaling, de zeespiegelstijging en de verhoogde afvoeren van rivieren vragen nu om andere oplossingen.”¹</i>	106
<i>“De basiskustlijn wordt bedreigd: We zullen in Nederland rekening moeten houden met een stijgende zeespiegel, een dalende bodem en herfststormen die door de klimaatverandering krachtiger worden. Hierdoor komt de basiskustlijn, de ligging van de gemiddelde kustlijn zoals die in 1990 is afgesproken, in gevaar. Het achterland zal dus ook in de toekomst tegen de relatieve zeespiegelstijging beschermd moeten worden, maar we moeten ook inzien dat het kustgebied belangrijk is voor onze waterwinning, voor recreatie, voor de leefomgeving van mens, dier en plant en de land- en tuinbouw. Kortom, hoe houden we het kustgebied veilig, aantrekkelijk en economisch sterk?”¹</i>	112
<i>“De invloed van de klimaatverandering: Wetenschappers zijn het erover eens dat door de klimaatverandering wereldwijd de temperatuur toeneemt, gletsjers in omvang afnemen en de zeespiegel stijgt.”¹</i>	116
Gevolgen voor de gezondheid (n.v.t.)	
Gevolgen voor de voedselzekerheid	
<i>“Om de uitstoot van broeikasgassen te beperken, heeft de EU bepaald dat benzine en diesel met een deel biobrandstoffen gemengd moeten worden. Waar deze biobrandstoffen in plaats van voedsel worden verbouwd, zoals in Afrika, heeft dit negatieve gevolgen voor voedselzekerheid.”¹</i>	32
<i>“Maatschappelijke gevolgen: De invloed van klimaatverandering op samenlevingen is afhankelijk van de aard van de klimaatverandering en de veerkracht van de samenlevingen. Er wordt verondersteld dat, hoewel de economische schade groter zal zijn, technisch en economisch hoogontwikkelde gebieden minder kwetsbaar zijn, omdat daar meer mogelijkheden zijn voor aanpassing. Deze veronderstelling is gebaseerd op de aanname dat de klimaatverandering zodanig zal zijn dat aanpassing mogelijk is en dat de wereldeconomie in grote lijnen blijft doordraaien. Een van de grootste risico's vormt de voedselproductie. De aarde is dichtbevolkt en voedsel wordt over grote afstanden vervoert. Grootschalige verstoringen in weerpatronen kunnen ernstige misoogsten veroorzaken. Voedselschaarste leidt tot conflicten, direct door hongersnood en vluchtelingenstromen en indirect door woede over hoge voedselprijzen (bron 52). Conflicten en extreem weer kunnen het mondiale transportnetwerk verstoren, waardoor het weinige voedsel ook niet meer goed verdeeld kan worden. Technisch en economisch hoogontwikkelde landen met een kleine eigen voedselproductie zouden dan het grootste slachtoffer kunnen worden.”¹</i>	64
<i>“Onder Kyoto was het mogelijk om tropisch regenwoud te kappen en voedselgewassen als mais en koolzaad als biobrandstof te gebruiken.”¹</i>	66
Gevolgen voor mariene ecosystemen	
<i>“Helaas is die opname niet gratis. Zoals cola met bubbels van CO₂ niet goed is voor je tanden, zo is de opgeloste CO₂ in de oceanen ook niet goed voor het kalk daar. De koolstofdioxide reageert namelijk met het water, waardoor zuren vrijkomen. Het kost schelpdieren dan meer energie om kalk te maken, wat hen kwetsbaarder maakt voor ziektes en roofdieren. Als de vorming van kalksteen afneemt, of kalksteen zelfs oplost, neemt de CO₂-concentratie in het water toe. De netto opname van CO₂ door de oceaan kan dan veranderen in een netto afgifte aan de atmosfeer. Dit zou een rampzalig scenario zijn, waarbij deze verzuring van de oceaan het broeikas effect uiteindelijk gaat versterken. Men denkt dat dit gebeurt is tijdens het PETM. Ook de opwarming van het oceaanwater heeft problematische gevolgen. Zo kan het, in samenspel met de aanvoer van meer zoet smeltwater, de diepwaterpomp in het noordelijk deel van de Atlantische Oceaan verstoren, waardoor de thermo- haliene circulatie verzwakt. Dit zou de aanvoer van warm water uit het Caribisch gebied naar Europa verminderen, waardoor ons klimaat niet warmer, maar kouder wordt.”¹</i>	62

