

Door de kou bevangen

Vijftig jaar Nederlands onderzoek in de poolgebieden



Eindredactie
Anita G. J. Buma
Annette J. M. Scheepstra
Richard Bintanja

(Eind)redactie

Anita G. J. Buma	Rijksuniversiteit Groningen (RUG)
Annette J. M. Scheepstra	Rijksuniversiteit Groningen (RUG)
Richard Bintanja	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI)
Simon R. Troelstra	Vrije Universiteit Amsterdam (VU)
Michiel R. van den Broeke	Universiteit Utrecht (UU/IMAU)
Hein J. W. de Baar	Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ)
Ad H. L. Huiskes	Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ)
Louwrens Hacquebord	Rijksuniversiteit Groningen (RUG)

Vormgeving

Nelleke Krijgsman	Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ)

Grote foto omslag: Onderzoekers voor het front van de Kronebreen, Spitsbergen. Foto: Ronald J. W. Visser
Kleine foto's omslag: zie fotoverantwoording pagina 238.
©2016 Uitgeverij MaRiSuDa, Lelystad.
Drukwerk: Langeveld en de Rooij Mediabureau, Den Burg, Texel.

ISBN 978-90-818264-2-6
NUR: 911

Niets van deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.
No part of this book may be reproduced in any form, by print, photocopy or any other means without written permission by the publisher.

Ondanks de aan de samenstelling van deze tekst bestede zorg kan noch de redactie, noch de uitgever aansprakelijkheid aanvaarden, over eventuele schade die zou kunnen voortvloeien uit enige fout die in deze uitgave zou kunnen voorkomen. Voor de foto's is zoveel mogelijk toestemming aan de rechthebbenden gevraagd. Degenen die desondanks menen, dat dit naar hen toe onvoldoende is gebeurd, gelieve contact op te nemen met de uitgever.

Dankwoord

Deze uitgave is mogelijk gemaakt met financiële ondersteuning van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) en de Rijksuniversiteit Groningen (RUG), in het bijzonder het Willem Barentsz Poolinstituut en de basiseenheid Ocean Ecosystems, Energy and Sustainability Research Instituut Groningen. Wij danken ook de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW) voor de financiële en organisatorische ondersteuning ten behoeve van de lancering van dit boek. De vormgeving van het boek is verzorgd door Nelleke Krijgsman van het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ), die met tomeloze inzet de talloze versies zeer kundig heeft bewerkt. Wij zijn het NIOZ zeer erkentelijk voor de vele uren die Nelleke aan het boek heeft mogen besteden. Verder danken wij alle auteurs voor hun tekstuele bijdragen. Zonder hun inspanningen zou dit boek er hoogstwaarschijnlijk niet zijn geweest, of zou het op zijn minst minder compleet zijn. Een ander essentieel onderdeel van dit boek zijn de vele prachtige foto's, waarvan de meeste afkomstig zijn uit de privécollecties van de onderzoekers. Wij zijn deze onderzoekers bijzonder erkentelijk dat zij hun waardevolle foto's ter beschikking hebben gesteld. Wij bedanken hier ook de vele personen die hebben bijgedragen aan het veldwerkoverzicht, dat echter te uitgebreid is geworden om integraal in dit boek op te nemen (zie voor dit overzicht: www.polairveldwerk.nl). Ten slotte bedanken wij Frits Steenhuisen voor het samenstellen van de vele inzichtelijke kaarten die dit boek rijk is en Ben Bekooy voor het scannen van de dia's.

De eindredactie

INHOUDSOPGAVE

Inleiding 10
Algemene inleiding 12

Nederlandse Voetsporen 20
Nederlandse voetsporen in de poolgebieden 22

Aardwetenschappen 34
Aardwetenschappelijk onderzoek in de poolgebieden: inleiding 36
Permafrost onderzoek in het noorden van Siberië 40
Periglaciale processen in het Kangerlussuaq gebied, Zuidwest-Groenland 50
'De Eerste Nederlandse Antarctische Expeditie';
geologisch onderzoek op King George Island, Antarctica 58
Het geschiedenisboek van de Antarctische ijskap als lesboek voor de toekomst 62

IJs, Klimaat en Zeespiegel 68
Inleiding 70
Het ijzige zuiden: Antarctica 72
Het smeltende noorden: Groenland, IJsland en Spitsbergen 82
Gletsjers als klimaatarchief 90
De technologische revolutie 96

Mariene Wetenschappen 102
Mariene wetenschappen: inleiding 104
Nietige juweeltjes van de koude oceanen: het fytoplankton 108
IJzer, zonlicht, algen en CO_2 116
Zee-ijs: meer dan een witte deken over de donkere oceaan 132
Aan het eind van de voedselketen: Antarctische toppredatoren 140

Terrestrische Biologie 152
Terrestrisch onderzoek in de jaren voor de Nederlandse Polaire Programma's 154
Het terrestrisch onderzoek tijdens de Nederlandse Antarctische en Arctische Programma's (1989 – 2009) 160
Het Arctische onderzoek aan ganzen, steltlopers en zeevogels 168
Effecten van een veranderend klimaat op de poolvegetatie 178
Terrestrisch onderzoek tijdens het vierde Internationale Pooljaar 182

Menswetenschappen 186
Inleiding 188
Historisch-archeologisch onderzoek in de poolgebieden 194
Antropologisch onderzoek in het Noordpoolgebied 204
Nederlands onderzoek naar Antarctisch toerisme: trends, effecten en regulering 212

Bijlagen 222
Nederlandse promoties poolonderzoek 224
Contactgegevens redactie en auteurs 230
Fotoverantwoording 234



Inleiding





Algemene inleiding

Anita G.J. Buma, Annette J.M. Scheepstra en Richard Bintanja

Voor u ligt een boek over vijftig jaar Nederlands onderzoek in de beide poolgebieden. De directe aanleiding om dit boek samen te stellen was de opening van het eerste Nederlandse onderzoekslaboratorium op Antarctica als onderdeel van de Britse onderzoeksbasis Rothera. Deze basis is gelegen op Adelaide Island, aan de westkant van het Antarctisch Schiereiland. Het bezoek in 2009 van Prins Willem Alexander en Prinses Maxima aan Rothera vormde een nieuwe stimulans voor de al bestaande samenwerking van de British Antarctic Survey (BAS) met het Nederlandse Polaire Programma van NWO. Besloten werd tot de bouw van het Nederlandse Dirck Gerritsz Laboratorium, vernoemd naar de zeekapitein die in 1599 met zijn schip De Blijde Boodschap eigenlijk te ver naar het zuiden was afgedreven en aldus de eerste mens werd die het continent Antarctica zag[1].

De opening van het Dirck Gerritsz Laboratorium in januari 2013 vond plaats onder grote belangstelling van de landelijke pers. Tegelijkertijd met deze opening ging een aantal Nederlandse onderzoeksprojecten van start, waarbij samenwerking met het partnerinstituut de British Antarctic Survey centraal stond. De opening van het Dirck Gerritsz Laboratorium markeerde het definitieve einde van een tijdperk waarin Nederlands Antarctisch onderzoek weliswaar in internationale wetenschappelijke kringen duidelijk vertegenwoordigd was, maar zodanig gefragmenteerd dat het voor publiek en politiek vrijwel onzichtbaar was. Geen wonder dat men tijdens de stroom van persberichten makkelijk de indruk had kunnen krijgen dat Nederland pas in 2013 serieus het Antarctische – of meer algemeen: polaire – wetenschappelijk podium had betreden. Dat het tegendeel het geval is moge uit dit boek blijken.

Dit boek bevat een grote diversiteit aan Nederlands polair onderzoek, waarvan een aanzienlijk deel nog niet eerder is beschreven. Sommige vroege Antarctische expedities, zoals de gezamenlijke Belgisch-Nederlandse expedities op Koning Boudewijn Basis (1963-1967), waaraan in totaal 24 Nederlanders deelnamen, zijn sinds kort goed gedocumenteerd[2]. Deze landgenoten waren echter niet de eerste Nederlandse onderzoekers die Antarctica bezochten, want al eerder, van 1956 tot 1959, was een Nederlander betrokken bij een Brits onderzoeksprogramma op Antarctica. Deze gebeurtenis is in Nederland volledig onopgemerkt gebleven, wat opmerkelijk is omdat het de eerste Nederlander betrof die overwinterde op Antarctica (zie kader).

Vanaf het eind van de zeventiger jaren van de vorige eeuw nam het Nederlandse Antarctische onderzoek een enorme vlucht. Dit was ingegeven door een verandering in wetenschappelijk en politiek denken wat betreft de betrokkenheid van Nederland in Antarctica, gerelateerd aan het verkrijgen van stemrecht binnen het zogenaamde Antarctic Treaty. Ongeveer twintig jaar daarvoor, op 23 juni 1961, was door twaalf landen het Antarctic Treaty ondertekend. In dit verdrag was vastgelegd dat het Antarctisch continent en de omringende zeegebieden ten zuiden van de 60-ste breedtegraad voor de duur van dertig jaar vooral bezocht mochten worden ten behoeve van gezamenlijk wetenschappelijk onderzoek. Tevens werd overeengekomen dat binnen die grenzen geen olie en mineralen mochten worden gewonnen, terwijl ook het exploiteren van de biologische rijkdommen aan banden werd gelegd. Het Antarctic Treaty gaf uiting aan een veranderende houding ten opzichte van het Zuidelijke continent: expedities en bases werden niet langer ingezet om een claim te leggen op een deel van het Antarctisch grondgebied, maar dienden vanaf toen vooral als uitgangspunt voor wetenschappelijk onderzoek. Twaalf landen, waaronder België en Duitsland, investeerden enor-

Eerste overwinteringen op Antarctica: Jaap Tinbergen

De overwinteringen vonden plaats op een Britse basis, Port Lockroy, net als Rothera aan de westkant van het Antarctisch Schiereiland gelegen. Port Lockroy is een beschutte baai van Wiencke Island. Op een nietig eilandje in deze baai (Goudier Islet), in totaal niet meer dan een voetbalveld groot, plaatsten de Engelsen in 1943 enkele kleine gebouwtjes die tot 1962 dienst zouden doen als onderzoeksbasis. De latere Leidse astronoom Jaap Tinbergen (1934-2010), zoon van de verderop in dit hoofdstuk genoemde Niko Tinbergen, was in Engeland afgestudeerd in de experimentele natuurkunde en 'Information Engineering'. Vanwege zijn interesse in de ionosfeer kreeg Tinbergen als kersvers onderzoeker de kans om deel te nemen aan een Brits Antarctisch onderzoeksprogramma op Port Lockroy. Hierbij inbegrepen waren twee Antarctische overwinteringen, van eind 1956 tot begin 1959. Jaap Tinbergen verbleef dus in totaal meer dan twee jaar op Goudier Islet, samen met vier Britse collega's in wisselende samenstelling. Eén van deze collega's, David Price, heeft in zijn in Australië uitgegeven boek 'Tip of the Iceberg'[3] de dagelijkse (werk)omstandigheden tijdens de tweede overwintering van Jaap Tinbergen uitgebreid beschreven. De 23 jaar jonge Tinbergen nam samen met zijn Britse collega's deel aan een langdurig onderzoek aan de ionosfeer. Overigens werd na een lange periode van leegstand het hoofdgebouw van Port Lockroy, Bransfield House, ingrijpend gerestaureerd en is het inmiddels door de Antarctic Treaty aangemerkt als Historic Site and Monument. De voormalige permanente basis is nu gedurende de zomermaanden in gebruik als postkantoor en toeristische trekpleister.

me bedragen in het installeren van onderzoeksstations, en wetenschappers profiteerden van de ontstane openheid en onderlinge samenwerking. Nederland maakte geen deel uit van de bovengenoemde twaalf landen. Dit had onder meer te maken met een gebrek aan wetenschappelijke interesse: Nederland deed traditioneel gezien vooral onderzoek in de tropen, zoals in de binnenlanden van Nieuw-Guinea of in de Banda Zee (Indonesië). Toch namen Nederlandse onderzoekers zo nu en dan wel deel aan Antarctische expedities. Hiervan zijn de eerder genoemde Belgisch-Nederlandse expedities naar de Belgische Koning Boudewijn Basis een mooi voorbeeld. Hierin werd vanuit Nederland vooral op het gebied van de meteorologie bijgedragen door onderzoekers van het Koninklijk Nederlands Metereologisch Instituut KNMI.

Bijna twintig jaar later kwam er pas echt beweging in de Nederlandse belangstelling voor Antarctica in de vorm van Duits-Nederlandse samenwerking op het gebied van de (biologische) oceanografie (zie hiervoor het Thema Mariene Wetenschappen). Met de herziening van het Antarctic Treaty (in 1991) in het vooruitzicht had Duitsland behoefte aan medestanders die een verregaande bescherming van Antarctica wilden waarborgen. Deze samenwerking zou



Een aantal overwinteraars van Port Lockroy, 1958. Van links naar rechts: Dennis Wildrigde (niet overwinterd), David Price, Alan Cameron en Jaap (Jack) Tinbergen. Foto: collectie David Price.


open
closed
NIOU 4 000083 3
Geloof
DSF Wet Lab
MAX.GR. 12.340 KGS
TARE 6.100 KGS
MAX.PAYL. 6.240 KGS
MORRISON 2C



uiteindelijk moeten leiden tot het aanvragen van de zogenaamde consultatieve status van Nederland binnen het Antarctic Treaty, welke ons land stemrecht zou verschaffen in kwesties met betrekking tot het beheer en de bescherming van het continent. Na een periode van intensief lobbyen door sleutelfiguren als NIOZ (Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee)-directeur Jenne Zijlstra (1926-1989) en parlementslid Wim Thomassen (1909-2001) leidden deze initiatieven in de tachtiger jaren uiteindelijk tot het opstarten van het Nederlandse Polaire Programma door ZWO (Nederlandse Organisatie voor Zuiver Wetenschappelijk Onderzoek, de voorloper van NWO). De eerste aanvraag tot het verkrijgen van de consultatieve status, ingediend in 1989, werd echter afgewezen. Reden hiervoor was dat Nederland geen eigen onafhankelijk Antarctisch onderzoeksprogramma had. Om dit struikelblok te omzeilen werd in december 1990 en januari 1991 de 'Eerste Nederlandse expeditie' naar Antarctica georganiseerd. Hiertoe huurde men een deel van het Poolse onderzoeksstation Arctowski op King George Island. Het tijdens deze expeditie uitgevoerde onderzoek wordt in dit boek binnen meerdere thema's uitgebreid beschreven. Terwijl de onderzoekers hun vertrek naar Antarctica voorbereidden verkreeg Nederland in een ingelaste speciale bijeenkomst in Chili op 19 november 1990 als 41ste land alsnog de consultatieve status. Al met al heeft de aanloop naar het verwerven van stemrecht in het Antarctic Treaty het Nederlands Antarctisch onderzoek een enorme impuls gegeven en het Nederlandse Antarctische onderzoek volledig op de kaart gezet. Een gedetailleerd overzicht van de (politieke) ontwikkelingen aangaande het opstarten van het Nederlandse Antarctische Programma is gedocumenteerd in het proefschrift van Peter Abbink (Antarctic Policy Making and Science in the Netherlands, Belgium and Germany, 1957-1990[4]).

Naast de ontwikkelingen in Antarctica was Nederland al veel langer in het Noordpoolgebied actief, maar ook hier heeft het wetenschappelijk onderzoek zich de laatste decennia zeer sterk verbreed. In 1877 werd het Comité voor de IJszeevaart opgericht, dat van 1878 tot 1884 zeven tochten met de schoener Willem Barentsz naar het noorden organiseerde om gedenkstenen te plaatsen en wetenschappelijke waarnemingen te doen[5]. Aan het einde van de negentiende eeuw organiseerde het KNMI een expeditie naar West-Siberië in het kader van het Eerste Internationale Pooljaar (1882-1883), met als doel meteorologisch onderzoek. Het uitgebreide en spannende relaas van deze expeditie is pas zeer recent gepubliceerd[6]. Ook aan het tweede internationale pooljaar (1932-1933) deden Nederlandse onderzoekers mee, onder andere van het KNMI. Eén van de betrokken biologen was de latere Nobelprijswinnaar Niko Tinbergen. Hij schreef in 1934 een boek over zijn ervaringen in Groenland, waar hij samen met zijn vrouw Lies aan de oostkust verbleef [7]. Een mooi voorbeeld van de toewijding van Arctische onderzoekers is Gerti Nooter, die in juli 1967 met het schip de Einar Mikkelssen naar Oost-Groenland voer om een jaar lang antropologisch veldwerk te doen in de kleine Inuit gemeenschap Diilerilaaq (Oost-Groenlandse spelling, destijds geschreven als Tiniteqilâq). Ook hij ging niet alleen: zijn vrouw Noortje en hun nog drie jonge zoontjes vergezelden hem. In de jaren daarna keerde Nooter veelvuldig terug naar Oost-Groenland. In 1968 vertrokken vier gepassioneerde Nederlandse studenten naar Spitsbergen om op vrijwillige basis onderzoek te doen aan ijsberen. Deze expeditie luidde het begin in van een lange en rijke Nederlandse onderzoekstraditie op Spitsbergen. Het onderzoek aldaar werd vanaf de jaren zeventig gedomineerd door studies aan trekvogels en het multidisciplinaire onderzoek van Louwrens Hacquebord van het Arctisch Centrum (zie hiervoor de thema's Terrestrische biologie en Menswetenschappen). Van 1978 tot 1984 werden in het kader van het Smeerenburgproject 5 expedities naar Spitsbergen en Jan Mayen georganiseerd. Met de ms Plancius werd drie maal naar het noorden gevaren om daar op diverse plaatsen in de noordwesthoek van Spitsbergen en Jan Mayen onderzoek te doen. Onder leiding van Louwrens Hacquebord werden op Amsterdameiland en de Zeeuwse Uytkijk archeologische opgravingen uitgevoerd om de omvang en de impact van Nederlandse walvisvangstactiviteit in dit gebied vast te stellen[8]. In de jaren negentig volgden vogelonderzoekers trekvogels vanuit het Waddengebied naar Siberië, waarbij een speciale rol was weggelegd voor het ministerie van Landbouw, die dit onderzoek mogelijk maakte. In 1996 werd de Arctische Raad (Arctic Council) opgericht, een in-

Een Nederlandse laboratoriumcontainer wordt ontscheept vanaf RV Ernest Shackleton, Rothera Station. Foto: collectie British Antarctic Survey.



tergouvernementeel forum dat samenwerking omtrent het Noordpoolgebied coördineert. Nederland is al vanaf het begin waarnemer bij deze Arctische Raad dankzij de activiteiten van het Arctisch Centrum van de RUG in de AMAP- en CAFF-werkgroepen. Nederland ondersteunt het werk van de Arctische Raad door deelname aan onderzoeksprojecten in drie werkgroepen AMAP, CAFF en SDWG. Het onderzoek naar de invloed van de wereldwijde kwikemissies op het Noordpoolgebied van Frits Steenhuisen is daar een mooi voorbeeld van.

Tegenwoordig is het Nederlandse Arctische onderzoek zeer divers en wordt het uitgevoerd vanuit allerlei wetenschappelijke disciplines. Ook richt men zich op verschillende geografische regio's binnen het Noordpoolgebied.
De financiering van het Arctische onderzoek verliep lange tijd grotendeels onafhankelijk van het Polaire Programma van NWO en werd zelfs deels onbezoldigd uitgevoerd. Het antropologisch onderzoek, bijvoorbeeld, werd veelal via musea bekostigd. In eerste instantie waren de beschikbare onderzoekssubsidies immers vooral bedoeld om de zichtbaarheid van Nederlandse wetenschappers in Antarctica te vergroten. Pas veel later is het Nederlandse Polaire Programma ook op de Arctische gebieden gericht, en wordt het polaire onderzoeksbudget over beide poolgebieden verdeeld. Met name het Arctische onderzoek wordt echter nog vaak buiten NWO om gefinancierd. Een markant voorbeeld hiervan is de Nederlandse expeditie naar Jan Mayen, die in 2014 plaatsvond op uitnodiging van de Koninklijke Marine waardoor wetenschappers vanuit allerlei disciplines hun onderzoek op dit geïsoleerde eiland konden uitvoeren.

Een van de voornaamste uitgangspunten bij het samenstellen van dit boek was om de wetenschappers zelf, in hun eigen woorden, over hun onderzoek te laten vertellen. Hierbij leggen zij uit wat de achtergrond en het belang van hun werk is, hoe zij tot de onderzoeksresultaten zijn gekomen en ten slotte wat de uitkomsten van alle inspanningen zijn. Ook verhalen de onderzoekers over de vaak extreme omstandigheden waaronder zij hun onderzoek in de poolgebieden hebben uitgevoerd. Een grote verscheidenheid aan onderzoeksthema's komt aan bod. Vogelonderzoekers nemen de lezer mee op hun onderzoek – vaak decennialang – aan ganzen op Spitsbergen of aan stormvogels op minuscule Antarctische eilandjes. In andere hoofdstukken verhalen onderzoekers over archeologische opgravingen op Spitsbergen, geologisch onderzoek op Groenland, gletsjerstudies op Antarctica, planktononderzoek op de woelige baren rond het Antarctische continent en permafrostonderzoek in Siberië.

Het zal duidelijk worden dat er enorme verschillen bestaan in de omstandigheden waaronder onderzoekers uit de diverse vakgebieden hun werk doen, vooral omdat men grotendeels afhankelijk is van de ter plekke aanwezige infrastructuur. Het oceanografisch onderzoek, bijvoorbeeld, vindt veelal in samenwerking met andere landen plaats; dit vanwege het simpele feit dat Nederland zelf geen ijsbestendig onderzoeksschip bezit. IJsbestendige schepen kunnen overigens wel worden gehuurd: neem bijvoorbeeld de Ortelius, een schip dat recentelijk is gebruikt (19-28 augustus 2015) voor de zogenaamde SEES.nl expeditie waarbij multidisciplinair onderzoek is gedaan op en rondom het eiland Edgeøya in de Spitsbergen archipel.
Een belangrijke onderzoekspartner is het Duitse Instituut AWI (Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung). Het AWI exploiteert enkele Duitse bases in beide poolgebieden, maar ook de onderzoeks-ijsbreker RV Polarstern. Dit schip, dat in 1982 in de vaart kwam, heeft zeer veel Nederlandse onderzoekers gastvrij ontvangen en de gelegenheid geboden hun onderzoek uit te voeren. De omstandigheden aan boord van de Polarstern zijn luxueus te noemen: koks zorgen voor drie warme maaltijden per dag (en taart op zondag!) en in het ruim van het schip bevond zich tijdens de eerste jaren zelfs een zwembad. Voor het waarborgen van de veiligheid dragen kapitein en bemanning te allen tijde verantwoording, want het varen in de poolgebieden is nog steeds geen sinecure. De relatieve luxe van de werkomstandigheden aan boord van onderzoeksschepen stelt de wetenschappers in staat om de klok rond te werken ten behoeve van het eigen onderzoek, want het wetenschappelijke programma gaat 24 uur per dag, 7 dagen per week door. Deze werk- en leefomstandigheden aan boord van een onderzoeksschip staan in scherp contrast met de vaak zware werkomstandigheden op het land. Hier hebben onderzoekers regelmatig te maken met extreme kou en dienen zij te werken en leven onder uiterst primitieve omstandigheden. Verschillende voorbeelden uit de terres-



trische ecologie, geologie, glaciologie en archeologie, zoals beschreven in dit boek, illustreren dit. Zo verblijft bioloog Jouke Prop al meer dan 30 jaar iedere zomer met een klein team op Spitsbergen voor onderzoek aan het ecosysteem van de toendra. Zijn onderzoeksgebied wordt sinds 2004 echter in toenemende mate door ijsberen bezocht, wat begrijpelijkerwijs grote gevolgen heeft voor hoe hij zijn onderzoek kan uitvoeren. Tegenwoordig beschikt hij over een geavanceerd schrikdraadsysteem rondom zijn tentenkamp om al te opdringerige ijsberen af te schrikken, zoals uit een aantal Youtube filmpjes[9] blijkt.

Natuurlijk is er wel degelijk grote vooruitgang geboekt: een belangrijk voorbeeld hiervan is de ontwikkeling van moderne communicatiemiddelen. Daar waar in het verleden communicatie nauwelijks mogelijk was, zeker in wat meer afgelegen gebieden, gebruiken we nu email, mobiele telefoons, webcams, Twitter en Facebook. Familie, collega's en niet in de laatste plaats veiligheid zijn hierbij zeer sterk gebaat. Toch laat de natuur zich niet makkelijk dwingen; de veiligheidseisen ten aanzien van het werken in polaire omstandigheden zijn daarom onverminderd hoog. Een treffend voorbeeld hiervan is de verplichting tot het volgen van een schiettraining voor onderzoekers die zich zelfstandig door het Arctisch gebied willen begeven en dus met ijsberen geconfronteerd kunnen worden. Bovendien wordt elke poolwetenschapper verplicht tot het volgen van diverse (veiligheids) cursussen en wordt men aan stringente medische keuringen onderworpen, hoewel de verstandskiezen en blinde darm tegenwoordig niet meer preventief verwijderd hoeven worden zoals dat in vroeger tijden wel eens geëist werd. Ondanks alle voorzorgen hebben de extreme omstandigheden en vaak moeilijke bereikbaarheid van de poolgebieden ook tijdens de in dit boek beschreven periode Nederlandse slachtoffers geëist. Zo zijn de poolreizigers en –onderzoekers Philip de Roo en Marc Cornelissen eind



De Ortelius in Burgerbukta, Hornsund, West-Spitsbergen, tijdens de SEES expeditie in augustus 2015. Foto: Annette J.M. Scheepstra.



april 2015 verongelukt tijdens hun expeditie op skies vanaf Resolute Bay in Noord-Canada. Een aantal jaren eerder, in maart 2008, is NIOZ technicus Willem Polman omgekomen tijdens een helikoptervlucht vanaf de ijsbreker RV Polarstern naar de Duitse Antarctische basis Neumayer. Dit tragische ongeval is beschreven in het thema Mariene Wetenschappen.

Dit boek bevat een selectie van persoonlijke ervaringen van Nederlandse wetenschappers in de poolgebieden. Wij hebben geprobeerd om het poolonderzoek zo breed mogelijk voor het voetlicht te brengen, niet alleen in wetenschappelijk maar ook in geografisch opzicht. Hierbij was vanaf het begin duidelijk dat dit overzicht onmogelijk compleet kan zijn, simpelweg omdat het aantal onderzoeksprojecten te groot is om in een handzaam boek samen te vatten. Zoals eerder genoemd is het Nederlandse polaire programma sinds de jaren zeventig en tachtig van de vorige eeuw zeer sterk gegroeid. Hierdoor heeft een groot aantal onderzoekers vanuit meerdere Nederlandse universiteiten en onderzoeksinstituten onderzoek uitgevoerd in het Arctisch gebied, of in Antarctica, of in beide. Dit heeft geleid tot een groot aantal voetafdrukken ('footprints') in beide poolgebieden, waarvan we in het volgende hoofdstuk een aantal voor het voetlicht zullen brengen. Een volledig overzicht van alle Nederlandse activiteiten omvat meer dan 650 'poolbewegingen' Dit overzicht kan worden bekeken op de website van het Arctisch Centrum/Willem Barentsz Poolinstituut (www.polairveldwerk.nl). Tegelijkertijd heeft de wetenschappelijke 'output' een enorme vlucht genomen. Meer dan honderd Nederlandse onderzoekers hebben inmiddels een proefschrift afgerond aangaande polair onderzoek, wat dan ook de volledige breedte van de geologie, klimatologie, biologie tot en met de menswetenschappen beslaat. De volledige lijst van Nederlandse 'polaire' proefschriften is zowel op bovengenoemde website als achterin dit boek als bijlage terug te vinden.

Al deze inspanningen hebben geleid tot een zeer goede internationale positie van het Nederlandse poolonderzoek. Op velerlei gebied speelt Nederland inmiddels een prominente rol. Dit blijkt onder meer ook uit de grote Nederlandse inbreng in belangrijke internationale polaire platforms zoals IASC en SCAR. Het poolonderzoek zelf is ook van hoge kwaliteit, blijkend uit een recente inventarisatie: Nederlandse poolonderzoekers publiceren op dit moment ongeveer honderd wetenschappelijke artikelen per jaar en volgens de 'citation impact' staat Nederland wereldwijd zelfs op de derde plaats. Bovendien wordt regelmatig in toptijdschriften gepubliceerd en staat Nederland in de top 10 van meest samenwerkende landen in de poolgebieden. Bovenstaande gegevens worden in meer detail uitgelegd in de recente evaluatie van het Nederlandse Polaire Programma, waarin een internationale, onafhankelijke commissie het Nederlandse poolonderzoek heeft gekwalificeerd als 'very good' tot 'excellent'[10]. Voor niet-vakgenoten is dit waardevolle onderzoek echter vrijwel onzichtbaar en dat is één van de redenen waarom dit boek is samengesteld.

Wij hopen dat dit boek u zal informeren, boeien en vermaken. Als bovendien door middel van dit boek nog niet eerder gedocumenteerde ervaringen uit de lange en boeiende geschiedenis van het Nederlandse poolonderzoek voor het nageslacht worden bewaard, dan is dat mooi meegenomen!

Eindnoten

1. *Het Dirck Gerritsz Laboratorium; het verhaal achter de naam. (2013) Hein de Baar, Liesbeth Noor, Dick van der Kroef, Rene Prop. NWO Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek, ISBN 9789077875-74-2.*
2. *Jozef Verlinden: Naar Antarctica: Belgen en Nederlanders op expeditie naar de Zuidpool (2009). Uitgeverij Lannoo, ISBN-9789020986136*
3. *David Price: Tip of the Iceberg (2008). Pelican Graphics Pty.Ltd. Shoalhaven Heads NSW Australia, ISBN- 9780646485836.*
4. *Peter Abbink: Antarctic Policy Making and Science in the Netherlands, Belgium and Germany, 1957-1990. (2009) PhD thesis, Antarctic Circumpolar Studies. Vol. 6. ISBN-9789077922606.*
5. *Hacquebord, Louwrens, 1995. Nederlandse Poolkringen: honderdvijfentwintig jaar Nederlands onderzoek in de poolgebieden. Inaugurele rede Rijksuniversiteit Groningen.*
6. *Kees Dekker en Frieda van Essen: De Nederlandse Poolexpeditie van 1882-1883: overwintering op een ijsschots. (2014) KNNV Uitgeverij Zeist. ISBN-9789050114318.*
7. *Niko Tinbergen (1934) Eskimoland. Van Sijn en zonen, Rotterdam.*
8. *Hacquebord, Louwrens, 2014. De Noordse Compagnie (1614-1642). Opkomst, bloei en ondergang. Walburgpers, Zutphen.*
9. *YouTube kanaal Jouke Prop: https://www.youtube.com/user/joukeprop.*
10. *Evaluation of the (New) Netherlands Polar Programme 2009-2014 (2014) Publisher: Netherlands Organisation for Scientific Research (NWO), Earth and Life Sciences, Laan van Nieuw Oost-Indië 300, 2593 CE The Hague, The Netherlands.*

Kampement (2015) van Jouke Prop en zijn partner Eva Wolters, aan de Nordenskiöldkysten, West Spitsbergen. Het schrikdraadsysteem is een absolute vereiste als bescherming tegen nieuwsgierige ijsberen. Foto: Jouke Prop.





Nederlandse Voetsporen





Nederlandse voetsporen in de poolgebieden

Annette J.M. Scheepstra

Nederlandse onderzoekers zijn altijd erg creatief geweest in het vinden van oplossingen om tegen lage kosten hoogwaardig onderzoek te kunnen doen in de poolgebieden. Door samenwerking te zoeken met buitenlandse partners kunnen Nederlandse onderzoekers meestal gebruik maken van de infrastructuur die andere landen in de poolgebieden hebben opgezet. Toch heeft ook Nederland haar voetsporen achtergelaten in de poolgebieden in de vorm van allerhande kleine en grotere gebouwen, en als woning danwel als laboratorium. Zo opende Nederland in 2013 haar eigen onderzoeksfaciliteit op Antarctica als onderdeel van de Britse onderzoeksbasis Rothera, het *Dirck Gerritsz Laboratorium*[1]. Dit leidde tot veel aandacht in de media. Maar hoe zit het met eerdere investeringen van Nederland in onderzoeksfaciliteiten in de poolgebieden? In dit hoofdstuk wordt verslag gedaan van een aantal, veelal minder bekende onderzoeksfaciliteiten, gebouwtjes en gebouwen, vaak tot stand gekomen dankzij de inzet van enkele enthousiaste en gedreven onderzoekers.

Spitsbergen

'*Ben je belazerd, doe die deur dicht, het zijn geen poezen. Doe die deur dicht. Doe die deur dicht!! [....] We zijn hier om ijsberen te zien en nu kunnen we ijsberen zien en nu is het doe de deuren dicht...*'. Met deze emotionele woorden start een documentaire van de NTS[2]. Het loopt tegen het einde van de zomer van 1968 wanneer vier jonge mannen – Erik Flipse, Piet Oosterveld, Ko de Korte en Paul de Groot – in hun nieuwe nog niet afgebouwde onderkomen zitten waar ze nog een heel jaar samen zullen moeten verblijven. Erik Flipse had een paar jaar daarvoor het ambitieuze plan opgevat om onderzoek te doen naar ijsberen op Spitsbergen. Het idee was om een Nederlandse expeditie op te zetten waarbij vier onderzoekers geheel zelfstandig veertien maanden in Oost-Spitsbergen zullen verblijven. Om dit plan te kunnen verwezenlijken wordt de Stichting ter Ondersteuning van de Nederlandse Spitsbergen Expeditie 1968-'69 opgericht, teneinde de benodigde middelen en gelden voor de expeditie bijeen te brengen. 'Van staatswege werd geen steun verleend aangezien het werk door biologiestudenten zou worden uitgevoerd, dat wil zeggen, door nog niet gekwalificeerde krachten. Anderzijds bood het werken met vrijwilligers het voordeel dat daardoor de totale expeditieonkosten aanzienlijk gedrukt konden worden', aldus Piet Oosterveld in zijn boek over deze Nederlandse Spitsbergen expeditie[3]. Dankzij een groot doorzettingsvermogen en de bijdragen van velen – vaak in natura – kon de expeditie toch doorgaan. Zo stelt de firma Nederhorst een nissenhut, de voorganger van de Romneyloods, van 110 m^2 voor de overwintering beschikbaar. Er wordt vier dagen hard gewerkt om de hut te ontmantelen, die vervolgens met een 20-tonner van het leger vanuit Gouda naar Zeist wordt getransporteerd. Te Zeist worden de onderdelen van de hut samen met een grote hoeveelheid piepschuim, om de hut te isoleren, in twee goederenwagons geplaatst. Ook de door het Ministerie van Defensie samengestelde voedselpakketten, genoeg voor twee jaar, gaan in de wagons, tezamen met een zestigtal zogenoemde theekisten volgepakt met de meest uiteenlopende attributen. De treinwagons worden naar het Noorse Bodø gereden, waar de expeditieleden in augustus 1968 naartoe vliegen. Vanaf Bodø wordt het expeditiemateriaal overgeladen op het motorschip de Signalhorn en aangevuld met zestig vaten brandstof die nodig zijn voor een sneeuwscooter, twee buitenboordmotoren, een aggregaat,



Nissenhut op Kapp Lee. Foto: Ko de Korte.

verwarming en kookapparatuur. Deze brandstof bestaat grotendeels uit speciale kerosine die bestand is tegen temperaturen tot wel 50 graden onder nul en daardoor uitermate geschikt is voor een verblijf in het Noordpoolgebied. De Signalhorn vertrekt vanuit Bodø met alle expeditieleden en hun spullen aan boord met als beoogd doel Halvmåneøya in het uiterste zuidoosten van Spitsbergen. Door teveel ijsgang kan dit kleine eilandje echter niet bereikt worden. De koers wordt daarop verlegd naar de alternatieve en meer noordelijk gelegen locatie Kapp Lee, die gelukkig wel kan worden bereikt. Kapp Lee bevindt zich in de noordwesthoek van Edgeøya, een eiland in het zuidoosten van de Spitsbergenarchipel[4]. Binnen 24 uur wordt alle bagage met een sloep aan land gebracht waarop het schip weer vertrekt. Naast de vier genoemde studenten zijn de eerste paar weken ook twee mannen van de NTS (de voorganger van de NOS) en drie vrijwilligers aanwezig, die allen helpen met de opbouw van het kamp. De keuze voor de plaats van de hut is snel gemaakt: het enige vlakke plekje zand in de wijde omgeving. Wanneer de hulptroepen in september per boot vertrekken zijn de vier mannen volledig op zichzelf aangewezen[5]. Nog drie maanden heeft men nodig om de binnenkant van de hut winterklaar te maken. Het vergt veel creativiteit en doorzettingsvermogen om met de weinige aanwezige middelen de hut in elkaar te timmeren, te verste-



De eerste ijsbeer (Barend genaamd) onder narcose. Van links naar rechts: Eric Flipse, Piet Oosterveld, Paul de Groot. Foto: Ko de Korte.

vigen, te isoleren, stormvast en stuifsneeuw dicht te maken. Het feit dat er voor het dak twee typen golfplaten blijken te zijn, maakt het er niet makkelijker op. Ook worden bedden en ander meubilair in elkaar geknutseld. Nadat als laatste de vloertegels zijn gelegd wordt in een plechtige zitting in december rond de open haard het station voor geopend verklaard.

