



Universiteit Utrecht

Faculteit Geowetenschappen



**Oratie**

# Planten – de stille kracht in het klimaat

Friederike Wagner-Cremer





**Universiteit Utrecht**

## **Planten – De stille kracht in het klimaat**

Inaugurele rede in verkorte vorm uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar 'Palaeophysiology of plants in the context of environmental change' aan de faculteit Geowetenschappen van de Universiteit Utrecht, op 18 september 2013  
door Friederike Wagner-Cremer

## **COLOFON**

### **ISBN**

978 90 6266 337 8

### **Uitgave**

Universiteit Utrecht, 2013

### **Grafische verzorging**

C&M (8396) – Faculteit Geowetenschappen – Universiteit Utrecht

### **Druk**

Bergdrukkerij – Amersfoort – The Netherlands

### **Coverphoto**

Sunset over Chokoloskee Island, Everglades, Florida, one of the main research areas of the Palaeophysiology of plants group. (Own picture)

*Mijnheer de Rector Magnificus, beste collega's, studenten, lieve vrienden en familie.*

## **I Inleiding**

Met groot genoegen wil ik gebruik maken van deze gelegenheid u bekend te maken met mijn vakgebied, de Palaeofysiologie van Planten, waarvoor ik aan de faculteit Geowetenschappen per 1 januari een leeropdracht heb gekregen.

Iedereen in deze zaal, en bijna iedereen daarbuiten denkt weleens aan planten en weleens aan het klimaat. Velen, maar lang niet allen denken ook weleens tegelijkertijd aan planten en klimaat. Als de aardbeien in de tuin het niet willen doen omdat het voorjaar zo koud is, of als je dagelijks de geraniums op de vensterbank water moeten geven omdat de zomer zo heet is.

Sommigen denken weleens dat er een verband bestaat tussen het plantenkleed en het klimaat van deze mooie planeet. En sommigen denken weleens dat planten zelfs invloed op hun leefomgeving en zelfs op het klimaat kunnen nemen. Tot deze laatste groep behoor ik, en ik hoop dat ik in het komende academisch uurtje velen van u ertoe kan brengen om planten te zien als de stille kracht in het klimaat te denken.

De geschiedenis van planten op onze planeet is lang. Al in de Siluur-periode, 440 miljoen jaar geleden, ontwikkelde zich de eerste vegetatie op het tot die tijd woestijnachtige land. De eerste planten waren nog klein en eenvoudig, maar toch hadden ze toen al de belangrijkste kenmerken van vaatplanten zoals vandaag onze aardbeien of geraniums, ook al was er nog lang geen sprake van bloemplanten.

Een van de meest belangrijke stappen bij de verovering van het vaste land was de ontwikkeling van de cuticula. Dit plastic-achtige laagje beschermt de planten, die nu aan de lucht en de zon blootgesteld waren voor uitdroging en verbranding door UV-straling. Om de noodzakelijke uitwisseling van gassen tussen plant en atmosfeer mogelijk te maken, beschikken landplanten vanaf het begin over huidmondjes, de zo genoemde stomata. Via deze microscopisch kleine poriën worden de opname van CO<sub>2</sub> en het verlies van waterdamp in een optimaal evenwicht gebracht. Deze stomata – hun karakteristieke morfologie en de fysiologische eigenschappen – staan in het centrum van de onderzoekslijn 'Palaeofysiologie van Planten', en ik zal hier nog uitgebreid op terugkomen.

## 1.1 Planten en klimaat in het verleden

Met de eerste begroeiing van het vaste land, een gigantisch moment van overwinning in de evolutie, begon ook de tijd van de landplanten als stille kracht in het klimaat. Planten, als primaire producenten, zijn in staat om via fotosynthese atmosferisch CO<sub>2</sub> en water met behulp van zonne-energie om te zetten in suikers en zuurstof. Ze zijn dus in staat om letterlijk uit licht en lucht biomassa te produceren en leveren ook nog de voor ons zo belangrijke zuurstof gratis erbij.

CO<sub>2</sub>, het beruchte broeikasgas dat ik later nog vaak zal noemen, was in de begintijd van de terrestrische vegetatie ruimschoots aanwezig in de atmosfeer. Er zijn schattingen dat in het vroege Paleozoïcum het atmosferische CO<sub>2</sub> gehalte ruim 16 keer zo hoog was als vandaag (Figuur 1).

Met de explosie-achtige ontwikkeling van landplanten, die steeds groter werden, en bladeren en hout ontwikkelden, was de vegetatie in staat om ongelofelijke hoeveelheden CO<sub>2</sub> aan de atmosfeer te onttrekken en in biomassa om te zetten.

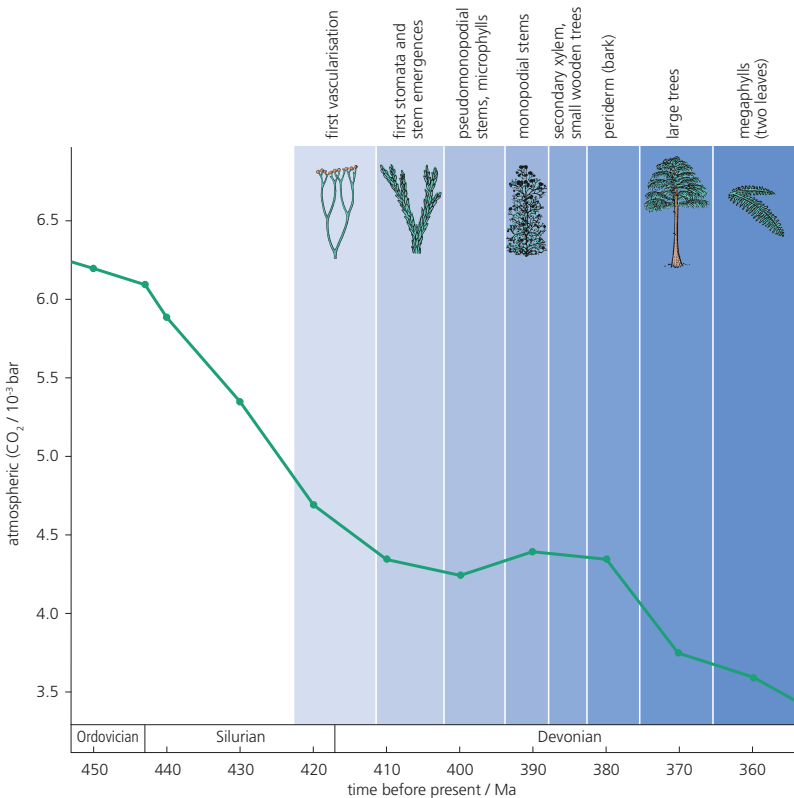
Deze ontwikkeling speelde zich vooral af in het Carboon, de geologische periode welke niet voor niets genoemd is naar de koolstof die ruim 300 miljoen jaar geleden op de continenten werd opgeslagen. De wereld van toen kende gigantische varens, boomachtige paardenstaarten en reuze wolfsklauwen die tot liefst 20-30 meter hoog konden groeien. Na hun afsterven werden de resten begraven en gefossiliseerd in gigantische moerasgebieden. Grotendeels met dank aan de vegetatie, was het CO<sub>2</sub> gehalte van de atmosfeer tijdens het Carboon dan ook al even laag als vandaag.