<p>“Grote ijskappen als die van Groenland en Antarctica smelten niet zomaar af, zeker niet geheel. Mocht dit wel gebeuren, dan wordt door de toevoer van zoet water bij de diepwaterpompen de thermohaliene circulatie verstoord. In combinatie met het in warme zomers grootschalig afsmelten van zeeijs in de Noordelijke Ijszee (bron 52) zal dit eerder leiden tot een sterk verstoorde energiehuishouding op de noordelijke Atlantische Oceaan. Dit levert een instabiel klimaat op met soms extreem lange en koude winters, iets wat we bijvoorbeeld al gezien hebben in de winter van 2008-2009 met wekenlang temperaturen onder de -20 °C en in de winter van 2012-2013 die tot diep in mei voortduurde.”¹</p>	63
<p>Gevolgen voor terrestrische ecosystemen</p>	
<p>“Wanneer de klimaatverandering zich doorzet in de voorspelde richting, zullen de landschapszones gaan verschuiven en van karakter kunnen gaan veranderen (bron 19). De droogste delen van Zuid-Europa zullen tot de (semi-)aride zone gaan behoren, terwijl delen van de gematigde zone kenmerken krijgen van de subtropische zone. Planten- en diersoorten uit de subtropische zone rukken steeds verder op richting het noorden van Europa. In Nederland is bijvoorbeeld het wijnbouwareaal de laatste 15 jaar explosief gestegen”³</p>	18-19
<p>“Onder Kyoto was het mogelijk om tropisch regenwoud te kappen en voedselgewassen als mais en koolzaad als biobrandstof te gebruiken.”¹</p>	
<p>“In drooggelegde veengebieden is het maaiveld tussen de 4 à 5 meter gedaald. Dit is ongeveer 1 meter per eeuw. In de zomer worden de laaggelegen gebieden bedreigd met verzilting. Je weet dat zoet water lichter is dan zout water. Het gevolg is dat het zoete water drijft op het zoute water. Als er in droge perioden te veel zoet water wordt gebruikt, komt het brakke en zoute water naar boven (bron 33). Men spreekt dan van zoute kwel of verzilting. Niet alleen verzilting, maar ook verdroging is een gevaar tijdens droge periodes. De biodiversiteit in de laagveenmoerassen en de veenweidegebieden neemt af door het binnenlaten van gebiedsvreemd water dat veel voedselrijker is. Bij lage waterstanden wordt de bovenkant van het veen afgebroken waardoor de bodem weer gaat dalen. In Nederland ligt 3500 km aan veendijken. Veen moet nat blijven, want anders verliest het zijn waterafstotende werking en stevigheid. Door verdroging worden de veendijken instabiel en kunnen ze doorbreken of wegschuiven.”³</p>	8
<p>“De mens creëert woestijn Een belangrijke vorm van landdegradatie is verwoestijning. Verwoestijning gaat niet over het ‘oprukken’ van de woestijn naar andere landschapszones, maar is het proces waarbij het land onbegroeid raakt en vervolgens het bovenste deel van de bodem wegspoelt of wegwaait. Hierdoor verliest de grond zijn vruchtbaarheid. Dit vindt plaats in gebieden waar de jaarlijkse regenval nog net genoeg is voor landbouw (300-500 mm) zoals in de woestijnsteppe, de steppe van de (semi-)aride zone en drogere delen van de subtropische zone. Oorzaken voor de verwoestijning zijn menselijke activiteiten zoals overbeweiding, uitbreiding van het akkerland en ontbossing in combinatie met de huidige klimaatverandering. Het bekendste gebied dat lijdt onder verwoestijning is de Afrikaanse Sahel, het overgangsgedebied tussen de Sahara en de vochtige tropen.”³</p>	16
<p>Controverse</p>	
<p>“Ondertussen is je wel duidelijk geworden dat het klimaatsysteem bijzonder complex is. Het klimaatvraagstuk is daarom een makkelijke prooi voor de populaire media.”¹</p>	62
<p>“Verschillen in kwetsbaarheid zorgen voor tegengestelde belangen. Nog grotere tegenstellingen worden veroorzaakt door de olie- industrie. Wereldwijd liggen de twee grootste petrochemische industriecomplexen in Houston (Texas) en Rotterdam. De Verenigde Staten en Nederland zijn dan ook niet bepaald de meest initiatiefrijke landen op het gebied van klimaatbeleid, ondanks de relatief hoge kwetsbaarheid van de landen (deels semi-aride, laaggelegen of zelfs onder zeeniveau). De Amerikaanse en Nederlandse media geven van oudsher ook opvallend veel aandacht aan klimaatsceptici. Hier zie je dat een politiek debat verward wordt met een wetenschappelijke discussie. Voorstanders van een toekomst met energie uit fossiele brandstoffen gebruiken als argument dat omschakeling naar duurzame energie niet nodig zou zijn. De werkelijke argumenten (geld en macht) of gevoelens (angst) over wat men wenselijk vindt, worden dan verstopt achter een zogenaamde wetenschappelijke discussie over wat nodig is. Deze tactiek is overigens niet voorbehouden aan ‘Big Oil’. Ook de milieubeweging kan de ‘noodzaak’ van bepaald beleid overdrijven om voor elkaar te krijgen wat zij ‘wenselijk’ vindt”¹</p>	64-65
<p>“Klimaatmodellen: Om grip te krijgen op het klimaatsysteem werkt het IPCC met klimaatmodellen (bron 48 en 49). Dit zijn enorme wiskundige modellen, die met behulp van een heleboel vergelijkingen kunnen uitrekenen hoe warm het in een bepaalde maand op een bepaalde plaats is geweest of wordt, hoeveel regen er viel, waar de overheersende wind vandaan kwam, enzovoort. Ook al zijn deze modellen een vereenvoudiging van de werkelijkheid, er zijn enorme supercomputers nodig om ze door te rekenen. De modellen worden getest met behulp van wat we weten over paleoklimaten en hedendaagse klimaten. Beide bronnen van informatie bevatten helaas nogal wat onzekerheden. Gegevens over paleoklimaten zijn indirect verkregen uit boomringen en sedimenten. Gegevens over hedendaagse klimaten zijn lang verzameld in sterk groeiende stedelijke gebieden. Die houden met beton en asfalt veel warmte vast, waardoor de metingen vervuild zijn.”¹</p>	62-63
<p>“Bepaalde voorspelbaarheid: Al met al begrijpen we het klimaat ondertussen best aardig. Helaas betekent dat niet dat we het klimaat van de toekomst kunnen voorspellen. Het klimaat is zo’n complex systeem, dat we het ook wel een chaotisch systeem noemen. Een kleine verandering kan via allerlei terugkoppelingsmechanismen onvoorspelbare consequenties hebben. Als je dat combineert met de onzekerheden die in alle gegevens zitten, begrijp je dat we de uitkomsten van klimaatmodellen met een korreltje zout moeten nemen. We spreken dan ook</p>	63