Het station heeft de daaropvolgende jaren nog diverse Nederlandse onderzoeksexpedities geherbergd, maar alleen gedurende het zomerseizoen. Het station had het flink te verduren van het barre klimaat van Spitsbergen; daarom moesten onderzoekers bij aankomst vaak noodgedwongen onderhoudswerkzaamheden uitvoeren. Nadat Piet Oosterveld in 1987 door een ijsbeer werd aangevallen (zie Thema Terrestrische Biologie) stopte het Nederlandse onderzoek in dit afgelegen gebied. De hut werd verkocht aan de gouverneur van Spitsbergen die hem uiteindelijk heeft afgebroken. De plek waar de hut heeft gestaan is echter nog steeds duidelijk zichtbaar. In 2015 heeft er een grote Nederlandse expeditie onder de naam sees.nl plaatsgevonden, waarbij een groep van 50 wetenschappers vanuit uiteenlopende disciplines een week lang terug zijn geweest op Edgeøya om een vervolg te geven aan dit Nederlandse onderzoek. Dit keer diende het toeristenschip de Ortelius als uitvalsbasis en werd er niet aan land geslapen.



Piet Oosterveld zit veilig voor ijsberen op het dak met rendierkaken. Foto: Agnes van den Vijver.

Brand

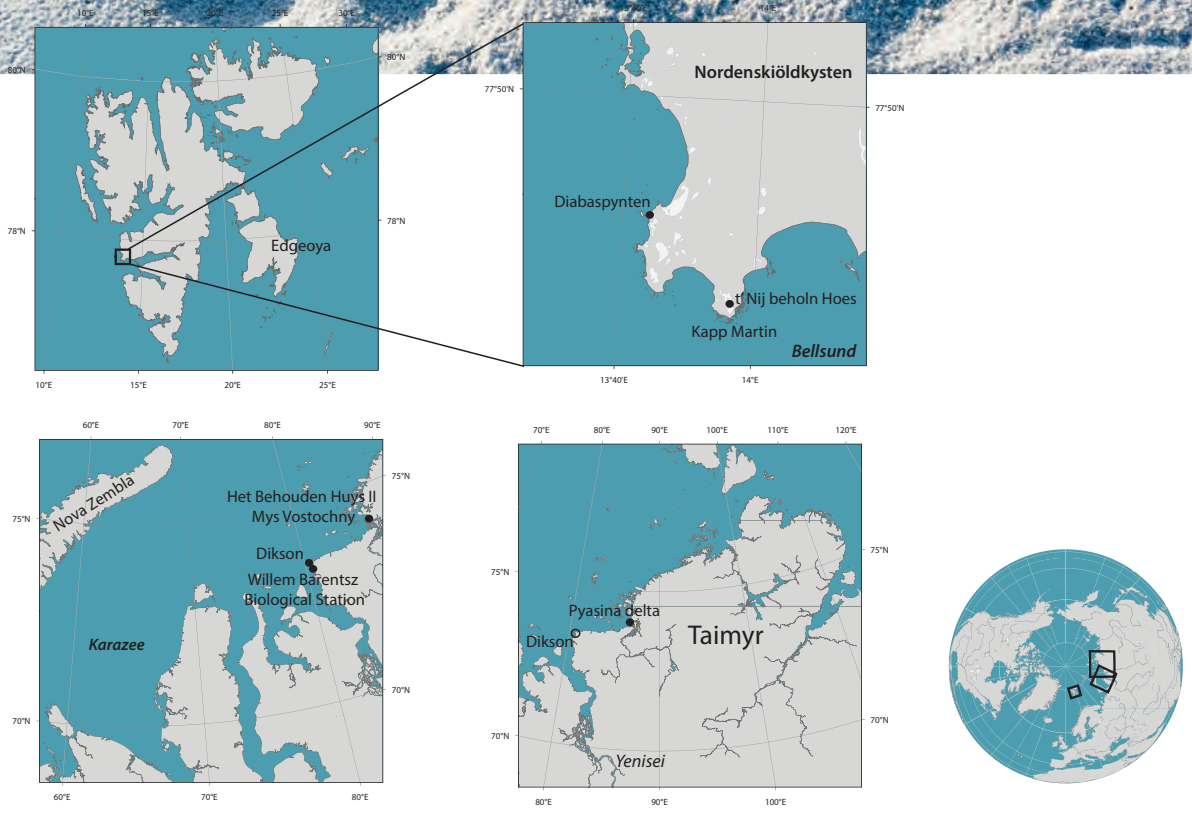
Op 1 februari 1969 is er de hele dag sprake van aanhoudende storm (windkracht 10) bij een temperatuur van 20 graden onder nul. Alle zeilen worden bijgezet om de hut warm te houden. De open haard loeit de hele dag. Tegen middernacht bemerkt Eric, vlak voor het naar bed gaan, een verdachte rookontwikkeling achter de eternietplaat van de open haard. Hij slaat direct alarm. Het duurt niet lang of de vlammen slaan door het raamkozijn. Een eerste koolzuurblusser wordt leeggespoten. Er ontstaat een enorme rookontwikkeling, die het bluswerk bijna onmogelijk maakt. Resoluut wordt besloten om al het plaatmateriaal te verwijderen. Uiteindelijk wordt de gemetselde open haard helemaal afgebroken. Na drie uur wordt uiteindelijk het sein brand meester gegeven en zijn de mannen ontsnapt aan een grote ramp.

De oorzaak van de brand was het ontbreken van voldoende isolatiemateriaal achter en onder de open haard.

Totale schade: een open haard in brokken, de planken vloer en vloerbalk verkoold en gesmolten polystyreenschuimplaten. Er zijn vier brandblussers (poeder/ koolzuur) leeggespoten.

Met dank aan Paul de Groot http://nl.wikibooks.org/wiki/Nederlandse Spitsbergen Expeditie (1968-1969)#Expeditieleden

Halverwege de jaren zeventig van de vorige eeuw begonnen onderzoekers van de Rijksuniversiteit Groningen met ganzenonderzoek te Nordenskiöldkysten aan de westkust van Spitsbergen. De avonturiers Tom van Spanje en Arend Jan van Dijk hadden dit gebied tijdens een tocht in 1974 ontdekt en als veelbelovend onderzoeksgebied bestempeld. Het volgende jaar keerden ze terug in gezelschap van Bart en Doortje Ebbinge, die geheel op eigen kosten verkennend onderzoek uitvoerden naar de ecologie van de brandgans. Tijdens dit verblijf kwam bij Bart het idee op om een hut te plaatsen op een eiland in de Bellsund om de daar broedende brandganzen ongestoord te kunnen observeren. Samen met de bekende Groningse bioloog Rudi Drent maakte hij een bouwplan en met middelen uit het budget van de afdeling Zoölogie van de RUG werd door Jan Koenes en zijn collega's van de timmerwerkplaats de hut geconstrueerd. In het voorjaar van 1977 voer deze hut als bouwpakket met een



Geografische posities van de besproken onderzoekslocaties in het Arctisch gebied. Kaarten: Frits Steenhuisen.

vrachtboot naar Bergen en vanaf daar met een kolenboot naar Spitsbergen. Vanaf de hoofdplaats van Spitsbergen, Longyearbyen, liet de gouverneur van Spitsbergen de pakketten met het schip Nordsyssel naar Kapp Martin – aan de kust van Bellsund – vervoeren, waar de onderdelen van de hut gedurende de winter werden opgeslagen. Inmiddels was het duidelijk geworden dat het oorspronkelijke plan om de hut middenin een ganzenkolonie te plaatsen waarschijnlijk niet op goedkeuring van de Gouverneur kon rekenen. Tijdens het veldwerk van 1977 bleek dat de hut beter dienst kon doen voor het waarnemen van ganzen tijdens de rui, wanneer deze vogels extreem schuw zijn. Daartoe zou de hut in de buurt van de meertjes moeten staan waar de ganzen zich tijdens de ruiperiode bevonden. Het probleem hierbij was echter dat de zware hut dan een heel eind over de toendra moest worden vervoerd.

Terwijl het nog geenszins duidelijk was hoe de hut naar een geschikte locatie moest worden vervoerd waren de ganzenonderzoekers al aan het werk bij Diabaspynten, acht km ten noordwesten van Kapp Martin. Vlak voor de kust ligt een klein eilandje dat een belangrijke broedplek voor brandganzen en eidereenden is. Van de rijkelijk aanwezige boomstammen, die vanuit Siberië via de Barentszee op vele stranden op Spitsbergen aanspoelen, construeerden Bart Ebbinge, Jouke Prop, Mennobart van Eerden en Tom van Spanje in augustus 1977 een uitkijktoren van waaruit men zicht heeft op dit broedeiland en zijn wijde omgeving. Deze toren wordt tot op de dag van vandaag nog jaarlijks door Jouke en zijn onderzoeksteam gebruikt. Veel van onze kennis over de broedecologie van de brandgans is met behulp van deze toren verkregen.

Ondertussen lag het bouwpakket nog altijd bij Kapp Martin. De Noren hadden inmiddels toegezegd om de onderdelen van de hut met sneeuwscooters naar de gewenste locatie te vervoeren. Echter door de (voor die tijd van het jaar) ongewoon hoge temperaturen – het was mei 1978 – was het ijs in de fjorden onbetrouwbaar geworden en mislukte de poging om naar Kapp Martin te komen. Begin juni brak echter een nieuwe vorstperiode aan waardoor de meren bij Kapp Martin opnieuw dichtvroren.



Mennobart van Eerder aan het werk aan 't Nij beholn Hoes. Foto: Jouke Prop.

Mennobart van Eerden en Jouke Prop maakten gebruik van deze situatie door de panelen van de hut en alle toebehoren over het spiegelgladde ijs naar het noorden te slepen. Het verplaatsen van het materiaal was echter een zware en tijdrovende klus. Ook de voedselvoorraad moest meegenomen worden, onder meer talloze dozen met ingeblikt voedsel die men van Piet Oosterveld had gekregen: de restanten van een uitgebreide expeditie uit 1977 naar Edgeøya (zie Thema Terrestrische Biologie). Nadat alles was overgebracht kon worden begonnen met de bouw van het ''t Nij beholn Hoes' (het nieuwe behouden huis). De uitverkoren locatie bevond zich bovenop een oude strandwal met riant uitzicht over enkele meren. Met vijf boomstammen werd de hut geschraagd om de stormwinden te doorstaan. Ondertussen had de Gouverneur toestemming gegeven voor de bouw van een tijdelijke hut voor de duur van het onderzoek. In 1981 zou de hut weer afgebroken moeten worden. De enige manier om de hut te behoeden voor sloop was door deze door te verkopen aan de Noren. Dit lukte mede dankzij steunbetuigingen van de Noorse collega-onderzoekers Thor Larsen en Fridtjof Mehlum die aangaven dat de hut van groot belang was voor het voortzetten van onderzoek. Zo werd de hut verkocht aan Televerket (de voorloper van Telenor), de toenmalige eigenaar van de 50 kilometer noordelijker gelegen Isfjord Radio. In die tijd was Isfjord Radio een onmisbare schakel in de communicatie tussen Spitsbergen en de rest van de wereld. De eigenaren van Isfjord Radio wilden graag een hutje voor hun werknemers hebben, als mooie bestemming voor een weekendje uit tijdens de lange winters. De Groninger biologen behielden het recht om 's zomers van de hut gebruik te maken. De overdracht van de hut vond plaats in 1981. Vanaf dat moment noemden de mensen van Televerket de hut Gåsebu, ofwel ganzenhut. Hoewel de hut eigendom van Telenor was, maakten diverse onderzoekers er gebruik van. Naast Groningse onderzoekers (Rudi Drent kwam er om het jaar voor ganzenonderzoek) bivakkeerden er geologen en biologen uit allerlei landen. In de 21e eeuw is de hut gedurende enkele winters door een pelsjager gebruikt als bijstation. De hut is inmiddels door de



Mennobart van Eerden sleept materiaal over een bevroren meer van Kapp Martin naar 't Nij beholn Hoes. Foto: Jouke Prop.

gouverneur van Spitsbergen aangewezen als cultureel erfgoed[6], waarmee het bouwwerk een beschermde status heeft gekregen. In dit gebied komen ijsberen vooral 's winters voor, en schade aan de hut is lange tijd beperkt gebleven tot incidenteel opengekrabde luiken. In 2008 raakte de hut echter ernstig beschadigd door een meer vasthoudende ijsbeer. Drie leden van het onderzoeksteam van Jouke Prop bezochten vlak na dit voorval de hut en hebben geprobeerd de rommel op te ruimen en de schade te herstellen. Zonder de benodigde middelen en tijd bleek een volledige renovatie echter niet goed mogelijk. Voorlopig zal herstel op zich laten wachten omdat het onduidelijk is wie op dit moment de eigenaar van de hut is. Telenor heeft in 1999 namelijk alle gebouwen van Isfjord Radio aan de kolenmaatschappij Store Norske verkocht, alleen is men deze hut vergeten mee te nemen in de verkoop.

Nadat Mennobart en Jouke in 1978 het Nij beholn Hoes hadden gebouwd, hebben ze ook een andere hut nabij de uitkijktoren van Diabaspynten in elkaar gezet. Dit kleine, tegen een rots aangebouwde hutje is uitsluitend van aangespoeld hout gemaakt; zelfs de kachel is geconstrueerd van een metalen jerrycan die op het strand is gevonden. De hut is groot genoeg om er met vier personen te bivakkeren, en in geval van nood is het zelfs mogelijk om er met z'n tweeën te overnachten. Deze hut is in de loop der jaren zeer intensief gebruikt door Jouke Prop. De Noorse overheid heeft ook deze hut als beschermd cultureel erfgoed bestempeld. In 2008 kwam echter een abrupt einde aan de functie als woonplek. Toen de ganzenonderzoekers in dat jaar hun verblijf op Nordenskiöldkysten onderbraken om ganzen te ringen in de buurt van Longyearbyen, bleek bij terugkeer de hut te zijn opengebroken door ijsberen op zoek naar voedsel. De twee boosdoeners scharrelden bij aankomst nog steeds rond de hut, maar lieten zich gelukkig gemakkelijk wegjagen. De schade aan de hut viel mee, maar het was duidelijk dat het te riskant werd om in de hut te bivakkeren. Momenteel wordt de hut derhalve uitsluitend gebruikt voor opslag van materiaal dat tegen een stootje kan. Het onderzoek ter plekke gaat onverminderd door, maar tegenwoordig verblijft men in tenten, in een kampement dat is beveiligd met een afrastering van schikdraad. Dat zo'n afrastering prima werkt om ijsberen tegen te houden is te zien op het youtube-kanaal van Jouke Prop[7].



Mennobart van Eerden bouwt het hutje op Diaspunten. Foto: Jouke Prop.

Van 1979 tot 1981 werd onder leiding van Louwrens Hacquebord 's zomers onderzoek gedaan op Smeerenburg, Amsterdameiland (zie ook Thema Menswetenschappen). Het eerste jaar werd in tenten gebivakkeerd, niet echt ideaal voor een plek die bekend staat om de mist en het slechte weer; eenmaal nat was het moeilijk weer droog en warm te worden. Expeditielid Hans Mazee bouwde in zijn verloren uren een blokhut gemaakt van drijfhout. In de tweede en derde zomer werd het verblijf anders aangepakt. Voor de opgravingen zelf werd een tweedehands broeikas meegenomen, gedoneerd door de firma Prins, zodat er droog gegraven kon worden. Ook werd beide jaren een prefab bouwkeet meegenomen en maakte de expeditie gebruik van het schip de Plancius. Dit schip had twee voordelen: het probleem van het vervoer naar en van Amsterdam dat de expeditie het jaar daarvoor parten speelde was opgelost en er was een droge slaap- en onderzoeksplek. De boot werd door de speciaal voor de expeditie opgerichte Stichting Plancius aangeschaft met subsidie van de NOS, die meeging om de expeditie te filmen. De Plancius werd voor 150.000 gulden gekocht van het Loodswezen, een koopje in die tijd. De jaren daarna werd de Plancius voornamelijk gebruikt als toeristenschip, hoewel zij ook nog ingezet werd voor een expeditie naar Jan Mayen in 1983. De door Hans Mazee gebouwde blokhut was een geliefde plek in 1980 en 1981. In 1983 is de blokhut door de Noorse gouverneur echter weer afgebroken[8].

Toen de Groningse onderzoeker Maarten Loonen in 1989 voor het eerst in Ny Ålesund (West-Spitsbergen) aankwam vond hij daar de ideale locatie om zijn promotieonderzoek



Passie

Lang niet altijd was er geld voor de biologen die naar Spitsbergen gingen voor veldwerk. Het kwam (en komt nog steeds) voor dat onderzoekers op eigen kosten naar Spitsbergen afreizen en daar verblijven. Dat zegt iets over de grote passie en gedrevenheid van deze onderzoekers, die op Spitsbergen vaak lange dagen in de kou de vogels observeren. Dit geldt natuurlijk niet alleen voor de vogelonderzoekers op Spitsbergen. In het algemeen maken de poolonderzoekers vaak lange dagen en wordt er hard gewerkt onder vaak zware omstandigheden.

naar brandganzen uit te voeren. Ny Ålesund is een oud mijnwerkersdorp dat zich sinds eind jaren '60 heeft ontwikkeld tot een groot internationaal onderzoeksdorp onder leiding van het Noorse Kings Bay. Van 1990 tot en met 1993 verbleef hij elke zomer op de zolder van de oude school. De universiteit van Oslo wilde dit gebouw in 1994 echter gebruiken voor groepen studenten en hem werd een alternatief aangeboden, mits hij bereid was om voor meerdere jaren een huurverbintenis aan te gaan. Dat alternatief was de hut London 2. London 2 is één van de vier oude mijnwerkershuisjes die zich aan de andere kant van het fjord op Blomstrandhalvøya bevonden om de mensen die in een marmermijn werkten in de jaren '20 een onderkomen te bieden. Na jarenlange leegstand waren deze huisjes in 1950 naar Ny Ålesund verplaatst waar behoefte was aan meer ruimte.
De vakgroep Zoölogie van de Rijksuniversiteit Groningen ging akkoord en sloot een contract voor vijf jaar af, met een stilzwijgende verlenging voor een tweede periode van vijf jaar.
De Nederlandse onderzoekers verkregen het recht om zelf maaltijden te bereiden, hetgeen noodzakelijk was, omdat de nacht, als de rest van het dorp sliep, de beste waarnemingsmogelijkheden bood. Terwijl Ny-Ålesund tot een internationaal onderzoeksdorp uitgroeide hadden zij aldus de beschikking over een prachtig onderkomen waar ze tegen relatief lage kosten elk jaar hun onderzoek konden uitvoeren. De toeristenboten van Oceanwide Expeditions brachten het voedsel terwijl de huur door de vakgroep betaald werd. In 2002 leek het echter mis te gaan. Andere onderzoekers in Ny Ålesund betalen de eigenaar van het dorp, Kings Bay een vast dagtarief voor accommodatie en catering, en de toenmalige directeur van Kings Bay, accepteerde niet langer dat de groep van Maarten Loonen voor een dubbeltje op de eerste rang zat. Hem werd op zeer onaangename manier te kennen gegeven dat hij zich moest aanpassen aan de nieuwe Ny-Ålesund regels, want anders kon hij vertrekken. Of zoals gesteld werd: 'Het moet toch mogelijk zijn om in Nederland fondsen te werven voor jouw Arctische onderzoek?' Enkele maanden later arriveerde goed nieuws vanuit



Brussel. De Europese Gemeenschap had juist een beursaanvraag gehonoreerd waarvan Ad Huiskes, Marcel Klaassen en Maarten Loonen de belangrijkste initiatiefnemers waren. Drie jaar lang konden ze in een groot internationaal team aan de interactie tussen ganzen, klimaatverandering en veranderend landgebruik in West-Europa (FRAGILE) werken. Voor Loonen betekende dit dat hij teamleider werd van dit grote project op Spitsbergen. Het project werd ondergebracht bij het Arctisch Centrum van de Rijksuniversiteit Groningen.

De toenmalige directeur van het Arctisch Centrum, Louwrens Hacquebord, wist de Nederlandse overheid te interesseren voor het onderzoeksstation in Ny-Ålesund. Nederland vond het belangrijk om medezeggenschap over de poolgebieden te houden en wetenschappelijk onderzoek was daarbij een belangrijk uitgangspunt. Hoewel de financiering per jaar zou worden bekeken, was hiermee het Nederlands Poolstation, middels de huur van een van de Londonhuisjes een feit. Sindsdien is Loonen stationsleider van het Nederlands poolstation en betalen alle onderzoekers die daar verblijven een vast bedrag per dag aan Kings Bay als vergoeding voor alle maaltijden die onderzoekers verplicht bij Kings Bay moeten afnemen. In 2008, tijdens het Internationaal Pooljaar besloot wasmiddelenfabrikant Proctor and Gamble het Poolstation te sponsoren en de beschikbare ruimte te verdubbelen door de huur voor hut London 3 voor een periode van 10 jaar te doneren. In augustus 2010 verhuisde men van London 2 naar London 4. London 2 werd daarna door Kings Bay helemaal gerestaureerd en is in 2015 weer in gebruik genomen. London 3 wordt de komende jaren gerestaureerd. De huisjes ontberen verwarming en stromend water waardoor ze alleen geschikt zijn voor zomerbewoning. Desondanks wordt het poolstation steeds vaker gebruikt door andere Nederlandse onderzoekers en studenten. Sinds 2012 betaalt NWO via gelden van het Ministerie van Buitenlandse Zaken de volledige huur van het Nederlandse Poolstation in Ny Ålesund. In 2014 heeft NWO afspraken gemaakt met het Duitse AWI en het Franse IPEV om te komen tot een gezamenlijk nieuw onderzoeksstation in Ny Ålesund, dat gedurende het hele jaar bewoonbaar zal zijn.

Siberië

De door president Gorbatsjov ingezette perestrojka bood Nederlandse trekvogelonderzoekers de kans om trekvogels van de Waddenzee naar Siberië te volgen. Een kans die ze volop benutten, mede dankzij de enorme inzet van Gerard Boere, beleidsmedewerker Internationaal Natuurbeheer van het toenmalige Ministerie van Landbouw, Natuurbeleid en Visserij. In 1990 werd een 'Memorandum of Understanding' (MoU) opgesteld met afspraken tussen Nederland en Rusland wat betreft de samenwerking op het gebied van milieu, watermanagement en natuur, met daarin veel aandacht voor de trekvogels. Deze MoU werd in maart 1991 officieel in Moskou door de Nederlandse minister Hans Alders en zijn Russische collega Nikolai Vorontsov getekend en bekrachtigd. Om uitvoering te geven aan de MoU werd elke twee jaar een werkplan met activiteiten opgesteld[9]. Al in oktober 1989 had Gerard Boere tijdens een verblijf in Moskou een overeenkomst met prof. Syroechskovski van de Russische Akademie van Wetenschappen weten te sluiten om in de zomer van 1990 de eerste gezamenlijke expeditie naar Taimyr te ondernemen. Aan Nederlandse zijde lag het initiatief bij Bart Ebbinge (Alterra, voorheen Rijksinstituut voor Natuurbeheer) om een onderzoeksgroep samen te stellen, waaraan ook Duitse, Engelse, Franse en Poolse onderzoekers deelnamen. Deze internationale expeditie werd gecoördineerd door prof. Syroechkovsky en was gericht op



Taimyr, transport van het Behouden Huys. Foto: Bart Ebbinge.

Nederlands Poolstation in Ny Ålesund. Foto: Ronald J.W. Visser.



Veldstation Mys Vostochny Pyasina Delta. Foto: Bas Pedroli.

onderzoek naar rotganzen, steltlopers en lemmingen. Voor het Nederlandse onderzoek was het belangrijk om langdurige observaties te midden van een broedkolonie rotganzen te kunnen doen. Bart Ebbinge zag eindelijk zijn kans schoon om zijn oude droom te realiseren: waarnemingen doen vanuit een hut middenin een ganzenkolonie[10].
Hij vroeg daarom aan Jan Koenes, die nog steeds bij de timmerwerkplaats van de afdeling Zoölogie aan de RUG werkte, om een kopie van het Nij beholn Hoes op Nordenskiöldkysten te maken. Deze hut was immers geschikt bevonden om wekenlang als onderkomen te fungeren terwijl er observaties gedaan werden. Het bouwpakket voor de hut werd per vrachtwagen naar Moskou gebracht en vervolgens door de Russen per vliegtuig naar de Pyasina-delta gevlogen. In Nederland was door Bart Ebbinge en Bernard Spaans vooraf goed geoefend, zodat de hut in Rusland met zes personen in vier uur in elkaar kon worden gesleuteld. De constructie van de hut was dusdanig dat hij aan een staalkabel kon worden opgehesen. Toch was het spannend of de hut de vlucht aan staalkabels zou overleven. Nadat Ebbinge het gebied had verkend vond hij een goede locatie voor de hut: het Grote Vogeleiland. Twee stalen stroppen werden om de 1500 kilo wegende hut aangebracht en aan een helikopter vastgemaakt, die het geheel ophees en zeven kilometer verderop ongeschonden op het Grote Vogeleiland neerzette. Deze hut werd Het Behouden Huys II genoemd.

In de periode 1991-1994 werd op zo'n drie kilometer afstand van Het Behouden Huys II een kleine Nederlandse nederzetting gebouwd van vijf houten hutjes, twee kleine koengs en zelfs een sauna! Een koeng is een opbouw die achterop een legervrachtwagen gemonteerd kan worden, en waar manschappen in kunnen slapen. Deze twee koengs werden in 1992 hangend onder een zware helikopter over een afstand van 250 kilometer vanuit Dikson ingevlogen.

Deze onderzoeksnederzetting, Mys Vostochny genaamd, ligt in het westen van het Taimyr-schiereiland in Noord-Siberië aan de noordzijde van de monding van de rivier Pyasina waar de Lidia-baai zich met de Pyasina verenigt. Tussen 1990 en 2008 heeft Alterra dit veldstation gedurende twaalf zomers gebruikt voor haar onderzoek. De nederzetting is geheel gebouwd dankzij Nederlandse financiering.
De bouw ervan was het resultaat van een verdrag dat op 29 april 1993 in Den Haag werd getekend en op 31 mei van hetzelfde jaar in Moskou[11]. In dit contract werd het volgende overeengekomen:
- To undertake necessary activities to build the "Willem Barentz" Biological Station at Meduza Bay (Great Arctic Reserve, West Taimyr) and to construct a field camp at Pyasina Delta (North-West Taimyr) for the joint Russian-Netherlands research programme in this area.
- To have the Biological Station ready by the summer of 1995, and Pyasina field camp by the beginning of the breeding season 1993.
Naast de hierboven genoemde accommodaties zou er nog een officieel onderzoeksstation gebouwd worden. Het eerste plan was om dit nabij de hierboven genoemde nederzetting in de Pyasina delta te plaatsen. De kosten voor transport van expeditiedeelnemers per helikopter vanuit Dikson naar Mys Vostochny namen echter elk jaar toe. Daarom is uiteindelijk besloten om het station in de buurt van Medusa Bay te plaatsen, veel dichter bij de plaats Dikson, aan de monding van de Jennisei en vlakbij een vliegveld gelegen. Het voorbereidende werk voor het station startte in 1993. In juli 1995 werd het Willem Barentsz Biological Station officieel geopend door de president van het Wereld Natuur Fonds, de echtgenoot van koningin Elisabeth, prins Phillip. Zodra de gebouwen gereed waren gingen zowel het eigendom als de exploitatiekosten over naar het Russische Ministerie van Milieu en Natuurlijke Bronnen, maar Nederlandse onderzoekers konden gebruik blijven maken van de accommodaties.

Vanuit dit grotere Willem Barentsz station is tussen 1994 en 2002 vooral onderzoek aan steltlopers gedaan door onder anderen Hans Schekkerman en Ingrid Tulp van Alterra, en daarna door Sergey Kharitonov van de Russische ringcentrale in Moskou. De gebouwen bij Mys Vostochny in de Pyasina delta worden tegenwoordig beschouwd als dependance van het Willem Barentsz Biological Station[12].



Toilet basiskamp Mys Vostochny. Foto: Vasily Grabovskiy.

Antarctica

De eerste Belgisch-Nederlandse zuidpoolexpeditie vond plaats in 1963-1967 en in totaal werd door 23 Nederlanders hieraan deelgenomen. Eerdere goedkeuring in 1962 door de KNAW had geleid tot de oprichting van een Nederlandse Commissie voor Antarctisch Onderzoek met een subsidie van 650.000 gulden om de eerste onderzoeksstappen in Antarctica mogelijk te maken. Op 21 januari 1964 bereikte deze expeditie Antarctica. De eerste moeilijke taak was om een nieuwe basis te bouwen. De nieuwe Koning Boudewijnbasis werd opgericht en op 6 februari 1964 officieel geopend. De basis bleef in gebruik tot maart 1967. De gehele expeditie is uitgebreid beschreven in het boek 'Naar Antarctica' door Jozef Verlinden[13]. Toen Nederland in het midden van de jaren tachtig van de vorige eeuw startte met structureel Antarctisch onderzoek besloot het toenmalige kabinet om niet op Nederlandse infrastructuur in Antarctica in te zetten, maar gebruik te maken van stations, schepen en vliegtuigen van andere landen. Deze aanpak werkte prima. Begin jaren negentig schafte het ministerie van VROM ten behoeve van het Antarctische onderzoek echter toch containerlaboratoria aan, alsmede drie prefab hutten van Australische makelij (twee zogenaamde 'Apples' en een 'Melon', voor foto's zie Thema Terrestrische Biologie) en een slee met overkapping waarin overnacht kon worden. De vijf containers, die aan elkaar gekoppeld konden worden en aldus een tijdelijke basis vormden, bestonden uit een laboratoriumcontainer, een container met diepvrieskisten en drie lege containers voor opslag. De onderzoeksgroepen die van het laboratorium gebruik zouden maken waren terrestrisch biologen van de VU en het NIOO in samenwerking met onderzoekers van de British Antarctic Survey (BAS). De BAS bleek echter geen mogelijkheid te hebben om de containers op hun schepen te vervoeren, omdat daarvoor een geschikte hijsfaciliteit ontbrak en onderzoek naar alternatieve mogelijkheden bracht geen oplossing. Dus bleven de containers op het parkeerterrein van het NIOO in Yerseke staan, en daar staan ze nog steeds. De containers worden op zich goed gebruikt, maar niet waarvoor VROM ze ooit aanschafte. De prefab hutten en de slee zijn overigens wel in Antarctica beland: de Melon hut staat sinds 1996 op de Léonie Islands (eerst op Léonie en daarna op Anchorage Island) en doet daar dienst als veldlaboratorium voor allerlei onderzoekers (niet alleen Nederlanders, maar in de loop van de jaren ook Engelsen, Duitsers, een Zuid-Afrikaan en een Australiër). Eén Apple hut staat nog steeds op Léonie Island en wordt zo nu en dan gebruikt. De andere Apple hut staat in de Mars Oasis op Alexander Island en wordt hoofdzakelijk door onderzoekers van de British Antarctic Survey gebruikt.

Met de slee is het helaas triest afgelopen. Tijdens de eerste tocht achter een skidoo sloeg hij om en scheurde open. Het

was dan ook een prototype dat de Australische fabrikant vervolgens niet verder ontwikkeld heeft.

In januari 1994 openden het Argentijnse onderzoeksinstituut Instituto Antártico Argentino (IAA) en het Duitse Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI) gezamenlijk het Dallmann Laboratorium als een bijgebouw van het Argentijnse station Jubany op King-George eiland, een van de zuidelijke Shetland Eilanden. Doel hiervan was om de bilaterale samenwerking in het Antarctische ecosysteemonderzoek te bevorderen. In 2005 sloot Nederland zich hierbij aan en vormde het Dallmann Laboratorium het eerste trilaterale samenwerkingsverband in Antarctica. De Nederlandse inbreng was echter maar van korte duur, want al in 2009 maakten Nederlandse onderzoekers (marien biologen van de RUG) voor het laatst gebruik van deze faciliteit. Toen zij twee jaar later opnieuw naar Dallmann afreisden strandden de onderzoekers in Argentinië. Na drie mislukte pogingen om met een Hercules vliegtuig de Drake Passage over te steken keerden zij onverrichter zake weer terug naar huis.