Het Carboon is lang geleden, maar speelt toch een hoofdrol in ons dagelijks leven. Ik ben geboren en getogen in het Ruhrgebied, dat nog steeds beroemd berucht is om zijn geschiedenis als mijnbouwgebied. Evenals vroeger in Zuid-Limburg, wordt in het Ruhrgebied steenkool gewonnen die ontstaan is uit de moerasbossen van het Carboon. En deze steenkool is nog steeds een hoofdenergieleverancier voor onze economie.

Maar juist deze steenkool is ook een hoofdleverancier van het broeikasgas CO<sub>2</sub>, dat zo'n belangrijke rol speelt in de huidige mondiale opwarming van de aarde.

## 1.2 De mondiale opwarming van de aarde

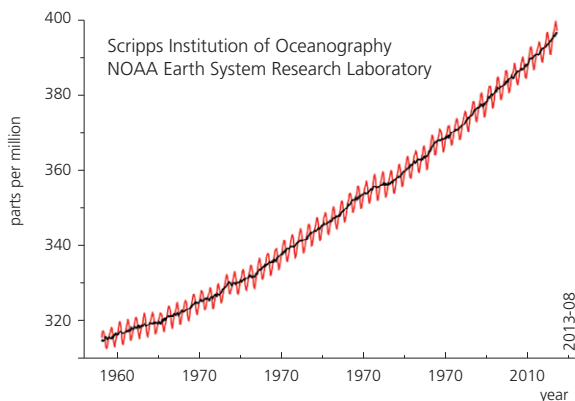
Sinds het begin van de industrialisering gebruiken wij fossiele brandstoffen om energie te produceren. Bij dit proces komt het CO<sub>2</sub> weer vrij en wordt aan de atmosfeer toegevoegd.



Figuur 1: Major innovations in land plant architecture with respect to the atmospheric CO<sub>2</sub> level during the Ordovician to the Devonian (1).

Dit proces heeft gedurende de laatste 150 jaar tot een stijging van meer dan 30% gezorgd (Figuur 2). De CO<sub>2</sub>-concentratie is van 280 ppmv continu gestegen en zal in 2013 de 400 ppmv waarde overschrijden.

CO<sub>2</sub> in de atmosfeer houdt de uitstraling van aardwarmte tegen en veroorzaakt daarmee een opwarming van de aardoppervlakte. Dit is op zich niet nadelig. Immers, zonder CO<sub>2</sub> zou de gemiddelde temperatuur op aarde rond -17 graden Celsius zijn. Wel zorgelijk



Figuur 2: *Monthly mean atmospheric carbon dioxide at Mauna Loa Observatory, Hawaii since 1958. The carbon dioxide data (red curve) on Mauna Loa constitute the longest record of direct measurements of CO<sub>2</sub> in the atmosphere. The black curve represents the seasonally corrected data. The 400 ppmv level will most likely be reached this year (from NOAA at [www.esrl.noaa.gov](http://www.esrl.noaa.gov)).*

is echter de snelheid en de sterkte van de CO<sub>2</sub>-toename die door de mens veroorzaakt wordt.

De mogelijke consequenties van de door de mens veroorzaakte klimaatsverandering vormen momenteel een van de belangrijkste aandachtsvelden van het internationale wetenschappelijk onderzoek. Voorspeld zijn ondermeer een mondiale toename van de temperatuur, zeespiegelstijging, afsmelten van de ijskappen. Deze veranderingen zullen grote gevolgen hebben voor de ecosystemen op aarde, en daarmee ook voor de mens, onze samenleving en de economie.

Met de grootst mogelijke inzet wordt aan modellen gewerkt, die tot een nauwkeurige kwantificatie en beschrijving van de toekomstige ontwikkelingen moeten leiden. Een van de voornaamste belemmeringen hierbij is het gebrek aan inzicht over de natuurlijke dynamiek van ons klimaatstelsel en de interacties tussen de atmosfeer, biosfeer en hydrosfeer.

Een belangrijke bron van informatie waarop klimaatmodellen zijn gebaseerd, wordt gevormd door instrumentele meetreeksen van temperatuur en neerslag. Dergelijke datareeksen zijn bijzonder waardevol en accuraat, maar gaan in de regel slechts enkele decennia terug. Historische bronnen zoals bij voorbeeld de beschrijving van stormen in oude scheepslogboeken, bieden soms nauwkeurige informatie over de afgelopen eeuwen. Maar willen we nog dieper in het verleden kijken, en daarmee een groter tijdsvenster



openen om de natuurlijke klimaatveranderingen te kunnen begrijpen, moeten we met indirecte methodieken werken. Dit is het werkgebied van de palaeoklimatologie, de kunst van het reconstrueren van het klimaat in het verleden met behulp van fysische, chemische en biologische signalen die in sedimenten terug te vinden zijn. Mijn vakgebied, de 'Palaeofysiologie van Planten' maakt hierbij gebruik van, zoals de naam al suggereert, fossiele plantenresten die bewaard zijn gebleven in veen- en meerafzettingen in continentale gebieden.

## 2 Onderzoekslijn ‘Palaeofysiologie van Planten’

2.1 In de onderzoekslijn ‘Palaeofysiologie van Planten’ staat centraal dat planten zich kunnen aanpassen aan veranderingen in de fysische eigenschappen van hun leefomgeving. Als meest belangrijk zijn daarbij te noemen:

1. Atmosferische CO<sub>2</sub> concentratie
2. Temperatuur en groeiseizoen
3. Droogte stress en neerslag

Veranderingen in deze klimaatrelevante parameters leiden veelal tot aanpassing van de morfologie en anatomie van de cellen die de bladeren opbouwen. En deze morfologisch – anatomische aanpassingen vinden we terug in fossiele bladresten. Lukt het om een dergelijks signaal te toetsen en te kwantificeren, kunnen we uitspraken doen over de leefomgeving van de planten, het klimaat en de variabiliteit ervan in het verleden.

Dit verband tussen planten en klimaat in het heden en verleden bepaald mijn visie voor de onderzoekslijn ‘Palaeofysiologie van Planten’:

Een accurate bepaling van de passieve en actieve rol van de vegetatie in milieuveranderingen door de synergetische combinatie van biologische en geowetenschappelijke inzichten

### 2.2 De aanpassing van planten aan veranderingen in het milieu

Ik zal u nu een overzicht geven van de verschillende deelaspecten binnen de onderzoekslijn.

#### 2.2.1 Atmosferische CO<sub>2</sub> concentratie

Ik wil beginnen met CO<sub>2</sub>, de fundamentele grondstof voor fotosynthese. Zoals eerder gezegd, vindt de complete gaswisseling van planten plaats via de stomata op de oppervlakte van de bladeren. De opname van CO<sub>2</sub> en het verlies van waterdamp kan door de planten gedurende de dag actief worden gereguleerd door de stomata te openen en te sluiten. Zo kan bij voorbeeld overmatig waterverlies tijdens de middaghitte voorkomen worden.