<p>niet van voorspellingen, maar van projecties. De projecties van het IPCC lopen nogal uiteen, variërend van 0,3 tot 4,8 °C temperatuurstijging voor de 21e eeuw. Ze zijn gebaseerd op verschillende ‘wat als’-scenario’s. Wat als we op deze voet verder gaan of wat als we goed klimaatbeleid gaan voeren? De enorme variatie lijkt ruimte te bieden voor debat en dat wordt dan ook gevoerd in de populaire media. Dat debat is echter niet bepaald steekhoudend. Als de beste klimaatwetenschappers van de wereld niet verder komen dan 0,3 a 4,8 °C, dan moeten de media wel heel verwaand zijn om te denken dat ze het beter weten. Vaak worden (soms zeer onbetrouwbare) individuele onderzoeken uit hun context gehaald, en zeer populair. Het debat zou moeten gaan over hoe we met deze onzekerheid moeten omgaan. Dat is voor veel mensen een heel moeilijk en beangstigend debat.”¹</p>	
<p>“The big picture en het leren omgaan met onzekerheid Het klimaatvraagstuk moet je bekijken in een grote context. De energietransitie kan veel werkgelegenheid scheppen en kansen bieden om andere vormen van milieuvuiling tegen te gaan. Ook als de klimaat- effecten uiteindelijk meevallen, hebben we toch nieuwe technologie ontwikkeld, schonere steden gecreëerd en oliebaronnen minder machtig gemaakt. Er is dus weinig te verliezen. De slimste manier van omgaan met onzekerheid is nadenken over verschillende mogelijke toekomstscenario’s en je op elk scenario voor te bereiden. We doen dat ook wel een beetje. Er wordt geïnvesteerd in onderzoek. Kennis is immers altijd bruikbaar om onbekende uitdagingen slim aan te pakken. We investeren in duurzame technologie en verhogen de dijken. Zo proberen we klimaatverandering te beperken én ons voor te bereiden op de eventuele gevolgen. Het mooie van klimaatverandering is ook dat het ons laat zien dat we als mensheid echt een nieuwe fase ingaan. Onze invloed op de planeet heeft enorme proporties aangenomen. Niet alleen hebben we een negatieve en moeilijk te beheersen invloed, maar ook een positieve en doelgerichte. We hebben wereldomvattende organisaties, we vliegen in korte tijd rond de wereld en misschien op korte termijn ook wel door het heelal. We moeten nog erg wennen aan deze nieuwe werkelijkheid en ontdekken wat we in deze nieuwe situatie echt belangrijk vinden.”¹</p>	67
<p>“Klimaatbeleid Op mondiaal niveau worden ieder jaar klimaatconferenties georganiseerd (bron 54). Dit heeft in 1997 in de Japanse stad Kyoto geleid tot een akkoord. Dit verdrag werd niet ondertekend door de Verenigde Staten, omdat ontwikkelingslanden zoals China geen actie hoefden te ondernemen. China is momenteel koploper op het gebied van CO₂-uitstoot, maar veel energie wordt gebruikt om juist producten voor de westerse markten te maken. Kyoto was revolutionair. Nooit eerder in de geschiedenis is er een akkoord gesloten dat gericht was op een probleem dat misschien nog decennia, zo niet eeuwen in de toekomst ligt. Toch laat Kyoto uiteindelijk vooral de kleinburgerlijkheid van de mens zien. Het is een akkoord dat gaat over broeikasgassen, niet over andere oorzaken van klimaatverandering en al helemaal niet over andere milieuproblemen...In 2015 werd in Parijs een nieuwe stap gezet. In het nieuwe klimaatverdrag worden de landen aangemoedigd hun eigen klimaatbeleid vorm te geven. Het fonds voor ontwikkelingslanden wordt verder uitgebouwd. De ambitie is om de schade (en onvoorspelbaarheid) zo veel mogelijk te beperken. Dit is uitgedrukt in het streven de opwarming te beperken tot 1,5 °C. Gezien de beperkte voorspelbaarheid van het klimaatsysteem is dat cijfer ietwat onzinnig, maar als intentie toch een mooi uitgangspunt. Maar de vraag blijft: zal dit klimaatakkoord kwetsbare gebieden op aarde kunnen redden (bron 56)?”¹</p>	66
<p>“Concrete maatregelen De Europese Unie is tamelijk actief op het gebied van klimaatbeleid. Voor Europa biedt dit kansen voor technologische innovatie en een kans een voorsprong te nemen wanneer de fossiele energiebronnen door schaarste snel duurder worden. Ook wil Europa graag minder afhankelijk worden van landen die fossiele brandstoffen produceren, in het bijzonder Rusland. Geleidelijk wordt een steeds groter deel van de energievoorziening vervangen door duurzame bronnen van energie, zoals wind- en zonne-energie (bron 55). Het prijsverschil tussen duurzaam opgewekte energie en fossiele energie wordt steeds kleiner. Alleen vraagt de omschakeling naar duurzaam nog om grote investeringen in bijvoorbeeld windturbines en zonnepanelen, die pas na 5 à 10 jaar worden terugverdiend. Een andere groep van maatregelen richt zich op verlaging van de energiebehoefte. Huizen worden beter geïsoleerd en vliegtuigen worden steeds zuiniger. Hier liggen mooie kansen om vliegen goedkoper én milieuvriendelijker te maken. Het is jammer dat er vooralsnog erg veel regels nodig zijn om de energietransitie te bewerkstelligen. Hierdoor worden de regels soms belangrijker dan het doel. De Nederlandse regering verwijst graag naar de EU als boosdoener, terwijl zij zelf met alle Europese regels heeft ingestemd.”¹</p>	66-67
<p>“Dat debat is echter niet bepaald steekhoudend. Als de beste klimaatwetenschappers van de wereld niet verder komen dan 0,3 à 4,8 °C, dan moeten de media wel heel verwaand zijn om te denken dat ze het beter weten. Vaak worden (soms zeer onbetrouwbare) individuele onderzoeken uit hun context gehaald, en zeer populair. Het debat zou moeten gaan over hoe we met deze onzekerheid moeten omgaan. Dat is voor veel mensen een heel moeilijk en beangstigend debat.”¹</p>	63
<p>¹ BuiteNLand, vwo 4 (Bloothoofd et al., 2016a) ² BuiteNLand, vwo 5 (Bloothoofd et al., 2016b) ³ BuiteNLand, vwo 6 (Bloothoofd et al., 2016c)</p>	

Appendix 3c. Geselecteerde citaten stand van de schoolaardrijkskunde (De Geo)

pp.

Weer & klimaat

“Atmosfeer: De dampkring, de atmosfeer, is van groot belang voor het leven op aarde en speelt een belangrijke rol in de vorming van de landschappen. Waar de dampkring precies overgaat in de interplanetaire ruimte, is moeilijk