Succesvoller was de opening van vier Nederlandse containers, in het Dirck Gerritsz Laboratorium, bij het Britse onderzoeksstation Rothera op het veel zuidelijker gelegen Adelaide Island. In 2009 bracht de toenmalige prins Willem-Alexander, samen met zijn vrouw Maxima en de minister van Onderwijs en Wetenschap Ronald Plasterk, een bezoek aan Rothera. Mede dankzij dit bezoek wilde NWO graag de al langer bestaande samenwerking met de Britten verder uitbreiden. Voor de constructie van het gebouw werden alle componenten in Groot Brittanië gefabriceerd en met een Britse ijsbreker op Rothera Research Station afgeleverd. Tegelijkertijd vond in Nederland het ontwerp en de bouw plaats van vier laboratorium containers. In de zuidelijke zomer van 2011-2012 werd het Dirck Gerritsz gebouw neergezet en vervolgens zijn de vier containers in het gebouw geplaatst. Tevens werd een speciale lier geconstrueerd voor gebruik in een van de open boten van Rothera. Het eerste seizoen van 5 Nederlandse onderzoeksprojecten begon in november 2012. In januari 2013 was de opening gepland. Hoewel de speciaal voor de opening ingevlogen eregasten vanwege het slechte weer twee dagen later dan

Willem van de Poll en student Marcos Lagunas bij het Duits-Argentijnse station Dallman/Jubany. Foto: Ronald J.W. Visser.



gepland te Rothera aankwamen, en daarom ook de opening met twee dagen moest worden uitgesteld, werd dan toch op 27 januari 2013 de nieuwe faciliteit officieel geopend. Sindsdien werken vele Nederlanders, dankzij financiering van NWO, in en vanuit Rothera aan hun met name marien en terrestrisch onderzoek.

Naast de hierboven genoemde onderzoeksfaciliteiten hebben de Nederlandse onderzoekers letterlijk vele voetstappen in de poolgebieden achtergelaten. De lijst met veldwerkcampagnes in het noord- en zuidpoolgebied is veel te lang om integraal op te nemen. We verwijzen daarvoor naar de website www.polairveldwerk.nl. In het Arctisch gebied start deze lijst in 1955 met het antropologisch onderzoek in Groenland van Geert van den Steenhoven van de universiteit van Nijmegen die de wetten van de Cariboe Eskimo's in de Northwest Territories in Canada bestudeerde. Meer dan 550 Nederlandse expedities volgden, verspreid over Canada, Alaska, Groenland, Spitsbergen, Noord-Scandinavië, Rusland en de Arctische Oceaan.

In het vaak moeilijker bereikbare Antarctisch gebied ligt het aantal Nederlandse expedities begrijpelijkerwijs lager, maar toch zijn het er nog meer dan 150. Hier begint de lijst in 1957 met de eerste Nederlandse overwinteraar op Antarctica: Jaap Tinbergen. In de jaren daarna volgden vele expedities, met name naar het Antarctisch Schiereiland en de sub-Antarctische eilanden. In de hierop volgende hoofdstukken komen de onderzoekers zelf aan het woord.
De kans dat Nederland de komende jaren nog eigen polaire onderzoeksfaciliteiten zal bouwen lijkt klein. Waarschijnlijker is het dat de samenwerking met andere poolgaande landen zal worden uitgebreid. Zo zijn er plannen om in Ny Ålesund, Spitsbergen, samen met de Franse en Duitse partners een nieuw onderzoeksstation te bouwen, die mogelijk ook ruimte zal bieden aan mobiele laboratoria. Het Nederlandse onderzoek in de poolgebieden zal in de (nabije) toekomst naar verwachting nog verder toenemen; tegelijkertijd zal worden gestreefd naar een minimalisering van de blijvende 'footprints'.



Rothera Research Station. Foto: Ronald J.W. Visser.

Dit hoofdstuk is mede tot stand gekomen door bijdragen van Paul de Groot, Jouke Prop, Gerard Boere, Bart Ebbinge, Ad Huiskes, Maarten Loonen en Hein de Baar.

Eindnoten

1. *Het Dirck Gerritsz Laboratorium; het verhaal achter de naam. (2013)Hein de Baar, Liesbeth Noor, Dick van der Kroef, Rene Prop. NWONederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek, ISBN9789077875-74-2.*
2. *De documentaire is te zien op youtube via https://www.youtube.com/watch?v=1L02KW3kDa0#t=123*
3. *Oosterveld, Piet (1970). Nederlandse Spitsbergen expeditie 1968/1969 (p.3).*
4. *Zie voor meer informatie ook http://nl.wikibooks.org/wiki/Nederlandse_Spitsbergen_Expeditie_(1968-1969)#Expeditieleden*
5. *Zie o.a. Boschman, J.B. en Hacquebord, L. (2004). Permanence in diversity: Netherlands Ecological Research on Edgeøya, Spitsbergen. Circumpolar studies volume I. Uitgeverij Barkhuis: Groningen.*
6. *Op 22 december 2014 stond dit als zodanig aangegeven op de officiële Noorse website http://www.kulturminnesok.no/*
7. *https://www.youtube.com/user/joukeprop.*
8. *Zie ook: Louwrens Hacquebord en René de Bok (1981). Spitsbergen 79° N.B. Elsevier - Amsterdam/Brussel*
9. *G.C. Boere (2007). Russian-Dutch Cooperation in the field of nature conservation over the period 1991-2006. An overview of the history, activities, programmes and projects. Den Haag, Ministerie van LNV.*
10. *Bartwold Ebbinge (2014). De Rotgans. Atlas Contact: Amsterdam.*
11. *Het project werd gefinancierd door de Nederlandse overheid.*
12. *Jozef Verlinden: Naar Antarctica: Belgen en Nederlanders op expeditie naar de Zuidpool (2009). Uitgeverij Lannoo, ISBN-9789020986136*
13. *Het project werd gefinancierd door de Nederlandse overheid.*



Aardwetenschappen





Aardwetenschappelijk onderzoek in de poolgebieden: inleiding

Simon R. Troelstra

De combinatie poolonderzoek-aardwetenschappen ligt misschien niet direct voor de hand. Bij aardwetenschappen denkt men al gauw aan 'echte' geologische begrippen zoals gebergten, aardbevingen, fossielen en mineralen. Echter, aardwetenschappen is meer dan geologie alleen, en telt meerdere disciplines zoals geomorfologie, fysische geografie en geofysica (zie blauwe kader op pagina 38). In het Thema Aardwetenschappen komen meerdere van deze disciplines aan bod.

Veel van het onderzoek in dit boek gaat over recente veranderingen in de poolgebieden. Hoe snel gaan die eigenlijk en hoe zal de toekomst eruitzien? Aardwetenschap voegt hieraan een nieuwe dimensie toe: de geologische tijdschaal. De geschiedenis van onze planeet ligt als een archief opgeslagen in gesteenten die aan de oppervlakte voorkomen of die met behulp van boringen naar boven gehaald kunnen worden. Kenmerken als gesteentetype en fossielinhoud geven samen met chemische analyses vaak gedetailleerde informatie over de stand van zaken in een bepaalde geologische periode, zoals hoe warm het was, hoe diep de oceanen waren of waar de continenten in die tijd lagen. Zo kunnen we ook vragen over het ontstaan van ijskappen, hun invloed op zeespiegelstand en het leven op Aarde beantwoorden.

Dankzij geologisch onderzoek weten we dat er sinds het ontstaan van de Aarde eigenlijk maar vijf – geologisch gezien korte – perioden zijn geweest waarin serieuze ijskappen voorkwamen. We leven momenteel dus in een bijzondere tijd: een Aarde met ijskappen op beide polen. Dit is alleen mogelijk als daar continenten aanwezig zijn en dat is vanwege hun voortdurende beweging vaker niet dan wel het geval: daarom is een ijsvrije Aarde normaler dan een Aarde met ijskappen. Het lange tijdperk waarin de dinosauriërs leefden (250 tot 65 miljoen jaar geleden) was bijvoorbeeld vrijwel geheel ijsvrij; het was warm en vochtig en de zeespiegel stond hoog, omdat er geen water in ijskappen was opgeslagen.

Als we op Spitsbergen rondlopen zien we naast glaciale afzettingen ook kalkgesteenten met fossiele koralen en dinosauriërresten. Tevens vinden we zoutafzettingen, steenkoollagen en afdrukken van tropische varens. Het was op Spitsbergen dus niet altijd koud. Sterker nog, het oer-Spitsbergen lag miljoenen jaren geleden op de evenaar en is sindsdien langzaam door de klimaatgordels naar het noorden verschoven, en doet dat nog steeds. De huidige positie van Spitsbergen in het Arctische gebied is dus slechts een momentopname in de lange geologische geschiedenis.

Geologisch onderzoek in de poolgebieden is van belang om te begrijpen hoe en wanneer de ijskappen ontstonden. Anderzijds helpt kennis van huidige glaciale processen om verschijnselen uit het verleden te verklaren: wat betekenen die grote brokken steen in diepzee-afzettingen uit het verre verleden? Recente gletsjers zitten na een lange glijtocht over de bodem bij aankomst aan zee vol stenen, grind en zand. Hier breekt de gletsjer af en drijft als ijsberg richting lagere breedtegraden waar al smeltend het ingekapselde materiaal op de zeebodem wordt gedumpt. Aldus komen de grote stenen op de zeebodem terecht, ver van hun oorsprongsgebied. Onderzoekers kunnen dit materiaal opdreggen en onderzoeken welke gesteentetypen onder de kilometers dikke ijskappen verborgen lagen.

Met de kennis van glaciale processen en aanverwante verschijnselen in de poolgebieden – geomorfologie en fysische



Smeltende ijsberg met flinke stenen in Disko Bay, Groenland. Foto: Simon Troelstra.

geografie – kunnen we het verleden nauwkeuriger interpreteren. Dit levert waardevolle informatie op over de snelheid en de gevolgen van natuurlijke processen. Gedetailleerde kennis van deze natuurlijke processen, dat wil zeggen, voordat de mens invloed op het klimaat ging uitoefenen, is van groot belang om te bepalen hoe groot die menselijke invloeden daadwerkelijk zijn. Deze informatie is essentieel voor het maken en verbeteren van klimaatmodellen.

Voor de hoofdstukken binnen het Thema Aardwetenschappen is een keuze gemaakt uit een enorme hoeveelheid geologisch, fysisch geografisch en geomorfologisch onderzoek. Nederlandse aardwetenschappers zijn vooral sinds het begin van de jaren ’80 van de vorige eeuw actief in de poolgebieden, zowel op land als op zee. Momenteel werken aardwetenschappers van de Vrije Universiteit Amsterdam (VU) en de Universiteit Utrecht (UU) op Spitsbergen. De VU werkt nauw samen met het Norwegian Polar Institute in de Kongs- en Krossfjorden nabij het onderzoeksdorp Ny Ålesund. Het onderzoek richt zich op sedimentaire processen in de fjorden, die sterk klimaatverandering-afhankelijk zijn en derhalve grote invloed op het mariene ecosysteem kunnen hebben. Verder gebruiken onderzoekers van de UU de grote puinwaaiers op Spitsbergen als analoog voor soortgelijke fenomenen op de planeet Mars. Ten slotte zijn rondom Antarctica en in Siberië ook Nederlandse aardwetenschappers actief.

De vier hoofdstukken in dit thema zijn geselecteerd op hun verscheidenheid. Eduard Koster was één van de eerste Ne-

derlandse aardwetenschappelijke onderzoekers op Groenland. In zijn hoofdstuk beschrijft hij het fysisch geografisch werk dat zijn groep in de jaren 1985-1986 uitvoerde. Wim Groeneweg verbleef als enige geoloog in gezelschap van biologen, meteorologen en archeologen in 1990-1991 op King George Island (South Shetland Islands, Antarctica) tijdens de 'Eerste Nederlandse Antarctische Expeditie'. Voorts beschrijven Ko van Huissteden en mede-onderzoekers hun onderzoek naar de effecten van het ontdooien van de permafrost in Siberië. Ten slotte doen Peter Bijl en Henk Brinkhuis verslag van hun onderzoek bij Antarctica. Zij gebruikten het boorschip Joides Resolution om met diepe boringen in de zeebodem de geschiedenis van de Antarctische IJskap te reconstrueren. Hier ontstond in het Oligoceen, ongeveer 34 miljoen jaar geleden, de eerste aanzet tot de ijskap.

Wat is wat in de Aardwetenschappen?

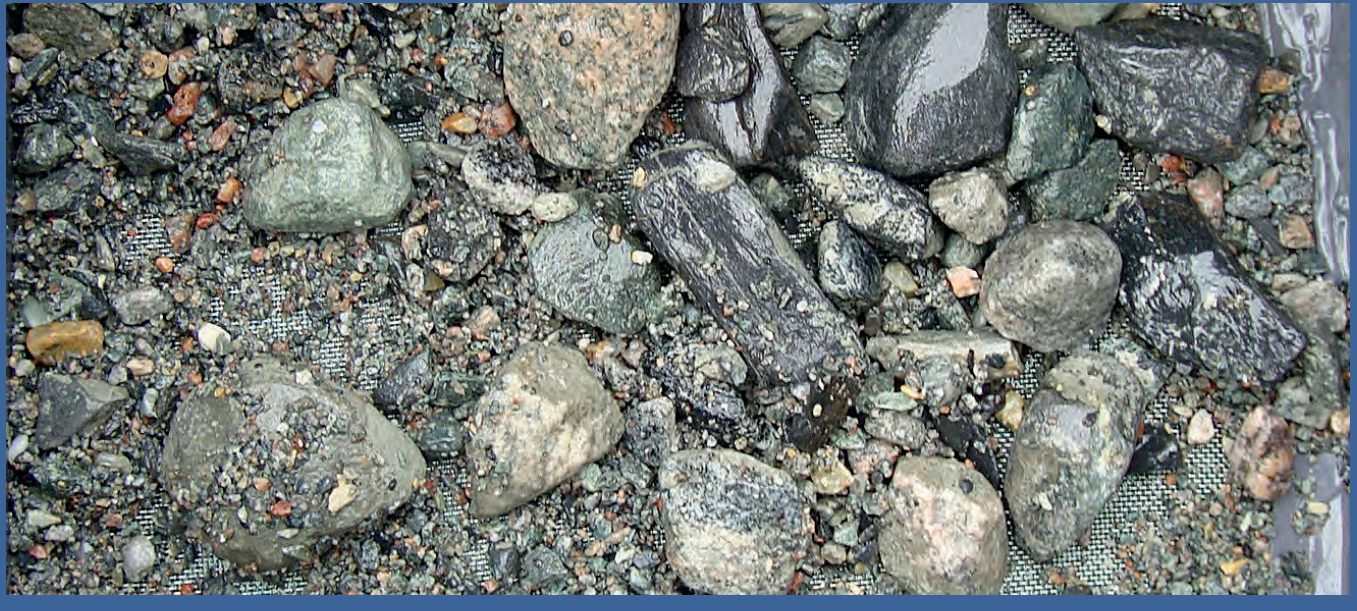
Geologie houdt zich bezig met het bestuderen van de opbouw en de ontstaansgeschiedenis van de aardkorst. Hoe ontstaan oceanen en gebergten? Hoe snel spelen deze processen zich af? Binnen de geologie zijn er tal van subdisciplines zoals sedimentologie, paleontologie en petrologie.

Geomorfologie bestudeert de vormen van het aardoppervlak en de processen die daarbij een rol spelen of hebben gespeeld. In Nederland vinden we bijvoorbeeld nog veel sporen van de laatste ijstijd, zoals de Sallandse heuvels en de Utrechtse Heuvelrug.

Fysische geografie bestudeert processen in het landschap en doet voorspellingen over het effect van menselijk ingrijpen in het landschap of de gevolgen van klimaatverandering op het landschap en ons leefmilieu.

Geofysica is de wetenschap die zich bezighoudt met de natuurkundige verschijnselen van de aarde, het aardoppervlak en de dampkring. Voorbeelden zijn aardbevingen in de diepe aarde en het aardmagnetisch veld.

Monster van de zeebodem in Disko Bay, Groenland. Dit sediment is afkomstig van smeltende ijsbergen. Foto: Simon R. Troelstra.



Sporen van vroegere mijnbouw bij Longyearbyen, Svalbard. Foto: Student VU.





Permafrost onderzoek in het noorden van Siberië

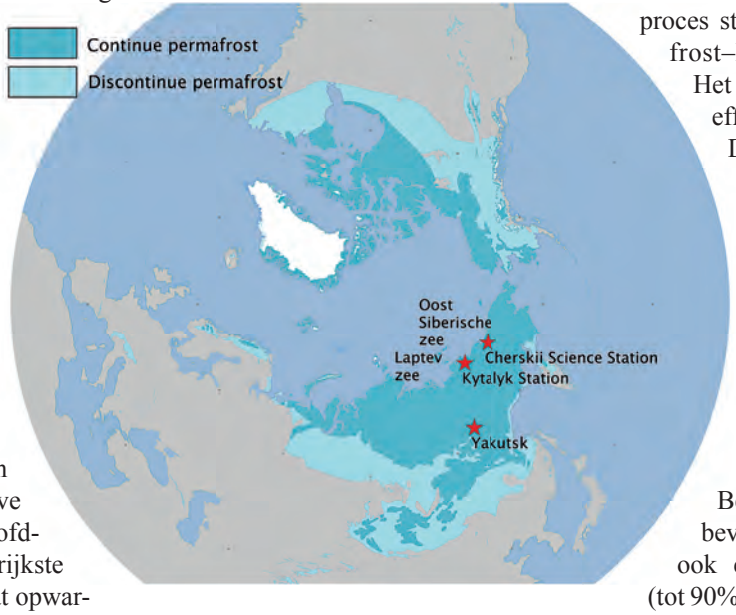
Ko van Huissteden, Jorien Vonk, Monique Heijmans, Daan Blok

Permafrost is permanent bevroren bodem. Deze bodems slaan enorme hoeveelheden organisch koolstof op in de vorm van plantenresten, het resultaat van de productiviteit van Arctische ecosystemen. Permafrost bodems bevatten bijna twee keer zoveel koolstof in vergelijking met de atmosferische hoeveelheid koolzuurgas en methaan. Permafrost gedraagt zich als een gigantische diepvriezer, die de vertering van het organische materiaal in de bodem tegenhoudt. Bovendien is de bovenlaag van permafrost bodems moerassig in de zomer. In moerasbodems is de afbraak van organisch materiaal beperkt door gebrek aan zuurstof. Hierdoor kunnen alleen methaanvormende bacteriën het organische materiaal afbreken, en veroorzaken zij daarmee de uitstoot van methaan naar de atmosfeer.

Permafrost en de daarin opgeslagen koolstof zijn de aanleiding geweest voor een groep Nederlandse wetenschappers om onderzoek te gaan doen in het noorden van Siberië. In de zomer dooit alleen de toplaag van de permafrostlaag (de 'active layer'). Koolstof is het hoofdelement van de twee belangrijkste broeikasgassen die het klimaat opwarmen: koolzuurgas (CO_2) en methaan (CH_4). Methaan is als broeikasgas ruwweg *dertig* keer zo sterk als koolzuurgas.

Als wereldwijd de temperatuur slechts twee graden stijgt, kunnen de Arctische gebieden tot wel acht graden opwarmen, hetgeen op grote schaal het ontdooien van de permafrost zal veroorzaken. De snelheid waarmee de ontdooide organische stof verteert stijgt exponentieel met iedere graad opwarming. Dit veroorzaakt een verdere toename van de broeikasgas-uitstoot, hetgeen de opwarming van het klimaat vervolgens weer versterkt. Dit proces staat bekend als de permafrost–koolstof-terugkoppeling. Het is echter niet bekend hoe effectief dit mechanisme is. De uitstoot van broeikasgassen zou bijvoorbeeld gecompenseerd kunnen worden door andere processen. Als bijvoorbeeld het Arctische groeiseizoen langer en warmer wordt, neemt ook de opname van koolstof door fotosynthese toe.

Behalve organisch materiaal bevatten permafrost bodems ook enorme hoeveelheden ijs (tot 90% in volume), veel meer dan



Locatie van de beschreven onderzoeksgebieden, en ligging van de permafrostgebieden. Bij continue permafrost is de bodem overal permanent bevroren, bij discontinue permafrost slechts gedeeltelijk of sporadisch.

er aan vloeibaar water in een niet-bevroren bodem kan zitten (30 tot 40%). De voornaamste oorzaak hiervan vormen de diepe krimpscheuren in de bodem die ontstaan tijdens de koude Arctische winters. Deze scheuren worden vervolgens opgevuld met ijs en sneeuw. Herhaald scheuren op dezelfde plaats gedurende achtereenvolgende winters leidt tot de vorming van brede, metersdiepe verticale wiggen van ijs. Aan de oppervlakte is dit zichtbaar als een typisch patroon van polygonen (veelhoeken). Als de permafrost ontdooit, kan het hoge ijsgehalte tot dramatische effecten leiden: de bodem raakt dan oververzadigd met water, wat het vervloeien en wegglijden van de bodem kan veroorzaken, of er vormen zich poelen en meren (dooimeren of thermokarst meren). Dit heeft grote effecten op menselijke bewoning, omdat bijvoorbeeld gebouwen en infrastructuur instabiel worden. Het beïnvloedt echter ook de vertering van organisch materiaal. In de zuurstofloze bodems van poelen en meren kan vervolgens meer methaan ontstaan.

Permafrost en vegetatie zijn nauw met elkaar verbonden. Het vegetatiedek beschermt de permafrost tegen ontdooien. Waar het vegetatiedek verstoord wordt, zal ijsrijke permafrost sneller ontdooien. Kennis van de samenhang tussen vegetatie, bodem, ijs en water is dus van het grootste belang om het ontdooien van de permafrost te begrijpen.

Wereldwijd bevat Siberië verreweg het grootste oppervlak aan ijs- en koolstofrijke permafrost bodems. Tegelijkertijd is Siberië qua onderzoek van broeikasgassen nog een onontgonnen gebied. Dit is de voornaamste reden waarom we de permafrost-koolstof-terugkoppeling niet in makkelijker toegankelijke locaties bestuderen, zoals in Spitsbergen (ook omdat de bodems er anders zijn). Bekende koolstofrijke permafrostgebieden in Siberië zijn de veenmoerassen in westelijk Siberië, en de ‘yedoma’ afzettingen van oostelijk Siberië. De ‘yedoma’ afzettingen zijn ontstaan tijdens de ijstijden, toen Oost-Siberië niet bedekt was door ijskappen, maar door een koud steppelandschap. In lagere delen werden loess (door de wind verplaatst stof) en riviersedimenten afgezet, waarin planten- en dierenresten voorkomen. Tegelijkertijd voegden doorlopend aangroeiende ijswiggen veel ijs aan de bodem toe. Op deze manier zijn tientallen meters dikke afzettingen van ijsrijke leem met organisch materiaal afgezet over een gebied van een miljoen vierkante kilometer.

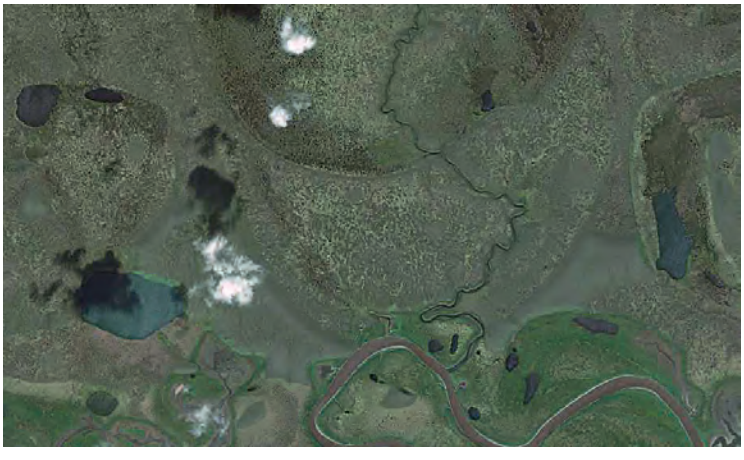
Ontdooiende ijs- en organische stofrijke permafost in de Duvannyi Yar kliffen aan de Kolyma rivier bij Cherskii. Foto: Jorien Vonk.







Links: verse krimpscheur bij ijswig in de bodem (lengte van de stok ± 1.2 m). Rechts: polygonaal patroon van scheuren in de Siberische toendra. Foto's: Ko van Huissteden.



Satellietbeeld van het landschap bij onderzoeksstation Kytalyk, met daarin elkaar overlappende bodems van voormalige dooimeren en de riviervlakte. De egaal grijze vlakken zijn resten van de 'yedoma' afzettingen.

Naarmate het klimaat aan het eind van de laatste ijstijd opwarmde en natter werd verdween een deel van deze afzettingen weer door de vorming van grote dooimeren. Veel van deze meren zijn echter later leeggelopen door contact met rivieren. Het Holocene klimaat na de ijstijd bleef echter koud genoeg voor hernieuwde vorming van ijswiggen. Zodra de bodem van een leeggelopen meer aan de atmosfeer werd blootgesteld, ontstond er nieuw grondijs, met als gevolg een zich herhalende cyclus van aangroei van ijsrijke permafrost, ontstaan van nieuwe meren en het weer leeglopen hiervan. Vandaag de dag vertoont het landschap in de Arctische laaglanden nog steeds elkaar overlappende contouren van voormalige meren.

Vanaf de late 90-er jaren startten de eerste Europese onderzoeksprogramma's om de effecten van klimaatverandering op permafrostgebieden te onderzoeken: TUNDRA, CarboNorth, TCOS (Terrestrial Carbon Observation Siberia). Aardwetenschappers en biologen van verschillende Nederlandse onderzoeksinstituten en universiteiten namen deel aan deze programma's. Vanwege het einde van de Koude Oorlog werd het bovendien eenvoudiger om met Russische



Verstoring van de permafrost

De grote hoeveelheden ijs in de permafrostbodem worden slechts door een dunne laag veen en vegetatie beschermd tegen dooien. Zodra dit vegetatiedek wordt beschadigd zet de dooi snel in. Alleen al door rond te lopen ontstaan door het vertrappen van de vegetatie al snel poeltjes. Bij het onderzoeksstation blijkt dit uit de vorming van poelen rond de huisjes en de meetinstrumenten. Deze poelen stoten effectief CO_2 en CH_4 uit. De vorming van poelen kan voorkomen worden door de constructie van houten looppaden. Verder zal elke constructie die op de permafrost geplaatst wordt scheefzakken vanwege variaties in het dooien en ook het bewegen van het grondijs: een laboratoriumcabine die er slechts zes jaar geleden neergezet is staat nu al scheef. Ook is het bijvoorbeeld moeilijk gebleken om meetmasten exact verticaal te houden. Kortom, de instabiliteit van de permafrost veroorzaakt veel praktische problemen zodat voortdurend reparaties en aanpassingen nodig zijn.

wetenschappers samen te werken. De Vrije Universiteit van Amsterdam (VU) en de Universiteit van Wageningen (WUR) pionierden in Oost-Siberië binnen het TCOS programma door samen te werken met Russische biologen in Yakutsk. Dr. Trofim Maximov van het Instituut voor Biologische Problemen van de Cryolithozone (IBPC) van de Russische Academie voor Wetenschappen leidde een onderzoeksstation in de taiga nabij Yakutsk: Spasskaya Pad. In 2002 werd daar een meettoren door Alterra en de VU opgezet om de vegetatie-atmosfeer uitwisseling van CO_2 in de taiga te bepalen.

Ook werd in 2003 in de toendra van het Indigirka laagland in het noorden van Yakutia door de VU en het IBPC een nieuw onderzoeksstation gevestigd: Kytalyk. De focus van het onderzoek lag hier op de CO_2 en CH_4 uitwisseling van de toendra met de atmosfeer. Gelijksoortig onderzoek werd gestart door het Duitse Max Planck Instituut voor Biogeochemie vanuit een onderzoeksstation dichtbij de plaats Cherskii, geleid door de Russische bioloog Dr. Sergej Zimov. Ook Amerikaanse biologen uit Alaska werken in het laatstgenoemde station (Polaris project, zie hieronder). Het

Onderzoeksstation Kytalyk tijdens een overstroming van de nabijgelegen rivier. Foto: Daan Blok.





Duitse Alfred Wegener Instituut voor Poolonderzoek vestigde een onderzoeksstation in de delta van de Lena rivier (Samoylov eiland). Dankzij het TCOS programma werd Yakutia dus een 'hotspot' voor internationale samenwerking op het gebied van Arctische ecosystemen en permafrost.

Onderzoeksstation Kytalyk ligt 30 kilometer ten noordwesten van de plaats Chokurdagh, aan de oevers van de rivier de Berelegh, een oostelijke zijrivier van de Indigirka. Het station vormt de toegang tot het immens grote Kytalyk natuurreservaat, qua oppervlak ongeveer een vijfde deel van Nederland, maar geheel onbewoond. 'Kytalyk' is de Yakutische naam voor de zeldzame Siberische witte kraanvogel die in het gebied broedt. De gemiddelde jaartemperatuur is er -10.5 ^{o}C, waarbij de warmste zomermaand (juli) gemiddeld 10.4 ^{o}C is, en januari gemiddeld -34 ^{o}C. Echter uitschieters tot +25 ^{o}C en -50 ^{o}C worden ook regelmatig gemeten. Er is door het Wereld Natuur Fonds een houten huis gebouwd voor wetenschappelijke en educatieve doeleinden. Wetenschap in Kytalyk gaat hand in hand met educatie: elk jaar worden er zomerkampen voor kinderen uit Chokurdagh georganiseerd, en daarbij vertellen ook de wetenschappers over hun onderzoek.

Het landschap rond Kytalyk is een weidse toendravlakte, met veel dooimeren en lage 'yedoma' heuvels van enkele tientallen meters hoog. Andere opvallende aspecten van dit landschap zijn de geïsoleerde heuvels met een kern van ijs die zijn ontstaan door het uittreden van grondwater uit diepere, niet bevroren lagen: pingo's. Het station zelf ligt op de bodem van een leeggelopen dooimeer, en wordt gescheiden van de riviervlakte door een lage terrasrand. Het gebied bevat een gevarieerde toendra-vegetatie, gedomineerd door dwergstruiken zoals dwergberk, verschillende soorten wilgen, stukken met veenmos (*Sphagnum*) of zeggesoorten, en pollen wollegras. Een veel voorkomend verschijnsel zijn plateaus van ongeveer een halve meter hoog met daaronder ijslagen, begroeid met dwergberk ('palsa's'). Hiertussen veroorzaakt dooiend grondijs een groot aantal ondiepe poelen. De riviervlakte bestaat uit drassige bodem bedekt met grassen en zegges, terwijl de oeverwallen van de meanderende riviergeulen worden gemarkeerd door hogere wilgenstruiken. De voorjaarsoverstromingen van de rivier verschillen sterk van jaar tot jaar: de overstromingen kunnen hoog zijn en een paar maanden duren, terwijl in andere jaren de riviervlakte droog blijft.

Het Nederlandse onderzoeksteam (VU Aardwetenschappen en het IBPC) startte met de constructie van een meteorologisch station en een eddy-covariantie toren. Eddy covariantie is een techniek om de uitwisseling van warmte, waterdamp en gassen tussen het landoppervlak en de atmosfeer over grotere gebieden te bepalen. Met behulp van uiterst gevoelige apparatuur wordt tien keer per seconde de windsnelheid en de gasconcentratie in de lucht gemeten. De aldus bepaalde CO_2 uitwisseling is gelijk aan de netto balans tussen uitstoot door afbraak van organische stof en opname door fotosynthese. Verdamping en warmte-uitwisseling worden ook gemeten en zijn belangrijk voor de stabiliteit van de permafrost. De CH_4 flux wordt gemeten door middel van de eenvoudigere kamer-methode: een gasdichte doos wordt op de grond geplaatst, om vervolgens de toename in gasconcentratie in de doos te meten. Deze observaties toonden aan dat de CH_4 flux sterk varieerde van plaats tot plaats.

Dit gegeven was aanleiding om het onderzoek voort te zetten; een nieuw programma hieromtrent startte in 2007. Door middel van een Nederlands-Russische wetenschappelijke samenwerkingsbeurs voor de VU Aardwetenschappers en de Wageningse Natuurbeheer en Planten-ecologie groep was er financiële armslag om een laboratorium-cabine, een windturbine en geavanceerde laser spectroscopie apparatuur voor eddy covariantie metingen van CH_4 aan te schaffen. Vier promovendi begonnen daarop hun onderzoek in Kytalyk, gefinancierd door een onderzoeksprogramma van het Darwin Center waarin de VU, WUR en de universiteit van Utrecht (UU) samenwerkten. Hun onderzoek omvatte flux metingen van CH_4 en CO_2, experimenten om de ecologie van de toendra-vegetatie beter te begrijpen, en een poging om CH_4 emissies uit paleo-meren te reconstrueren door middel van metingen van de stabiele koolstof isotoop ^{13}C in het meersediment. Het station fungeerde ook als trainingsfaciliteit voor promovendi uit andere projecten. Het Darwin Center project vormde het startpunt voor een succesvolle carrière in klimaat- en Arctisch onderzoek voor deze vier promovendi.



Energie

De energievoorziening is een uitdaging in afgelegen stations. De hutten en huisjes worden warm gehouden met behulp van ‘petsjka’s’ – ijzeren houtkacheltjes die dus voor verwarming maar ook voor het koken worden gebruikt. De rivier levert het hout: alle Siberische rivieren bevatten grote hoeveelheden drijfhout. Elk jaar levert een vrachtboot een voorraad drijfhout, bijeengesprokkeld langs de rivieroevers, aan het onderzoeksstation. Computers en wetenschappelijke instrumenten draaien echter niet op drijfhout. In het verleden vertrouwde men wat betreft de stroomvoorziening vooral op benzine- en dieselgeneratoren. Deze zijn in de gegeven moeilijke omstandigheden niet erg betrouwbaar, mede door de matige kwaliteit van de brandstof die ter plaatse aangeschaft moet worden. Meer dan eens moesten in het verleden de filters van zo’n generator gereinigd worden van de ontelbare muggen die naar binnen waren gezogen. Daarom wordt meer en meer gebruik gemaakt van zonnepanelen en windenergie. Het station heeft momenteel twee sets zonnepanelen en twee kleine windturbines. Dit is voldoende om ‘s winters het weerstation continu van stroom te voorzien en aan de normale energiebehoefte in de zomer te voldoen.

Vanaf 2010 nam de internationale betekenis van Kytalyk verder toe. Wetenschappers van de Japanse universiteit van Hokkaido installeerden er een boorgat voor metingen aan de permafrost, en Duitse onderzoekers bezochten het station om het ontstaan van de yedoma sedimenten te bestuderen. Het station werd bovendien onderdeel van het Europese INTERACT netwerk van Arctische onderzoeksstations. In 2011 werd het zelfs een van de primaire stations van het PAGE21 project, een groot Europees onderzoeksprogramma naar de permafrost-koolstof terugkoppeling.

In 2010 werden nieuwe onderzoeksbeurzen verkregen (NWO, Darwin Center, NWO-Vidi) door zowel de VU als de WUR. Deze projecten richten zich op dooiprocessen van de permafrost en de koolstoffluxen van de verschillende landschapseenheden (riviervlakte, meren, moerassige toendra). Ook is vanuit deze projecten een tweede eddy covariantie systeem geïnstalleerd. De vegetatie-successie en broeikasgas uitstoot van de vele kleinere poelen, ontstaan door het dooien van grondijsmassa’s worden momenteel in detail bestudeerd, veelal in internationaal verband. Een andere Wageningse promovenda begon met opwarmings-

Werk aan het weerstation en de eddy covariantie instrumenten bij Kytalyk in de vroege lente (april 2013). Foto: Ron Lootens.





experimenten van de bodem. In 2013 zijn er ook nieuwe projecten van Wageningen en de Universiteit van Zürich begonnen, waarin verder gewerkt wordt aan ecologisch onderzoek en onderzoek van de energiebalans.