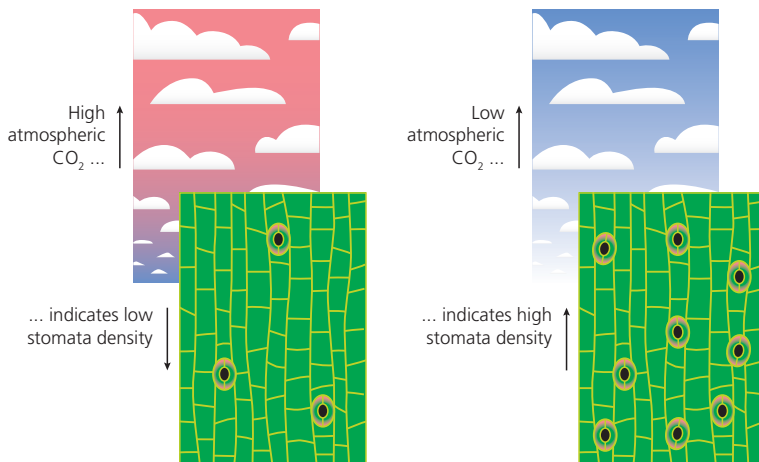
Op langere termijn, van bladgeneratie tot bladgeneratie, zijn planten eveneens in staat om hun metabolisme aan te passen aan geleidelijke veranderingen, zoals de continue

toename van het atmosferisch CO<sub>2</sub>-gehalte. Hiervoor wordt de totale hoeveelheid en de grote van de stomata op de bladoppervlakte aangepast.

Deze structurele aanpassing aan CO<sub>2</sub> werd voor het eerst in 1987 door de plantenfysioloog Ian Woodward uit Sheffield in het tijdschrift 'Nature' getoond (2). Ian Woodward had aan de hand van groei-experimenten en herbariummateriaal vastgesteld dat er een negatieve correlatie bestaat tussen de zogenoemde stomatale dichtheid en de CO<sub>2</sub>-concentratie (Figuur 3).

Deze structurele aanpassing van de bladmorfologie is ook terug te vinden in fossiel bladmateriaal, waar de hoeveelheid en form van de stomata zich exact weerspiegelt in de vaak goed-bewaarde cuticula.

In een heel simpele bewoording kan dus geconstateerd worden dat bij een hoge CO<sub>2</sub>-concentratie in de lucht veel plantensoorten minder stomata aanmaken dan lage CO<sub>2</sub>-waarden. Dit principe houdt stand onder de huidige CO<sub>2</sub>-toename, maar is ook geldig voor CO<sub>2</sub>-schommelingen in het verleden die gepaard gaan met natuurlijke klimaatveranderingen. Door systematisch onderzoek naar stomatale dichtheid bij fossiel bladmateriaal kunnen wij vervolgens uitspraken doen over de atmosferische CO<sub>2</sub>-gehalte in het verleden.



Figuur 3: *Relation between atmospheric CO<sub>2</sub> concentration and stomatal frequency* (<http://evolution.berkeley.edu>).

Het meest bekende archief voor vroegere CO<sub>2</sub>-concentraties wordt gevormd door luchtbelletjes die ingesloten zijn in het landijs van Antarctica. De CO<sub>2</sub>-profielen die hier gemeten zijn gelden als standaard voor informatie over de CO<sub>2</sub>-dynamiek, en waren de eerste datareeksen die de parallele ontwikkeling van temperatuur en CO<sub>2</sub> over de glaciaal – interglaciaal cycli van de laatste 900.000 jaar hebben aangetoond.

Ondanks de hoge betrouwbaarheid van de ijskerndata op langere tijdschalen, is het moeilijk om met deze methodiek ook de kortdurende schommelingen terug te vinden die de klimaatgeschiedenis accentueren. Maar juist snelle klimaatveranderingen die binnen enkele decaden of eeuwen plaats vinden, zijn voor ons bijzonder belangrijk.

Hier kan de palaeofysiologie een relevante bijdrage leveren. In fossiele bladeren zijn de CO<sub>2</sub>-signalen van het jaar van groei bewaard gebleven. Dus als we met een hoge tijdsresolutie bladresten analyseren uit veen- en meerafzettingen, zijn wij in staat om deze kortdurende schommelingen te herkennen (Figuur. 4).

Mijn specifieke aandachtsveld ligt hierbij op de korte periodes van afkoeling die bekend zijn uit het Holocene, de relatief warme fase die volgde op de laatste ijstijd en waarin wij vandaag nog steeds leven.

Er is nog steeds een redelijk felle discussie over het verband tussen temperatuur en CO<sub>2</sub> op deze korte tijd schalen (4,5,6). De afwezigheid van fluctuaties in de ijskerndata over de laatste 10.000 jaar duidt op een stabiel systeem. Onze waarnemingen wijzen echter op een dynamische koppeling tussen CO<sub>2</sub> en temperatuur ook bij korte klimaatsveranderingen.

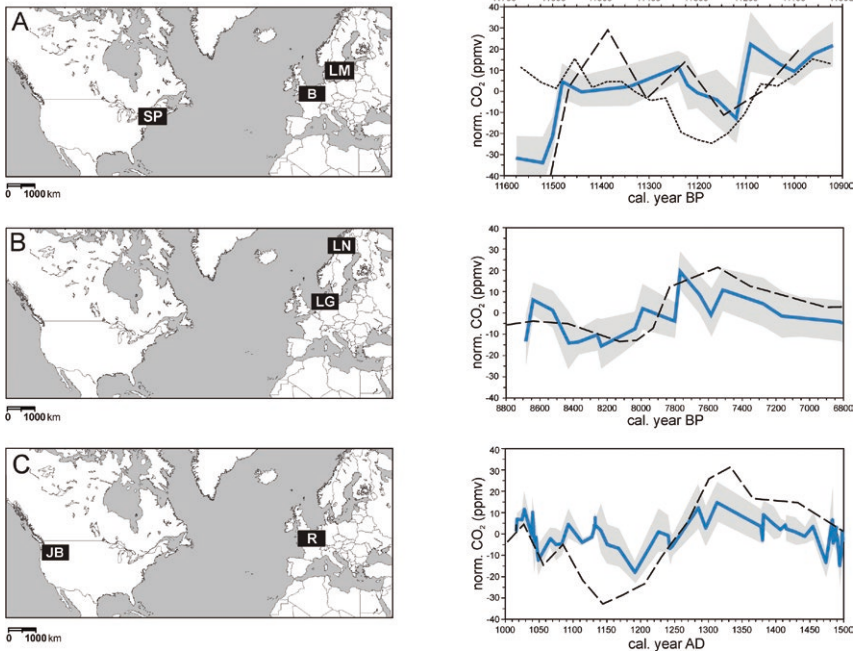
Deze discussie is niet alleen relevant op puur academisch niveau, maar bepaald in grote mate de uitkomsten van voorspellingen voor de klimaatontwikkeling in de toekomst, waarin vooral antropogeen CO<sub>2</sub> de bepalende factor is.

Het doel van ons huidig onderzoek is om de nauwkeurigheid van de geconstateerde veranderingen op korte tijdschalen te verbeteren. Ook passen we deze methodiek op grote geografische gebieden toe om de gegevens op zo veel mogelijke plaatsen te reproduceren. Maar ook bij de analyse van ijskernen houdt men steeds meer rekening met mogelijke bronnen van onzekerheid in de meetreeksen (7). Het begint er langzaam op te lijken dat de contrasterende methodieken elkaar aanvullen om samen uiteindelijk een betrouwbaar beeld van de natuurlijke CO<sub>2</sub>-dynamiek te geven.