35

<p>vast te stellen, omdat de lucht naar boven toe steeds ijler wordt. Vaak houdt men een dikte aan van ongeveer 80 km. De atmosfeer is opgedeeld in vier opeenvolgende lagen: de troposfeer (tussen de 8 en 18 km dikte), de stratosfeer (tot 50 km hoogte), de mesosfeer en de thermosfeer (figuur 2.3). Voor het leven op aarde is de troposfeer van essentieel belang. Daarin spelen zich de belangrijke kringloop van water en de klimaatprocessen af. De troposfeer bevat 80% van de gassen die de dampkring vormen. De oeratmosfeer om de aarde werd gevormd door gassen uit het binnenste van de aarde die via vulkaanuitbarstingen ontsnapten. Later kreeg de atmosfeer door allerlei processen de huidige samenstelling. In figuur 2.4 zie je wat de samenstelling van de troposfeer is. Stikstof en zuurstof zijn verantwoordelijk voor 99% van het volume. Argon, CO₂, methaangas (CH₄), ozon (O₃) en waterdamp (H₂O) vormen het laatste procent. De stratosfeer, die zich boven de troposfeer uitstrekt, heeft voor het leven op aarde ook een belangrijke functie. Deze stabiele laag bevat ozon (O₃) dat de instraling van ultraviolette straling blokkeert. Hierdoor worden de levensvormen beschermd tegen de schadelijke invloed van ultraviolet licht, dat huidkanker en genetische mutaties kan veroorzaken.”⁴</p>	
Kringlopen	
<p>“Dit systeem bestaat uit vier sferen: de atmosfeer, waar weer en klimaat zich afspelen, de hydrosfeer (het water op aarde), de lithosfeer (gesteente) en de biosfeer (het leven op aarde). Al die sferen staan met elkaar in verband. Een verandering in de ene sfeer werkt door in een andere.”²</p>	7
<p>“De hydrosfeer is het vloeibare gedeelte van de aardse sferen. Het omvat oceanen, meren en rivieren, en het grondwater en bodemwater. Ook de gletsjers en het vaste ijs in de bergen en op de polen behoren tot de hydrosfeer. Van het water zit 97% in de oceanen en is dus zout, ruim 2% is in de ijskappen opgeslagen en slechts een kleine 1% omvat het water in de rivieren, de meren, het grondwater, het bodemwater, de atmosfeer en de planten. De biosfeer omvat alle levende organismen op aarde. De meeste levende organismen bevinden zich op het land en in de bovenste 100 m van de oceanen.”⁴</p>	35
<p>“Hydrologische kringloop: In het zonnestelsel komt alleen op onze planeet water in drie vormen voor: vast, vloeibaar en gasvormig. Water is van groot belang voor onze levens. Onze lichamen bestaan voor een flink deel uit water, wij drinken water, we ademen watermoleculen, onze voedselproductie is totaal afhankelijk van water, we gebruiken water voor de productie in de industrie en om ons te ontspannen. Daarnaast bepaalt water voor een groot deel het klimaatsysteem en is water een belangrijk element van de exogene krachten die de landschappen vormgeven. In figuur 2.5 is de hydrologische kringloop, ook wel waterkringloop genoemd, op aarde in beeld gebracht. In de kringloop is te zien dat water verdampt uit zeeën, meren en rivieren. Dit noem je evaporatie. Ook planten verdampen via de huidmondjes water. Dat proces heet transpiratie. Via de neerslag, de infiltratie in de bodem en de afstroming over het aardoppervlak komt het water weer terug in zee. Ook hier vind je dus relaties tussen de verschillende sferen. Waterdruppels die in de atmosfeer gevormd zijn, komen op aarde terecht in de hydrosfeer en worden opgenomen door planten (de biosfeer) en in de bodem (de lithosfeer) of slijten het gesteente (de lithosfeer) uit. Die deeltjes worden door de rivier (de hydrosfeer) weer naar zee gebracht. De waterkringloop speelt dus een belangrijke rol in de vorming van landschappen.”⁴</p>	36
Stralingsbalans	
<p>“De grote motor van de kringlopen en de processen in de sferen is de energie van de zon. De aarde ontvangt via de zon energie. Een deel van die energie wordt omgezet in warmte en een deel wordt weer teruggebracht in de atmosfeer en uitgestraald. De gemiddelde temperatuur op aarde is ongeveer 15 °C. Aangezien de aarde gedurende langere tijd een vrij constante temperatuur heeft, moet er een balans zijn tussen de inkomende en uitgaande energie. Deze stralingsbalans, of energiebalans is in figuur 2.6 weergegeven. Je ziet dat een deel van het zonlicht weerkaatst wordt door wolken en het aardoppervlak. Een ander deel van de energie wordt door de wolken opgenomen en omgezet in warmte. Minder dan de helft komt bij het aardoppervlak terecht. Daar wordt de energie opgenomen en omgezet in warmte, geabsorbeerd, en uitgestraald via infrarode straling. De atmosfeer wordt zo verwarmd vanaf het aardoppervlak.”⁴</p>	36-37
Natuurlijk Broeikaseffect	
<p>“Opvallend is dat 114% (109% en 5%) vanaf het aardoppervlak wordt terugbetaald, terwijl er maar 47% van het zonlicht door het aardoppervlak wordt geabsorbeerd. Dat komt door de broeikasgassen: waterdamp, CO₂ en methaan. Een flink deel van de warmte verlaat de atmosfeer niet, maar wordt weer door de broeikasgassen en wolken geabsorbeerd en voor een groot deel teruggestraald (pijl met 96%) naar de aarde. Waren er geen broeikasgassen, dan zou de gemiddelde temperatuur veel lager zijn, namelijk -16 °C. Deze extra warmte maakt het aardoppervlak gemiddeld 31 °C warmer en hierdoor is het hier gemiddeld dus 15 °C.”⁴</p>	36-37
Versterkt Broeikaseffect	
<p>“De aarde wordt warmer: Sinds het begin van de Industriële Revolutie in de negentiende eeuw is het gehalte aan kooldioxide (CO₂) in de atmosfeer door de verbranding van fossiele brandstoffen als steenkool, aardolie en aardgas flink toegenomen. Ook de uitstoot van andere gassen - zoals O₃, CH₄ en N₂O - hebben geleid tot een toename van het broeikaseffect. De verwachte temperatuurstijging als gevolg van de toename van deze gassen door activiteiten van de mens wordt het versterkte broeikaseffect genoemd. De verwachting is dat hierdoor in de nabije toekomst klimaatveranderingen zullen optreden.”⁴</p>	63
<p>“De afgelopen eeuw is de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer sterk toegenomen door de bevolkingsgroei, de ontwikkeling in de landbouw, en door de industrie.”²</p>	44