Het North East Science Station (NESS) bevindt zich vlakbij Cherskii op de oever van de Pantaleikha, een zijrivier van de Kolyma. Het werd in 1989 opgericht door Russische wetenschappers van het Pacific Institute for Geography van de Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (FEBRAS). Sinds 2008 komt hier elke zomer een groot internationaal en multidisciplinair team samen in het kader van het Polaris Project (www.thepolarisproject.org, gefinancierd door de US-NSF). Het voornaamste wetenschappelijk doel is het kwantificeren van de hoeveelheid koolstof in permafrost en om te onderzoeken wat hiermee gebeurt als de permafrost ontdooit. Daarnaast is het trainen van de volgende generatie Arctische onderzoekers een belangrijk doel. Het Nederlandse onderzoek binnen het Polaris Project is sinds 2010 gericht op het vrijkomen van koolstof uit ontdooiend yedoma in combinatie met de afbreekbaarheid van deze koolstof, waarbij de nadruk ligt op het aquatisch milieu. De belangrijkste veldwerkplek is Duvannyi Yar, een 10 tot 12 kilometer lange yedoma ontsluiting langs de Kolyma Rivier, ongeveer drie uur varen vanaf Cherskii. Deze geëxponeerde kliffen bevatten circa 75% ijs en torenen tot 50 meter boven het gemiddelde rivierniveau uit. De riviererosie wordt geschat op drie tot vijf meter per jaar.

Het Oost-Siberische continentale plat is het grootste continentale plat op aarde en omvat de Laptev zee, de Oost-Siberische zee en het Russische deel van de Tsjoektsjenzee. Dit gebied ontvangt enorme hoeveelheden terrestrisch organisch materiaal van de ontdooiende permafrost op de Siberische landmassa, zowel via kusterosie als door riviertransport. Het Oost-Siberische continentale plat herbergt tevens 80% van alle zeebodempermafrost ter wereld, en warmt momenteel vele malen sneller op dan de rest van de aarde. De huidige hoge temperaturen gaan samen met een afname van het zee-ijs. Dit heeft een versterkte invloed van stormen, golven en getijden op de kust tot gevolg. Russische wetenschappers van het Pacific Oceanological Institute van FEBRAS, en de International Arctic Research Center van de University of Alaska bestuderen dit gebied al



Pingo op de riviervlakte bij onderzoeksstation Kytalyk. Foto: Daan Blok.

circa twee decennia lang. In 2008 en 2014 bezochten multidisciplinaire onderzoeks-expedities, geleid door Russische en Zweedse wetenschappers (met Nederlandse wetenschappers aan boord) het gebied. Eén van de hoofddoelen was om de afbraak van land- en zeebodempermafrost te bestuderen.

Het Siberische onderzoek heeft een aantal wetenschappelijke hoogtepunten opgeleverd. Het belang van grondobservaties van methaanfluxen werd in het jaar 2007 duidelijk. Overstromingen van de rivieren in het noorden van Siberië waren wijdverbreid en duurden erg lang. Tegelijkertijd registreerden wereldwijde observatie-netwerken een onverwacht sterke toename van de methaanconcentratie in de atmosfeer. Vermoed werd dat de bron van deze toename in het Arctische gebied lag. Kytalyk was één van de slechts twee onderzoeksstations waar methaanflux-metingen werden gedaan, en deze lieten inderdaad recordhoge fluxen zien.
Elf jaar van continue en consistente metingen van CO_2 en





CH_4 fluxen en ecosysteemveranderingen hebben inmiddels bijgedragen aan een beter begrip van de gevolgen van Arctische opwarming voor de koolstofbalans van de toendra. De voornaamste boodschap van het onderzoek in Kytalyk is dat een stabiele toendravegetatie broeikasgassen opneemt en aldus de permafrost-koolstof terugkoppeling tegenwerkt. Echter, er zijn ook tekenen dat dit terugkoppelingsproces aan het afnemen is. De eddy covariantie metingen laten zien dat een langer groeiseizoen toch niet tot meer opname van koolstof leidt, omdat dit wordt gecompenseerd door een toegenomen koolstofverlies vanuit de opwarmende bodem. Ook neemt het aantal door dooi van ijslenzen veroorzaakte poelen toe. Dit is aangetoond door satellietbeelden uit verschillende jaren met elkaar te vergelijken (inclusief Amerikaanse spionagesatellietfoto's uit de Koude Oorlog). Deze poelen zijn belangrijke bronnen van broeikasgas, omdat ze zowel CH_4 als CO_2 uitstoten. De vegetatie van de ongestoorde toendra zuigt daarentegen CO_2 op, compenseert aldus de uitstoot van methaan en beschermt bovendien de permafrost tegen ontdooien. Zelfs de grote bronnen van methaan, zoals de moerassige delen van de riviervlakte en de natte zeggevelden, worden totaal gecompenseerd door de CO_2 opname door de vegetatie. Een verrassing was het sterke effect van methaan-afbrekende bacteriën. Microbiologen van de Universiteit van Nijmegen ontdekten dat deze bacteriën in de blaadjes van veenmos leven. Veenmosmonsters uit Kytalyk laten de hoogste methaan-afbraaksnelheid zien, vergeleken met andere veenmosmonsters vanuit de hele wereld.

Het Wageningse ecologische onderzoek heeft onze kennis omtrent de wisselwerking tussen vegetatie en permafrost versterkt. Uit onderzoek aan 'boom'ringen van de dwergberkstruiken, in combinatie met het vergelijken van satellietbeelden was de snelheid van het uitbreiden van struiken af te leiden. Een experiment waarbij dwergberkstruiken verwijderd werden, leverde spectaculaire resultaten op: in experimentele plots van tien meter doorsnede waarin de struiken weggehaald werden ontwikkelden zich na enkele jaren poelen, die in tegenstelling tot de struiken een bron van broeikasgassen zijn. Dit experiment bevindt zich momenteel in zijn achtste jaar en is sinds 2007 jaarlijks bezocht waarbij de vegetatie-ontwikkeling, permafrost-veranderingen en broeikasgasuitstoot zijn bestudeerd, hetgeen dit tot een uniek experiment in het poolonderzoek maakt.
Onderzoek in Duvannyi Yar heeft uitgewezen dat na het invallen van de dooi yedoma koolstof zeer snel afbreekt. Incubatie experimenten met organisch koolstof in dooistroompjes laten zien dat na twee weken ongeveer een derde van de koolstof in broeikasgas is omgezet. Spectroscopische technieken en enzymactiviteitsstudies tonen aan dat deze snelle afbraak toe te schrijven is aan de samenstelling en vorming van yedoma; het organisch materiaal is ooit zeer snel ingevroren en sindsdien altijd bevroren geweest. Dit heeft geleid tot goed gepreserveerde yedoma afzettingen. IJswiggen (en het organische materiaal erin) spelen een belangrijke rol in de afbraak van yedoma omdat ze water en substraat aanleveren die de afbraak versnellen. Onderzoek bij de permafrostkliffen langs het Oost-Siberische continentale plat wijzen verder uit dat koolstof in ontdooiende yedoma al afbreekt op land, dus vóór het in zee belandt. Daarnaast toont grootschalig sedimentonderzoek in het Oost-Siberische continentale plat aan dat er ongeveer tien keer zoveel organisch koolstof van kust- en zeebodem-



erosie in zee belandt dan eerder werd gedacht. Onderzoek in Cherskii en op het Oost-Siberische continentale plat heeft laten zien dat koolstof uit ontdooiend permafrost in het aquatisch milieu verder afgebroken wordt. Daarom is het van belang dat de complete land-naar-zee route meegenomen wordt in het onderzoek naar de omvang van de permafrost-koolstof feedback. Alles bij elkaar hebben de elf jaar onderzoek in Kytalyk de Nederlandse bijdrage aan het onderzoek van Arctische ecosystemen stevig op de kaart gezet (inclusief publicaties in wetenschappelijke toptijdschriften), en heeft het geleid tot een nieuw, internationaal erkend onderzoeksstation in Arctisch Siberië. Het door de jaren heen opgebouwde netwerk van Nederlandse onderzoekers van de Vrije Universiteit, Wageningen Universiteit en Universiteit Utrecht met onder andere Russische, Zweedse en Amerikaanse onderzoekers in het snel opwarmende Siberië staat garant voor het behoud van Nederlandse betrokkenheid in internationaal Arctisch permafrost onderzoek.



Ongebruikelijk verkeersbord in Kytalyk. Foto: Ko van Huissteden.



Poel ontstaan door ontdooien van permafrostijs, na het experimenteel verwijderen van de dwergberk-vegetatie. Aan de linkerkant van de poel is ongestoorde vegetatie van dwergberken te zien. Foto: Monique Heijmans.

Shutterstock.com. Foto: Serg Zastavkin.





Periglaciale processen in het Kangerlussuaq gebied, Zuidwest-Groenland

Eduard Koster

Kwartaire sedimenten (tot 2,58 miljoen jaar oud) bedekken het overgrote deel van het 'Noordwest- en Midden-Europese Laagland'. Ook Nederland is praktisch geheel bedekt door Midden- en Laat-Pleistocene afzettingen (780 tot 12 duizend jaar oud), die in dikte variëren van enkele meters tot enkele honderden meters. Het klimaat gedurende het Kwartair wordt gekenmerkt door een afwisseling van extreem koude, (peri-)glaciale condities en relatief warme interglaciale omstandigheden. Onder periglaciaal verstaan we de gebieden in de directe omgeving van ijskappen. Vooral gedurende de koude ijstijdfasen zijn vanwege de aanwezigheid of nabijheid van landijs enorme hoeveelheden sediment verplaatst door ijs, ijssmeltwater, rivieren en de wind. De reconstructie van de transport- en afzettingscondities van deze afzettingen onder invloed van de destijds heersende klimaatomstandigheden is veelal gebaseerd op analyse van de vormeigenschappen van structuren in het landschap en de sedimentaire karakteristieken, zoals korrelgrootte, structuur en samenstelling van de afzettingen. We noemen dat de faciësanalyse van het sediment. Het is echter nauwelijks mogelijk op deze wijze een goed inzicht te krijgen in de betekenis die ijs- en sneeuwsmeltwater, permafrost en sneeuwbedekking, aan- of afwezigheid van vegetatie, en de wind hadden tijdens transport en afzetting.

Vergelijkend onderzoek in gebieden, die nu een klimaat hebben dat min of meer overeenkomt met de destijds in onze regio's heersende klimaatomstandigheden kan hier uitsluitsel geven. Bovendien kan de analyse van cryogene (vorst) processen samen met nauwkeurige datering inzicht verschaffen in de mogelijk toekomstig optredende landschappelijke veranderingen ten gevolge van climate change, die vooral in gebieden op hoge breedtegraden verwacht worden. Gebieden die het beste voldoen aan de hierboven geschetste criteria zijn door ons gevonden in Noordwest-Alaska in de Kobuk River Valley en in Zuidwest-Groenland in het Kangerlussuaq Søndre Strømfjord gebied. Deze gebieden hebben als bijkomend voordeel dat zij redelijk gemakkelijk te bereiken zijn. Bijzondere aandacht in ons onderzoek wordt besteed aan processen van transport en afzetting door de wind (eolische processen) onder koude oftewel periglaciale omstandigheden. Dit versterkt de vergelijking met Nederland en aangrenzende delen van België en Duitsland, waar windafzettingen van Laat-Pleistocene ouderdom als een deken grote delen van het landschap bedekken. In dit korte overzicht wordt het veldonderzoek besproken dat staf en studenten van de Universiteit Utrecht, samen met collega's van de Universiteit van Amsterdam en de Rijks Geologische Dienst hebben uitgevoerd in Groenland in de jaren tussen 1985 en 2005. De specifieke doelstellingen van ons onderzoek waren ten eerste om de rol van smeltwater-rivieren aan de rand van de Groenlandse ijskap voor de aanvoer van zand en silt (sedimentdeeltjes met een grootte tussen 2 en 63 micrometer) te bestuderen als 'grondstof' voor eolisch (wind) transport. Ten tweede werd de invloed van het windregime, vegetatie, permafrost en de aan- of afwezigheid van sneeuw op het windtransport en de resulterende terreinvormen en afzettingen bestudeerd. Bovendien zijn diverse afzettingen in Sandflugtdalen gedateerd met als doel om de kennis over de opeenvolgende terugtrekkingsfasen van de Groenlandse ijskap te verfijnen. Tenslotte zijn ook nog specifieke periglaciale verschijnselen, zoals vorstheuvels en vorstscheuren gevonden. Dit soort fenomenen levert aanwijzingen op voor het klimaat nu en in het verleden.

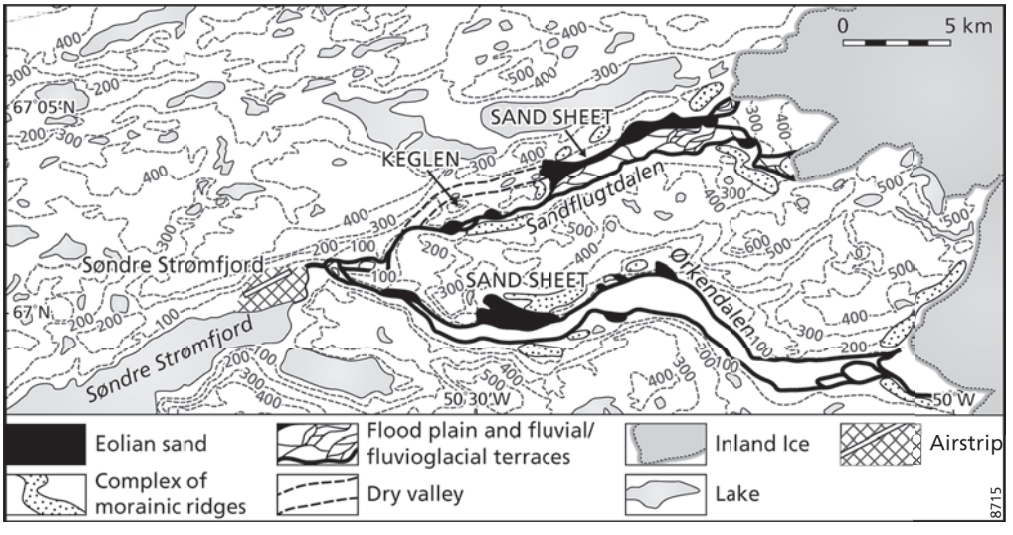






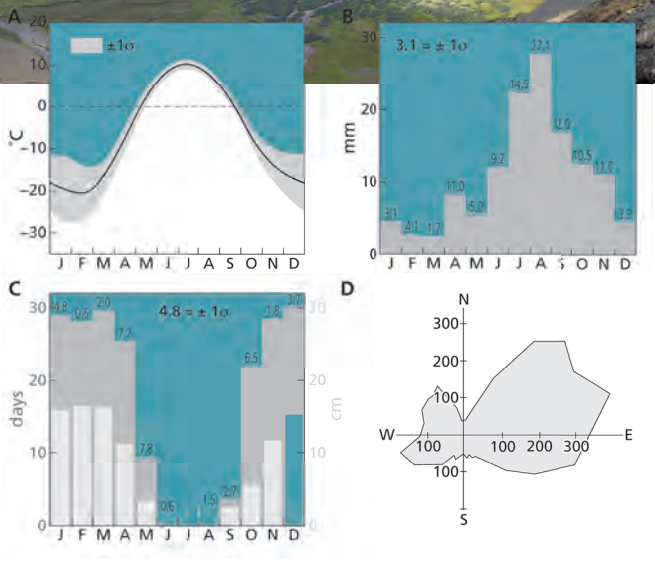
Ligging (boven en rechts) en sedimentaire samenstelling (onder) van het onderzoeksgebied.

Kangerlussuaq Airport (tot 1992 Søndre Strømfjord U.S. Air Base genaamd) ligt op 67°N-50°40'W aan het einde van een 190 km lange, WZW-ONO georiënteerde fjord in het ongeveer 18.000 km^2 grote ijsvrije gebied in Zuidwest-Groenland. De rand van de ijskap ligt ongeveer 25 kilometer ten oosten van het vliegveld en is verbonden met de fjord door twee ijssmeltwater rivierdalen, genaamd Sandflugtdalen ('sand drift valley') and Ørkendalen ('desert valley'). De Watson rivier in de enkele kilometers brede riviervlakte van Sandflugtdalen is ingesneden in vijf tot tien hoge ijssmeltwater terrassen. Aan de noordzijde van de riviervlakte komt een circa acht kilometer lange zone met eolische afzettingen voor. De zand en silt pakketten bedekken morenes en vast gesteente op de noordflank van het dal tot op een hoogte van 300 à 400 meter. Afgezien van de vegetatieloze riviervlakte bestaat de tundravegetatie voornamelijk uit lage struiken van grijze wilg (*Salix glauca*), dwergberk





(*Betula nana*) en rijsbes (*Vaccinium uliginosum*). De ondergrond bestaat voornamelijk uit Precambrische (4,6 tot 0,5 miljard jaar oude) kristallijne gesteenten met een hoogte tot 600 meter.
Het gebied heeft een droog, continentaal polair toendra klimaat. De gemiddelde jaartemperatuur bedraagt -5/-6 °C met een spreiding van maandgemiddelden van -26 °C in februari tot +10 °C in juli. De neerslaghoeveelheden variëren sterk van jaar tot jaar, maar liggen globaal tussen 100 en 200 millimeter per jaar. Hierbij valt de meeste regen gedurende de zomermaanden. Alhoewel de sneeuwbedekking min of meer permanent is van begin oktober tot begin juni, is de sneeuwdikte in de winter gering, vaak minder dan 20 centimeter. De extreme droogte van dit ijsvrije gebied, zoals goed te zien is in de naastgelegen figuur, wordt tevens veroorzaakt door een sterke verdamping tijdens de zomer. Bovendien ligt het gebied in de windschaduw van de kustgebergten en de lokale ijskap Sukkertoppen. Windsnelheden zijn veelal laag (< 5 meter per seconde), maar vooral in de maanden oktober tot november en februari tot april komen zo nu en dan snelheden tot 20 à 30 meter per seconde voor. Bij die snelheden worden grote hoeveelheden zand en silt getransporteerd.



Klimaatdata van het Kangerlussuaq gebied (bron: Danish Meteorological Institute, Copenhagen). A – gemiddelde maandtemperatuur, B – gemiddelde maandneerslag, C – gemiddeld aantal dagen met een complete sneeuwbedekking; lichtgrijze kolommen – gemiddelde dikte van de sneeuwlaag voor dagen met een complete sneeuwbedekking, D – windroos met het totale aantal drieuur periodes met een windsnelheid van > 5 m/sec.

De rand van de ijskap lag gedurende de laatste (Wisconsin-Weichsel) ijstijd (85.000 tot 11.000 jaar geleden) vele kilometers ten westen van de huidige kustlijn. Terugtrekking van de ijskap begon omstreeks 12.300 jaar geleden. Gedurende het Holoceen trok de ijskap met wisselende snelheden circa 175 km terug naar het oosten. Tijdens korte stilstandsfasen werd een complex systeem van moreneruggen opgebouwd. De vallei van Sandflugtdalen werd ijsvrij omstreeks 6.500-7.200 jaar geleden. Sinds die tijd zijn slechts kleine fasen van oprukken en weer terugtrekken van de ijskaprand gedocumenteerd. De bodem in het onderzoeksgebied is permanent bevroren tot een maximale dikte in de orde van 130 meter. De dikte van de opdooilaag in de late zomer bedraagt gemiddeld 1,7 meter met een spreiding van 0,5-3,5 meter. AMS ^{14}C dateringen (een methode om de ouderdom te bepalen die gebruik maakt van de isotoop koolstof-14) van in de zandafzettingen ingevangen organische laagjes en begraven plantenresten hebben uitgewezen, dat na het ijsvrij raken van het gebied de ophoping van eolisch materiaal al vrij snel, tussen 6.000 en 4.500 jaar geleden, begon.



Neerslagverdeling (in millimeter water equivalenten per jaar, gebaseerd op accumulatie-snelheden in ijsbedekte gebieden en waargenomen neerslaghoeveelheden op kuststations) in Zuidwest-Groenland

Tsjernobyl

Op 26 april 1986 vond de dramatische explosie in de kernreactor van Tsjernobyl plaats. Door noordwestelijke winden raakte een groot deel van Noordwest-Europa en Scandinavië verontreinigd door radioactief stof. Door het eten van plantaardig materiaal nam al snel de concentratie aan radioactief materiaal in vee, vissen, en wild sterk toe. Dit gold in het bijzonder voor rendieren, aangezien die veel korstmossen eten. Omdat korstmossen geen ondergronds wortelsysteem bezitten, nemen deze mossen voedingsstoffen direct uit de lucht op. Daardoor functioneren korstmossen als een soort 'radioactieve spons'. Aldus werden de graasgebieden van rendieren in Noord-Scandinavië door absorptie van cesium-137 (met een halfwaardetijd van 30 jaar) sterk verontreinigd. Dit probleem werd overigens pas in de herfst in zijn volle omvang bekend toen veel rendieren als gewoonlijk geslacht werden. Aangezien de rendierhouderij het exclusieve recht is van het Sami volk, werd deze bevolkingsgroep sterk getroffen door het verbod op consumptie van rendiervlees gedurende een groot aantal jaren. Ironisch genoeg bleek later dat de cesiumgehaltes in rendiervlees gedurende de vijftiger en zestiger jaren ten gevolge van de atoombomproeven op Nova Zembla hoger zijn geweest (tot 3.000 Bq/kg) dan in de post-Tsjernobyl jaren. Echter, in die tijd werd de verontreiniging van rendiervlees of niet opgemerkt, of genegeerd. Zelfs in Groenland werd de 'cesium-fallout' na april 1986 gemeten Het is dus waarschijnlijk dat ook het kariboevlees in Kangerlussuaq radioactief verontreinigd was. Eduard Koster, auteur van dit Hoofdstuk:'De grote kariboe kudde in het Kangerlussuaq-Sisimiut gebied omvat ongeveer 100.000 dieren. In Sandflugtdalen, waar wij ons veldwerk verrichtten, is de jacht op kariboes overigens verboden. Maar, zoals de foto laat zien, heeft een stroper, zich niet bewust van onze aanwezigheid, in ons veldwerkgebied een kariboe geschoten. Geschrokken door onze aanwezigheid heeft hij vervolgens ons stilzwijgen over zijn onrechtmatige daad afgekocht door ons een achterbeen van de kariboe te geven. Toen de volgende dag een politieman van Kangerlussuaq Airport bij ons verscheen, wisten wij uiteraard van niks. Wij hebben weken lang genoten van kariboe biefstuk zonder enige aarzeling of vermoeden dat er mogelijk iets mis was met dit vlees. Aangezien mijn assistent van destijds (Jos Dijkmans) en ik nog steeds in goede gezondheid verkeren, kan het dus niet al te slecht zijn geweest.'

Smeltwater-rivieren zijn over het algemeen grote leveranciers van sediment, dat geschikt is voor opname door de wind. In Sandflugtdalen worden ieder jaar, in het bijzonder tijdens de piekafvoeren in de zomermaanden, grote hoeveelheden silt, zand en grote stenen en blokken aangevoerd. Meetbare rivierafvoer begint in april en gaat door tot eind september. In de maanden juni en juli varieert de smeltwater-afvoer in de Watson rivier tussen 20-70 m^3/sec. In sporadische gevallen, zoals in juli 1987 treden plotselinge uitbraken van geweldige hoeveelheden ijssmeltwater op, zogenaamde 'jokulhlaups'. Tijdens zo'n gebeurtenis kan de rivierafvoer gedurende enkele uren tot dagen oplopen tot waarden van 1000-1300 m^3/sec. Het zal niet verbazen dat tijdens een dergelijk verschijnsel de riviervlakte totaal overstroomd raakt en dat enorme hoeveelheden sediment

Nasleep Tsjernobyl: Volgens de Norwegian Radiation Protection Authority zijn zelfs nu nog, bijna 30 jaar na de Tsjernobyl ramp, radioactieve isotoop cesium-137 waarden gemeten tot 8200 becquerel per kilo rendiervlees. Na een zachte zomer komen veel paddenstoelen voor. Deze nemen cesium op uit de bodem en worden vervolgens gegeten door rendieren.



Foto: Eduard Koster.

afgezet worden. De riviervlakte droogt in een periode van enkele dagen weer uit met achterlating van zand en silt, dat in de zomer snel wordt opgenomen door de wind wanneer de windsnelheid meer dan 5 meter per seconde bedraagt. Bij een windsnelheid van 15-20 meter per seconde zijn zelfs stof- en zandstormen tot een hoogte van 100 meter waargenomen. De opname van rivierzand en –silt vindt dus plaats gedurende de korte zomer. Dit opname- en transportproces wordt echter beperkt ('supply-limited') door de snelle vorming van grove deflatielaagjes aan het oppervlak in de slecht gesorteerde riviersedimenten, en door de relatief geringe windsnelheden in de zomermaanden. Het meevoeren van zand door wind noemen we deflatie. Bovendien wordt het windtransport belemmerd door frequente regenval, het hoge vochtgehalte van de bodem, en de periodiek hoge waterstanden in de rivier tijdens de zomermaanden. In de wintermaanden daarentegen is het transport en de accumulatie van eolisch materiaal dominant vanwege het regelmatig optreden van hogere windsnelheden. Dit wordt mede bevorderd door de geringe en soms afwezige sneeuwbedekking in dit gebied. Soortgelijke, seizoensafhankelijke verschillen in windactiviteit zijn door de auteur ook in andere aride gebieden met een periglaciaal klimaat, bijvoorbeeld in de grote duingebieden in Noord-Canada en Noordwest-Alaska, waargenomen. In de zandvlakte in het centrale deel van Sandflugtdalen (12 km^2 groot) zijn gedurende verschillende jaren meteorologische waarnemingen verricht en tegelijkertijd is het zandtransport gemeten met behulp van honderden, dunne stalen pinnen. Deze pinnen werden van een maatverdeling voorzien en in de grond gestoken. Vervolgens werd op vaste tijdstippen, aan het begin en einde van ieder zomerseizoen, opgemeten hoeveel centimeter pin was blootgelegd of begraven in de voorafgaande periode.

Het onderzoek heeft een gedetailleerde geomorfologische kartering van het gebied opgeleverd. Deze wees uit dat de vegetatieloze riviervlakte geleidelijk overgaat in een zone met lage duintjes, voorkomend tot een hoogte van 65 meter boven het gemiddelde rivierniveau. Deze 0,5 tot 2,5 meter hoge, zogenaamde fytogene duintjes zijn vastgelegd door pionier (duinvormende) struiken en planten, zoals schapenzuring (*Rumex acetosella*), zandhaver (*Elymus arenarius*),



Het landschap van de riviervlakte en aangrenzende (eolische) zandvlakte in Sandflugtdalen tijdens de winter van 1985. Foto: Eduard Koster.

een zeggesoort (*Carex bigelowii*), grijze wilg (*Salix glauca*) en dwergberk (*Betula nana*). Op de hoger gelegen dalhellingen bedekt een 0,5 tot 1,5 meter dikke siltlaag het vaste gesteente. Van beneden naar boven wordt het sediment steeds fijner. Het grofste sediment ligt onderaan (mediane deeltjesgrootte ± 475 micrometer (1 micrometer is 1 duizendste millimeter)) in de riviervlakte, het zand in de duinzandvlakte heeft een mediane deeltjesgrootte van ± 200 micrometer, en de siltfraktie hoger op de dalhellingen heeft een mediane waarde van ± 45 micrometer. De mineralogische samenstelling vormt een directe weerslag van het lokaal voorkomende gesteente, voornamelijk gneis. De eolische zanden zijn vooral (sub)horizontaal gelaagd, zo nu en dan onderbroken door grovere deflatielaagjes en lensvormige ribbelstructuren. In veel opzichten blijken de gereconstrueerde faciëstypen overeen te komen met de afzettingskenmerken in de wijdverbreide dekzand- en duinzandvelden in Nederland en aangrenzende landen. In de Roer slenk ('Roer Valley Graben') in oostelijk Noord-Brabant bijvoorbeeld komt een tot 35 meter dik pakket eolische afzettingen voor. De verticale opeenvolging van deze fossiele afzettingen is goed vergelijkbaar met de faciësverdeling van recente afzettingen, zoals die is vastgesteld in Sandflugtdalen.

In de jaren dat onderzoek werd verricht in duingebieden in Noordwest-Alaska, voorafgaande aan het Groenlandveldwerk, is veel aandacht besteed aan de betekenis van sneeuw op eolische processen. De aanleiding hiervoor was dat verondersteld werd dat de in Nederland en aangrenzende landen voorkomende uitgestrekte duin- en dekzandgebieden het resultaat zijn van gemengd zand- en sneeuwtransport onder zeer koude omstandigheden. Om die reden zijn in Groenland ook gedurende het winterseizoen waarnemingen uitgevoerd. Hieruit bleek dat de sneeuwbedekking van de grond zelden continu in tijd en plaats is. Het aan het oppervlak liggende zand is weliswaar bevroren, maar door verdamping en sublimatie (vervluchtiging) is meestal een laagje van tien á twintig centimeter van het zandoppervlak relatief droog en los. Tijdens windvlagen wordt een mengsel van zand en sneeuw verplaatst en elders neergelegd.



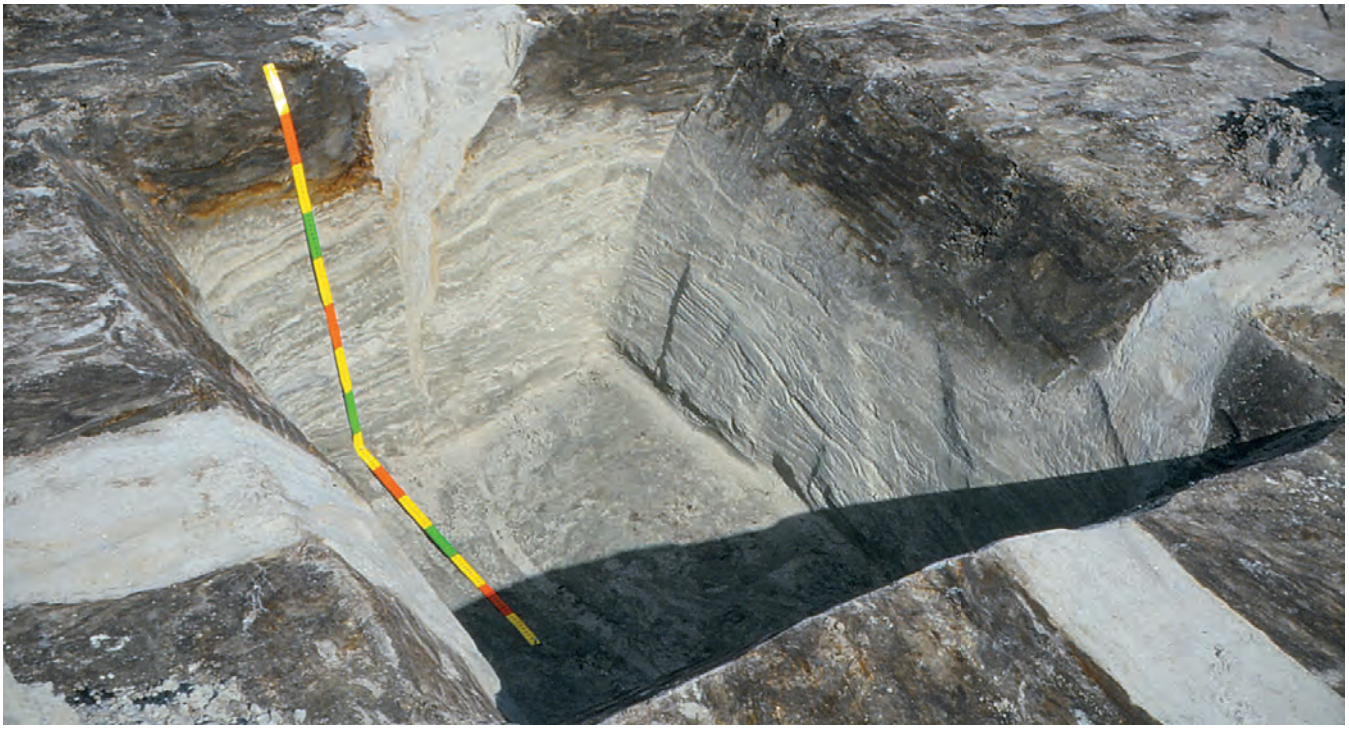
Het landschap van de riviervlakte en aangrenzende (eolische) zandvlakte in Sandflugtdalen tijdens de zomer van 1986. Foto: Eduard Koster.



Uiteraard verdwijnt de sneeuw na het smelten in het late voorjaar.
Op vlakke oppervlakken is dan ook later niets meer van die sneeuwinvloed te zien. Echter, op hellende oppervlakken, zoals aan de lijzijde van migrerende zandduinen, blijken heel specifieke structuren over te blijven na de sneeuwsmelt. Deze zogenaamde niveo-eolische en denivatie structuren zijn in detail onderzocht en kunnen nu vergeleken worden met fossiele structuren in vergelijkbare afzettingen in onze contreien.
Ter aanvulling op het Groenlandse veldwerk zijn experimentele 'plots' met zand-sneeuw en zand-silt mengsels in een veldstation op de Mont Rigi (Hautes Fagnes, Belgische Ardennen) vervaardigd. Voor ons was dit namelijk het meest dichtbij gelegen sneeuwzekere gebied. In het voorjaar na het smelten van de sneeuwlaagjes zijn monsters genomen van de zand- en siltpakketten. Hiervan zijn dunne doorsneden (slijpplaten) gemaakt, die een nog nauwkeuriger structuuranalyse mogelijk maakten.
Ten slotte zijn, zoals al in de inleiding is vermeld, ook andere klimaatindicatoren bestudeerd. De in Sandflugtdalen voorkomende vorstheuvels en grote systemen van vorstscheuren en –wiggen zijn in fossiele, niet meer actieve vorm, veelvuldig in Nederlandse sedimenten aangetroffen. De conclusie van dit alles luidt dat 'onze' duin- en dekzanden voor een groot deel onder extreem koude omstandigheden zijn gevormd.

De tekstfiguren zijn ontleend aan de publicatie van Dijkmans, J.W.A. & T.T. Törnqvist 1991. Modern periglacial eolian deposits and landforms in the Søndre Strømfjord area, West Greenland and their palaeoenvironmental implications. Meddelelsel om Grønland, Geoscience 25, 39 pp.

Profielkuil uitgegraven in de (eolische) zandvlakte van Sandflugtdalen met een polygonaal patroon van met zand opgevulde vorstwiggen. Foto: Eduard Koster.



Smeltwaterrivieren bij de Russell gletsjer, Kangerlussuaq, Groenland. Foto: Shutterstock. Dan Bach Kristensen.