### *2.2.2 Temperatuur en groeiseizoen*

Er wordt veel gediscuteerd over de opwarming van de aarde, maar voelen wij er eigenlijk al iets van? Het antwoord hierop is niet eenvoudig. Maar als we al een uitspraak willen doen, dan zouden we kunnen stellen: de opwarming van de aarde gebeurt gedurende de lente!

We weten dat opwarming niet over de gehele wereld gelijkmatig plaatsvindt. Vooral op hoge breedten op het noordelijke halfrond zijn de effecten van een warmer klimaat al



Figuur 4: Stomatal frequency based atmospheric  $\text{CO}_2$  reconstructions for three short-term cool pulses during the Holocene. A: Preboreal Oscillation, reproduced on three different localities. B: The 8.2 kyr cool pulse, reproduced on two localities. C: the period around the onset of the Little Ice Age, reproduced on two localities. Blue lines are own reconstructions, black lines are additional published records (3).

duidelijk merkbaar. Voor de Arctische gebieden zijn voorspellingen van meer dan 8 graden Celsius opwarming tot het eind van deze eeuw niet ongebruikelijk. Op lagere breedten, bij voorbeeld in de tropische gebieden, zal de gemiddelde temperatuur duidelijk minder sterk toenemen.

Maar niet alleen het geografische patroon van temperatuurveranderingen is complex, ook gedurende de loop van een enkel jaar lijken er veranderingen plaats te vinden. In het in 2007 uitgebrachte bericht van het IPCC, het 'Intergovernmental Panel of Climate Change', is gesteld dat een met behulp van satellieten waargenomen vervroegd groeibegin van de vegetatie in de noordelijke gebieden 'likely' – dus waarschijnlijk – terug te voeren is op de huidige opwarming als gevolg van de antropogene  $\text{CO}_2$ -verhoging

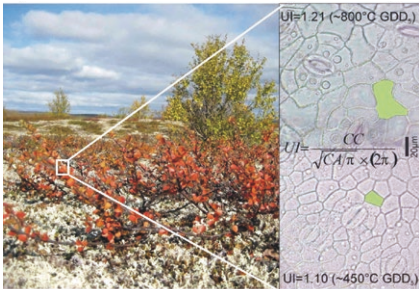
(8). De term ‘likely’ is bij het IPCC gelijk aan een kans van meer dan >66%; geen ander klimaatrelevante parameter heeft een dermate hoge score.

Het begin van bladgroei is dát moment in een jaar, dat bepalend is voor het begin van het voorjaar en de lengte van het groeiseizoen. Phenologische observaties gedurende de laatste decennia tonen aan dat het voorjaar tot 10 dagen per decade eerder begint, zeker in de sub-Arctische gebieden.

De progressie van het begin van de lente is dan misschien dit jaar niet bepaald duidelijk te voelen geweest. Zoals u zeker nog weet begon in 2013 de bladgroei in grote delen van noordwest Europa circa een maand later dan normaal. Maar ook dit hoort bij de huidige klimaatsverandering. Extremen komen vaker voor en worden en sterker.

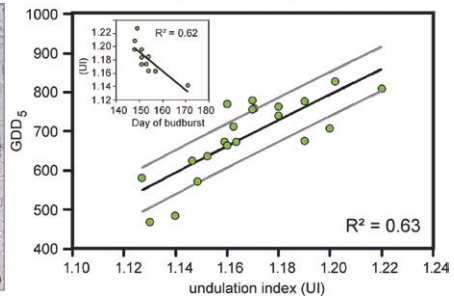
De lengte van het groeiseizoen is een uitermate belangrijke parameter in ons klimaatsysteem. Veranderingen hebben diepgaande consequenties voor ecosystemen en samenleving. Het is dan ook van groot belang om de dynamiek van het groeiseizoen beter te begrijpen. In een nieuwe aanpak proberen we nu de temperaturen gedurende het groeiseizoen en het moment van bladontplooiing te reconstrueren aan de hand van recente bladeren uit sub-Arctische gebieden (Figuur 5) (9). Dit is gelukt, en we zijn nu in staat om ook uit fossiel bladmateriaal specifieke informatie te genereren over

a. subarctic *Betula nana*



b. cuticle analysis

c. modern training set for GDD<sub>5</sub> inference model



Figuur 5: Growing season signals in *Betula nana* cuticles. a) typical subarctic vegetation canopy with *Betula* as dominant woody element. b) Quantification of thermal growing season properties depending lateral cell expansion and cell wall sinuosity in *B. nana* expressed as Undulation Index (UI). c) correlation between UI in modern and sub-fossil *B. nana* leaves and measured may – august thermal sums (GDD<sub>5</sub>) and phenological records of day of budburst at Kevo (inset, annually collected leaves only).

de veranderingen van de voorjaarstemperatuur gedurende het voorjaar tijdens snelle klimaatwisselingen.

In een studie aan *Betula nana* bladresten uit meerafzettingen in Zuid-Duitsland konden we aantonen dat aan het eind van de laatste ijstijd het begin van het voorjaar, uitgedrukt als het moment van blad ontplooiing pas rond 20 juni plaats vond (10). Momenteel beginnen de berken gemiddeld op 10 april groen te worden, dus liefst drie maanden eerder dan toen.

Onze palaeobotanische aanpak is uniek, aangezien de meeste andere temperatuurproxies zomertemperaturen kwantificeren. Maar zoals gezegd, ligt het momentum van huidige temperatuurstijging op het voorjaar. En juist dit specifieke tijdinterval kunnen wij nu voor het eerst in de continentale gebieden van het noordelijke halfrond kwantificeren.

### 2.2.3 Neerslag en droogte

Water is uiteraard eveneens een belangrijke factor die de groei van planten beïnvloedt. De waterbeschikbaarheid is direct afhankelijk van de neerslag. Bijzonder belangrijk is hierbij de precipitatie die de vegetatie gedurende het groeiseizoen ontvangt. Ons klimaatstelsel wordt gekenmerkt door het bestaan van grootschalige weersystemen die wereldwijd de hoeveelheid neerslag bepalen. Verreweg de meeste invloed heeft het ENSO systeem – het El Niño – Southern Oscillation system – in de zuidelijke Pacific. Het El Niño systeem is gekenmerkt door een sterke koppeling tussen atmosferische en oceanische stromingen, die zich met enige regelmaat tussen de 2 en 7 jaar tot extremen opbouwen. Het meest bekend zijn de El Niño jaren, waarin het verzwakken van de atmosferische en oceanische circulatie leidt tot het wegvallen van de opwelling van koud- en nutriënten-rijk water langs de westkust van Zuid-Amerika leid. Gedurende El Niños blijft de vis weg en komt de visserij, de belangrijkste bron van inkomsten in dit gebied, tot stilstand met enorme economische crisis als gevolg. De ecosystemen worden zwaar verstoord, vogel- en robbenkolonies verliezen hun complete nakomelingschap. Het wereldwijde economische verlies door deze extreme weersituatie in 1982/3, die allen enkele maanden duurde, wordt geschat op meer dan 8 miljard dollar.

De tegenovergestelde situatie, de zogenoemde La Niña, veroorzaakte in vier opeenvolgende jaren tussen 1998 en 2001 een ongekende droogte in grote delen van het noordelijk halfrond.

Het bijzondere aan het ENSO systeem is dan ook de aanwezigheid van teleconnecties die het weer in gebieden ver weg van de Zuidelijke Pacific ingrijpend beïnvloeden.