<i>“Volgens klimaatonderzoekers zal de gemiddelde temperatuur aan het einde van de 21ste eeuw ongeveer 1,3 °C hoger zijn dan in de periode 1981 - 2010.”³</i>	8
<i>“Er is nog heel veel onderzoek nodig om meer zekerheid te krijgen over de exacte toekomstige temperatuurontwikkeling. Toch kan men op grond van de resultaten van alle onderzoeken tot nu toe een vrij goede prognose maken voor de temperatuur op aarde in de toekomst...de conclusie die je kunt trekken, is dat rond 2100 de gemiddelde temperatuurstijging in de wereld minimaal 1 tot maximaal 4 °C zal bedragen.”²</i>	46
<i>“Koolzuurgas werkt in de dampkring net als glas in een broeikas. Het laat de zonnestralen door, maar houdt de warmte vast.”²</i>	30
Broeikasgassen	
<i>“De atmosfeer bestaat voor minder dan 0,5% uit broeikasgassen. Deze gassen - CO₂ (koolstofdioxide), CH₄ (methaan), NO₂ (stikstofdioxide) - en waterdamp zorgen ervoor dat de gemiddelde temperatuur op aarde gemiddeld 31 °C hoger ligt dan zonder deze gassen: het zogenaamde broeikaseffect.”²</i>	44
<i>“Vanaf het begin van de jaartelling bleef het aandeel moleculen van de broeikasgassen CO₂, CH₄ en NO₂ vrij constant (figuur 3.4). De bevolking groeide niet veel. Vanaf 1800 kwam hier verandering in. De wereldbevolking nam in ruim twee eeuwen toe van 1 miljard naar ongeveer 7,5 miljard mensen.”²</i>	45
Waterdamp (n.v.t.)	
CO₂	
<i>“De grote vraag is natuurlijk: waar is al dat koolzuurgas uit het Krijt gebleven? Het antwoord hierop vind je in de koolstofcyclus (figuur 2.15). De CO₂ in de lucht verbindt zich met waterdruppels en vormt koolzuur (H₂CO₃). Dit zwakke zuur valt samen met de neerslag op de gesteenten op aarde. Het natrium (Na), het kalium (K) en het calcium (Ca) waar de mineralen van deze gesteenten uit bestaan, lossen op en vormen klei. Deze klei wordt door de rivieren en het grondwater samen met het koolzuur naar de zee gebracht. Hier maken allerlei beestjes er kalkskeletten van. Uiteindelijk worden er dikke kalklagen gevormd.”²</i>	30
<i>“De toename van het CO₂-gehalte (figuur 3.4) is zowel te wijten aan demografische factoren als aan de economische ontwikkeling. De groei van de bevolking leidde tot meer gebruik van fossiele brandstoffen voor bijvoorbeeld verwarming. Bij de verbranding komt CO₂ vrij dat verdwijnt in de atmosfeer. Ook de Industriële Revolutie in de negentiende eeuw leidde tot een flinke toename van de verbranding van steenkool, en later van olie en gas. Denk bijvoorbeeld maar aan de uitvinding van de stoommachine, waardoor er stoomtreinen en stoomboten kwamen. Daarnaast dreven veel stoommachines in de fabrieken allerlei werktuigen aan. In de steden is de CO₂-uitstoot hoger dan op het platteland. Mensen in steden hebben verhoudingsgewijs een hoger energieverbruik. Verkeer, fabrieken, gebouwen met verwarming dan wel airconditioning, verlichting, en de dienstverlening met alle ICT-technologie verbruiken veel energie (figuur 3.5). We kunnen niet zonder alle communicatiemiddelen en het gebruik van internet. Wanneer er bij de opwekking van de benodigde elektriciteit voor al deze activiteiten fossiele brandstoffen worden gebruikt, heeft dit gevolgen voor de CO₂-uitstoot en daarmee voor het klimaat.”²</i>	45
CH₄	
<i>“Er werden natte rijstvelden aangelegd die veel methaan produceren, en de veestapel groeide. Veel vee leidt tot een hogere CH₄-uitstoot. Dit verklaart de toename van dit broeikasgas vanaf 1800.”²</i>	45
O₃	
<i>“Aardolie en aardgas flink toegenomen. Ook de uitstoot van andere gassen - zoals O₃, CH₄ en N₂O - hebben geleid tot een toename van het broeikaseffect.”⁴</i>	63
<i>“Deze stabiele laag bevat ozon (O₃) dat de instraling van ultraviolette straling blokkeert.”⁴</i>	35
<i>“De stratosfeer bevat veel ozongas (O₃). Dit gas filtert de voor de mens schadelijke ultraviolette straling van het zonlicht. Door de opname van de ozon wordt de stratosfeer warm.”²</i>	7
N₂O	
Zie figuur 3.4	
Terugkoppelingsmechanismen	
<i>“Als je het klimaat als een systeem beschouwt, zijn de terugkoppelingsmechanismen daarbinnen belangrijk. Bij een positieve terugkoppeling wordt de klimaatverandering door de werking van het systeem versterkt, bij een negatieve terugkoppeling wordt deze juist afgezwakt (figuur 1.24).”²</i>	20
<i>“Als het zee-ijs van de Noordpool smelt, wordt het albedo- effect minder. De vrijkomende zee zal daardoor steeds meer warmte opnemen. Dit heeft tot gevolg dat er weer meer ijs afsmelt en dat de opwarming wordt versterkt. Er is hier dus sprake van een positieve terugkoppeling.”²</i>	20
<i>“Een voorbeeld van een negatieve terugkoppeling zou een mindere werking of zelfs het stoppen van de diepwaterpomp in de buurt van IJsland zijn. Als het landijs van Groenland smelt doordat het warmer wordt op aarde, komt er een grote hoeveelheid zoet water in de Atlantische Oceaan. Het water wordt dan minder zout, waardoor het lichter wordt en niet meer naar de bodem van de oceaan zakt. Hierdoor stagneert de diepwaterpomp en wordt de Golfstroom (figuur 1.25) minder sterk of stopt deze zelfs. Door deze verstoring van het Atlantische circulatiesysteem krijgt Noordwest-Europa geen aanvoer meer van warm water en wordt het klimaat een stuk kouder. Een ijstijd zou er zelfs het gevolg van kunnen zijn.”²</i>	20
<i>“Verandering van temperatuur en neerslag: De prognose van de verandering van de temperatuur is in beide scenario's niet in alle gebieden hetzelfde. Duidelijk is dat het Noordpoolgebied de hoogste temperatuurstijging laat</i>	47

zien. Dit heeft te maken met positieve terugkoppelingsmechanismen. In gebieden met een geringe temperatuurstijging is de kans groot dat verschillende factoren elkaar deels opheffen en zo voor negatieve terugkoppelingsmechanismen zorgen.” ²	
Gevolgen voor weer- & klimaatextremen	
“Verandering van temperatuur en neerslag: De verwachte verandering van de temperatuur, zoals te zien is in figuur 3.8, is een gemiddelde voor de hele wereld. Niet alle gebieden op aarde zullen in dezelfde mate met een temperatuurstijging te maken krijgen, zoals je ziet in figuur 3.9.” ²	47
“Door de toenemende neerslag in bepaalde gebieden zal het gevaar voor overstromingen toenemen (figuur 3.10). Met name in Azië zullen duizenden mensen er de gevolgen van ondervinden. Maar niet alleen de hoeveelheid neerslag is een probleem. De toename van de neerslagvariabiliteit speelt ook een belangrijke rol. De regenbuien worden in sommige gebieden steeds heftiger. Wanneer er in een korte tijd meer neerslag valt in de vorm van stortbuien, heeft dit gevolgen voor het debiet van rivieren. De rivier kan in korte tijd niet zo veel water afvoeren. Het risico op overstromingen neemt toe. De overstromingen kunnen leiden tot het wegspoelen van de vruchtbare bodem aan weerszijden van de rivier.” ²	48-49
“Verdroging treedt op wanneer de neerslag in een gebied afneemt of wanneer de verdamping door de temperatuurstijging toeneemt.” ²	49
“De perioden met droogte zullen toenemen. Dat betekent dat de grotere hoeveelheid neerslag niet gelijk over het jaar verdeeld zal vallen. De neerslagintensiteit neemt toe, terwijl in andere perioden droogte optreedt. Dit heeft schadelijke gevolgen voor de landbouw.” ²	52
“Het weer in ons deel van Europa wordt wat extremer (figuur 1.5). Het zal meer gaan regenen en ook het neerslagregiem, de verdeling van de hoeveelheid neerslag over een bepaalde periode, zal veranderen. De zomers zullen droger worden. Zo droog dat er vaker watertekorten zullen voorkomen. De kans op zware buien wordt echter groter. De winters zullen daarentegen natter worden en ook dan neemt de kans op grote hoeveelheden neerslag in één keer toe. Anders dan veel mensen denken, zal het hier niet vaker of harder gaan stormen. Ook aan de windrichting zal niet veel veranderen.” ³	8
Gevolgen voor de zeespiegel	
“Door de hogere temperaturen zal de zeespiegel stijgen. De stijging is maar ten dele te wijten aan de smeltende ijskappen. De afname van de landijsbedekking leidt tot extra water in de oceaan. De grootste bijdrage aan de zeespiegelstijging is het uitzetten van het warmere water. Ook hier geven verschillende scenario's een andere uitkomst (figuur 3.11). Feit blijft dat de zeespiegel stijgt en zal blijven stijgen. Laaggelegen gebieden aan de kusten van bijvoorbeeld Nederland, Bangladesh en Tuvalu (inleiding) moeten rekening houden met overstromingen. Het binnendringen van zout water door de zeespiegelstijging kan verzilting van de landbouwgronden tot gevolg hebben.” ²	49
“In kustgebieden moet rekening gehouden worden met verzilting van landbouwgrond en met de nadelige gevolgen voor de drinkwatervoorziening door de stijgende zeespiegel.” ²	52
“Bij een stijgende zeespiegel betekent dit dat Bangladesh nog meer water te verwerken krijgt. Daarbij kunnen grote gebieden voorgoed in de golven verdwijnen (figuur 3.20). Dhaka, de hoofdstad van Bangladesh, vangt jaarlijks tussen de 500.000 en 1 miljoen mensen op uit de zuidelijke provincies. De ondergelopen en verzilte landbouwgronden vormen geen bestaansmogelijkheid meer voor veel Bengalen.” ²	53
“In het vijfde rapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2015) is te lezen dat in het jaar 2100 de zeespiegel 26 tot 82 cm hoger zal zijn dan in 1990. De zeespiegel aan de Nederlandse kust steeg sinds 1900 met een tempo van ongeveer 2 mm per jaar. De stijging wordt toegerekend aan een combinatie van factoren. Door temperatuurstijging van de atmosfeer als gevolg van de klimaatverandering zet het zeewater uit (ongeveer 75% van het totaal). Water neemt zijn kleinste volume in bij 4 °C; naarmate het warmer wordt, zet het meer uit. Het smelten van gletsjers en landijs (25%), waarvan de Groenlandse ijskap 10% voor zijn rekening neemt, doet de zeespiegel stijgen.” ³	33
Gevolgen voor de gezondheid	
“Door een warmer klimaat kunnen insecten (zoals de malariamug en de zikamug) op steeds meer plekken overleven. De gevaren voor de gezondheid nemen toe.” ²	50
Gevolgen voor de voedselzekerheid	
“Ook de ruimtelijke neerslagvariabiliteit doet ertoe. Op de ene plek kan het plenzen, terwijl de gewassen een paar kilometer verderop er verlept bij blijven staan.” ¹	23
“Opschuiven van zones: De verandering van temperatuur en neerslag zal gevolgen hebben voor het klimaat.... Ook de mens zal zich moeten aanpassen, vooral in de manier van produceren in de landbouw. De landbouwzones met kenmerkende producten schuiven mee met de klimaatveranderingen. Waar gewassen vroeger wel konden groeien, zal dat misschien moeizamer worden. Waar het te koud was, ontstaan door klimaatverandering nieuwe landbouwmogelijkheden. Landbouwgrond kan onbruikbaar worden door verdrinking (overstroming).” ²	48
“In het Middellandse Zeegebied zal het watertekort als gevolg van droogte, de toename van het waterverbruik in de toeristische industrie en het toepassen van irrigatie in de landbouw, toenemen. De kwaliteit van de bodem vermindert en er kan bodemdegradatie en ten slotte verwoestijning optreden (figuur 3.12). Zo gaat kostbare landbouwgrond verloren. Behalve voor de voedselvoorziening in de landen zelf kan dit ook nadelige gevolgen hebben voor de export van voedselgewassen.” ²	49