De 'Eerste Nederlandse Antarctische Expeditie'; geologisch onderzoek op King George Island, Antarctica

Wim Groeneweg

Tijdens de jaren 1985-1987 namen onderzoekers van de Rijks Geologische Dienst (RGD) deel aan Duitse en Franse Antarctische expedities naar de Bransfield Strait, de zeestraat tussen het Antarctisch schiereiland en de South Shetland Islands. Doel was het verzamelen van zeebodemmonsters om inzicht te krijgen in de afzettingsprocessen rondom de West-Antarctische ijskap. Fluctuaties in de afzettingsprocessen van zeebodemsedimenten kunnen duiden op veranderingen in de omvang van de nabij gelegen ijskap en indirect daarmee op wijzigingen in het klimaat. Als vervolg op dit onderzoek werd een onderzoeksplan opgesteld voor deelname aan de 'Eerste Nederlandse Antarctische Expeditie' van 1990/91. Opnieuw zouden glaciaal-mariene sedimenten van de zeebodem verzameld worden, maar nu uit de Admiralty Bay. Ook zou aandacht worden geschonken aan de vulkanische gesteenten langs de kust van deze baai op King George Island. De auteur van dit hoofdstuk, Wim Groeneweg, was de enige geoloog tijdens deze expeditie. Elders in dit boek wordt ook deelname aan deze expeditie vanuit de Thema's IJs, Klimaat en Zeespiegel, en Terrestrische Biologie beschreven.

Op 1 december 1990 vertrokken de 24 deelnemers voor de tocht naar de rand van Antarctica: de South Shetland Islands, gelegen ten zuiden van Zuid-Amerika. De expeditie werd georganiseerd door de Stichting Onderzoek der Zee (SOZ), deel van NWO. Aan de expeditie namen zes instituten deel, waaronder de Rijks Geologische Dienst (RGD). Het politieke doel van de expeditie was al bereikt voordat de expeditie vertrok (zie ook Algemene Inleidende hoofdstuk). Op 19 november 1990 was Nederland namelijk geaccepteerd als stemgerechtigd lid van het Antarctisch Verdrag. Het andere doel van de expeditie, wetenschappelijk onderzoek, moest toen nog volbracht worden.
Het Poolse marineschip ORP Arctowski was al eerder uit de haven van Scheveningen naar het Zuidpoolgebied vertrokken met aan boord alle wetenschappelijke apparatuur van de onderzoekers. Het schip arriveerde, na zes weken onderweg te zijn geweest, op 12 december in de Admiralty Bay van King George Island. De expeditieleden vlogen ondertussen met enkele tussenstops naar het zuidelijkste puntje van Chili: Punta Arenas. Vandaar vloog men met een transportvliegtuig van de Chileense luchtmacht over de Drake Passage naar de Chileense Zuidpoolbasis Teniente Marsh, gelegen aan de westzijde van King George Island, één van de South Shetland Islands. Per helikopter werd de groep vervolgens over de ijskap van King George Island naar het Poolse onderzoeksstation Henryk Arctowski gebracht, dat Nederland voor de gelegenheid deels huurde van de Polen. Het grootste deel van de expeditieleden verbleef voor hun werk op Arctowski station. Enkele expeditieleden werden op Deception Island afgezet en aan het eind van de expeditie weer door de ORP Arctowski opgehaald, waarna koers werd gezet naar het Argentijnse Ushuaia door de om zijn stormen en hoge golven berucht zijnde Drake Passage. Begin februari waren de expeditieleden weer terug op Schiphol.

Tijdens de expeditie zijn vanaf de ORP Arctowski op 64 oceaanlocaties, variërend van 50 tot 700 meter waterdiepte, sedimentmonsters van de bodem van de Admiralty Bay genomen. Omdat de lier van het schip niet voldoende



trekkracht had konden geen lange sedimentkernen worden genomen, maar moest worden volstaan met bemonstering van de bovenste 50 centimeter van de zeebodem met behulp van een zogenaamde boxcorer. Daardoor werd onderzoek aan een langere tijdserie, van belang om fluctuaties in de omvang van de West-Antarctische ijskap te kunnen bestuderen, helaas onmogelijk. De aandacht van het onderzoek verschoof daarom naar de vulkanische gesteenten op land. Dit opende de mogelijkheid om de geschiedenis van King George Island te bestuderen in de periode voordat er ijs aanwezig was. De lava's en vulkanische sedimenten langs de kust van Admiralty Bay hebben een ouderdom van Laat Krijt (77 Ma, miljoen jaar) tot Vroeg Tertiair (25Ma), dus grotendeels ouder dan de gesteenteformaties elders op King George Island met het oudste bewijs voor ijskapvorming in West-Antarctica (30-26Ma). De vulkanische sedimenten rond Admiralty Bay bevatten fossiele plantenresten, zodat het mogelijk bleek om een klimaatreconstructie voor deze periode te maken. Het al lopende Poolse onderzoek naar deze sedimenten werd gehinderd omdat een precieze datering ontbrak. De Nederlandse bijdrage aan dit project werd daarom zeer op prijs gesteld en maakte het mogelijk om de klimaatresultaten van landonderzoek op King George Island te vergelijken met die van het reeds bekende diepzeekern-onderzoek in de omliggende Antarctische bekkens (als onderdeel van het zogenaamde Ocean Drilling Program).

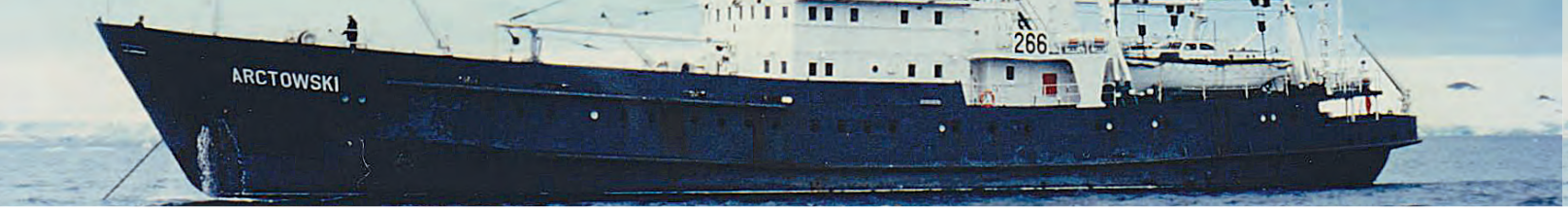
eendrijvende platen. Aan de kust van Admiralty Bay zijn verscheidene stollingsvormen van magma te zien, zoals lavalagen, lagen met vulkanische as en bommen, vulkanische pluggen en aders die door de lagen heen snijden.

Tijdens de expeditie werden ongeveer 100 brokken vulkanisch gesteente op land verzameld, die voor nader onderzoek met de ORP Arctowski naar Nederland werden verscheept. De weersomstandigheden tijdens het verzamelen waren meestal goed. De temperatuur schommelde meestal rond het vriespunt, maar door de harde wind voelde het vaak ijskoud aan. King George Island is grotendeels door een ijskap bedekt maar op enkele plekken, veelal langs de kust, zijn rotsformaties zichtbaar. Door de aanwezigheid van grote groepen broedende pinguïns waren de gesteenten meestal besmeurd met pinguïn uitwerpselen. De pinguïns werden vaak aangevallen door skua's. Deze zeevogels vielen ook de onderzoeker regelmatig lastig tijdens het hakken in de rotsen. Per rubberboot kon de zuidkant van Admiralty Bay worden bereikt. Op het strand aldaar werden tenten



Geoloog Wim Groeneweg in Admiralty Bay (King George Island). Foto: Wim Groeneweg.

De South Shetland Islands zijn vulkanische eilanden die gevormd zijn ten gevolge van twee grote regionale tektonische gebeurtenissen. Tektoniek is het geheel aan bewegingen en vervormingen in de aardkorst. Tijdens het Krijt en Tertiair schoof de Zuidoost Pacifische oceaanplaat onder de plaat van het Antarctisch continent en tijdens het Tertiair en Kwartair ontstond Bransfield Strait als gevolg van uit-





Cameraman Peter Brugman en regisseur Rolf Orthel voor een lavaplug in Admiralty Bay. Foto: Wim Groeneweg.

opgezet omringd door op het strand aanwezige wervels van walvissen, restanten van de vroegere walvisjacht, om te voorkomen dat 's nachts zeeolifanten op de tenten gingen liggen. Om het landmilieu niet te vervuilen moesten de sanitaire behoeften in het klotsende zeewater tussen de pinguïns en de zeeolifanten gedaan worden!

In Nederland werden de vulkanische monsters vervolgens petrografisch en (isotoop)-geochemisch onderzocht en gedateerd met behulp van de zogenaamde Argon-Argon methode, in samenwerking met de Vrije Universiteit te Amsterdam. Bij eerdere isotoopdateringen ter bepaling van de ouderdom werd het gehele gesteente-monster verpulverd. In de meeste gevallen was het gesteente na stolling zodanig van samenstelling veranderd dat een goede datering van het stollen van het magma niet mogelijk was. Uit microscopisch onderzoek bleek dat de grote vroeg-gevormde kristallen van de mineralen plagioklaas en pyroxeen niet waren aangetast. Deze kristallen werden derhalve uit het gesteente geprepareerd en gebruikt voor de Argon-Argon isotoopdateringen. Dit leverde goede resultaten op, die gebruikt konden worden bij het opstellen van magmatisch-tectonische - en klimaatmodellen van de South Shetland Islands. Tevens hebben de gebruikte slijpplaatjes (glasplaatjes met zeer dunne plakjes gesteente voor microscopisch onderzoek) van de vulkanische gesteenten van King George Island nog jaren gediend als studiemateriaal voor de studenten geologie van de Vrije Universiteit.

Ondanks het feit dat het glaciaal-mariene onderzoek maar deels kon worden uitgevoerd, heeft het petrologisch en isotoop-geochemisch onderzoek van de vulkanische gesteenten toch geleid tot een succes van het geologisch onderzoek tijdens de 'Eerste Nederlandse Antarctische Expeditie' naar King George Island.

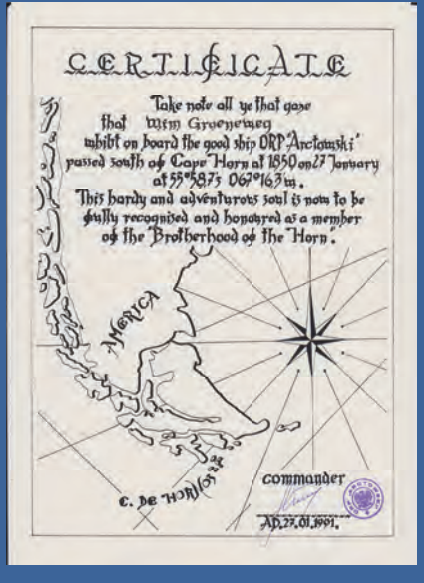




‘I am Arctowski’

Groeneweg: Zowel het onderzoeksstation op King George Island als het schip van de Polen zijn vernoemd naar de Poolse wetenschapper en ontdekkingsreiziger Henryk Arctowski (1871-1958). Hij was de eerste Pool die in Antarctica heeft overwinterd en had naast andere wetenschappen ook geologie als specialisme.

Tijdens een van mijn tochten door de Admiralty Bay met het schip de ORP Arctowski, op zoek naar zeebodemmonsters, gebeurde het volgende. De kapitein van het schip sprak geen woord Engels of Duits. Als ik op de brug was en buitenlandse schepen in de nabijheid radiocontact zochten met de ORP Arctowski, dan overhandigde de kapitein al snel de microfoon aan mij. Vaak waren die contacten ook in het onderzoeksstation te horen. Zo ook die keer dat een verdwaald Chinees schip contact zocht. De Chinezen ergerden zich aan het feit dat de ORP Arctowski de noodfrequentie gebruikte om te communiceren met het onderzoeksstation. De Chinezen meldden: ‘This is Chinese ship. Who are you? Please go to other frequency, this is only for emergency’. Ik antwoordde in de microfoon: ‘Chinese ship, **I am Arctowski**, who are you and what do you want?’ Later hebben we in het onderzoeksstation nog vaak gelachen om de reïncarnatie van de Poolse ontdekkingsreiziger!’


CERTIFICATE

Take note all ye that gaze that Wim Groeneweg whilst on board the good ship ORP 'Arctowski' passed south of Cape Horn at 1850 on 27 January at 55°58,7' S 067°16,3' W. This hardy and adventurous soul is now to be fully recognised and honoured as a member of the Brotherhood of the Horn.

AMERICA

commander

C. de Hollander

Ap. 27.01.1991.





Het geschiedenisboek van de Antarctische ijskap als lesboek voor de toekomst

Peter K. Bijl, Henk Brinkhuis

Waarom willen we de geschiedenis van de Antarctische ijskap in kaart brengen?

Met de industriële revolutie, ongeveer 150 jaar geleden, is een ongeëvenaard snelle stijging van de concentratie van het broeikasgas koolstofdioxide (uitgedrukt in '*parts per million in volume*', ppmv, of pCO_2) begonnen. Blijven de antropogene CO_2 emissies onverminderd stijgen, dan wordt verwacht dat pCO_2 rond het eind van de 21e eeuw waarden van 1.000 ppmv kan bereiken; veel hoger dan de ~400 van heden ten dage, laat staan de ~280 ppmv van vlak voor de industrialisatie. Het broeikasgas CO_2 absorbeert de uitgaande langegolfstraling (warmte) en straalt het naar alle richtingen uit, waaronder naar de Aarde. Hogere CO_2 waarden resulteren daarom in hogere oppervlaktetemperaturen. Bovendien is de verblijftijd van atmosferisch CO_2 ongeveer 350 jaar, dus de opwarming zal nog wel even doorgaan. De klimaateffecten zijn al meetbaar, met name in poolgebieden: sterke opwarming, een versnelde terugtrekking van gletsjers, terugtrekkend zeeijs en veranderende seizoensmigratie en –bloei van verschillende planten- en diersoorten.

Klimaat-computermodel-simulaties worden uitgevoerd om de toekomstige klimaat- en milieu-effecten gerelateerd aan de aangenomen verhoogde pCO_2 te berekenen. Een basale aanname in deze computermodellen is het actualiteitsprincipe: oorzaken en gevolgen van en voor klimaatverandering die vandaag de dag spelen, zullen ook gelden voor de toekomst. De vraag is alleen of deze forceringen en terugkoppelingen wel hetzelfde zijn onder verschillende klimaatcondities. Een manier om de betrouwbaarheid van de computer-modelvoorspellingen te bepalen is om de gevoeligheid van de poolgebieden voor klimaatverandering te bestuderen tijdens warmere periodes in het geologische verleden. Er zijn namelijk tijdsperiodes bekend waarbij het klimaat vergelijkbaar was met hetgeen in de (nabije) toekomst wordt verwacht. Reconstructies van de gevoeligheid en snelheid van aardse veranderingen, zoals die van de biosfeer, voor variaties in het klimaatsysteem kunnen inzicht verschaffen in de gevolgen van toekomstige klimaatveranderingen.

In 2010 werd aldus een boorexpeditie naar Antarctica opgezet om een compleet beeld te krijgen van de geschiedenis van de Antarctische ijskap, vanaf haar ontstaan ongeveer 34 miljoen jaar geleden tot aan de veranderingen gedurende het Holoceen (de laatste 10.000 jaar). De temperatuurschommelingen over deze tijdsspanne, zoals de sterk fluctuerende temperaturen van het Oligoceen (33,5-23 Miljoenen jaren (Mj)), de warmte van het midden- Mioceen (~17 Mj) en het Plioceen (3,3-3 Mj) en de Pleistocene (2,8-0 Mj) ijstijden, al deze klimaatschommelingen gingen samen met veranderingen in de Antarctische ijskap, en de gevolgen van deze uitdijende en inkrimpende ijskap zouden zichtbaar moeten zijn in de oceaansedimenten voor de Antarctische kust. De hoofddoelen van de expeditie luidden daarom als volgt:

1. Het bepalen van de precieze ouderdom van de Antarctische ijskap (het begin van de continentale glaciatie van Antarctica)
2. Het vaststellen van de ouderdom van de overgang van een 'natte' Oost-Antarctische IJskap naar een 'koude' Antarctische IJskap. Een 'natte' ijskap wordt algemeen verondersteld veel gevoeliger te zijn voor klimaatveranderingen dan een 'koude' ijskap met een bevroren basis



Hoe kunnen paleoklimatologen het poolklimaat van het verleden bestuderen?

Om het geschiedenisboek van een ijskap te bestuderen, moeten paleoklimatologen verder terug in de tijd dan het bereik van de historische meetgegevens. De 'directe' meetgegevens van temperatuur, koolstofdioxide en ijssmelt omvatten slechts de afgelopen honderd jaar. Voor reconstructies van verder terug in de tijd moeten we vertrouwen op historische documenten, inclusief bijvoorbeeld middeleeuwse schilderijen. Laatstgenoemde zijn enkel kwalitatief van aard. Om de huidige trends in een natuurlijk kader te plaatsen zijn kwantitatieve gegevens nodig van het klimaat ver terug in de tijd. Hiervoor kijken paleoklimatologen onder andere naar het geologische archief, en met name naar de sedimenten: de opeenstapeling van zand, klei, en resten van leven op de bodem van bijvoorbeeld de zee, of een meer. Deze 'stapel pannenkoeken' van zand, klei, organische resten en microscopische fossielen vormen laag voor laag een geschiedenisboek van het leven en de natuur op die locatie. Om dit geschiedenisboek te kunnen lezen moet het materiaal op een of andere manier vanaf de zeebodem naar de laboratoria van de paleoklimatologen komen. Hiervoor worden geavanceerde boortechnieken gebruikt, die op een onderzoeksschip zijn geïnstalleerd. Met name het Integrated Ocean Discovery Program (IODP), met ook Nederlandse deelname, is erop gericht om zeer oude sedimentaire archieven van specifieke locaties op de zeebodem op te boren voor wetenschappelijk onderzoek, zoals voor het paleoklimaatonderzoek. Dit boorprogramma organiseerde o.a. in 2004 de eerste boorexpeditie naar de centrale Arctische Oceaan, vlak bij de Noordpool, maar bijvoorbeeld ook in 2010 een expeditie naar de oostkust van Antarctica, om daar het geschiedenisboek van de Antarctische ijskap vol te schrijven. Het sediment op de zeebodem aldaar reflecteert de geo-historische invloed van het groeien en afnemen van de grootste ijskap op Aarde: tijdens ijstijden werkt de ijsmassa als een bulldozer, en dumpt het grote keien, grind en zand in zee; tijdens minder koude periodes wordt er meer klei afgezet. De fossielen in dit sediment vertellen de paleoklimatoloog hoe het leven in de kustnabije zee van die tijd heeft gereageerd op de veranderingen in het klimaat, bijvoorbeeld door de uitdijende ijsmassa's. Zo kan men door middel van het pakket oceaanbodemmodder bepalen hoe de ijskap zich in het verre geologische verleden heeft gedragen, en hoe gevoelig de ijskap is voor klimaatschommelingen.

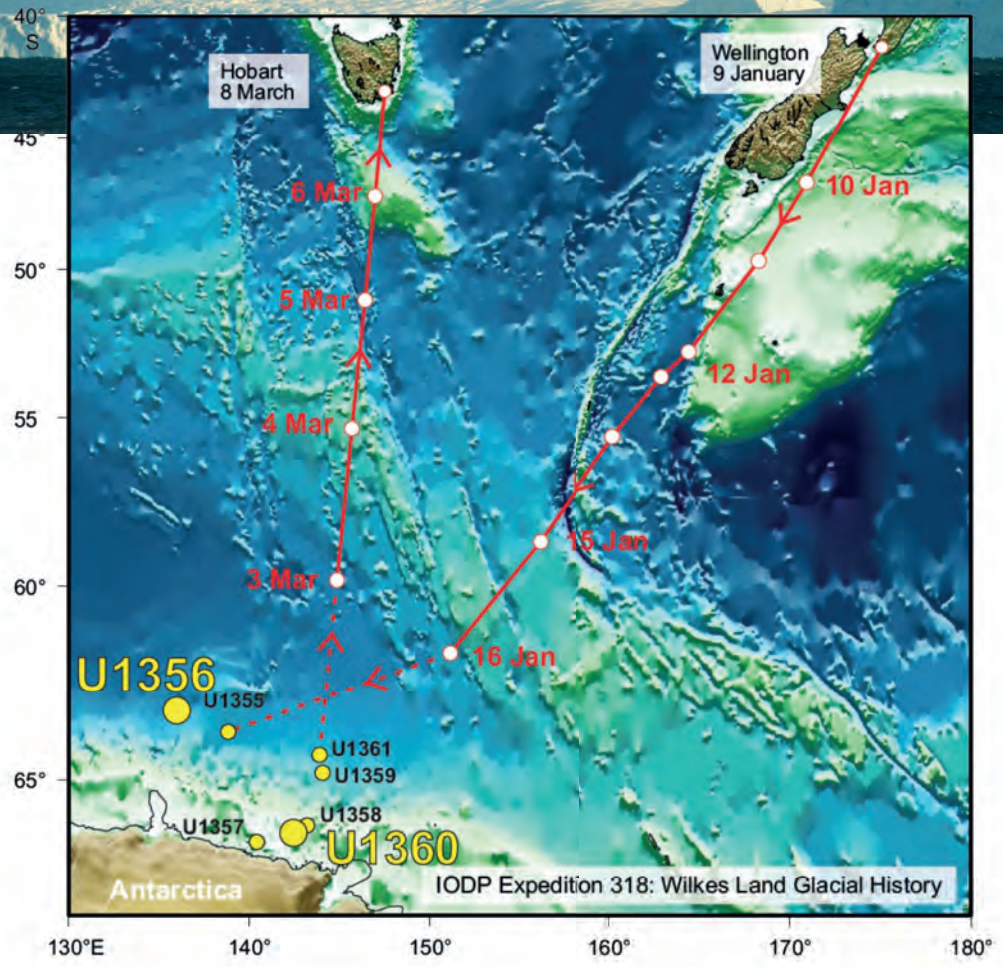
3. Het verkrijgen van een hoge-tijdsresolutie sedimentair archief van de fluctuaties van de Antarctische IJskap gedurende het Oligoceen-Quartair (afgelopen 33 Mj)
4. Het verkrijgen van een ultra-hoge resolutie sedimentair archief van de Antarctische klimaatschommelingen gedurende het Holoceen (afgelopen 10.000 jaar).



De boorkoppen die gebruikt worden voor het boren in de oceaanbodem. Foto: Peter Bijl.

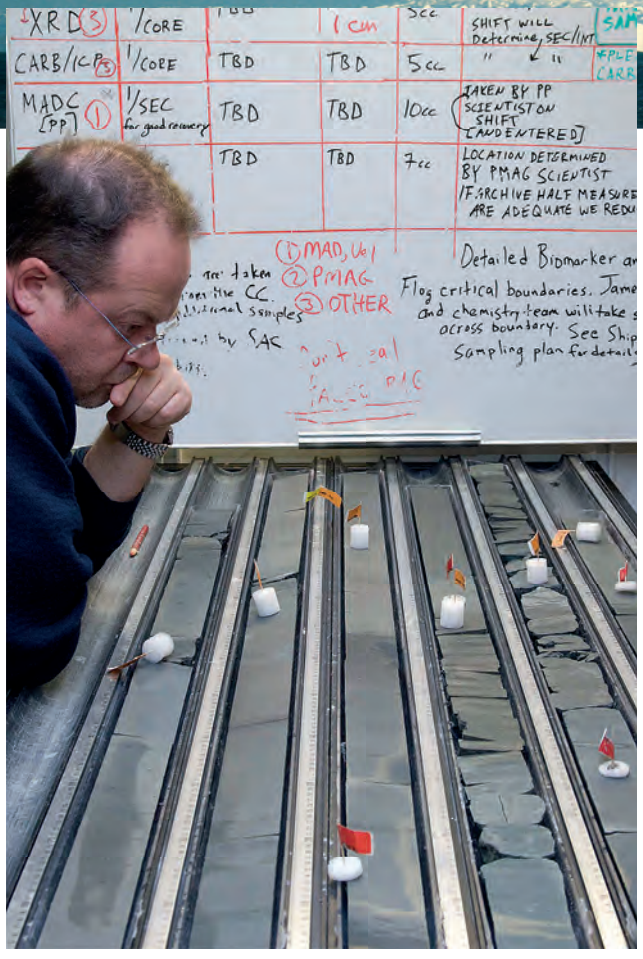


Het Onderzoeksschip JOIDES Resolution, van het Integrated Ocean Drilling Program (IODP) is in staat om kilometers aan oceaangeschiedenis, opgeslagen in het oceaanbodemsediment, aan de oppervlakte te brengen. In 2010 werd twee maanden lang geboord om het geschiedenisboek van de Antarctische ijskap opgeslagen in de sedimenten beschikbaar te meken voor onderzoek. Foto: William Crawford, IODP-Texas A&M University.



De koers van het schip tijdens de boorexpeditie naar Antarctica. Vertrek 9 januari 2010 vanuit Wellington, Nieuw Zeeland, aankomst 8 maart 2010 in Hobart, Tasmanië. Daartussen: 7 boorplekken, 2,5 km boorkern, en decennia aan onderzoek. Bron: Escutia et al., Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program, Volume 318.

De expeditie duurde 62 dagen, inclusief de 'overtocht' van Nieuw Zeeland naar Antarctica en terug van Antarctica naar Tasmanië. Uiteindelijk werd er 2500 meter aan sedimentair materiaal opgeboord, verdeeld over zeven locaties. De grootste uitdaging tijdens deze expeditie was het schip weg te houden van de talloze ijsbergen: het boorschip, de *JOIDES Resolution* was namelijk geen ijsbreker. Aangezien het schip tijdens het boren met een boorpijp aan de oceaanbodem vastzit, en ijsbergen soms onvoorspelbare routes kunnen volgen, moesten de ijsbergen tijdens het boorproces goed in de gaten worden gehouden. De belangrijkste boorplek van de expeditie bevond zich op 350 kilometer van de Antarctische kust, in vier kilometer waterdiepte. Hier boorden we gedurende twintig dagen, tot meer dan 1 kilometer diepte in de oceaanbodem, in stukken van negen meter. Na negen meter boren werd de boorkern opgehaald, waarna in hetzelfde gat nog negen meter werd uitgediept. Ook die boorkern werd naar het oppervlak gebracht. Dit procedé werd herhaald tot een kilometer diep. Een van de belangrijkste taken aan boord was om de negen meter lange boorkernen die omhoog kwamen zo goed mogelijk te dateren. Het 'paleo-team' maakte op het schip een diagram waarin de ouderdom voor elke boorkern werd geplot. Aldus is voor het hele opgeboorde stuk van 1 kilometer een uitstekende datering verkregen via de zogenaamde biostratigrafie, gebaseerd op het opkomen en uitsterven van groepen microplankton; diatomeeën (kiezelwieren) in het Neogeen, kalkige microfossielen in het Oligoceen, en dinoflagellaten in het Eoceen. Aan boord werd dus nog niet gekeken naar de hierboven beschreven onderzoeksvragen, daarvoor is jarenlang gedetailleerd onderzoek nodig.



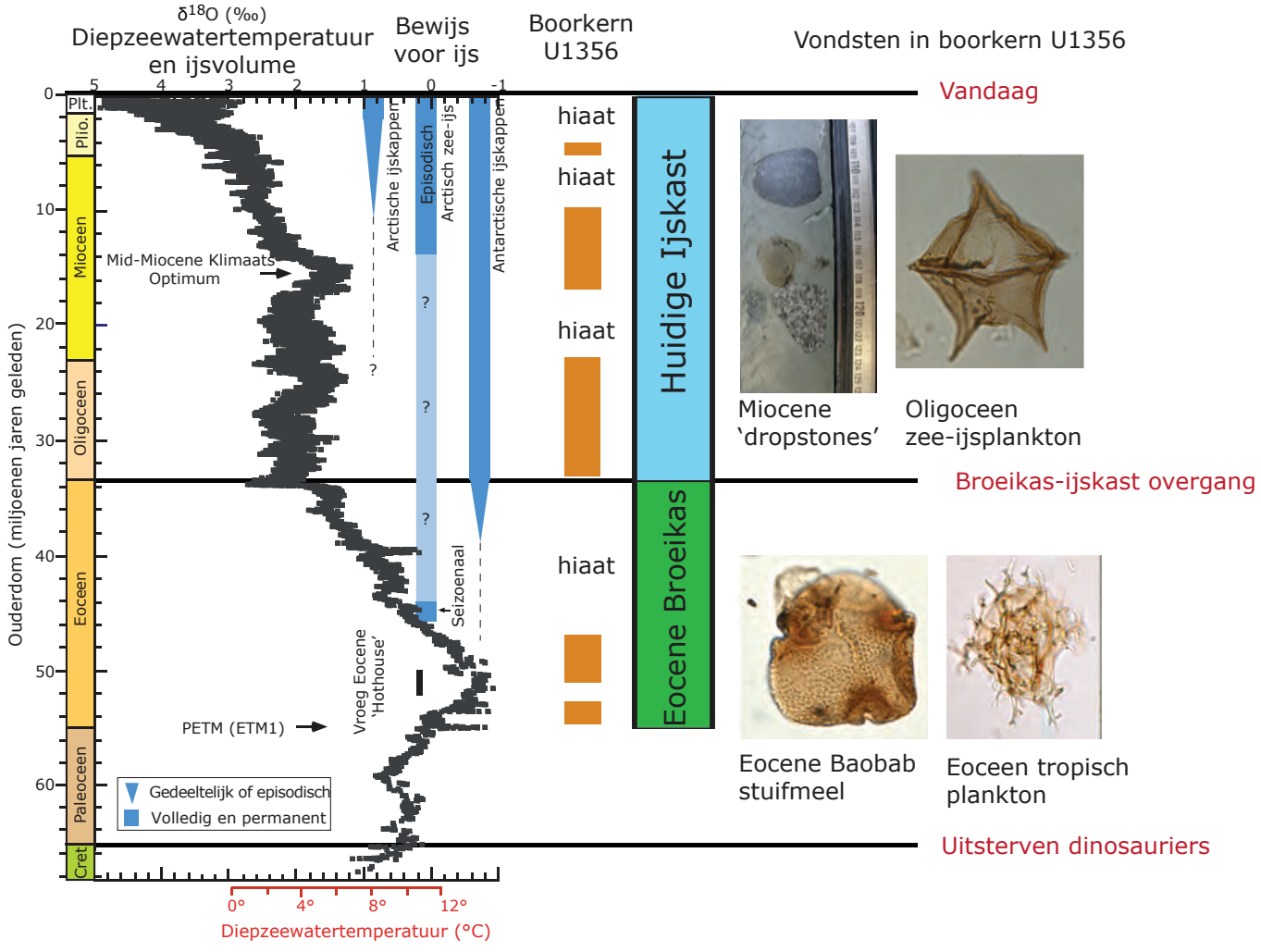
Boorkernen worden aandachtig bestudeerd door expeditieleider Henk Brinkhuis. Stof tot nadenken? Foto: William Crawford, IODP-Texas A&M University.

Na de expeditie werd direct begonnen met het in detail bestuderen van de diverse boorkernen. Deze gesteentes bevatten veel uit het vroeg Eoceen (56-48 miljoen jaar oud) afkomstige stuifmeelkorrels. Gedetailleerde analyses door onderzoekers van Frankfurt Universität hebben uitgewezen dat de kuststrook van Antarctica gedurende het vroeg Eoceen bedekt was door vegetatie vergelijkbaar met de huidige tropen: veel niet-bladverliezende bomen zoals palmen, apenbroodboom, en varens. Met de aanname dat deze paleo-boomsoorten dezelfde klimatologische voorkeur hadden als hun tegenwoordige soortgenoten kon een temperatuurbereik worden bepaald die deze vegetatie mogelijk zou maken. Zo'n 'nearest living relative' werkwijze liet zien dat de Antarctische kustlijn gedurende het Eoceen geheel vorstvrij was, en 's zomers temperaturen van ongeveer 26°C bereikte. Door middel van organisch-geochemische temperatuur-reconstructies werden dezelfde zomertemperaturen bepaald. Daarnaast waren in dezelfde sedimenten fossiele resten van tropisch plankton aanwezig, wat verder bewijs leverde voor de warme Antarctische condities gedurende het vroeg Eoceen.

Een van de grootste raadsels in de paleoklimatologie is waarom het tijdens het midden Eoceen in de Zuidelijke Oceaan zo sterk afkoelde terwijl de tropen warm bleven. Een antwoord ligt besloten in een van de boorkernen van de expeditie (nabij Wilkes Land). Het aangetroffen fossiele plankton (zogenaamde dinocysten) laat een duidelijke overgang zien van tropische soorten in het vroeg Eoceen naar endemische (inheemse) circum-Antarctische soorten tijdens het midden-Eoceen. Deze endemische soorten kwamen ook gedurende het vroeg Eoceen voor aan de Zuid-Pacifische kant, maar zijn nooit gevonden in de Australo-Antarctic Gulf (AAG). De Tasmaanse landbrug (een landbrug tussen Antarctica en Australië toen beide continenten nog dicht bij elkaar lagen gedurende het Eoceen) vormde altijd een duidelijke scheiding tussen de dominantie van tropische soorten in de AAG en de endemische soorten in de Zuidwest Pacifische Oceaan. De vondst van dominant endemische dinocysten doet vermoeden dat zij sinds het midden Eoceen konden migreren via een kennelijk ondiepe zuidelijke opening van de Tasmaanse landbrug: de Tasmanian Gateway. Tegelijkertijd zijn in dezelfde boorkernen indicatoren gevonden voor een duidelijke afkoeling in deze regio. Dit suggereert dat de ondiepe opening van de Tasmanian Gateway een belangrijk component was voor de afkoeling van Antarctica, hetgeen deze regio naar grootschalige ijskapontwikkeling tijdens de Eoceen-Oligoceenovergang (rond 34 miljoen jaar geleden) leidde. Deze tektonische verandering zou ervoor gezorgd kunnen hebben dat de Zuidelijke Oceaan sterk afkoelde doordat oceaanstromingen rond Antarctica meer geïsoleerd raakten van de andere oceanen. Tevens laat deze oceanografische verandering de tropische temperatuurevolutie ongemoeid, en verklaart dus beter waarom de hoge breedtegraden konden afkoelen terwijl de tropen warm bleven.