Het wordt verwacht dat de extremen van dit systeem, met alle ecologische en economische consequenties, in toekomst sterker en vaker zullen optreden. Ondanks grootschalig onderzoek naar ENSO, blijft de voorspelling van de extremen zeer moeilijk.

Ook hier geldt dat, willen we komen tot een beter begrip van de systemen en de inherente dynamiek ervan, er onderzoek moet worden verricht op langere tijdschalen dan alleen het instrumentele tijdsperk.

Hierop concentreert zich ons onderzoek in Florida en het Golf van Mexico gebied. In Florida bepaald de sterke teleconnectie met ENSO de winterneerslag. El Niño jaren zijn doorgaans nat en koud, terwijl gedurende La Niña jaren geen neerslag in de winter en voorjaarsmaanden valt en de temperatuur boven het gemiddelde ligt.

Maar juist de neerslag in de periode tussen november en april stuurt de waterbeschikbaarheid voor de vegetatie in Florida. Met behulp van bladmorfologisch onderzoek en pollenanalyses van veenafzettingen in Zuid-Florida, konden we aantonen dat de bladgroei van moerasplanten een duidelijk beeld laat zien van de droge La Niña jaren gedurende de laatste 200 jaar toont (11). Parallel onderzoek naar de vegetatiedynamica met behulp van pollenanalyses liet voor het eerst zien, dat de stabilisatie van het ENSO systeem in zijn huidige modus, rond 3000 jaar geleden, ook verantwoordelijk was voor het inzetten van de winterneerslag in Florida (12). Dit leidde vervolgens tot de ontwikkeling van de moerassen in Zuid-Florida, die vandaag bekend staan als de Everglades. De nieuw-ontwikkelde palaeobotanische methodieken om de ENSO- dynamiek te reconstrueren worden op dit moment toegepast op fossiel bladmaterial afkomstig uit Mexico, in een veelbelovende samenwerking tussen de leerstoelgroepen binnen Fysisch Geografie.

Voortbouwend op dit soort onderzoek, dat met een VENI en VIDI beurs gesubsidieerd werd, hebben we een verdere stap genomen en zijn in een multidisciplinair project naar de mogelijke invloed van de Holocene weercondities in het Golf van Mexico gebied op de frequentie van hurricanes gaan kijken. In dit High Potential project, uitgevoerd samen met Geert-Jan Reichart van de Organische Geochemie groep en Stefan Dekker van het Copernicus Instituut, is het gelukt om de marine en de terrestrische onderzoekslin aan elkaar te koppelen en een data onderbouwde modelmatige validatie en interpretatie van de resultaten toe te voegen.

De uitkomsten van deze shared effort zijn dusdanig goed ontvangen, dat onze drie UU-groepen samen inmiddels internationaal, en vooral in Amerika, als expert team voor onderzoek naar klimaatsveranderingen in Florida erkenning hebben gevonden. En dat kan geen kwaad, want er zijn slechtere veldwerkbestemmingen dan Florida in de winter!

### 2.3 Vegetatie gestuurde veranderingen in het klimaat

Het gemeenschappelijk onderzoek naar de relatie tussen de vegetatie in Florida en de hydrologie van dit gebied heeft weer een nieuw aspect aan de onderzoekslin



'Palaeofysiologie van Planten' toegevoegd. In de afgelopen jaren is het steeds duidelijker geworden, dat het toenemende CO<sub>2</sub>-gehalte van de atmosfeer en de daaraan verbonden afname van stomata op bladeren consequenties heeft voor de hydrologische cyclus.

Hierbij moeten we bedenken, dat een groot deel van de neerslag die op het land terecht komt via de vegetatie als waterdamp naar de atmosfeer terug gevoerd wordt. De transpiratie van planten zorgt, net als bij ons, voor verkoeling. Neemt de transpiratie van de vegetatie af, dan valt dit verkoelende mechanisme weg en neemt de lokale temperatuur toe. Dit proces staat bekend als 'physiological CO<sub>2</sub>-forcing of the climate' en verloopt parallel aan het 'CO<sub>2</sub>-forcing of the climate' *sensu stricto*.

Hoewel de vegetatiecomponent in de hydrologische kringloop belangrijk is en de invloed van veranderingen in de vegetatie op temperatuur, neerslag en fluviaal waterafvoer veelvuldig is bestudeerd, heeft de koppeling tussen planten en CO<sub>2</sub>-veranderingen in de hydrologische kringloop tot nu toe nog weinig aandacht gekregen.

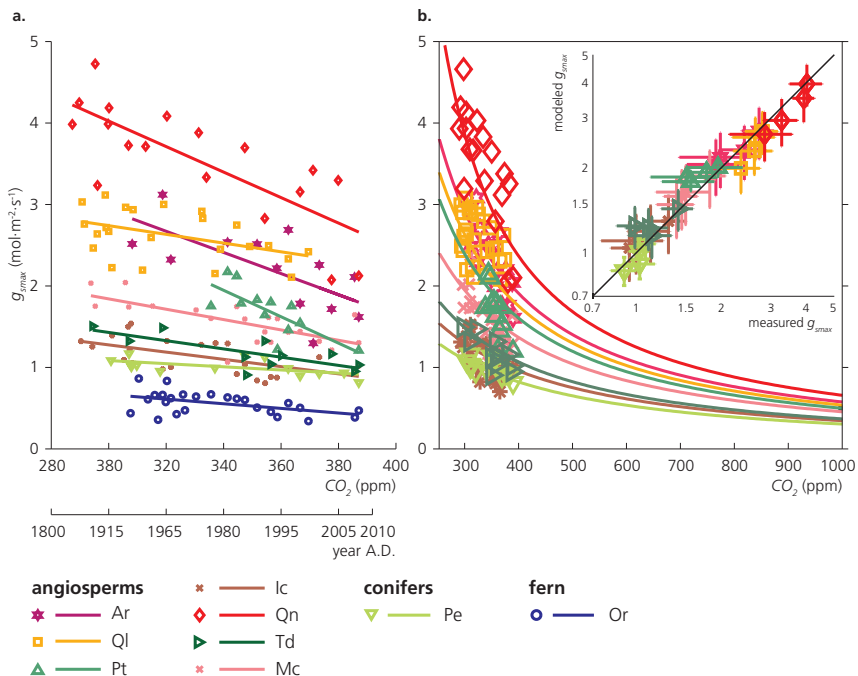
Op dit verband richt zich ons nieuwe onderzoek, waarbij we proberen om uit de structurele afname van de hoeveelheid stomata, zoals gemeten aan bladeren die gedurende de afgelopen 150 jaar groeiden, de verandering in verdamping te berekenen.

Uit een studie aan een moerasbos in Florida is gebleken, dat alle onderzochte soorten loofbomen, coniferen en varens sinds het begin van de industriële CO<sub>2</sub>-toename gemiddeld 30% minder water verdampen dan 150 jaar geleden (Figuur 6) (13).

Inmiddels hebben wij deze aanpassing aan de industriële CO<sub>2</sub>-toename ook aangetoond voor subarctische en boreale ecosystemen. Steeds meer gegevens duiden op een patroon dat in alle vegetatietypes en klimaatzones terug te vinden is. De bevestiging hiervan behoort tot mijn huidige onderzoek speerpunten.