Gevolgen voor mariene ecosystemen	
<i>"Steeds meer koraalriffen sterven af door verzuring van de oceaan."</i> ²	50
Gevolgen voor terrestrische ecosystemen	
<i>"Opschuiven van zones: De verandering van temperatuur en neerslag zal gevolgen hebben voor het klimaat, en voor de vegetatie en de fauna in gebieden op aarde. Dieren en planten die zich thuis voelden in bepaalde ecosystemen, verdwijnen of trekken naar andere gebieden. Ze maken plaats voor nieuwe soorten. Zo zullen klimaatzones, vegetatiezones en biogeografische zones verschuiven."</i> ²	48
<i>"Bij een toename van de gemiddelde wereldtemperatuur met 1 °C zullen de klimaatzones 200 tot 300 km naar het noorden opschuiven. In de bergen schuiven ze 150 tot 200 m omhoog. Wanneer de zones te snel opschuiven, zal de migratie van bepaalde plantensoorten achterblijven, waardoor zij uiteindelijk verdwijnen."</i> ⁴	63
<i>"Een warmer klimaat betekent in het noorden van Europa meer groeikansen voor bossen, een positieve bijkomstigheid."</i> ²	49
<i>"Langdurige droge perioden verhogen ook de kans op bosbranden."</i> ²	49
<i>"De permafrost ontdooit, waardoor huizen, wegen en pijpleidingen verzakken."</i>	50
Controverse	
<i>"Je weet inmiddels dat klimaatverandering gedurende de hele geschiedenis van de aarde heeft plaatsgevonden. De verklaringen hiervoor lopen uiteen, afhankelijk van de tijdschaal. In het verre verleden was de veranderende ligging van de continenten op aarde een belangrijke oorzaak. In de afgelopen 1 tot 2 miljoen jaar spelen de Milankovitch-variabelen en de invloed van de zon hierin een rol. Waarom maakt men zich nu dan zo druk over de huidige klimaatverandering? Dat heeft te maken met het feit dat de klimaatverandering de laatste decennia sneller lijkt te gaan en dat de invloed van de mens hierin een belangrijke rol speelt. In figuur 3.1 is te zien dat de afwijking van de gemiddelde wereldtemperatuur op het aardoppervlak in de afgelopen twee eeuwen (ten opzichte van de periode 1951 - 1980) schommelt, maar vanaf 1978 vertoont de temperatuur een sterke stijging. Dit kan met natuurlijke factoren te maken hebben, maar ook door de mens veroorzaakt zijn."</i> ²	43
<i>"Hiervoor zijn slechts een aantal menselijke en natuurlijke factoren genoemd die van invloed zijn op de temperatuur. Er zijn nog veel meer factoren die een rol kunnen spelen. Bovendien laat steeds meer onderzoek zien dat een verandering in één factor heel andere gevolgen kan hebben in verschillende gebieden. Er is nog heel veel onderzoek nodig om meer zekerheid te krijgen over de exacte toekomstige temperatuur- ontwikkeling. Toch kan men op grond van de resultaten van alle onderzoeken tot nu toe een vrij goede prognose maken voor de temperatuur op aarde in de toekomst. In figuur 3.8 zijn de prognoses weergegeven tot het jaar 2100. Er zijn verschillende scenario's. De natuurlijke variaties blijven daarbij constant. De blauwe kleur laat zien dat er nog onzekerheid bestaat over hoe de natuur reageert op de verhoogde uitstoot van CO₂. De groene kleur laat de onzekerheid zien over de emissies van broeikasgassen. Maar de conclusie die je kunt trekken, is dat rond 2100 de gemiddelde temperatuurstijging in de wereld minimaal 1 tot maximaal 4 °C zal bedragen."</i> ²	46
<i>"Het Intergovernmental Panel on Climate Change is een organisatie van de Verenigde Naties die zich bezighoudt met het in kaart brengen van de risico's van klimaatverandering. Hierbij zijn honderden deskundigen uit diverse landen betrokken. Het IPCC doet zelf geen onderzoek, maar evalueert wetenschappelijk onderzoek op verschillende gebieden:</i> <ul style="list-style-type: none"> - waterbalans: het smelten van landijs en het uitzetten van zeewater: de 'thermische expansie' - ecosystemen: bedreiging van de biodiversiteit - kwetsbaarheid van kustgebieden: erosie en overstroming - landbouw en visserij: het effect op de productiviteit - industrie: de relatie met de versterking van het broeikas effect - gevaren voor de gezondheid <i>Om de vijf tot zes jaar verschijnt er een uitgebreid rapport dat grote invloed kan hebben op het milieubeleid van de deelnemende landen. In die rapporten zijn de verschillende scenario's van klimaatveranderingen uitgewerkt. Er zijn dus nog veel onzekerheden over de uitwerking van processen op de natuur. Maar de aantoonbare gevolgen (inleiding) zijn al zo groot dat wachten op meer definitieve resultaten van waarnemingen geen optie meer is. Er zullen nu maatregelen genomen moeten worden."</i> ²	47
<i>"Het KNMI heeft in 2014 de klimaatscenario's en de onderzoeksresultaten van het IPCC vertaald naar de situatie voor Nederland en uitgewerkt in vier klimaatscenario's. De uitgangspunten van de vier scenario's staan in figuur 3.14. Er wordt onderscheid gemaakt in de mate waarin de wereldwijde temperatuur stijgt (Gematigd (G) en Warm (W)) en de mogelijke verandering van het luchtstromingspatroon (Lage waarde (L) en Hoge waarde (H)). Op grond van deze uitgangspunten komt het KNMI met scenario's voor de temperatuur in figuur 3.15 en voor de neerslag in figuur 3.16. Terwijl de gemiddelde jaartemperatuur tussen 1980 en 2010 lag op 10,2 °C, zal die in 2050 en 2080 tussen de 11,2 en 13,9 °C zijn. De neerslag neemt in die periode toe van 887 tot 916 mm per jaar in het gunstigste geval tot 953 mm in het meest ongunstige geval. Volgens berekeningen van het KNMI zal de zeespiegel in Nederland in de toekomst stijgen met waarden tussen de 40 en 85 cm (figuur 3.11)"</i> ²	51
<i>"De Joodse kolonisten op de Westelijke Jordaanoever beschikken maar over een klein deel (6%) van de totale oppervlakte cultuurgrond in dit gebied. Maar hier worden negen van de tien hectaren landbouwgrond geïrrigeerd, terwijl dit bij de Palestijnen één op de veertig hectaren is. Die klagen steen en been over de waterschaarste en de in hun ogen onrechtvaardige verdeling van water. De Israëliëse Waterautoriteit zegt daarentegen dat de droogte in</i>	38