Op zeker moment, ergens tijdens het Oligoceen (rond 33,5 miljoen jaar geleden), ontstonden vrij plotseling de eerste ijskappen en gletsjers op Antarctica. Hoe reageerde de zuidelijke oceaan en tevens het zeeleven op het plotselinge





Schematische weergave van de vondsten van de expeditie naar Antarctica. De temperatuur van de afgelopen 65 miljoen jaar (dus sinds het uitsterven van de dinosauriërs) wordt gekenmerkt door een klimaatoptimum rond 50 miljoen jaar geleden, waarna het wereldwijde klimaat langzaam maar zeker afkoelde. De boorkernen van het klimaatoptimum bevatten veel stuifmeel van tropische boom- en plantensoorten, waaronder de baobab, palmen, maar ook veel tropisch plankton, duidend op warm en nat klimaat in Antarctica. Rond de Eoceen-Oligoceen overgang vinden we het eerste bewijs voor ijs op Antarctica (zowel landijs als zee-ijs), terwijl expedities naar de Arctische Oceaan hebben laten zien dat zee-ijs al veel eerder op de Noordpool voorkwam, namelijk al gedurende het midden Eoceen. De boorkernen rond Antarctica bevatten veel bewijs voor landijs, zee-ijs en ijsbergen, waaronder zee-ijsplankton, zogeheten 'ice-rafted debris' (grote keien) en de afwezigheid van resten van tropisch leven. Bron: Escutia et al., Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program, Volume 318, Peter Bijl Universiteit Utrecht.



verschijnen van de Antarctische ijskap? De klimatologische condities zullen sterke verschuivingen hebben ondergaan, zoals het verschijnen van zee-ijs, sterke afkoeling van het oceaanwater, sterkere stromingen, meer voedingsstoffen maar wel (vanwege het zee-ijs) sterk beperkt tot een korte periode van het jaar. De vraag is hoe snel het ecosysteem zich heeft kunnen aanpassen aan de snelle 'bevriezing' van de omgeving. En bovendien, hoe dynamisch was de jonge ijskap? Hoeveel smelt en hoe veel aangroei vond er plaats? Ging dit gepaard met grote klimaatveranderingen, of was de jonge ijskap erg gevoelig? Antwoorden op deze vragen leveren een schat aan informatie op over hoe snel ecosystemen kunnen reageren op hun veranderende omgeving, hetgeen essentieel is om de effecten van het opwarmen van de aarde in de nabije toekomst op de ecosysteemveranderingen te kunnen bepalen.

De huidige Antarctische ijskap ontstond aan het begin van het Oligoceen, zo'n 33,5 miljoen jaar geleden, binnen 400.000 jaar. De oorzaak van de plotselinge glaciatie van Antarctica is gelegen in dalende CO_2 concentraties tot onder een zekere drempelwaarde, waarna de kleine ijskap door middel van zelfversterkende terugkoppelingsmechanismen binnen korte tijd kon uitgroeien tot een grote ijskap. Dit is althans de theorie, maar tot 2010 waren nog niet veel sedimentaire archieven rondom Antarctica beschikbaar om deze theorie te bewijzen dan wel te ontkrachten. Een van de belangrijkste doelen van de boorexpeditie was om deze tijdperiode van glaciatie in kaart te brengen, teneinde meer te weten te komen over de mechanismen die bijgedragen hebben aan het ontstaan van de Antarctische ijskap. De expeditie was op dit vlak een succes. Niet alleen leverden de boorkernen de mogelijkheid om de effecten van de vorming en het gedrag van de ijskap in Wilkes Land in kaart te brengen, ze hebben ook op allerlei manieren houvast gegeven om gegevens van boorkernen uit eerdere expedities beter te interpreteren. Bij deze vergelijking kwam een eenduidig beeld naar voren: zodra de ijskap zijn enorme omvang kreeg vormde zich tegelijkertijd zee-ijs rond het continent, inclusief het bijbehorende ecosysteem. Dit resultaat was baanbrekend, omdat het computerberekeningen hieromtrent bevestigde. Ook gaven de resultaten inzicht in hoe snel ecosystemen zich kunnen aanpassen aan het veranderende milieu. Het zee-ijs ecosysteem is daarin uniek en bevat dan ook een grote groep aan organismen die zich aan het zee-ijs hebben aangepast. Bovendien is het zeer belangrijk voor de oceaancirculatie: de Antarctische Oceaan is een van de grote motoren die oceaancirculatie aanjaagt: het houdt de diepere oceaan zuurstofrijk. Dit is van vitaal belang voor de wereldwijde mariene koolstof- en nutriëntenhuishouding. Het gegeven dat het ontstaan van dit ecosysteem gelijke tred hield met het snel ontwikkelende zee-ijsbiotoop, is een zeer interessant fenomeen.

Nu is de vraag, zeker in Nederland: wat gaat de smelt van ijskappen in de toekomst doen met de wereldwijde zeespiegel? Om hier een antwoord op te krijgen kan inzicht worden verkregen door de dynamiek van de ijskap in het verleden te bestuderen. Tot nu toe zijn de onderzoeksresultaten nogal tegenstrijdig. Aan de ene kant suggereren de meeste computermodellen dat er een grote klimaatverandering nodig is voor grootschalige afsmelting van Antarctica (hetgeen goed nieuws zou zijn). Anderzijds is er informatie van zeespiegelfluctuaties die suggereert dat tijdens het mid-Plioceen (3,5-5 miljoen jaar geleden), met ruwweg dezelfde CO_2 concentratie als in het huidige klimaat, en wereldwijde temperaturen slechts 2,5 graden warmer dan vandaag, de wereldwijde ijsmassa op land heel veel kleiner is geweest (slecht nieuws). Het antwoord ligt uiteraard in de poolgebieden zelf: de sedimentkernen van dichtbij de Antarctische ijskap zouden uitsluitsel moeten geven over de gevoeligheid van de ijskap voor klimaatverandering. Het resultaat van dit onderzoek suggereert dat de Antarctische ijsmassa tijdens het Plioceen sterk geslonken was.

Oceaanbooronderzoek in de poolgebieden, zowel Arctisch als Antarctisch, heeft veel invloed gehad op ons denken over de dynamiek en de gevoeligheid van het poolklimaat, doet dat nog steeds, en zal dat blijven doen. Het internationale onderzoek, met een grote Nederlandse inbreng betreffende het poolklimaat van het verre verleden, heeft ons laten zien hoe gevoelig deze gebieden zijn voor met name veranderingen in broeikasgassen.

De contributie namens Nederland aan het oceaanboorprogramma IODP, de participatie van Nederlandse onderzoekers op expedities en veel van het vervolgonderzoek wordt gefinancierd door het Nederlands instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek NWO.



IJs, Klimaat en Zeespiegel





Inleiding

Willem Jan van de Berg, Richard Bintanja, Wim Boot, Michiel van den Broeke, Louk Conrads, Günther Können, Harro Meijer, Hans Oerlemans, Marcel Portanger, Paul Smeets, Carleen Tijm-Reijmer, Roderik van de Wal

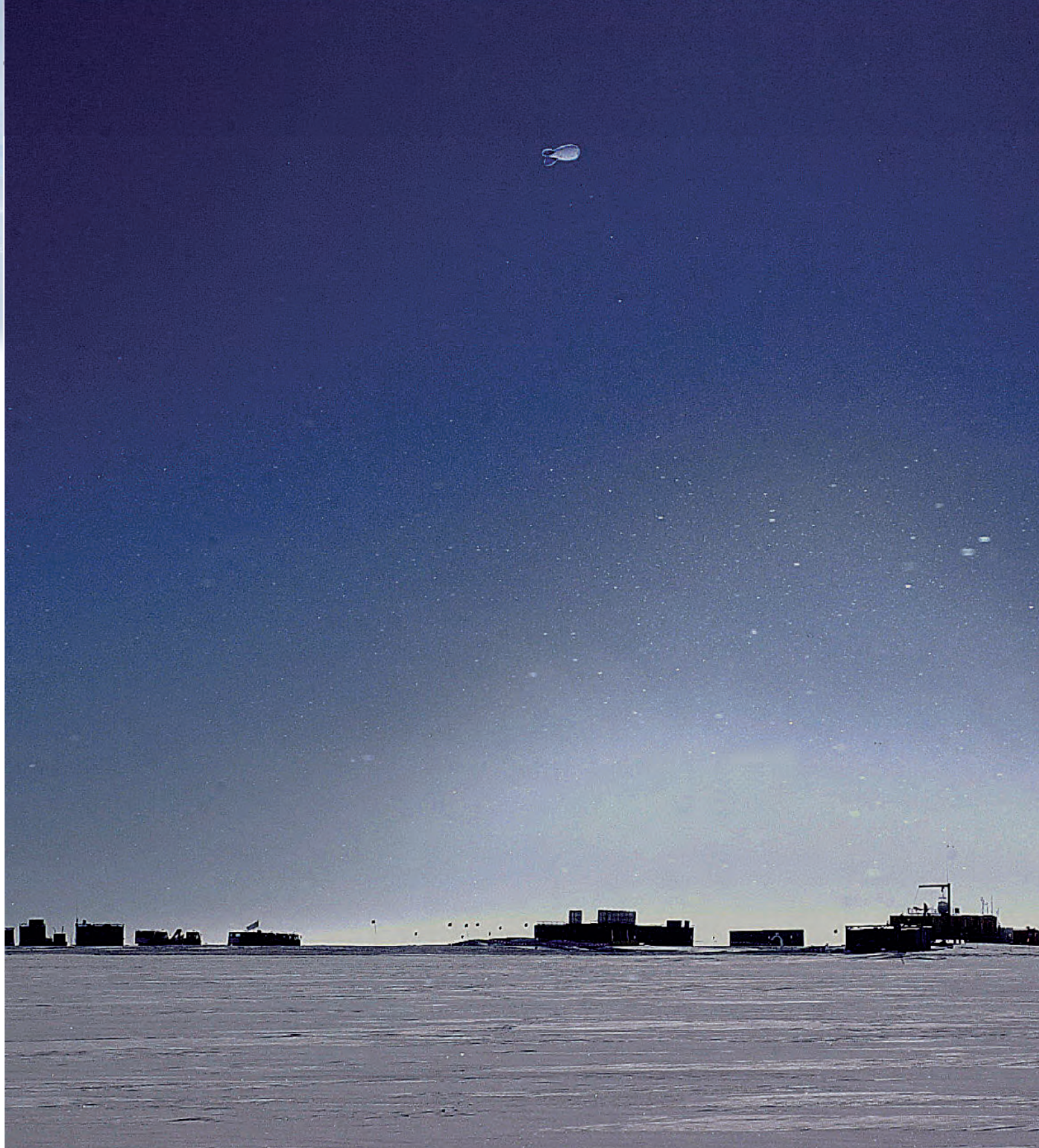
Ongeveer 70% van de wereldwijde zoetwatervoorraad ligt opgeslagen in gletsjers. We maken onderscheid tussen valleigletsjers, die we aantreffen in bergachtige gebieden, en ijskappen, die zich vormen op hoogvlakten. Voor ijskappen met (sub-)continentale afmetingen heeft het Engels –in tegenstelling tot het Nederlands– een aparte naam: *ice sheets*. Dit betekent letterlijk 'lakens van ijs', ingegeven door de grote horizontale afmetingen (honderden tot duizenden kilometers) in vergelijking met de relatief geringe –maar toch indrukwekkende– dikte van enkele kilometers. Deze naam is momenteel alleen van toepassing op de ijskappen van Groenland en Antarctica, maar tijdens het hoogtepunt van de laatste ijstijd, ongeveer 20.000 jaar geleden, bevonden zich ook continentale ijskappen in Noord Amerika, Scandinavië en Siberië.

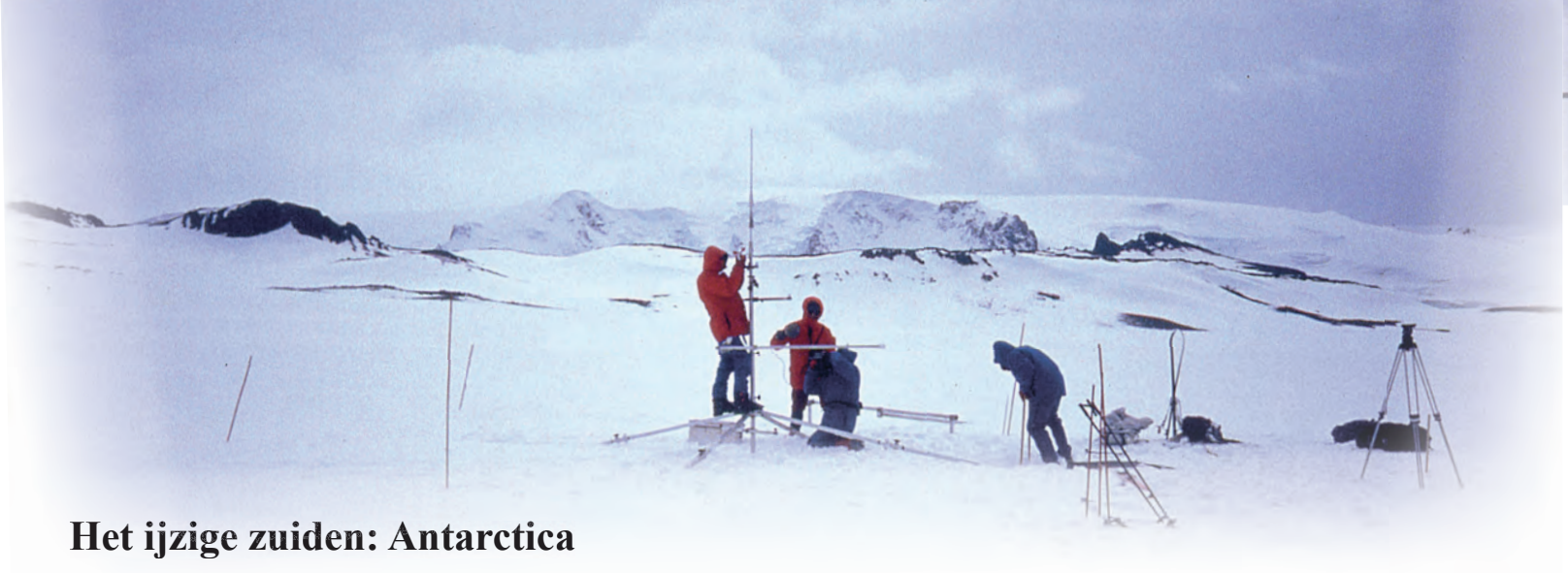
Een valleigletsjer of ijskap is in evenwicht met het heersende klimaat als hij jaarlijks gemiddeld evenveel massa door sneeuwval ontvangt als verliest door het wegstromen van smeltwater en/of het afbreken van ijsbergen. Dit betekent dat gletsjers gevoelig zijn voor veranderingen in het klimaat: een stijging van de temperatuur of een afname van de sneeuwval zal ervoor zorgen dat gletsjers massa verliezen en zich terugtrekken naar hoger gelegen gebied. Het extra smeltwater komt uiteindelijk terecht in de oceaan, waardoor de gemiddelde zeespiegel stijgt.

Verreweg het grootste volume aan landijs bevindt zich momenteel in de poolgebieden, met name in de ijskappen van Antarctica en Groenland. Als deze twee giganten geheel zouden afsmelten stijgt wereldwijd de zeespiegel met meer dan 60 meter! Voor alle resterende gletsjers is dit minder dan 1 meter, maar dat betekent niet dat kleinere gletsjers onbelangrijk zijn: door hun geringere afmeting reageren ze namelijk veel sneller op wisselingen in het klimaat.

Door de recente opwarming van atmosfeer en oceaan verliezen gletsjers en ijskappen wereldwijd momenteel snel massa, en dragen ze ruwweg voor 2/3 bij aan de huidige zeespiegelstijging van ongeveer 3 millimeter per jaar. De resterende 1/3 komt voor rekening van thermische expansie, het uitzetten van oceaanwater als het opwarmt. Voor een laaggelegen land als Nederland, maar ook voor gebieden die bijvoorbeeld van gletsjers afhankelijk zijn voor de drinkwatervoorziening, is het belangrijk om het toekomstige afsmeltgedrag van gletsjers te voorspellen. Hiervoor zijn op fysische principes gebaseerde gletsjermodellen nodig, die worden gekalibreerd met wereldwijde waarnemingen van het klimaat en de massabalans van gletsjers. In de afgelopen 30 jaar heeft Nederland een grote expertise opgebouwd in het uitvoeren van zulke metingen in de poolgebieden, en dit thema beschrijft het veldwerk dat hiervoor is uitgevoerd.

Diamond dust in de atmosfeer boven Kohnen Station, Oost Antarctica, december 2001. Let op de IMAU heliumballon boven de basis. Foto: IMAU





Het ijzige zuiden: Antarctica

Als vuistregel geldt dat de Antarctische zomer even koud is als de Arctische winter: in Antarctica is het zelfs in de zomer zó koud dat afsmelting een sporadisch en kortdurend verschijnsel is. De Antarctische ijskap kan dan ook worden gezien als één groot accumulatiegebied, waar sneeuwval elk jaar massa aan de ijskap toevoegt. In deze ijzige omstandigheden wordt deze groei niet gecompenseerd door het snelle wegstromen van smeltwater, maar door de trage stroming van het ijs en het afbreken van grote tafelijsbergen aan de rand van de ijskap. Hierop zijn twee belangrijke uitzonderingen. De eerste is het Antarctisch Schiereiland, waar de temperaturen het hele jaar door zo hoog zijn dat er significante afsmelting plaatsvindt. Een tweede uitzondering wordt gevormd door de zogenaamde blauw ijs gebieden, die 1-2% van de ijskap beslaan en kunnen worden aangemerkt als Antarctische ablatiegebieden, waar op jaarbasis netto massa van het oppervlak verdwijnt. Hierbij speelt smelten echter een ondergeschikte rol, en zijn het vooral sneeuwdrift en sublimatie (de directe overgang van de vaste fase naar de gasfase) die het massaverlies veroorzaken. In de traditie van het niche-onderzoek dat het Nederlands polair klimaatonderzoek kenmerkt, zijn het juist deze gebieden die sinds de jaren 1990 uitgebreid bestudeerd worden door Nederlandse onderzoekers.

Maar eerst gaan we iets verder terug in de tijd. Nederlandse onderzoeksactiviteiten op het gebied van glaciologie en meteorologie in Antarctica vonden bijvoorbeeld al plaats in de jaren 1964-1967 in het kader van de Belgisch-Nederlandse expedities naar het Koning Boudewijn Station in Dronning Maud Land. Hierin speelde met name het KNMI een belangrijke rol. Nadat dit programma wegens geldgebrek werd beëindigd is er zo'n 25 jaar lang geen structureel Nederlands meteorologisch en glaciologisch onderzoek in Antarctica gedaan. Toch waren er in die periode wel degelijk op incidentele basis Nederlandse onderzoekers actief op Antarctica. Met behulp van buitenlandse logistiek verrichtten zij hun meteorologische en/of glaciologische onderzoek. Een voorbeeld hiervan is Günther Können, die in 1989/90 op het Amerikaanse onderzoeksstation Amundsen-Scott voor het KNMI onderzoek deed naar de vorm van ijskristallen en de polarisatie van licht en halo-vorming. Hij was daarmee de eerste Nederlander die voet zette op de geografische Zuidpool (zie kader 'De eerste Nederlanders op de Zuidpool').

Aan twee en een halve decade van desinteresse kwam eind jaren 80 een einde, toen vanuit de politiek duidelijk werd dat Nederland de consultatieve status bij het Antarctisch Verdrag kon verkrijgen indien men op structurele basis in Antarctisch onderzoek zou investeren. Om zo'n programma op te starten werd allereerst een Nederlandse expeditie op touw gezet. Het Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek Utrecht (IMAU) van de Universiteit Utrecht was net daarvoor gestart met meteorologische en glaciologische metingen op de Groenlandse ijskap teneinde de aangroei en afsmelting in relatie met klimaatveranderingen te bepalen (zie 'Het smeltende Noorden'). Vergelijkbaar onderzoek kon grotendeels met dezelfde apparatuur op Antarctica worden uitgevoerd en zo werden de disciplines meteorologie en glaciologie onderdeel van de eerste Nederlandse Antarctica expeditie in 1990/91 naar Henryk Arctowski Polish Antarctic Station, gelegen in Admiralty Bay op King George Island. Elders in dit boek wordt ook de deelname aan deze expeditie vanuit het onderzoeksthema Aardwetenschappen beschreven.

Begin december 1990 vertrokken de expeditieleden, 24 in totaal, via Punta Arenas (Chili) per vliegtuig en helikopter naar Arctowski Station. Vlakbij deze basis ligt de Ecology



Het weerstation nabij de Ecology Glacier, King George Island, Antarctica, met Marcel Portanger. Foto: IMAU.

Glacier, een uitloper van de grote, honderden meters dikke ijskap die King George Island voor meer dan 90% bedekt. Het doel was om een aantal meteorologische stations te plaatsen, in een rechte lijn van de top van Ecology Glacier naar het lagere gedeelte bij de zee, om zo de energie- en massa-uitwisseling tussen gletsjer en atmosfeer als functie van de hoogte te bepalen. Dit maakt het mogelijk om de gevoeligheid voor klimaatverandering van deze gletsjer, en daarmee die van vergelijkbare gletsjers in dit sub-antarctische klimaat, te bepalen.

Eenmaal aangekomen op Arctowski Station bleken de logistieke mogelijkheden helaas niet overeen te komen met hetgeen vooraf was beloofd: rupsvoertuigen noch helikopters, nodig om stations voor deze meetcampagne op de gletsjer te plaatsen, waren beschikbaar. Uiteindelijk werden slechts twee stations te voet en per ski geplaatst: één midden op de gletsjer en één op de bergkam ernaast, zodat de karakteristieken van de energie- en massabalans van de Ecology Glacier toch goed te bestuderen waren. Ook werden met behulp van een heliumballon en een liersysteem meteorologische metingen gedaan in de onderste anderhalve kilometer van de atmosfeer. Gemiddeld één keer per dag werd zo een verticaal profiel van temperatuur, wind en andere variabelen gemeten, en kon de stroming op grotere hoogten worden gerelateerd aan die vlakbij de grond. In combinatie met weerkaarten werd op deze manier duidelijk welke circulatiepatronen samenhingen met sterke afsmelting van de gletsjer, en welke mechanismen daarbij een rol speelden.

De meetcampagne, die ongeveer een maand duurde, leverde de eerste directe meteorologische en glaciologische metingen van de ijskap van King George



Het Poolse station Arctowski op King George Island in 1990. Foto: IMAU.





Carleen Reijmer zet in 1997 een meetstation op in Scharffenbergbotnen, Dronning Maud Land, Antarctica.

Island op. Het specifieke klimaat (relatief mild en stormachtig) steekt nogal af bij dat van de rest van Antarctica, hetgeen ertoe bijdraagt dat deze ijskap relatief gevoelig is voor temperatuurstijgingen. De expeditie naar King George Island werd, ondanks de logistieke problemen, een wetenschappelijk succes. Het IMAU werd, mede omdat het Nederlandse budget voor Antarctisch onderzoek hierna gestaag groeide, een belangrijke speler in het Antarctisch onderzoek.

Zo volgde in 1992/93 de expeditie naar een zogenaamd blauw-ijs gebied in Dronning Maud Land, in samenwerking met Scandinavische collega's. Het doel was om de klimatologische eigenschappen van blauw-ijs gebieden in detail te onderzoeken. Eind november reisden drie Nederlanders naar de binnenlanden van Dronning Maud Land in Oost Antarctica, als onderdeel van de Zweedse SWEDARP expeditie. In Kaapstad werd per schip (de slechts 49 m lange Polarbjørn, later overgenomen door Greenpeace en omgedoopt tot Arctic Sunrise!) in twee en een halve week de oversteek naar Antarctica gemaakt, waarbij onderweg nog kort het eiland Bouvetøya werd aangedaan. Eenmaal aangekomen werd de reis per helikopter voortgezet naar het Zweedse station Svea, gelegen in de Heimefrontfjella, een alpien gebergte met toppen tot 2500 meter en diepe dalen

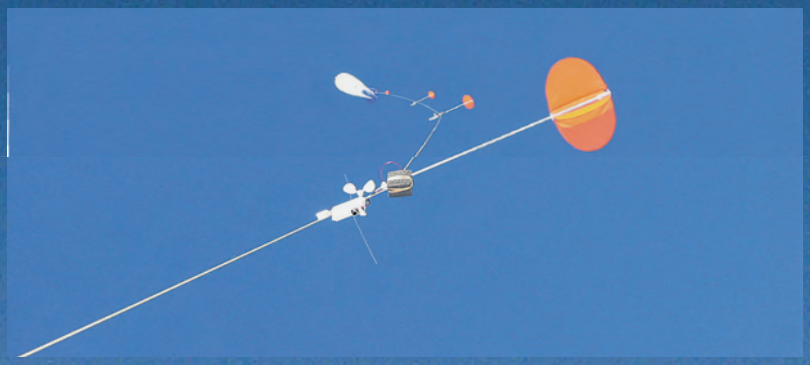


Zeeijs aan de kust van Dronning Maud Land. Foto's: IMAU.



Het Zweedse station Svea.

die meerdere blauw-ijs gebieden herbergen, op zo'n 400 kilometer van de kust. Svea is gesitueerd aan de rand van zo'n blauw-ijs gebied in het dal Scharffenbergbotnen.
Het doel van de expeditie was om de energie- en massabalans van blauw-ijs en sneeuw te bepalen om zodoende inzicht te krijgen in de klimaatgevoeligheid van blauw-ijs gebieden. Daartoe werd een netwerk van zes meteorologische stations opgezet op en in de omgeving van het blauw-ijs gebied. Net als op Arctowski werden bij Svea in de onderste anderhalve kilometer van de atmosfeer profielmetingen gedaan met een heliumballon en een liersysteem. Tijdens geselecteerde periodes werd acht keer per dag een verticaal profiel van temperatuur, vochtigheid en wind gemeten om zo de stroming op grotere hoogtes te relateren aan die vlakbij de grond, en de dagelijkse gang hierin te bepalen. In totaal duurde het experiment zo'n zes weken, waarin de verschillende meetlocaties regelmatig per sneeuwscooter werden bezocht. De voornaamste resultaten laten zien dat de verschillen tussen blauw-ijs (met een laag albedo, of reflectiviteit) en sneeuw (met een hoog albedo) in energie- en massabalans zodanig groot zijn dat de sublimatie ('verdamping') van blauw-ijs veel groter is dan die van sneeuw, zodat ze zichzelf in stand houden. Tevens werd gevonden dat blauw-ijs aerodynamisch veel 'gladder' is dan sneeuw. Ook werden de typische circulatiepatronen die bijdragen aan een hogere verdamping van blauw-ijs, en aan het sneeuwvrij houden door verhoogd sneeuwtransport, geïdentificeerd. Tenslotte is vastgesteld dat de klimaatgevoeligheid van dit blauw-ijs gebied niet erg groot is.
Een tweede onderdeel van deze expeditie betrof het boren van ijskernen in het blauw-ijs om deze met behulp van de ^{14}C methode, waarbij de koolstof werd gewonnen uit CO_2 in de luchtbelletjes in het ijs, te dateren (zie hoofdstuk 'Gletsjers als klimaatarchief'). Daartoe werd op een lijn langs de centrale as van het blauw-ijs gebied met een gemotoriseerde ijsboor een serie ijskernen geboord van 3 tot 10 meter diep. Hieruit is de leeftijd van het ijs bepaald; het oudste ijs bleek rond de 20.000 jaar oud te zijn.
De resultaten van de eerste Svea expeditie riepen ook allerlei nieuwe vragen op. In de Antarctische zomer van 1997/98 volgde daarom een tweede expeditie naar hetzelfde gebied, met meer én nauwkeuriger meettechnieken. Eind november 1997 reisden dus vier Nederlanders naar Dronning Maud Land, wederom als onderdeel van het Zweedse Antarctische onderzoeksprogramma SWEDARP. Vanuit Kaapstad werd, ditmaal met de Zuid Afrikaanse ijsbreker Outeniqua, in ruim twee weken de oversteek naar Antarctica gemaakt, waarbij onderweg opnieuw het eiland Bouvetøya kort werd aangedaan. Eenmaal aangekomen werd de reis per helikopter voortgezet naar het station Svea. Het doel van deze expeditie was om de vragen die waren overgebleven van de eerste blauw-ijs expeditie te beantwoorden.
Daartoe werd een groot aantal meteorologische stations ingezet, waarvan sommigen beschikten over vijf meethoogtes, zodat nauwkeuriger verticale profielen van bijvoorbeeld wind en temperatuur bepaald konden worden. Met twee sets sonische anemometers werden bovendien directe turbulentiemetingen gedaan, waarmee bijvoorbeeld de verdamping/sublimatie nauwkeurig gemeten kan worden. Andere uitbreidingen ten opzichte van de expeditie van vijf jaar daarvoor waren: het plaatsen van automatische weerstations om langjarige metingen te doen op een aantal strategische locaties; het bepalen van verticale profielen door de gehele troposfeer door middel van met helium



gevulde ballonnen; het direct meten van sneeuwdrift met instrumenten van het AWI te Bremerhaven; het bepalen van de golfstructuur van blauw-ijs om deze te relateren aan de sublimatie; het plaatsen van een meteorologisch station op een tweede blauw-ijs gebied op zo'n 50 kilometer afstand (om te bestuderen hoe representatief het blauw ijs gebied nabij Svea eigenlijk is) en tenslotte het uitvoeren van diepe (tot 100 meter) ijsboringen in het blauw-ijs gebied. Richard Bintanja, deelnemer aan beide expedities naar Svea, verwoordde zijn persoonlijke ervaringen in zijn roman Poolreizen (zie kader 'Fragment uit de roman 'Poolreizen' van Richard Bintanja').



Dirk van As neemt sneeuwmonsters voor isotopenonderzoek bij een sonische hoogtemeter.

Activiteiten in 2001/02 op Kohnen Base.



Wim Boot laat een weerballon op. Inzet: kabelballon met sensoren. Foto's: IMAU.



De eerste Nederlanders op de Zuidpool

Günther Können: 'Tijdens de zuidelijke zomers van 1989/90 en 1997/98 heb ik tezamen met mijn Amerikaanse collega Walter Tape tweemaal twee maanden doorgebracht op de Zuidpoolbasis, genaamd Amundsen-Scott South Pole Station. Deze Amerikaanse basis ligt op de Antarctische hoogvlakte, op slechts zo'n 300 meter van de geografische Zuidpool (90° ZB). Het doel van ons verblijf was om onderzoek te doen naar het verband tussen enerzijds de vorm en afmetingen van ijskristallen die in de lucht zweven en anderzijds de polarisatie en lichtverdeling van halo-vormen die deze ijskristallen aan de hemel genereren als ze door de zon worden beschenen. Om zo'n groot mogelijke kans op succes te hebben moet dit onderzoek in een zeer koud klimaat plaatsvinden, zodat de halo-genererende kristallen om je heen zweven en je ze dus kan vangen en direct opmeten. Het binnenland van Antarctica, waar zeer goed gedefinieerde halo's ontstaan, is zeer geschikt om zulk onderzoek uit te voeren. Dit bracht mij als eerste Nederlander ooit naar Amundsen-Scott, zodat ik de eerste Nederlander werd die op de geografische Zuidpool heeft gestaan. Merkwaardigerwijze merk je dat fysiek, zoals ook Roald Amundsen, de Noorse ontdekkingsreiziger die met zijn team in 1911 als eerste de geografische Zuidpool bereikte, al in zijn dagboek opmerkte. Dit geldt vooral voor mensen zoals wij, die veel in de buitenlucht vertoefden. De totale afwezigheid van variatie in zonshoogte door de dag heen zorgt namelijk voor een enorme ontregeling van het biologische dag/nacht ritme – in veel heviger mate dan bij een 'normale' middernachtzon. De Zuidpool is inderdaad een unieke plek.
Ons tweemansonderzoek was uiterst low-tech en dus goedkoop, zeker in vergelijking met andere soms zeer prestigieuze projecten. Tevens was het bijzonder succesvol en heeft het tot een flink aantal publicaties geleid. Het uiteindelijke resultaat is dat wij het verband tussen afmeting van kristallen en de lichtverdeling van halo's goed hebben kunnen ijken. Dit gegeven is van belang voor toekomstig interplanetair ruimteonderzoek: in de atmosfeer van andere planeten of hun satellieten (Titan!) kunnen zich kristallen van ijs of zelfs meer exotische kristallen bevinden, die in principe ook halo's kunnen genereren. Als deze halo's gedetecteerd worden – wat op Mars bij een simpele halovorm al het geval is geweest – dan vormt ons onderzoek een basis om uit hun lichtverdeling eenduidig de grootte, en mogelijk ook de vorm en brekingsindex van de kristallen te bepalen.'



Groothoekopname van een uitzonderlijk rijk halocomplex. De twee circulaire halo's met als middelpunt de zon hebben een straal van resp. 22° en 46°. Daarnaast zijn er een aantal vlekken en bogen te zien waarvan enkele zeer zeldzaam zijn. De zon is verscholen achter het object op de paal; rechts is de geodetische koepel van de Zuidpoolbasis te zien. Een halocomplex van deze kwaliteit komt op de Zuidpoolbasis gemiddeld eens per week voor; in Nederland misschien eens in de één of twee eeuwen. Deze foto is genomen op 1 Januari 1998 om 22:43 UTC tijdens Könnens tweede verblijf op Amundsen-Scott South Pole Station. De zonshoogte is 23.0°; het horizontaal beeldveld is 135°. Foto: Günther Können.

De Zuidpoolexpeditie van 1989/90 zou een jaar later een vervolg krijgen op het Russische Vostok station. Hoe dat veldwerk verliep is te lezen in het hoofdstuk 'Gletsjers als klimaatarchief'.
In het seizoen 1993/94 hebben ook Louk Conrads (IMAU) en Raymond Schorno (NWO) kortstondig de geografische Zuidpool bezocht. In dat seizoen plande Zweden als onderdeel van het *International Trans-Antarctic Scientific Expeditions (ITASE)* project een traverse van Wasa Station (73° Z, 13° W) naar de Zuidpool en terug. De twee Nederlanders zouden naar de Zuidpool reizen, daar een apart ingevlogen automatisch weerstation en een radiosondesysteem testen en vervolgens met de Zweden terugkeren naar de rand van het continent. Helaas kwamen de Zweden nooit op de Zuidpool aan doordat ze terecht kwamen in een gebied met gletsjerspleten. Het weerstation, het eerste IMAU station op Antarctica, bleef achter op de Zuidpoolbasis Amundsen-Scott en werd na een succesvolle test van een jaar weer gerepatrieerd.