Maar wat zal dit voor consequenties hebben bij een toekomstige verhoging van CO<sub>2</sub>? Zal de afname van transpiratie oneindig doorgaan, of bereikt de aanpassing van de planten op een gegeven moment een drempelwaarde waarbij de reactie tot stilstand komt?

Om deze vragen te beantwoorden zijn we begonnen om de responslimieten via modellen te benaderen. De resultaten van dit onderzoek geven aan, dat de vegetatie nog zeker tot een CO<sub>2</sub> niveau van rond de 800 ppmv, dus een verdere verdubbeling van het atmosferisch CO<sub>2</sub>-gehalte ten opzichte van vandaag, zal blijven reageren (Figuur 6) (14). De verdamping van water door de vegetatie zal deze eeuw met nog eens 40% omlaag kunnen gaan. Dit soort scenario's kunnen uitermate dramatische veranderingen in lokale neerslagpatronen, temperatuur en grondwaterhuishouding met zich meebrengen. In klimaatmodellen is de door de structurele aanpassing van planten veroorzaakte transpiratie-afname, tot nu toe niet of nauwelijks in deze gekwantificeerde vorm opgenomen.



Figuur 6: maximum stomatal conductance changes determined from stomatal properties of leaf material from Florida over the anthropogenic  $\text{CO}_2$  increase and modelled further reduction of  $g_{\text{max}}$  under future  $\text{CO}_2$  increase (13, 15; for abbreviated species names see refs).

#### 2.4 'Palaeofysiologie van Planten' in de praktijk: De brug van Biologie naar Geowetenschappen

Ik denk dat ik mijzelf als GeoBioloog mag classificeren. Begonnen ben ik met crinoiden-biostratigrafie in het Onder-Devoon van het Sauerland en het vervolgens naar dino-flagellaten uit de Krijt van het Thetysgebied in Frankrijk gekeken en daarmee mijn Geologie Diploma gehaald.

Voor mijn proefschrift ben ik daarna blaadjes uit Holocene veenafzettingen in Drenthe en de Peel gaan onderzoeken.

Tegen die tijd begonnen mijn geologie–studiegenoten grapjes te maken. Mijn werkgebied werd steeds jonger en mijn fossielen steeds minder fossiel. Toen ik dan ook nog studies aan recente berkenbomen ging uitvoeren, was ik volgens hen de eerste palaeontoloog die zijn fossielen zelfs dood moest maken!

Vrienden, ik kan jullie vertellen dat het nog erger wordt, want voortaan ga ik mijn fossielen eerst zelfs kweken voordat ik ze om zeep help!

Waarom zal ik dat willen doen, en wat denk ik hiermee te kunnen bereiken?

Zoals de titel van deze toespraak al zegt, zijn planten een stille kracht in het klimaat. Dit impliceert dat, willen wij deze kracht begrijpen, we moeten leren luisteren naar de signalen die de plantenwereld ons geeft. Dit kan niet door alleen de cuticula van fossiele planten te bestuderen. We zien hier veranderingen, maar hun oorzaak is niet direct herkenbaar. Om de veranderingen nauwkeurig aan een bepaalde parameter te kunnen koppelen en te kunnen kwantificeren, hebben we de mogelijkheid om planten in het veld te observeren of onder gecontroleerde omstandigheden te laten groeien. Van beide opties maakt de ‘Palaeofysiologie van Planten’ gebruik, waarbij we een biologische component aan de traditionele geologische reeks van sub-fossiel naar fossiel toevoegen: het protofossiel – zelfs gekweekt en tot fossiel verklaart.

De aanpassing van planten op veranderingen in het milieu vindt in vele gevallen plaats met elke nieuwe bladgeneratie. Dit betekent voor ons, dat we veel profijt hebben van continue monitoring van planten in het veld. Dit soort long-term monitoring voeren we bij voorbeeld uit in Florida, in Noord-Finland en ook in de Peel. Voor deze locaties beschikken we inmiddels over data over meer dan 20 jaar, dat wil zeggen over een periode met meer dan 50 ppmv CO<sub>2</sub> toename.



Figuur 7: *Study material in various fossilization stages. Fossil: used for palaeoreconstructions, sub-fossil used for calibration against historical and instrumental meteorological data, 'proto-fossil' from controlled physiological growth experiments used for signal testing and validation.*

Verder bieden sub-fossiele blad accumulaties en herbariumcollecties een uitstekende bron van historisch bladmateriaal uit de afgelopen twee eeuwen. De analyse van dit soort materiaal is uitermate geschikt om onze kalibratie-datasets op te bouwen, die het mogelijk maken om tot een nauwkeurige kwantificatie van de signalen uit fossiel materiaal te komen.

Willen we onderzoek naar specifieke variabelen en hun invloed op de bladontwikkeling bestuderen, maken we gebruik van groei-experimenten.

Veldexperimenten zoals bij voorbeeld bemestingsexperimenten in Noord-Finland helpen ons om het specifieke effect van toenemende stikstof-fertilisatie op bladeren te bepalen. Zijn onze interpretaties van fossiel bladmateriaal werkelijk één op één vergelijkbaar met wat we zien bij de huidige plantengroei? Een belangrijke vraag omdat intensieve landbouw wereldwijd het stikstofgehalte van de bodems verhoogt.

Sinds enkele jaren, en in steeds grotere mate, maken wij ook gebruik van plantenfysiologische kasexperimenten. Een unieke groeifaciliteit aan de Universiteit Utrecht, het Fytotron, is speciaal ontworpen om planten onder verschillende CO<sub>2</sub>-concentraties te laten groeien waarbij de optie voor laag CO<sub>2</sub> heel bijzonder in Europa is. Hier hebben we de mogelijkheid om het functioneren van planten onder lage CO<sub>2</sub>-omstandigheden te bestuderen zoals deze ook voorkwamen gedurende de glaciële periodes. Samen met experimenten onder huidig CO<sub>2</sub> en toekomstig verhoogd CO<sub>2</sub>, kunnen we informatie genereren die een maximaal CO<sub>2</sub>-regime bestrijkt. Dergelijke ranges kunnen vervolgens weer gebruikt worden om bij voorbeeld de uitkomsten van onze modellen te toetsen en valideren, zoals de berekende ontwikkeling van de transpiratiewaardes in de toekomst.

Deze actuo-biologische toetsing van signalen in fossiele bladeren is een uitermate belangrijke stap in de validatie van palaeo-proxies. De beschikbaarheid van en de synergie tussen de complementaire expertisegebieden aan de UU bied de 'Palaeofysiologie van Planten' een fantastisch startblok om de internationale positie van het onderzoek verder uit te bouwen.

### 3 Resume en visie

Uniek aan de onderzoekslijn ‘Palaeofysiologie van Planten’ is de toepassing van actuo-biologische methodieken die gebruikt worden om palaeo-proxies te testen en vervolgens op fossiele associaties toe te passen.

Door het herkennen van huidige plant-milieu relaties in veldstudies en experimentele set-ups kunnen signalen van fossiele planten met een hoge mate van zekerheid gekoppeld worden aan milieuveranderingen in het verleden. ‘Palaeofysiologie van Planten’ streeft naar het produceren van kwantitatieve datareeksen van parameters die een rol spelen in het biosfeer – atmosfeer – hydrosfeer systeem.