<p>de Palestijnse gebieden komt door klimaatverandering en slecht Palestijns leiderschap en stelt dat de rijkere onder hen zichzelf prima voorzien van voldoende water, ten koste van de kleine man.”¹</p>	
<p>“Verschillende belangen: Nationaal en regionaal zijn er verschillende groeperingen die elk een ander belang hebben bij klimaatverandering. Wat voor de een positief uitpakt, kan in dezelfde regio voor de ander negatieve gevolgen hebben. Een warmer klimaat betekent in het noorden van Europa meer groeikansen voor bossen, een positieve bijkomstigheid. Ook kunnen daar meer of andere landbouwgewassen geteeld worden. Maar de oude vegetatievormen en natuurgebieden zullen daardoor verdwijnen. Een warmer klimaat biedt in sommige gebieden kansen voor een verdere ontwikkeling van het toerisme. Maar voor het skitoerisme zijn hogere temperaturen juist nadelig. In de Alpen kan de sneeuwgrens hierdoor eind deze eeuw enkele honderden meters hoger liggen dan nu. Minder neerslag in de zomer kan voordelen hebben voor vakantiegangers. Maar bij droogte kunnen de scheepvaart en de elektriciteitscentrales juist last krijgen van een te lage waterstand van de rivieren. De centrales kunnen dan maar in beperkte mate koelwater lozen, omdat een teveel aan warm water.”²</p>	49
<p>“Verdrag van Kyoto: ...Het gemeenschappelijke doel was dat de uitstoot van schadelijke broeikasgassen in 2012 5,2% lager zou zijn dan in 1990. De afspraken uit het protocol gelden in principe voor alle sectoren in de economie die bijdragen aan het versterkte broeikas effect. Bijna alle landen ter wereld erkennen de noodzaak van emissiereducties van schadelijke broeikasgassen, maar het Verdrag van Kyoto is door sommige belangrijke vervuilers niet geratificeerd. De Verenigde Staten bijvoorbeeld hebben het verdrag wel ondertekend, maar zijn niet van plan dit te bekrachtigen. De Amerikaanse regering kiest liever voor eigen, beperkte maatregelen die gericht zijn op schone technologie bij het gebruik van fossiele brandstoffen en voor het gebruik van kernenergie. In 2012 besloot men het Kyoto-protocol te verlengen tot 2020. Een aanscherping in het verdrag is dat de uitstoot van CO₂ in 2020 wereldwijd 18% lager moet zijn dan in 1990. Dat men erkent dat de CO₂-uitstoot voornamelijk afkomstig is van de ontwikkelde landen, bleef van kracht. Maar China en India leveren door hun snelle economische ontwikkeling tegenwoordig een belangrijkere bijdrage aan het versterkte broeikas effect (figuur 4.1). Nieuwe afspraken voor na 2020 zijn dan ook van essentieel belang.”²</p>	57
<p>“Op klimaatconferenties kunnen de deelnemende landen niet altijd tot overeenstemming komen. De opgelegde maatregelen zorgen doorgaans voor veel politieke discussie. Dat leidt er dan soms toe dat conferenties beëindigd worden zonder een sluitend akkoord. De verwachtingen voor de klimaatconferentie in Parijs in 2015 waren dan ook hooggespannen (figuur 4.2). Voorafgaand aan deze klimaatop hadden veel landen voorstellen gedaan over de eigen aanpak voor vermindering van de CO₂-uitstoot (figuur 4.3). Zelfs de Verenigde Staten hebben in aanloop naar de klimaatconferentie in Parijs een akkoord gesloten, waarin afspraken zijn gemaakt voor CO₂-reducties. Op de klimaatop in Parijs zijn de volgende gemeenschappelijk afspraken gemaakt: Het verdrag treedt in werking wanneer het door ten minste 55 landen is geratificeerd. Een voorwaarde is dat deze landen samen verantwoordelijk zijn voor minimaal 55% van de schadelijke uitstoot van broeikasgassen.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rond 2050 moet er een evenwicht bereikt zijn tussen de schadelijke uitstoot van broeikasgassen en het vermogen van de natuur om deze gassen te absorberen. - De wereldwijde temperatuurstijging mag in 2100 maximaal 2 °C hoger zijn dan in de periode voor de Industriële Revolutie. Er wordt gestreefd naar een verschil van 1,5 °C. - Het klimaatbeleid van de afzonderlijke landen moet geëvalueerd worden. Iedere vijfjaar wordt gecontroleerd of de gemaakte afspraken gehaald worden. De eerste controle zal plaatsvinden in 2023. - Er komt een fonds dat vanaf 2020 tot 2025 jaarlijks \$ 100 miljard beschikbaar stelt aan arme landen om maatregelen te kunnen financieren. Dit punt is overigens niet bindend vastgelegd. - Er wordt geen duidelijk onderscheid meer gemaakt tussen de rijke industrielanden en de ontwikkelingslanden. Landen bepalen zelf de te verwachten inzet voor de vermindering in uitstoot van schadelijke broeikasgassen. Tot ieders verrassing hebben in de zomer van 2016 China (met een uitstoot van 20%), de V.S. (uitstoot 18%) én India (uitstoot van ruim 4%) het klimaatverdrag geratificeerd. De EU kon toen niet achterblijven en is vervolgens in de herfst van 2016 met het verdrag akkoord gegaan. Met meer dan 55 landen en meer dan 55% van de uitstoot is het verdrag dus sindsdien van kracht. Dat is ongekend snel en een mooie overwinning voor het milieu.”² 	58
<p>“Kritiek: Behalve de positieve reacties over het akkoord dat in Parijs bereikt is, zijn er ook kanttekeningen. Het klimaatverdrag dat in 2020 van start moet gaan, voorziet niet in harde sancties wanneer doelen niet gehaald worden. Er is weliswaar afgesproken dat landen elke vijfjaar hun eigen klimaatbeleid analyseren en bijstellen, maar transparantie en communicatie hierover is niet als verplichting vastgelegd. De opwarming van de aarde zorgt tegenwoordig regelmatig voor klimaatrampen zoals overstromingen, droogte en voedseltekorten. Wie opdraait voor de kosten van deze gevolgen door klimaatverandering, is nergens vastgelegd. Hierdoor wordt het klimaatprobleem grotendeels afgewenteld op de arme landen. Een derde punt van kritiek is het ontbreken van doelgerichte afspraken voor de lucht- en scheepvaartsector. Er is onvoldoende vastgelegd wie verantwoordelijk is voor de verhoogde CO₂-emissies van deze sectoren... Er zal een risicoanalyse gemaakt moeten worden van de gevolgen van klimaatverandering.”²</p>	58
<p>¹Arm & Rijk (Bulthuis et al., 2017e) ²Klimaatvraagstukken (Bulthuis et al., 2017a) ³Leefomgeving (Wonen in Nederland) (Bulthuis et al., 2017d) ⁴Systeem Aarde (Bulthuis et al., 2017b)</p>	