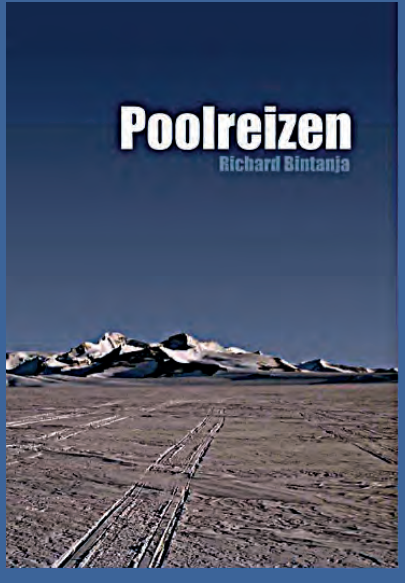


Na de blauw-ijs expedities werd aansluiting gezocht bij EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica), een grote, Europese campagne om de langste ononderbroken chronologie van Antarctisch gletsjerijs te boren (zie hoofdstuk 'Gletsjers als klimaatarchief'). De interpretatie van ijskernen is mede afhankelijk van lokale klimatologische omstandigheden, en het IMAU verrichtte daarom meteorologische metingen op één van de twee boorlocaties in het hoge en koude binnenland van Dronning Maud Land in Oost Antarctica. Ook in het kader van EPICA namen in 1997 diverse Nederlandse onderzoekers deel aan een avontuurlijke Noors-Nederlandse traverse naar het onontdekte westelijke deel van Dronning Maud Land, op zoek naar een geschikte boorplaats. Langs deze traverse werden diverse automatische weerstations geplaatst. In 2001 begon het Duitse Alfred Wegener instituut voor poolonderzoek (AWI) met de tweede diepe EPICA boring, drie kilometer diep. Speciaal hiervoor werd Kohnen Station gebouwd, vernoemd naar de kort daarvoor overleden dr. Heinz Kohnen (1938-1997), grondlegger van de logistieke afdeling van het AWI.
Kohnen Station bestaat uit gele containers van het voormalige Filchner Station. Dit station moest in 1999 van een

Fragment uit de roman Poolreizen van R. Bintanja

'De helikopter scheerde laag over Wasa. Het station bestond uit niet meer dan een paar kleine hutjes op een platte berg met een steile klif aan de noordkant. De eerste zomergasten zouden pas later vandaag arriveren. Gek genoeg realiseerde hij zich nu pas dat Wasa en Svea slechts anderhalve maand per jaar bewoond waren, tijdens de korte Antarctische zomer, en dus vrijwel het hele jaar leeg stonden. Ze vlogen verder zuidwaarts, in de richting van de Heimefrontfjella, het gebergte dat al snel aan de horizon verscheen toen ze weer hoogte wonnen. Het was prachtig weer. De strakblauwe lucht werd slechts onderbroken door enkele halfdoorzichtige cirrusflarden. De uitgestrektheid van de witte wereld beneden hem werd steeds indringender. Zijn enige referentie was het aan de horizon opdoemende gebergte, dat langzaamaan steeds prominenter omhoog leek te rijzen. Daarachter werd de ijskap alsmaar dikker.
Het trage ijs wurmde zich over en door het ruige rotsmassief in de richting van de kust en vormde steile ijswanden en craquelurige gletsjers. Een desolaat, grimmig landschap, maar tegelijkertijd een landschap met een grootse, magnifieke uitstraling. De helikopter zette abrupt de daling in. Joachim zocht naar Svea, aan de voet van de Heimefrontfjella, ergens op een rotspunt, zo was hem verteld, maar kon het niet ontdekken. Pas vlak voor de landing zag hij het nietige, vaalgele hutje van Svea eenzaam op een rozebruine rotspunt staan. Temidden van uiteenstuivende wolken sneeuw landde de helikopter op het egale sneeuwveldje ernaast.
Enkele minuten later zette hij zijn eerste voorzichtige stappen op de keiharde sneeuw. Toen de rotoren eindelijk tot stilstand kwamen bleek het windstil te zijn. De zon stond boven de zwartgrijze bergen en scheen behaaglijk. Dit was het dus: Antarctica. Hij keek verwonderd om zich heen en voelde zich klein. Niemand zei iets. Er heerste een serene rust.'

Bintanja, R. Poolreizen (roman). Uitgeverij Servo DTP, Assen, 268 pp., ISBN 9057869020 (2006).



Voorkant van de roman Poolreizen.
Foto: Richard Bintanja.

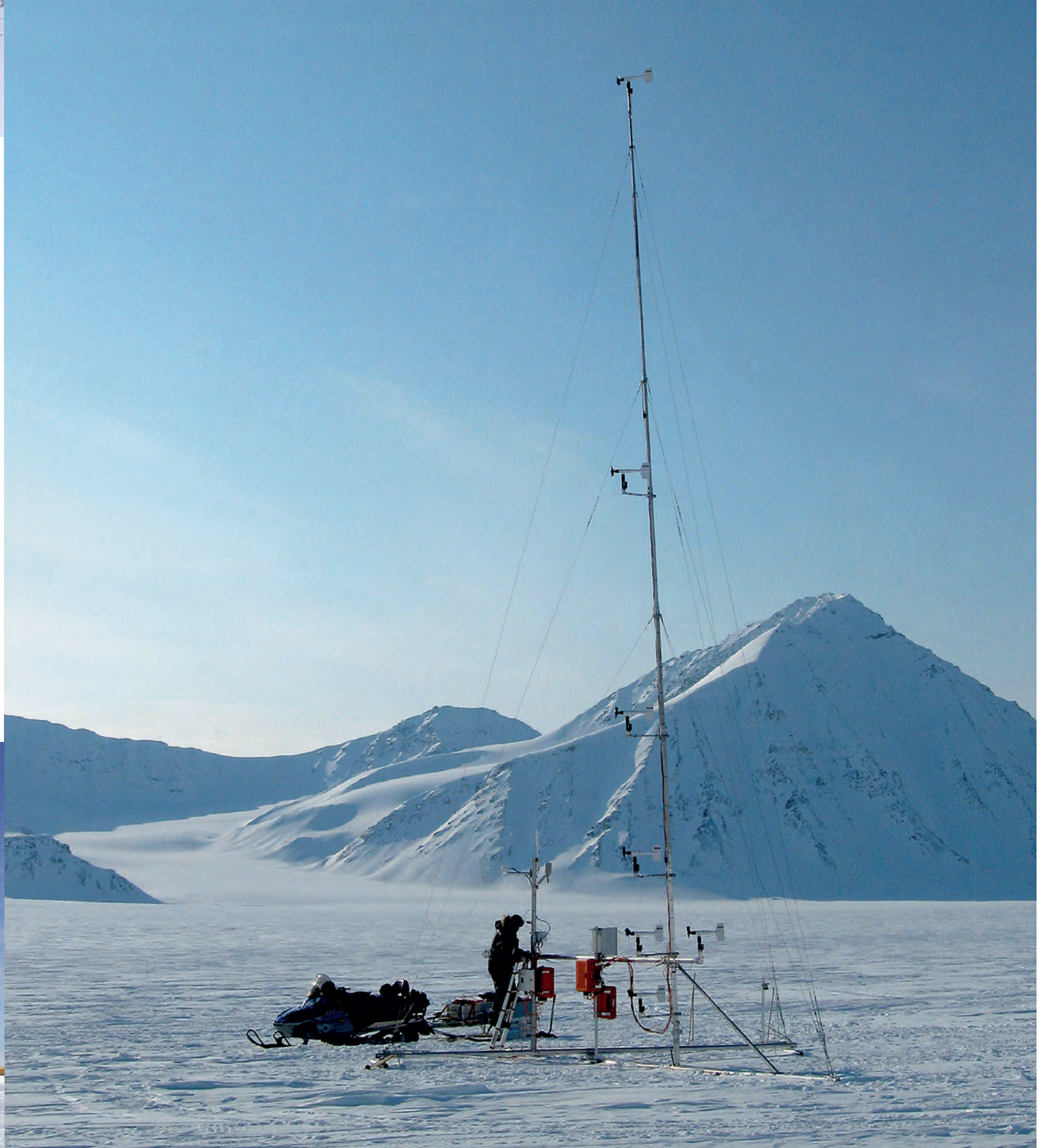
ijsberg, die van de Filchner-Ronne ijsplaat was afgebroken, worden gered. Als bijdrage aan het EPICA project bekostigde het Nederlands poolprogramma één van de nieuwe containers. Vanuit Kaapstad vertrokken in december 2001 de expeditieleden per boot, de Duitse ijsbreker Polarstern, vliegtuig en rupsvoertuig naar Kohnen Station (75° Z en ongeveer 2900 meter hoogte). Na een verplichte rustperiode van twee dagen om aan de hoogte te wennen, voerden de Nederlandse onderzoekers een maand lang meteorologische waarnemingen uit naar de structuur van de Antarctische atmosferische grenslaag. In deze periode daalde de luchttemperatuur tot -45 °C en de gevoelstemperatuur zelfs tot -65 °C, zodat bij terugkomst op Neumayer Station aan de kust -15 °C ineens warm aanvoelde! Na een geslaagde expeditie keerden de onderzoekers na drie en een halve maand terug naar huis.

Met de snelle opkomst van automatische meetapparatuur en satellieten –die fungeren als sensoren en als communicatieplatform– verviel de noodzaak voor intensieve en uitgebreide meteorologische zomercampagnes in Antarctica. Het nieuwe doel werd het genereren van langere klimatologische reeksen, met relatief eenvoudige maar ook meer robuuste instrumenten die de Antarctische winter kunnen doorstaan. Tijdens de eerder genoemde expeditie van 1997/98 werden dan ook de eerste Nederlandse automatische weerstations in Dronning Maud Land geplaatst, en dit automatisch weerstation netwerk is sindsdien gestaag gegroeid (zie hoofdstuk ‘De technologische revolutie’). Sinds 2005 hebben de meeste bezoeken aan Antarctica dan ook als doel om korte, intensieve meetcampagnes naast bestaande stations uit te voeren. Zo voerde Paul Smeets in 2006 turbulentiemetingen uit bij de Zweeds- Finse stations Wasa en Aboa, en deed Peter Kuipers Munneke in 2012 stralingsmetingen op Larsen C ijsplaat in het Antarctisch Schiereiland, in samenwerking met de British Antarctic Survey.





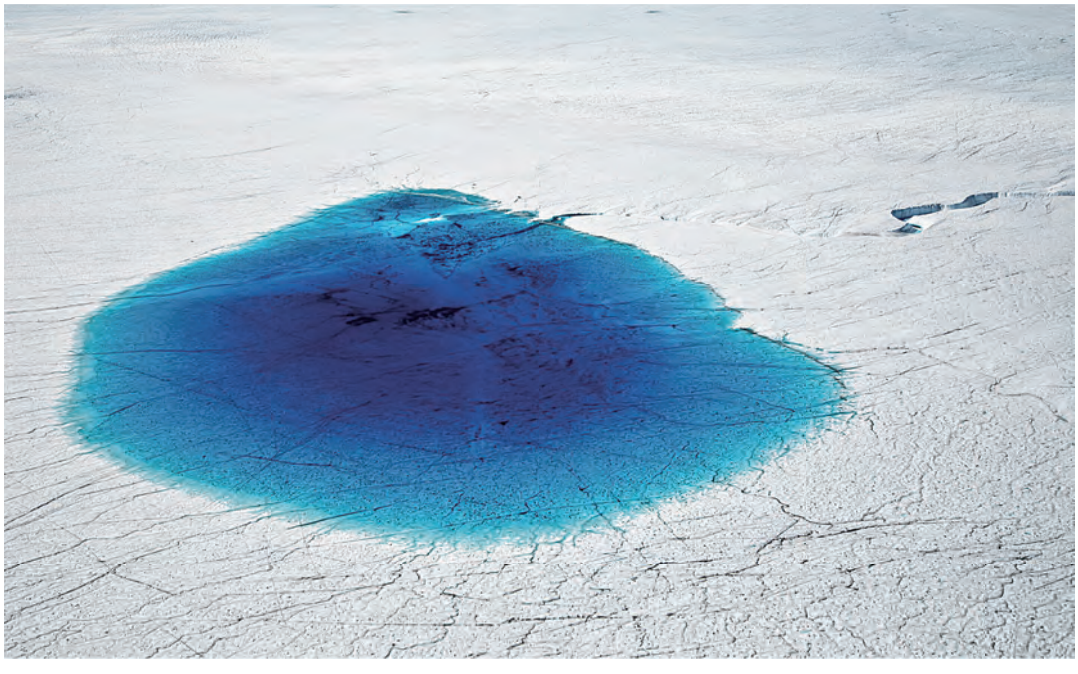
Groenland 2007: Peter Kuipers Munneke (onder) en Michiel Helsen voeren stralingsmetingen uit op Station Summit (boven). Rechts: Spitsbergen, 2009: Wim Boot controleert op Kongsvegen de unieke 16 meter hoge meetmast die los op het oppervlak staat.



Het smeltende Noorden: Groenland, IJsland en Spitsbergen

De zomers in het Noordpoolgebied zijn, zoals eerder gememoreerd, veel warmer dan die in Antarctica. Daarom hebben alle gletsjers en ijskappen in het Noordpoolgebied een duidelijk *ablatiegebied*, waar de jaarlijkse hoeveelheid afsmelting de sneeuwval overtreft. In het ablatiegebied komt het gletsjerijs, dat verder landinwaarts op zo'n 100 meter diepte is gevormd, weer aan de oppervlakte. Betrouwbare schattingen laten zien dat in een gemiddelde zomer 250 kubieke kilometer smeltwater de Groenlandse ijskap afstroomt, maar dat deze hoeveelheid in warme zomers zoals die van 2010 en 2012 verdubbelt! Al dit smeltwater zoekt zijn weg over de ijskap, totdat het zich in een ondiep meer verzamelt of een scheur tegenkomt waarin het zich met donderend geraas naar de bodem van de ijskap stort, die makkelijk een kilometer dieper gelegen kan zijn. Deze verticale afwateringskanalen worden *moulins* genoemd, en samen met de azuurblauwe smeltwatermeren bepalen ze het aanzicht van de rand van de west Groenlandse ijskap in de zomer.

In de jaren tachtig van de vorige eeuw buigen veel glaciologen zich over de voorspelling dat de West Antarctische ijskap bij verdere opwarming geheel zal afsmelten. In het Laboratorium voor Experimentele Fysica van de Rijsuniversiteit Utrecht (tegenwoordig Buys Ballot Gebebouw en Universiteit Utrecht) worden echter de eerste voorbereidingen getroffen voor een avontuurlijke expeditie naar Groenland. Hans Oerlemans, in 1988 in Utrecht benoemd als hoogleraar Meteorologie en als onderzoeker actief bij wat



Smeltwatermeer (onder) en moulin (boven) in west Groenland. Foto's: Ian Joughin (onder) en Jason Box (boven).



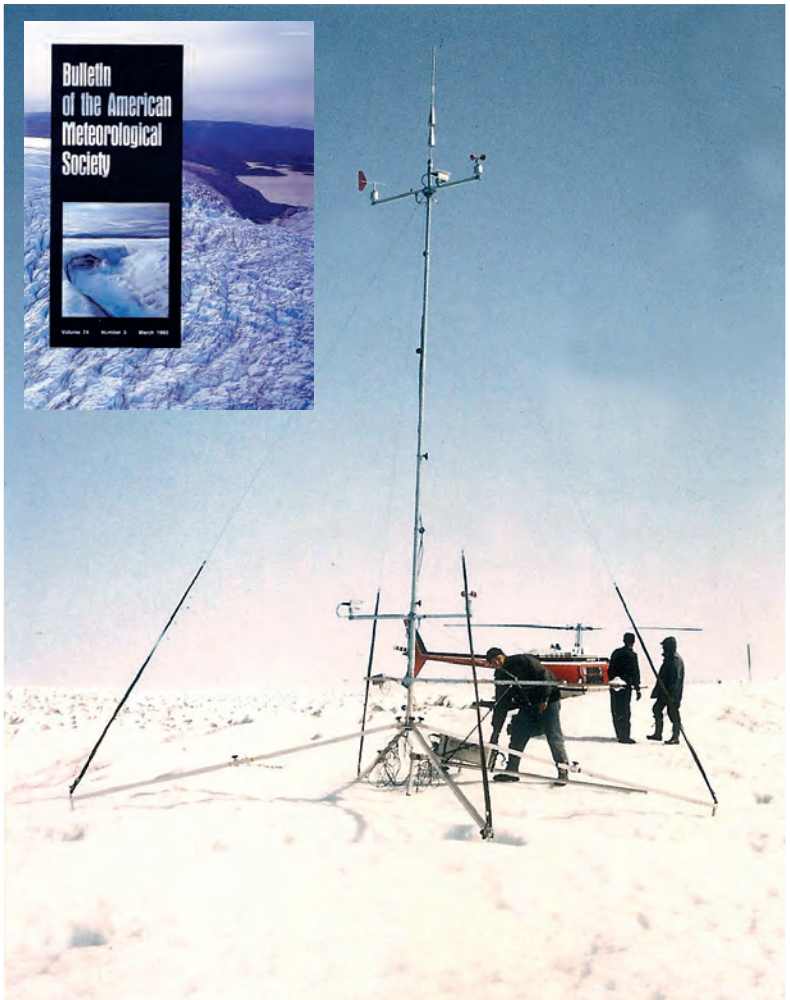
Het kamp aan de ijsrand. Foto: IMAU.

toen nog het Instituut voor Meteorologie en Oceanografie Utrecht (IMOU) heette, meent dat een kleine onderzoeksgroep het best gedijt bij niche-onderzoek: doen wat anderen (nog) niet doen. Dus verkent hij de Groenlandse ijskap in 1989 door vier locaties in het smeltgebied te bezoeken. In juli 1990 vliegen acht IMOU-ers onder leiding van Louk Conrads naar Kangerlussuaq, de toenmalige Amerikaanse luchtmachtbasis Søndre Strømfjord, in West-Groenland voor het eerste Greenland Ice Margin EXperiment (GIMEX-90). In dit droge gebied heeft de ijskap zich sinds de laatste ijstijd zo'n 150 kilometer teruggetrokken van de kust. Boven de ijsvrije toendra en de door de smeltwaterrivieren gevormde zandvlakte kan het in de zomer makkelijk 15-20 graden boven nul worden. De expeditieleden verblijven in tenten aan de rand van de ijskap, ongeveer 20 kilometer landinwaarts van het vliegveld en daarmee van de bewoonde wereld. Het verblijf aan de rand van de ijskap heeft als bijkomend voordeel dat de gletsjerwind de zwermen muggen af en toe verdrijft.

Voor het transport van mensen en goederen tussen Søndre Strømfjord en het basiskamp zorgen twee DAF YP-126 militaire vrachtautos uit de jaren 50, een bijdrage van het Ministerie van Defensie. Met vierwielaandrijving en terreinversnelling blijken deze ééntonners –een bijnaam die ze ontlenen aan hun laadvermogen– uitstekende werkpaarden, zolang de ondergrond droog is. Ook moet de bestuurder sterk genoeg zijn om zonder stuur- of rembekrachtiging de 3.500 kilogram wegende



Paul Fortuin en Michiel van den Broeke bij de DAF trucks in de rivierbedding. Foto: IMAU.



Groenland 1990: Wim Boot bij station 40 kilometer op de ijskap. Foto: IMAU.



De Sikorsky helikopter die het GI-MEX-VU team op de ijskap bracht; uiterst rechts in het groepje staat expeditieleider Hans Vugts.

Foto's: Edwin Henneken.



Fred Cannemeijer, Niek-Jan Bink, Luc Bos en Edwin Henneken voor de tent.



De 31 meter hoge meetmast.

voertuigen door het ruige terrein te manoeuvreren.
Drie automatische meteorologische meetstations worden op de toendra opgesteld. Deze stations moeten goed worden beschermd tegen poolhazen, die met enige regelmaat hun tanden in de kabels zetten. Met behulp van een helikopter worden ook drie stations op de ijskap geplaatst, de verste zo'n 40 kilometer verwijderd van het kamp, op ongeveer 1000 meter hoogte. Door het revolutionaire 'vierpoot' mastontwerp kunnen de stations zonder verankering op het oppervlak staan en bewegen ze met het smeltende ijs mee naar beneden (zie hoofdstuk 'De technologische revolutie'). De stations sturen via slimme radiocommunicatie de meetgegevens naar het basiskamp, waar één van de legertrucks dienst doet als communicatiecentrum. Om contact met het verste station te maken is een hulprelais op het ijs nodig, dat het signaal versterkt alvorens het naar het basiskamp door te sturen. In aanvulling op de mastmetingen wordt in het basiskamp –bij goed weer– een met helium gevulde kabelballon gebruikt om verticale profielen te meten in de onderste kilometer van de atmosfeer.
Dit succesvolle experiment wordt in 1991 herhaald, ditmaal in samenwerking met de meteorologie groep van de Vrije Universiteit Amsterdam (VU), onder leiding van Hans Vugts. De VU richt voor de periode van een maand een permanent kamp in op de ijskap, op ongeveer 90 km van de ijsrand en op 1500 meter hoogte, waar vijf personen zullen verblijven. De wetenschappelijke uitrusting van de VU bestaat uit een SODAR (Sound Detecting and Ranging) systeem om wind en temperatuurprofielen in de grenslaag te meten, en diverse meetmasten, waarvan één zelfs 31 meter hoog. Om al dit materiaal, inclusief tenten en voedsel voor een maand, op de ijskap te krijgen is een grote Sikorsky helikopter gehuurd. Ondanks de moeilijke omstandigheden, met een flinke sneeuwstorm en dooi- en vorstperiodes die elkaar afwisselen, verloopt het experiment op de ijskap relatief voorspoedig, resulterend in unieke meetgegevens. Op de toendra hebben de Utrechtse onderzoekers het moeilijk: door al vroeg in juni te arriveren hopen ze op een langere meetreeks dan het voorgaande jaar, maar de DAF trucks lopen al snel vast in de met water verzadigde toplaag van de ontdooiende permafrost; dit leidt ertoe dat de 20 kilometer lange tocht van het vliegveld tot de rand van de ijskap 10 uur in beslag neemt en de onverharde weg flinke schade oploopt. Toch lukt het om alle stations snel aan het werk te krijgen en al met al zijn de twee expedities een wetenschappelijk succes: in 1993 wijdt the Bulletin of the American Meteorological Society haar omslagartikel aan GIMEX.

Na terugkomst wordt besloten dat de meetreeks van smelt en ijsbeweging in West-Groenland moet worden voortge-





zet. Vanaf 1992 wordt dan ook ieder jaar na de zomer op zeven locaties langs het zogeheten K-transect de jaarlijkse afsmelting en de snelheid van de ijsstroming gemeten en vanaf 1995 komen daar ook automatische meteorologische waarnemingen bij (zie hoofdstuk 'De technologische revolutie'). In de begintijd is het per helikopter terugvinden van de meetlocaties en het bepalen van de ijsstroomsnelheid in de ijswoestijn van Groenland een forse uitdaging. Er bestaan dan weliswaar al draagbare GPS-ontvangers, maar die bepalen slechts eenmaal per minuut een positie, waardoor de helikopter zijn doel vaak voorbij vliegt. Bovendien verplaatsen de stations zich door de ijsstroming ongeveer 100 meter per jaar. Grote zwarte vlaggen moeten de stations vanuit de lucht meer op laten vallen, maar pas sinds de introductie van automatische GPS ontvangers op de grond en snelle GPS ontvangers in de helikopters zelf kan direct naar de juiste locatie worden gevlogen, zodat kostbare helikoptertijd en brandstof worden bespaard. In 2015 viert het K-transect zijn 25-jarig bestaan, waarmee het de langste onafgebroken reeks van massabalansmetingen op de Groenlandse ijskap is.

Op basis van de goede ervaringen in Groenland wordt in 1995 begonnen met de voorbereidingen van een groot glacio-meteorologisch experiment op Vatnajøkull, de grootste ijskap van IJsland en aldus van Europa. TEMBA (*Topographic Effects on Mass BAlance*) is een groot internationaal Arctisch/Antarctisch project, waaraan behalve het IMAU en de VU ook onderzoeksgroepen uit het Verenigd Koninkrijk, Oostenrijk en IJsland deelnemen. Het voornaamste verschil met GIMEX is het grote aantal meteorologische stations (16), de lange duur van het experiment (vier maanden) en het grote aantal deelnemers (50), met een grote Nederlandse afvaardiging (20) van technici, onderzoekers en zelfs een kok. Na het voorbereidende werk in 1995 vindt het eigenlijke experiment plaats van mei tot september 1996, verdeeld over drie perioden. Vanwege het frequente slechte weer, met veelal slecht zicht door lage bewolking, wordt niet gewerkt met helikopters maar met sneeuwscooters en vierwiel-aangedreven jeeps, een IJslandse specialiteit. Ook TEMBA levert weer een schat aan gegevens op over de uitwisseling van warmte en massa tussen atmosfeer en gletsjers, ditmaal in een polair maritieme setting.
Met de snelle opkomst van automatische meettechnieken en satellietwaarnemingen zal TEMBA voorlopig het laatste grote, door Nederland geleide glacio-meteorologische experiment in het Noordpoolgebied zijn. Grootschalige

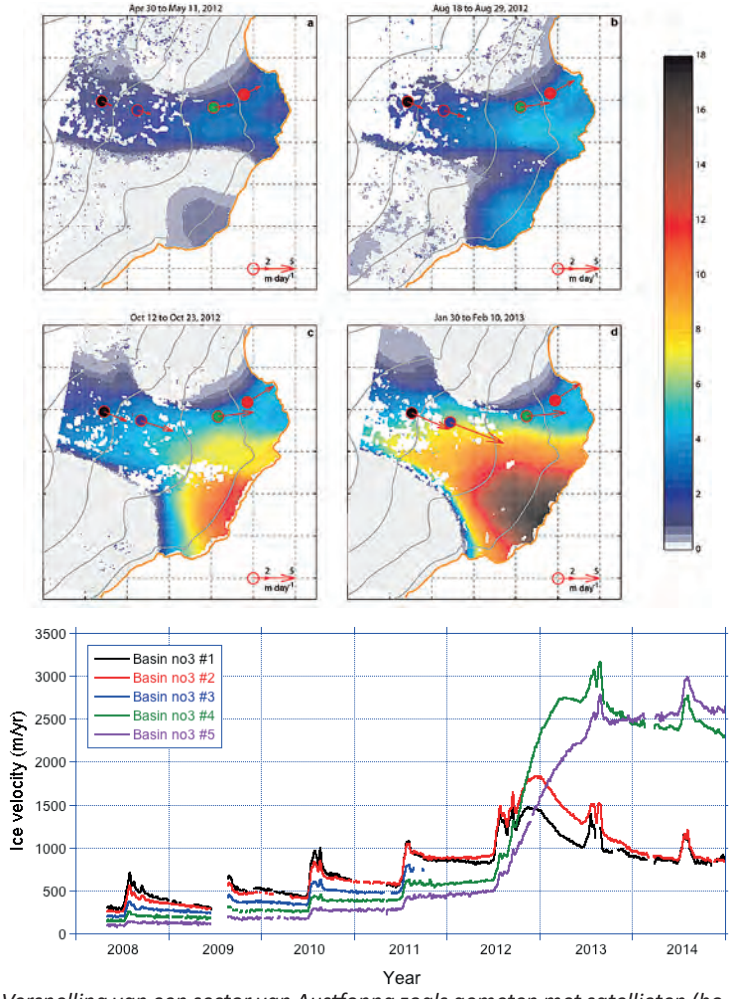


IJsland 1996: TEMBA meetstations op Vatnajøkull.
Foto's: Paul Smeets.

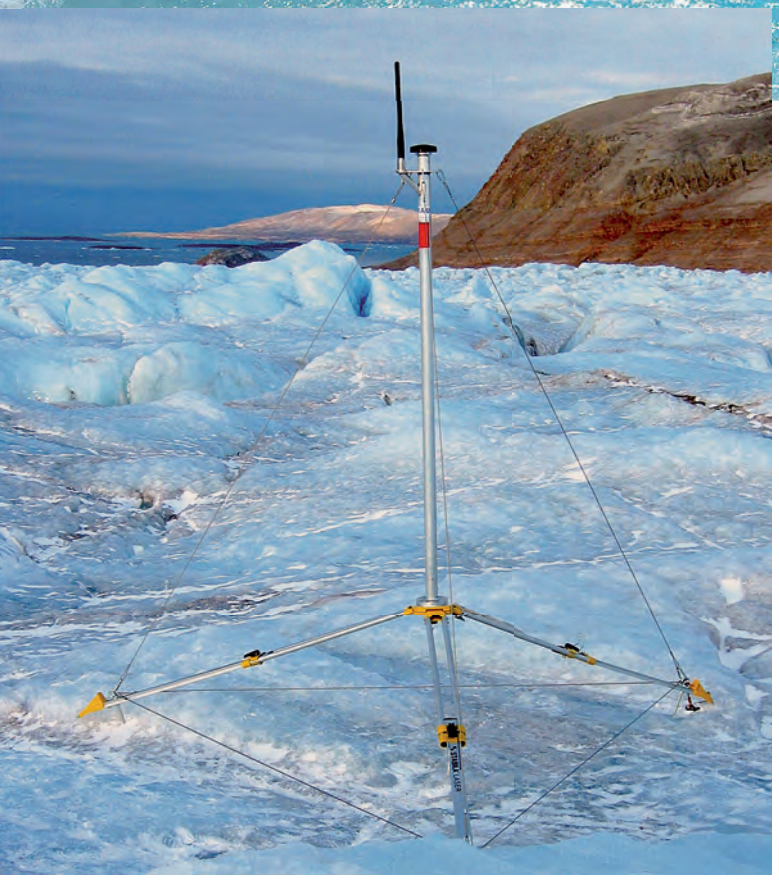


expedities worden ook hier vervangen door automatische meetstations in combinatie met kleinere, kortdurende experimenten en satellietmetingen. Zo meet Wouter Greuell in 1999 (IJsland) en 2000 (Groenland) het albedo vanuit een helikopter, en doen Michiel Helsen en Peter Kuipers Munneke in 2007 stralingsmetingen op Summit station, gelegen op de top van de Groenlandse ijskap.

Weliswaar heeft Nederland nauwelijks eigen infrastructuur in het Noordpoolgebied, de instrumenten die Nederlandse technici ontwerpen en bouwen verschaffen Nederlandse onderzoekers via internationale samenwerkingsverbanden toegang tot de meest afgelegen en interessante plaatsen in de poolgebieden. Zo zijn Nederlandse klimaatonderzoekers ook al jaren actief op gletsjers van het noordelijk gelegen Spitsbergen. In 1997 en 2000 boren Nederlanders op de ijskap Lomonosovfonna in centraal Spitsbergen twee ijskernen tot 150 meter diep, en ze herhalen dit in 2005 op Holtedahlfonna (zie hoofdstuk 'Gletsjers als klimaatarchief'). In 2006 wordt het GLACIODYN project gestart, een internationaal project dat zich richt op de relatie tussen smeltwater en gletsjerstroming. De Nederlandse bijdrage wordt bekostigd met middelen die door de overheid beschikbaar zijn gesteld in het kader van het Internationale Pooljaar (IPY, 2007-2009). Het veldwerk wordt uitgevoerd op Nordenskiöldbreen, een gletsjer die vanaf Lomonosovfonna naar het zuidwesten stroomt, en behelst een langjarig programma van glacio-meteorologische waarnemingen. Dit programma loopt anno 2015 nog steeds. In lijn met de activiteiten op Groenland worden hiervoor automatische weerstations gecombineerd met jaarlijkse metingen van ijssnelheid en massabalans. Door het veldwerk in een koude periode (maart/april) uit te voeren, maakt de nog aanwezige sneeuwlaag het transport over land met sneeuwscooters mogelijk. Een bijzonder aspect van GLACIODYN is het inzetten van kleine autonome GPS ontvangers voor het meten van ijssnelheid op Vestfonna (2009-2010), Austfonna (2009-heden) en Kronebreen. De metingen op Austfonna laten prachtig het gedrag van zogenaamde 'surge-type' (plotseling versnellende) gletsjers zien, die veelvuldig in Spitsbergen voorkomen. Om de relatie tussen de stroomsnelheid en de hoeveelheid smeltwater beter te begrijpen wordt ook een nieuwe draadloze sensor ontwikkeld die de temperatuur en druk meet van het water dat onder gletsjers stroomt: de WiSe (Wireless Sensor). Deze wordt in de zomer van 2010 op Groenland en in het najaar van 2013 op Kronebreen (Spitsbergen) geïnstalleerd, in het kader van een groot Noors project. In een éénmalig Nederlands-Russisch samenwerkingsproject wordt in 2009 op de gletsjer Kongsvegen een 16 meter hoge profielmast geplaatst om gedurende de zomer autonoom wind- en temperatuurprofielen in de onderste atmosferische lagen te meten. Nog niet eerder was zo'n hoge mast, vrijstaand op een groot kruis van aluminium buizen, achtergelaten op een smeltende gletsjer.

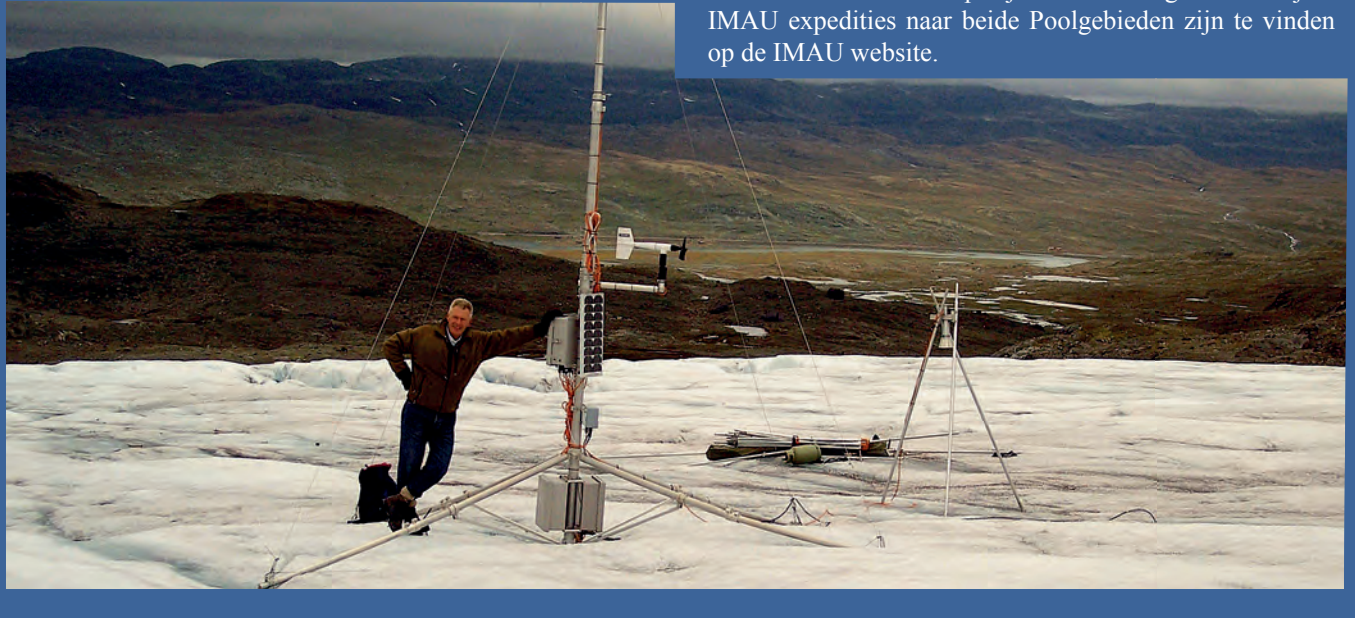


Versnelling van een sector van Austfonna zoals gemeten met satellieten (boven, Dunse et al., 2014) en met IMAU GPS ontvangers (onder). Rechtsboven: IMAU GPS ontvanger (foto: Monica Sund). Rechts: Hans Oerlemans bij een automatisch weerstation in Noorwegen.