De wens bij studenten, politici en het brede publiek naar een beter begrip van milieuveranderingen door de tijd is groot. Het duurzame behoud en management van ecosystemen en hun biodiversiteit, maar ook de verantwoorde omgang met natuurlijke resources eist een diepgaand inzicht in het verschil tussen menselijke invloed op, en natuurlijke dynamiek van, ons klimaatstelsel.

Met onderzoek op de interface tussen biologie en geowetenschappen concentreert de ‘Palaeofysiologie van Planten’ zich op de rol van de terrestrische vegetatie in de koolstof en waterkringloop, en draagt daarmee bij aan een beter inzicht in klimaatveranderingen in het verleden, heden en de toekomst.

Ons onderzoek heeft veel raakvlaktes met werk dat aan andere instituten en groepen binnen de Universiteit Utrecht verricht wordt. Ik wil proberen in toekomst het interdisciplinaire karakter van de Palaeofysiologie en de Palaeoecologie nog stekker naar voren te brengen en de kracht van expertises te bundelen. De nauwe relatie met onze zustergroep Marine Palaeobiologie zal ook in toekomst blijven bestaan. Gemeenschappelijke projecten met het Copernicus Instituut kunnen voortgezet worden, zo zal Hugo de Boer hier als Veni-laureaat in de komende jaren ook palaeofysiologisch onderzoek doen. Binnen het departement Fysische Geografie zijn gemeenschappelijke projecten opgestart, met werkgebieden van Mexico tot het Himalaya.

Nationaal is het verder wenselijk om vooral de Palaeoecology in het geheel aan te sterken, de samenwerking tussen de UU, de UvA en de VU staan hierbij centraal.

Internationaal wil ik onze positie als experten team voor ‘Palaeofysiologie van Planten’ *sensu stricto* verder uitbouwen, succesvol opgestart is dit proces door een KNAW gesubsidieerde internationaal experts colloquium in 2012. Belangrijk voor de internationale positionering van de Palaeoecologie is eveneens onze deelname aan het

ICDP – het International Continental Scientific Drilling Programme – van Lake Ohrid in Macedonië.

De mogelijkheden voor samenwerking zijn op alle vlaktes ruim aanwezig, en ik zie het als mijn taak om hiervan zoveel mogelijk gebruik te maken. Onze onderzoekslijn zal hierbij zeker haar eigen karakter bewaren, en toch zo breed en innovatief mogelijk ingezet worden.

## 4 Onderwijsvisie

Met mijn nieuwe functie als hoogleraar ben ik weliswaar niet alleen voor de inhoud van 'Palaeofysiologie van Planten' verantwoordelijk, maar ook voor het overdragen van kennis via de opleiding van studenten. Onderwijs, zoals ik het zelfs als student gewend was, bestaat vandaag niet meer. In de afgelopen jaren zijn de behoeftes van studenten, maar ook de onderwijscapaciteiten en onderwijslasten bij de universiteiten sterk veranderd.

Onderwijstechnisch zie ik het als een uitdaging om nieuwe practica te ontwikkelen. Het combineren van klassieke 'fossielen en gesteente' practica met computer ondersteunde work-packages blijkt uitermate geschikt om aan de behoeftes van de huidige studentenpopulatie door middel 'voelen en zien' en 'virtueel werken' te voldoen. Het succes van deze aanpak blijkt uit de goede evaluaties van cursussen en verlicht de onderwijsdruk op docenten, terwijl de behoefte van studenten aan praktisch werk verder gewaarborgd kan worden.

Het afnemende aandeel van traditionele werkvormen zoals hoorcolleges lijdt tot een situatie waarin de studenten naar mijn inzien een gebrek oplopen aan theoretische basiskennis. Om deze kennis op een acceptabel niveau te houden, zal in parallelle cursussen de inhoud van basisonderwerpen goed op elkaar afgestemd moeten worden. Hierbij zal ernaar gestreefd moeten worden om overtollige herhalingen te minimaliseren en de gewonnen tijd te besteden aan het overbrengen van principiële kennis van de biosfeer en het systeem aarde, zoals het oorspronkelijk in collegeseries werd gedaan.

Een extreem voorbeeld van gebrekkige inhoudelijke informatie is hierbij de taxonomische kennis van flora en fauna. Hoewel grote delen van technieken toegepast bij Geowetenschappen voortbouwen op biologische proxies, weet de huidige student niet of nauwelijks of het bestudeerde organisme plant of beest is. Dergelijke achterstanden moeten, en kunnen, verholpen worden door een zinvolle interdisciplinaire integratie van de cursusaanbod van voornamelijk biologische groepen in het onderwijscurriculum van geowetenschappen.

Dit proces is al gaande, en de grote aantallen van zowel biologie als ook geologie studenten die van het cursusaanbod gebruik maakt laat het succes van deze aanpak blijken.

## 5 Dankwoord

*Ten slotte een dankwoord.*

Dat ik hier sta heb ik te danken aan een uniek programma waarin eerst, zoals het heete, ‘vrouwelijk wetenschappelijk talent’ werd gezocht waarvoor vervolgens op maat gemaakte posities ter beschikking gesteld werden. Door deze procedure werd het aandeel van vrouwelijke hoogleraren succesvol verhoogd, het programma is geslaagd. Ik ben bijzonder blij dat ik hiervan mag profiteren.

Desondanks wil ik toch even zeggen: Universiteiten en Faculteiten, blijf vooral ook jongens in dienst nemen, want meiden – ook geleerde – hebben geen probleem met mannelijk talent!

De oorspronkelijk biologische Palaeoecologie groep en daarmee de ‘Palaeofysiologie van Planten’ is sinds begin 2012 onderdeel van het Departement Fysische Geografie. Ik wil al mijn collega’s van Fysische Geografie van harte danken voor de bijzonder vriendelijke manier waarop wij Palaeoecologen bij jullie welkom werden geheten. Al na deze korte tijd van inbedding zijn spannende en vernieuwende projecten tot stand gekomen en loopt de samenwerking als een treintje.

Dat ik hier sta heb ik eveneens te danken aan mijn vele collega’s in Utrecht, in Nederland en overal op de wereld. De continue gedachtenuitwisseling over ons vak, op congressen of gezellig onder het genot van een biertje, hebben mijn werk en mijn loopbaan bepaald. Het zijn te vele om iedereen te noemen, toch wil ik enkelen persoonlijk bedanken.

Ik heb het grote geluk gehad om met twee wijze mannen samen te mogen werken, die mij al sinds meer dan 20 jaar ter zijde staan. Dit zijn mijn mentoren en leermeesters Henk Visscher en David Dilcher.

Henk Visscher, voormalig hoofd van het Laboratorium voor Palaeobotanie en Palynologie in Utrecht, en David Dilcher, voormalig hoofd van de afdeling Palaeobotanie van de Universiteit van Gainesville in Florida, zijn diegenen die samen het vak Palaeofysiologie tot leven hebben gebracht.

Sinds mijn promotietijd zijn jullie er altijd voor mij geweest en hebben wij samen talloze spannende, vernieuwende plannen gemaakt en uitgevoerd. Ik ben blij en trots dat ik nog steeds op jullie vakken, ervaring en vriendschap een beroep kan doen.

Van de jongere generatie wil ik Wolfram Kürschner en Henk Brinkhuis danken. Wolfram en ik hebben er vele jaren samen aan gewerkt om de ‘Palaeofysiologie van Planten’ in Utrecht verder uit te bouwen – hoeveel huidmondjes hebben wij niet met zijn tweeën geteld, het zal wel in de miljoenen lopen!