Appendix 4: Voorbeeld van selectie van bronteksten en bepalen van de reductie

1. In De Geo zijn na het lezen van alle methode teksten de volgende citaten (appendix 4a) geclassificeerd in de gevolgen, met als sub-selectie voedselzekerheid.
2. Na de classificatie is er bepaald of er een directe koppeling is gemaakt met global warming
 - a. Zo is in citaat a te zien dat de neerslagvariabiliteit wel genoemd wordt en dat er dus verschillen zijn in droogte er wordt echter niets gezegd over een temperatuurstijging
 - b. In citaat b is dit wel te zien in de woorden “de verandering van temperatuur”
 - c. In citaat c is te zien dat er gekoppeld wordt door de bewoording: “door de temperatuurstijging toeneemt”.
 - d. In citaat d staat duidelijk dat “de opwarming van de aarde zorgt voor” voedseltekorten.

Appendix 4a Citaten uit De Geo met betrekking tot de voedselzekerheid.	
	Citaat
a	<i>“Ook de ruimtelijke neerslagvariabiliteit doet ertoe. Op de ene plek kan het plenzen, terwijl de gewassen een paar kilometer verderop er verlept bij blijven staan.”</i> (Bulthuis et al., 2017e, p.23)
b	<i>“Opschuiven van zones: De verandering van temperatuur en neerslag zal gevolgen hebben voor het klimaat...Ook de mens zal zich moeten aanpassen, vooral in de manier van produceren in de landbouw. De landbouwzones met kenmerkende producten schuiven mee met de klimaatveranderingen. Waar gewassen vroeger wel konden groeien, zal dat misschien moeizamer worden. Waar het te koud was, ontstaan door klimaatverandering nieuwe landbouwmogelijkheden. Landbouwgrond kan onbruikbaar worden door verdrinking (overstroming).”</i> (Bulthuis et al., 2017a, p. 48)
c	<i>“Verdroging treedt op wanneer de neerslag in een gebied afneemt of wanneer de verdamping door de temperatuurstijging toeneemt. In het Middellandse Zeegebied zal het watertekort als gevolg van droogte, de toename van het waterverbruik in de toeristische industrie en het toepassen van irrigatie in de landbouw, toenemen. De kwaliteit van de bodem vermindert en er kan bodemdegradatie en ten slotte verwoestijning optreden (figuur 3.12). Zo gaat kostbare landbouwgrond verloren. Behalve voor de voedselvoorziening in de landen zelf kan dit ook nadelige gevolgen hebben voor de export van voedselgewassen.”</i> (Bulthuis et al., 2017a, p. 49)
d	<i>“De opwarming van de aarde zorgt tegenwoordig regelmatig voor klimaatrampen zoals overstromingen, droogte en voedseltekorten.”</i> (Bulthuis et al., 2017a, p. 58)

3. De meest brede omschrijving van de gevolgen van global warming voor de voedsel zekerheid is geselecteerd (citaat b). Vanwege het gebrek aan aanvullende informatie worden de andere citaten buiten beschouwing gelaten
4. Citaat b wordt beschouwd als de stand van de lesmethode De Geo op het gebied van gevolgen voor de voedselzekerheid en vergeleken met de stand van de wetenschap (appendix 4b)
5. De inhoud van de teksten wordt naast elkaar gehouden, waaruit het volgende duidelijk wordt:
 - a. De productiviteitsverandering zowel positief (“nieuwe mogelijkheden”) als negatief (“moeizamer”) wordt benoemd
 - b. Het verlies van landbouwareaal wordt genoemd: “Landbouwgrond kan onbruikbaar worden door verdrinking”
 - c. De gezondheidseffecten voor de veestapel zijn niet benoemd.

Appendix 4b Reductie van kennis in de lesmethode De Geo

Wetenschap	De voedselzekerheid zal afnemen vanwege verlies van de juiste klimaatomstandigheden. Dit is een groter risico voor mensen in het poolgebied of inheemse stammen die in een klein gebied landbouwbedrijven. Verder zal op mondiale schaal de productiviteit van de akkerbouw gemiddeld afnemen. Als gevolg hiervan zal ook de veeteelt productiviteit verliezen omdat de kwantiteit en kwantiteit van veevoer zal dalen. De gezondheidseffecten in de vorige alinea zijn ook van toepassing op de veestapel.	Reductie: -veestapel
Lesmethode	"Opschuiven van zones: De verandering van temperatuur en neerslag zal gevolgen hebben voor het klimaat...Ook de mens zal zich moeten aanpassen, vooral in de manier van produceren in de landbouw. De landbouwzones met kenmerkende producten schuiven mee met de klimaatveranderingen. Waar gewassen vroeger wel konden groeien, zal dat misschien moeizamer worden. Waar het te koud was, ontstaan door klimaatverandering nieuwe landbouw mogelijkheden. Landbouwgrond kan onbruikbaar worden door verdrinking (overstroming)." (Bulthuis et al., 2017a, p. 48)	Niet gereduceerd: -productiviteit -verlies landbouwgrond