Henk Brinkhuis is nu niet bepaald een *stille* kracht in het klimaat, en ik wil hem ook geen voorbeeld van me noemen. Maar toch heeft Henk een grote invloed op mijn denken en mijn manier van wetenschapper zijn. Het is me altijd een genoegen om met Henk te bekechten, wetend dat we op elkaars steun kunnen rekenen.

Bijzondere dank geldt mijn collega Timme Donders, die binnen enkele minuten de beslissing heeft genomen om zijn baan bij TNO op te geven om als docent bij Palaeoecologie te beginnen. Timme, het is geweldig om met jou samen de uitdaging te aanvaarden onze groep tot ouderwetse bloei en groei te brengen.

Mijn familie is sterk als een bolwerk van graniet en zacht als een donzen kussen. Het is het grootste geluk op aarde een plek te hebben waar zonder voorbehoud vertrouwen en geborgenheid op je wacht. Dit geluk heb ik, en mijn diepe dank gaat uit naar mijn ouders, Doris en Emil, die al wisten dat ik later geoloog zou worden toen ik als kleuter niet kon stoppen met twee tandjes op steentjes te knarsen; uren en urenlang. Deze noemenswaardige vorm van geduld hebben jullie altijd met mij gehad, wat niet altijd even makkelijk moet zijn geweest. Deze eigenheid van mijn familie weet ik pas nu dat ik zelf moeder ben op de juiste manier te waarderen.

Mijn zus Lotte is heel anders dan ik, wat haar tot een fantastische vriendin maakt die veel dingen in een perspectief zet dat niet gauw in een wetenschapper zal opkomen. De kunstenaars- en cartoonistenkant van mijn zus en haar partner Ari is altijd een bron voor de grote vrolijkheid, die mijn familie kenmerkt en zo bijzonder maakt.

Een onuitputtelijke bron van vrolijkheid zijn uiteraard ook mijn dochters Annika en Fabienne, de allerliefste kinderen van de wereld. Voor jullie twee is het hele leven een grappig spelletje, en daardoor is het dat ook voor ons.

Holger – de sterke vent aan mijn zijde die met mij door dik en dun gaat. Sinds wij een familie zijn is mijn leven niet veel makkelijker geworden, wel veel mooier. En ik weet zeker dat dit zolang zo zal blijven totdat mijn nu nog splinternieuwe Toga ooit een waardige plek in de verkleedkist van onze kleinkinderen vindt.

Ik heb gezegd.



## 6 Literatuur

1. An introduction to the Earth-Life system (2008). C. Cockell (edr) Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA.
2. E.I. Woodward (1987). Stomatal numbers are sensitive to increases in CO<sub>2</sub> from pre-industrial levels. *Nature* 327: 617-618.
3. F.Wagner, L.L.R. Kouwenberg, T.B. Van Hoof and H. Visscher (2004). Reproducibility of Holocene atmospheric CO<sub>2</sub> records based on stomatal frequency analysis. *Quaternary Science Reviews* 23/18-19, 1947-1954.
4. F.Wagner, S.J.P. Bohncke, D.L. Dilcher, W.M. Kürschner, B. Geel van & H. Visscher, H. (1999a). Century-scale shifts in early Holocene CO<sub>2</sub> concentrations. *Science* vol. 284, 1971-1973.
5. F.Wagner, S.J.P. Bohncke, D.L. Dilcher, W.M. Kürschner, B. Geel van & H. Visscher, H. (1999b). Early Holocene atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations. *Science* vol. 286, 1815a.
6. A. Indermühle, B. Stauffer, T.F. Stocker, D. Raynaud & J.M. Barnola (1999). Early Holocene atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations. *Science*, 286(5446), 1815-1815.
7. T.B. Van Hoof, K.A. Kaspers, F.Wagner, R.S.W. Van de Wal, W.M. Kürschner & H. Visscher (2005). Atmospheric CO<sub>2</sub> during the 13<sup>th</sup> century AD, reconciliation of data from ice core measurements and stomatal frequency analysis. *Tellus* 57B: 351-355
8. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
9. F.Wagner-Cremer, W. Finsinger & A. Moberg (2010). Tracing past growing degree-day changes in the epidermis cell-morphology of *Betula nana* leaves: A new micro-phenological paleo-proxy. *Journal of Quaternary Science* 25(6) 1008-1017.
10. F.Wagner-Cremer & A.F. Lotter (2011). Spring-season changes during the Late Pleniglacial and Bølling/Allerød interstadial *Quaternary Science Reviews*. 30: 1825-1828.
11. F.Wagner-Cremer, T.H. Donders & H. Visscher (2010). Drought stress signals in modern and sub-fossil *Quercus laurifolia* (Fagaceae) leaves reflect ENSO-tied winter precipitation in southern Florida. *American Journal of Botany* 97(5), 753-759.
12. T.H. Donders, F.Wagner, D.L. Dilcher & H. Visscher (2005). Mid- to late-Holocene El Niño – Southern Oscillation dynamics reflected in the subtropical terrestrial realm. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 102: 10904-10908
13. E.I. Lammertsma, H.J. de Boer, S.C. Dekker, D.L. Dilcher, A.F. Lotter & F.Wagner-Cremer (2011). Reduced maximum stomatal conductance in Florida vegetation under

anthropogenic CO<sub>2</sub> increase Proceedings of the National Academy of Science USA. doi:10.1073/pnas.1100371108 (open access).

14. M. Gagen, W. Finsinger, F. Wagner-Cremer, D. McCarroll, N.J. Loader, I. Robertson, R. Jalkanen, G. Young & A. Kirchhefer (2011). Evidence of changing intrinsic water use efficiency under rising atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations in Boreal Fennoscandia from subfossil leaves and tree ring δ<sup>13</sup>C ratios. *Global Change Biology* 17 (2): 1064–1072.
15. H.J. de Boer, E.I. Lammertsma, F. Wagner-Cremer, D.L. Dilcher, M.J. Wassen & S.C. Dekker (2011). Climate forcing due to optimization of maximal leaf conductance in subtropical vegetation under rising CO<sub>2</sub>. Proceedings of the National Academy of Science USA. doi:10.1073/pnas.1100555108 (open access).





Friederike Wagner-Cremer (1967) studeerde Geologie aan de Ruhr-Universität Bochum (D) en promoveerde in 1998 bij het departement Biologie aan de Universiteit Utrecht op het proefschrift 'The influence of environment on the stomatal frequency in *Betula*'.

Na enkele jaren postdoc in Utrecht en Kopenhagen (DK) trad zij in dienst als UD bij de groep Palaeobotanie en Palynologie (LPP) bij het departement Biologie, sinds 2012 gevestigd als Palaeoecologie groep bij Faculteit Geowetenschappen. Per 1 januari 2013 is zij benoemd tot hoogleraar 'Palaeophysiology of plants in the context of environmental change' aan de faculteit Geowetenschappen.

Haar onderzoek richt zich op actuo- en palaeoklimatologische vraagstellingen, die met behulp van analyses van fossiele bladeren benaderd worden. Speerpunten zijn hierbij het effect van de mondiale klimaatsverandering op de vegetatie, en de actieve rol die de vegetatie in atmosfeer – biosfeer – hydrosfeer interacties speelt.