De expeditieleiding

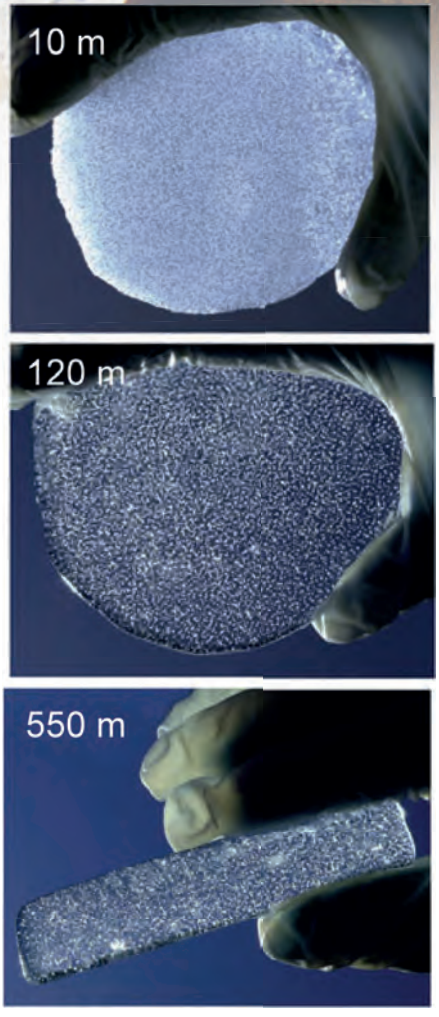
Het Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek van de Universiteit Utrecht (IMAU) verricht sinds het midden van de jaren tachtig experimenteel onderzoek op gletsjers in de gematigde breedten en in de poolgebieden. De geestelijk vader van het Nederlandse gletsjer meetprogramma is Hans Oerlemans. In de eerste decade van metingen was Louk Conrads de logistieke leider; hij was creatief bij het financieren van de eerste Groenland expeditie toen de middelen nog beperkt waren; zo zorgde hij voor sponsoring door het Ministerie van Defensie. Ook het transport van mensen en apparatuur naar voorheen nog onbezochte gebieden over de hele aardbol stond onder zijn supervisie. Deze taak is daarna overgenomen door Paul Smeets. Voor het ontwikkelen van de benodigde apparatuur zijn creatieve en toegewijde technici nodig. Tijdens veldwerk met een experimentele component hebben de technici dan ook vaak een beslissende invloed, en fungeren de wetenschappers soms als veredelde assistenten. Het trio Wim Boot, Marcel Portanger en Henk Snellen beschikte daarbij over een, bij veldwerk noodzakelijk, groot improvisatievermogen. Wim Boot was als technicus betrokken bij het voorbereiden en uitvoeren van vrijwel alle meetcampagnes die het IMAU sinds de jaren 80 van de vorige eeuw heeft uitgevoerd. Afgezien van de talloze trips die hij daarvoor maakte naar de Alpen en Noorwegen bracht dit hem tussen 1990 en 2014 liefst 27 keer in de poolgebieden (15 x Groenland, 5 x Spitsbergen, 5 x IJsland en 2 x Antarctica), een gemiddelde van meer dan één keer per jaar. De verslagen van 25 jaar IMAU expedities naar beide Poolgebieden zijn te vinden op de IMAU website.



Gletsjers als klimaatarchief

Omdat een ijskap eigenlijk niets anders is dan een neerslagarchief, bieden ijskernen ongekende mogelijkheden om het klimaat van het verleden te reconstrueren. De ontdekking in de jaren zestig dat de isotopensamenstelling van zuurstof en waterstof in ijs informatie geeft over de temperatuur ten tijde van de vorming van de sneeuw bracht het internationale ijskernonderzoek in een stroomversnelling. Het belang van ijskernen werd nog groter na de ontdekking dat de kleine luchtbelletjes in ijs een goed beeld geven van historische broeikasgasconcentraties in de atmosfeer. Het empirische bewijs dat op lange (glaciale) tijdschalen broeikasgas-concentraties en temperatuur nauw met elkaar verbonden zijn, behoort tot de grote wetenschappelijke ontdekkingen van de tweede helft van de 20e eeuw. Deze ontdekking is gebaseerd op analyse van de Vostok ijskern, geboord in Oost Antarctica in de jaren tachtig en negentig van de vorige eeuw (zie kader 'Een Nederlander op Vostok').

Hierna nam het mondiale ijskernonderzoek een grote vlucht; een nieuw hoogtepunt werd bereikt in het midden van de jaren negentig met boringen in de Groenlandse ijskap. De analyse van die ijskernen toonde aan dat tijdens ijstijden het klimaat rond Groenland zeer snel kan fluctueren, de zogenaamde Dansgaard-Oescher oscillaties. Tot teleurstelling van menig poolonderzoeker was Nederlandse deelname aan deze boringen niet mogelijk, bij gebrek aan financiering voor de logistieke inspanning die zo'n boring met zich meebracht. Ook tegenwoordig is het boren van diepe ijskernen nog een logistiek en technisch hoogstandje, en zijn de kosten navenant hoog.



Firn (samengedrukte sneeuw) en gletsjerijs op verschillende dieptes (rechts, foto Rob Mulvaney, British Antarctic Survey).



Temperatuur en CO_2 concentratie uit de EPICA Dome C ijskern. Inzet: Nature cover van juni 2004.



Ingesneeuwde sneeuwscooters.

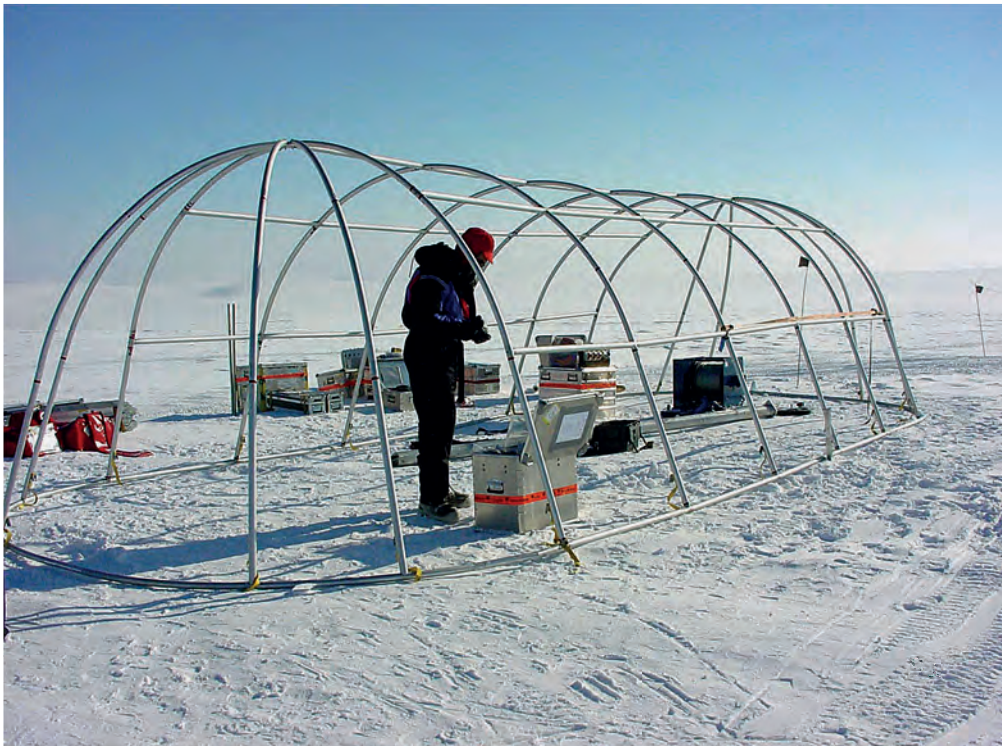


Pauze tijdens ijsboring op Lomonosovfonna, Svalbard, in 1997, met o.a. Michiel van den Broeke en Roderik van de Wal (3e en 4e van links).

In april 1995 greep het IMAU deze kans aan om op de ijskap nabij Kangerlussuaq een aantal ijskernen van 10 meter lang te boren. De boor bestond uit een eenvoudige motor voor de aandrijving van een stangenconstructie en boorkop, waarmee met de nodige fysieke inspanning stukken van 70 centimeter ijs werden geboord.

Opbouwen van de boortent door Erik-Jan de Jong. Foto's: IMAU.

Eén van de problemen bij de interpretatie van ijskernen is de datering van het ijs. Het IMAU van de Universiteit Utrecht leverde aan dit onderzoek een bijdrage in de vorm van koolstofdateringen aan de CO_2 die in de luchtbelletjes van het ijs opgesloten zit. In eerste instantie beperkte dit onderzoek zich tot ijskernen die in Antarctica in blauw ijs geboord waren tijdens de expeditie van 1992/93 (zie hoofdstuk 'Het ijzige Zuiden: Antarctica'), maar in 1995 deed zich de mogelijkheid voor om zelf ijs in Groenland te boren. Het Ministerie van Defensie stelde voor om tijdens een oefenvlucht onder koude omstandigheden een Hercules C130 militair transportvliegtuig een tussenlanding te laten maken in Kangerlussuaq, West-Groenland. Daarmee konden de geboorde ijskernen linea recta in bevroren toestand naar Nederland worden getransporteerd.





Laboratorium in de sneeuw.

Een wetenschappelijke doorbraak in termen van een nieuwe dateringstechniek heeft dit anderszins succesvolle veldwerk niet opgeleverd. Er werd wel een sterk verbeterd inzicht verkregen in de manier waarop lucht wordt ingesloten in ijs en welke processen nog een rol spelen nadat de luchtbelletjes afgesloten zijn van de bovenliggende atmosfeer.
Als bijproduct leverden de metingen inzicht in de mate van sublimatie in blauw-ijs gebieden in Antarctica (zie hoofdstuk 'Het ijzige Zuiden: Antarctica').
Dit Groenlandse veldwerk en de daaruit voortvloeiende analyses leidden tot de bouw van een boorsysteem waarmee niet slechts tot tien maar tot enkele honderden meters diep ijs kan worden geboord. Een groot voordeel van zo'n boorsysteem is dat het niet alleen kan worden ingezet in het ablatiegebied van de ijskap, waar oud ijs aan de oppervlakte ligt, maar ook in het accumulatiegebied, waar het ijs zich bevindt onder een 50-100 meter dik firnpakket (samengeperste sneeuw). IJskernen geboord in een accumulatiegebied zijn doorgaans eenvoudiger te interpreteren, simpelweg omdat de ouderdom regelmatig toeneemt met de diepte. Bovendien is het firnpakket zelf ook interessant voor onderzoek, omdat het relatief veel lucht bevat die vaak tientallen jaren oud is, tot zo'n 150 jaar op een enkele plek in Antarctica. In het voorjaar van 1997 werd dit boorsysteem succesvol getest op Spitsbergen, waar op de top van Lomonosovfonna een ijskern werd geboord van 145 meter lengte. Op een afstand van ruim 100 kilometer van de hoofdplaats Longyearbyen was dit een flinke logistieke operatie, omdat het ijs per sneeuwscooter getransporteerd moest worden naar de koelcellen in de bewoonde wereld, en omdat het leven in een tentenkamp op de top van Lomonosovfonna, met zijn sterk wisselende weersomstandigheden en ijsberendreiging, geen sinecure bleek te zijn. Ondanks het feit dat dit veldwerk slechts een voorbereiding was voor een uitgebreider programma in Antarctica, bleek het wetenschappelijk een onverwacht groot succes. Het diepste ijs bleek meer dan 500 jaar oud te zijn, en een reeks van publicaties gebaseerd op de analyse van deze ijskernen heeft het inzicht in het klimaat van Spitsbergen enorm vergroot. Tevens werd met dit werk een stevige basis gelegd voor verdere samenwerking in de poolgebieden tussen Nederland, Noorwegen en Zweden.
Het werk op Spitsbergen luidde ook het begin in van de deelname aan ijskernanalyses van het Centrum voor Isotopen Onderzoek (CIO) van de Rijksuniversiteit Groningen. In het midden van de jaren negentig was het met voldoende nauwkeurigheid meten van zuurstof- en vooral waterstofisotopen een ingewikkeld en tijdrovend proces, vooral vanwege de grote aantallen monsters die voor het gedetailleerd bestuderen van een ijskern nodig zijn. Het CIO nam deze analyses van de ijskernen uit Spitsbergen voor zijn rekening, en mat tegelijkertijd het radioactieve tritium. Tritium is tijdens de bovengrondse kernbomexplosies in de jaren vijftig en zestig van de 20e eeuw in grote hoeveelheden in de atmosfeer terechtgekomen, en daardoor ook in neerslag. De tritiumconcentratie in neerslag in die jaren vertoonden scherpe verschillen van jaar tot jaar. De mate waarin dit bekende patroon in de ijskern behouden is gebleven, of juist uitgesmeerd is, levert dus waardevolle informatie over de hoeveelheid jaarlijkse sneeuwsmelt.



Firnlucht experiment in Dronning Maud Land, Antarctica, 2000-01; Het boorteam Karsten Kaspers en Coen Hofstede.

In de winter van 1997-1998 volgden de eerste middeldiepe boringen in Antarctica, tot zo'n 100 meter diepte in het blauw-ijs gebied nabij Svea (zie hoofdstuk 'Het ijzige Zuiden: Antarctica'). De ijsboor is nadien nog tweemaal op Spitsbergen gebruikt en eenmaal op het plateau van Dronning Maud Land, Oost Antarctica. Hier werd tijdens de Antarctische zomer van 2000/01 een experiment uitgevoerd waarbij de nadruk lag op het bemonsteren van de lucht in de firnlaag, door luchtmonsters van verschillende dieptes op te pompen. De gasanalyses lieten zien dat de concentraties van hogere koolwaterstoffen in de sneeuw als gevolg van industriële activiteiten gedurende de laatste decennia flink zijn toegenomen. Daarnaast werden er gedurende dit veldwerk metingen van di-electrische eigenschappen van de firn uitgevoerd. Hierdoor is het mogelijk om laagjes met verhoogde concentraties van zouten te identificeren. Deze zijn het gevolg van vulkaanuitbarstingen vlak voor of in het jaar waarin de betreffende sneeuw is gevallen, en bieden de mogelijkheid om de firn te dateren. Dit onderzoek verschafte inzicht in de veranderingen van de neerslaghoeveelheid in Dronning Maud Land over de laatste paar eeuwen.
Naast het zelf verrichten van boringen werd aansluiting gezocht bij de grote internationale consortia voor ijskernonderzoek die verenigd waren onder de paraplu van EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica). In het kader van EPICA zijn twee kilometerslange ijskernen in Oost Antarctica geboord die de klimatologische tijdreeks van de beroemde Vostok ijskern in lengte verdubbelden tot ruim

AWI Basler transportvliegtuig. Foto's: IMAU.





800.000 jaar. Bovendien bracht EPICA de samenhang tussen klimaatveranderingen op het Noordelijk en Zuidelijk Halfrond in kaart. Beide resultaten zijn gepubliceerd in het tijdschrift Nature en worden gezien als mijlpalen in de moderne paleoklimatologie. Het EPICA project werd in 2007 beloond met de Descartes Prize for Transnational Collaborative Research van de Europese Unie. In de marge van de EPICA boringen deden IMAU en CIO gezamenlijk onderzoek aan het nauwkeuriger bepalen van de relatie tussen de isotopensamenstelling van recente sneeuwval en de klimatologische omstandigheden op de boorlocaties enerzijds, en het transport van vocht vanuit de gematigde breedten naar Antarctica anderzijds.

Op het Noordelijk halfrond vonden aan het begin van deze eeuw nog een tweetal kleinere expedities op Spitsbergen plaats, alvorens Nederland dan toch eindelijk in de positie kwam om de gemiste kans uit het begin van de jaren negentig goed te maken: aansluiting krijgen bij een groot internationaal consortium dat zich ten doel had gesteld om het oudste ijs van Groenland te boren. De poging was succesvol: in 2010 werd ijs opgeboord uit het vorige interglaciaal, het Eemien, zo'n 120.000 jaar geleden.



Harro Meijer en Gerko van der Wal in actie bij het CIO experiment op Summit, Groenland.



Het opboren van de aangebrachte laag in 2011. Foto's: Ellen den Ouden.

Mede op basis van die ijskern wordt tegenwoordig aangenomen dat het grootste deel van de Groenlandse ijskap het Eemien, dat enkele graden warmer was dan het huidige interglaciaal, doorstaan heeft. Als logische consequentie daarvan moet de bijdrage van afsmelting van de Groenlandse ijskap aan de zeespiegelstijging in die periode beperkt zijn geweest. Het meest recente Nederlandse ijskernonderzoek gaat echter weer terug naar de basis, het in kaart brengen van het verband tussen de isotopensamenstelling van sneeuw en de temperatuur ten tijde van de vorming van die neerslag, om zodoende een eenduidige relatie te vinden tussen de (paleo)temperatuur en de isotoopeigenschappen van het ijs. Het hoogste punt van de Groenlandse ijskap is Summit. Dit is de plaats waar in de jaren negentig de grote ijskernboringen zijn verricht. Op dezelfde locatie is in de zomer van 2007 door het CIO een laagje sneeuw met extra zware waterstof-isotopen aangebracht dat in de jaren daarna weer werd opgeboord en bemonsterd. Vanwege diffusie is het zware waterstof in die paar jaar herverdeeld, en metingen van de nieuwe verdeling waren vooral gericht op het ontwikkelen van een nieuwe, meer getrouwe benadering voor het over de jaren 'uitsmeren' van het verticale temperatuurprofiel om een nauwkeuriger reconstructie van vroegere temperaturen te verkrijgen.

Momenteel wordt door internationale consortia in Antarctica intensief gezocht naar de locatie van de langste onon-



Het aanbrengen van het isotopisch gemarkeerde water in 2007. Foto: Urban Andersson.

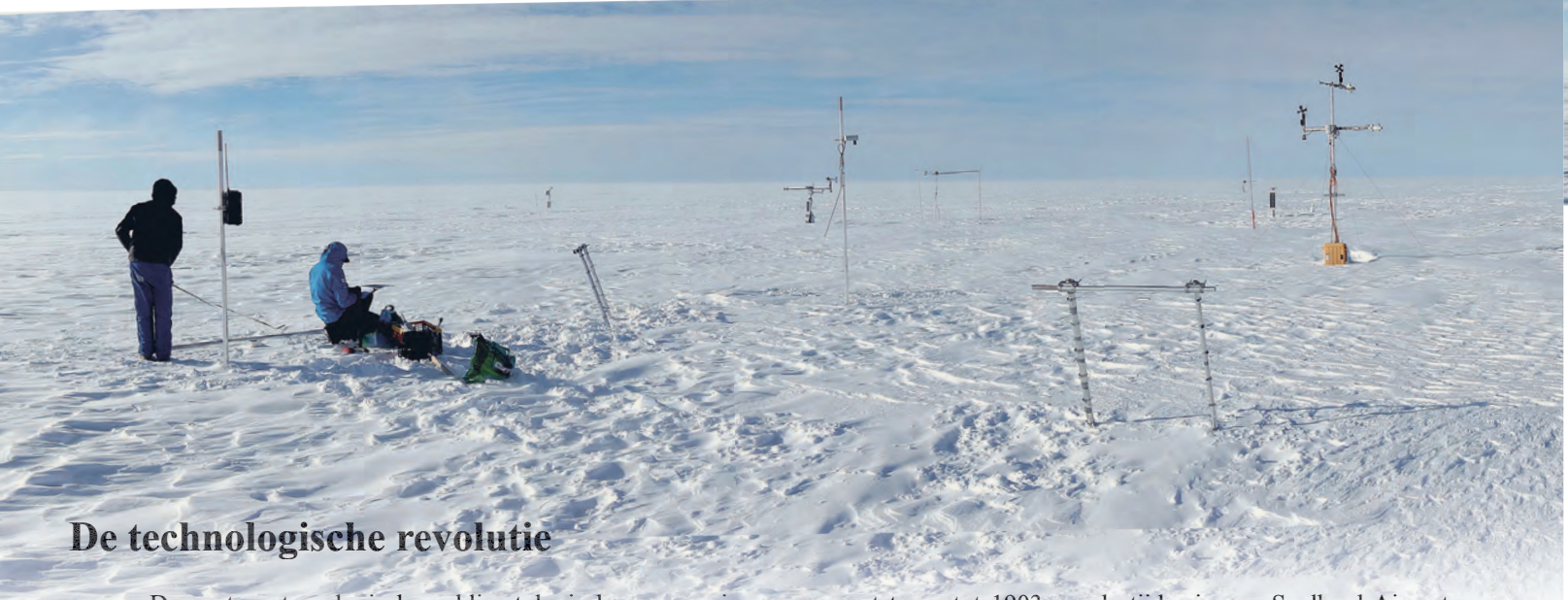
Een Nederlander op Vostok

Günther Können: ‘Onze tweede poging materiaal te verzamelen voor het halo-project project (zie hoofdstuk ‘Het ijzige Zuiden: Antarctica’) vond plaats tijdens een verblijf van twee maanden in 1990/91 op de (toen nog) Sovjet-Russische basis Vostok, die diep in het binnenland ligt op een hoogte van 3.500 m. Vostok Station is nog geïsoleerder dan het Zuidpoolstation Amundsen Scott, en zo’n 5 graden kouder. Het station was maar zeer zelden door niet-Russen bezocht en al helemaal niet door een Nederlander. Onze motivatie om naar Vostok te gaan was dat daar dagelijkse variatie in de zonshoogte plaatsvindt (zo’n 20°), dit in tegenstelling tot de Zuidpoolbasis. Daardoor kunnen zich halo’s vertonen die op de Zuidpool nooit kunnen ontstaan.
Net als een jaar eerder bij de expeditie naar het Zuidpoolstation, werden wij met een Hercules transportvliegtuig ingevlogen vanaf het kuststation McMurdo. Dat ligt op dezelfde breedtegraad (78° ZB) als Vostok Station, maar vijf tijdzones daar vandaan. Omdat de 78°-breedtecirkel zo klein is, arriveerden wij twee uur eerder dan wij waren vertrokken.
Vostok bestaat uit drie grote barakken: een hoofdgebouw met daarin slaapplaatsen en een kantine, een telecommunicatiegebouw en een krachtcentrale. Het meubilair is versleten en de apparatuur robuust, zoals in de jaren 1950. De Vostok bezetting – allen Russen, waarvan sommigen nog nooit een buitenlander hadden gezien – bestond uit 27 man die allen onder weinig luxe omstandigheden overwinterd hadden; wij waren het eerste levende schepsel dat ze na 11 maanden isolement zagen.
De belangrijkste wetenschappelijke activiteit op Vostok was het uitvoeren van ijsboringen waarbij dagelijks 3-meter lange ijskernen omhoog werden gehaald vanuit steeds grotere diepte. Uit de samenstelling van het totaal van de Vostok ijskern is het verleden klimaat gereconstrueerd, tot 400.000 jaar terug. Vostok is uitermate geschikt om dit project uit te voeren omdat de ijsmassa daar met een snelheid van maar twee meter per jaar over de ondergrond schuift (op de Zuidpoolbasis is die snelheid 10 meter per jaar). Bij de eerste poging was men na ruim twee jaar boren tot 2.200 m diepte gevorderd, toen de boor brak. Tijdens ons verblijf was de tweede poging gaande, op zo’n 40 meter van het eerste boorgat. Ze waren toen tot 1.200 meter diepte gevorderd, iedere dag kwam daar drie meter bij. Een typisch voorbeeld van een robuust Sovjet programma. Overigens is het pas veel later, bij de derde poging, gelukt de beoogde diepte van 3.500 meter te bereiken. Het is haast niet te bevatten dat dit wereldberoemde onderzoek onder zulke primitieve omstandigheden plaatsvond.
Wat betreft ons onderzoek: hoewel we enkele merkwaardige exemplaren hebben gedocumenteerd, waren er als geheel veel minder halo’s dan we hadden verwacht. De reden waarom is ons onduidelijk. Misschien is ook in dat opzicht de geografische Zuidpool een uitzonderlijke plaats.’

derbroken ijschronologie op aarde, met ijs nog ouder dan dat geboord tijdens het EPICA project. De heersende opvatting is dat er zich ijs van meer dan een miljoen jaar oud op Antarctica moet bevinden. Als dit inderdaad het geval is dan zal de klimaatreconstructie uit dit ijs teruggaan tot vóór de Mid-Pleistocene Transitie, die rond 700.000 jaar geleden was afgerond, en aldus helpen bij het beantwoorden van de vraag waarom het klimaat tegenwoordig ijstijden kent met een lengte van ongeveer 100.000 jaar in tegenstelling tot de 40.000 jaar die voor de transitie overheersten.



Vostok station 1990/91: Günther Können naast het Russische boorteam met een drie meter lang segment van de befaamde Vostok ijskern, zojuist opgeboord vanuit een diepte van 1200 meter. Op de achtergrond het gebouw waar de boringen plaatsvinden. Foto: Günther Können.

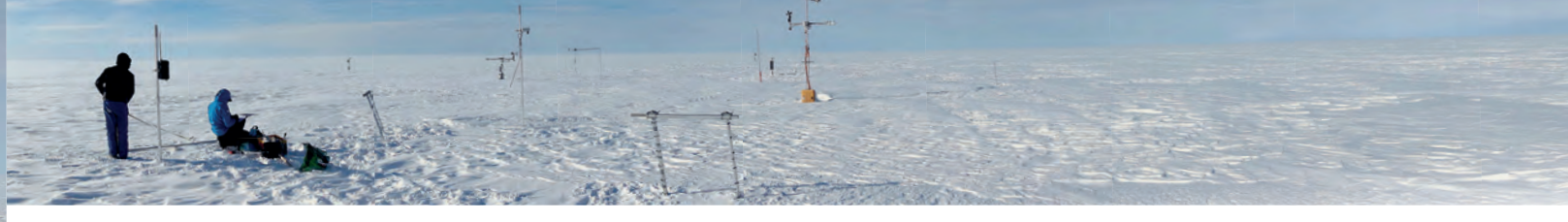


De technologische revolutie

De eerste meteorologische en klimatologische waarnemingen in de poolgebieden kwamen voort uit nieuwsgierigheid naar de extreme omstandigheden. Ze werden gedaan gedurende vaartochten en expedities en bestonden voornamelijk uit losse, incidentele observaties van temperatuur en de aanwezigheid van zee-ijs. Met de veranderingen in het mondiale klimaat van de afgelopen 150 jaar, met name de gestegen temperatuur, is ook de interesse in het klimaat van de poolgebieden sterk toegenomen. De poolgebieden blijken namelijk zeer gevoelig voor veranderingen. Met name in het Arctische gebied is de waargenomen temperatuurstijging twee tot drie keer zo groot als het wereldwijde gemiddelde. In reactie daarop is de Arctische zee-ijs bedekking afgenomen, verliezen gletsjers massa, stijgt de mondiale zeespiegel, smelt permafrost en veranderen ecosystemen. Meteorologische waarnemingen zijn van groot belang om onze kennis van het polaire klimaat te vergroten. Deze grondwaarnemingen zijn daarnaast onlosmakelijk verbonden met satellietwaarnemingen en klimaatmodellen. Zowel satellietwaarnemingen als modellen kunnen de grondwaarnemingen in een ruimtelijk perspectief plaatsen. Deze grondwaarnemingen zijn daarnaast onlosmakelijk verbonden met satellietwaarnemingen en klimaatmodellen. Zowel satellietwaarnemingen als modellen kunnen de grondwaarnemingen in een ruimtelijk perspectief plaatsen. Daar staat echter tegenover dat grondwaarnemingen essentieel zijn voor de validatie en de evaluatie van zowel de satellietwaarnemingen als de modeluitvoer.

De oudste continue tijdseries van grondwaarnemingen in de polaire gebieden stammen uit het begin van de 20e eeuw. De klimatologische tijdreeks van het Argentijnse Orcadas station, een onderzoeksstation op een sub-Antarctische eilandengroep in de buurt van het Antarctisch Schiereiland, gaat terug tot 1903, en de tijdserie van Svalbard Airport op Spitsbergen startte in 1911. Deze metingen betreffen voornamelijk temperatuur, windsnelheid, windrichting en luchtdruk. Beide tijdreeksen laten een sterke opwarming zien over de afgelopen eeuw: 2.5 °C op Spitsbergen en 2 °C op Orcadas. Rond 1950 begonnen onderzoekers te experimenteren met onbemande stations omdat deze goedkoper waren en het netwerk van metingen daardoor vergroot kon worden. Aangezien de meetgegevens alleen lokaal werden opgeslagen waren deze stations vooral van belang voor onderzoek en minder voor operationele doeleinden zoals het maken van weersvoorspellingen. Rond 1980 maakte de technologische vooruitgang het mogelijk om ook onbemande meetstations in ‘real time’ te volgen met behulp van datacommunicatie via satellieten. Dit was een belangrijke stap voorwaarts, niet alleen ten behoeve van de wetenschap maar ook voor het maken van weersverwachtingen en daarmee de logistieke ondersteuning van expedities.

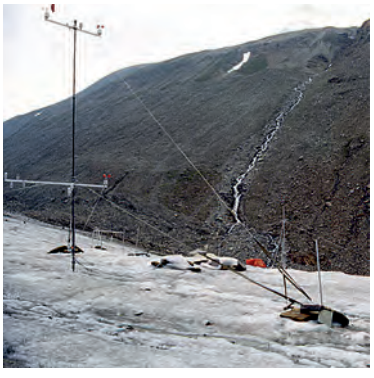
Sinds het midden van de jaren tachtig ontwikkelt het IMAU van de Universiteit Utrecht apparatuur voor meteorologische metingen op gletsjers en ijskappen. De eerste pogingen betroffen een aantal zomercampagnes op de Hintereisferner in Oostenrijk; tijdens deze campagnes werden drie belangrijke lessen geleerd. De eerste was dat het lastig is een mast stabiel te verankeren op smeltend ijs. De tweede les was dat dataloggers met solid state memory sterk te verkiezen zijn boven gevoelige mechanische dataloggers met tape. Tenslotte werd duidelijk dat het nodig is om meerdere jaren te meten om meer begrip te krijgen van de processen die relevant zijn bij het smelten van ijs en veranderingen daarin. Met deze lessen in het achterhoofd startten de technici van het IMAU de ontwikkeling van een automatisch weerstation, speciaal ontworpen voor het verzamelen van langjarige



metingen op (smeltende) gletsjers. In het begin van de jaren negentig werd het eerste gletsjer weerstation gepresenteerd dat niet in het ijs verankerd werd, maar gebruik maakte van een revolutionaire vierpoot waardoor het met het smeltende ijs omlaag zakt. Het eerste prototype van deze automatische weerstations werd in 1992 geplaatst op Groenland, in 1995 gevolgd door de Morteratschgletsjer in Zwitserland en in datzelfde jaar door het eerste IMAU station in Antarctica, op Berkner Island. Sinds die tijd zijn er zowel op Antarctica als op Groenland, IJsland en Spitsbergen weerstations geplaatst waarvan enkele inmiddels meer dan 15 jaar actief zijn, een uniek resultaat gezien de extreme locaties en omstandigheden.

Momenteel wordt de vierpoot-constructie wereldwijd gekopieerd voor het doen van automatische metingen op ijs. Overigens heeft ook deze constructie een limiet: windvlagen van meer dan 180 kilometer per uur vernielden in 2002 het station op Antarctisch blauw-ijs. Op Groenland maakt het weerstation-programma deel uit van het K-transect, het IMAU onderzoeksprogramma aan de westrand van de Groenlandse ijskap dat werd opgezet na afloop van de GIMEX meetcampagnes in 1990 en 1991 (zie hoofdstuk 'Het smeltende Noorden'). Jaarlijks worden hier massabalans en ijssnelheid gemeten langs een transect dat zich over 150 kilometer uitstrekt van de ijsrand tot hoog op de Groenlandse ijskap. Sinds 1995 staan op drie locaties langs dit transect automatische weerstations, in 2010 uitgebreid met een vierde locatie. Vanwege de lange tijdreeksen van massabalans en de beschikbaarheid van klimatologische informatie vormt het K-transect een ideale locatie waar vele internationale onderzoeksgroepen tegenwoordig hun Groenlandse onderzoek verrichten.
Ook op Antarctica is het Nederlandse netwerk van automatische weerstations gestaag gegroeid. In het kader van EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica) zijn meerdere stations geplaatst in Dronning Maud Land, een gebied waarvan tot dan toe nauwelijks meteorologische

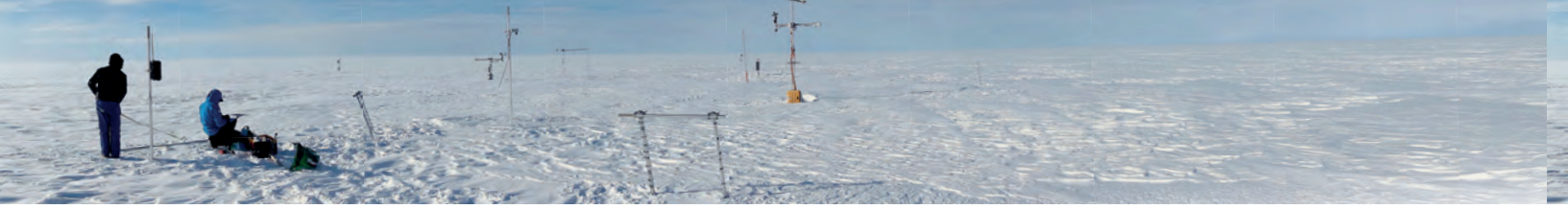








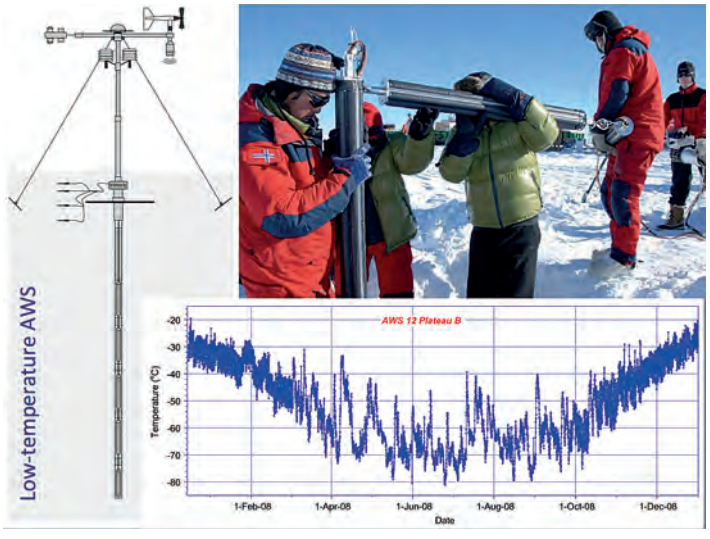
Linksboven: Automatisch weerstation op Berkner Island, Antarctica, in januari 2006. Let op de typische ijsafzetting op de propeller van de windsensor. Rechtsboven: meetmast op de Hintereisferner in de zomer van 1987. De mast staat met een rubber dop op het ijs en wordt stabiel gehouden met tuidraden die in het ijs verankerd zijn. Door het smelten van het ijs komt deze verankering los te zitten. Linksonder: omgewaaid weerstation op een blauw ijs gebied op Antarctica (januari 2003). Rechtsonder: uitgraven van een weerstation bij Svea in Dronning Maud Land, Antarctica, in 2003. De vierpoot zat drie meter onder het sneeuwoppervlak. (Foto's: IMAU, behalve linksboven: Hans Oerter en rechtsonder: Regine Hock).



metingen beschikbaar waren. De gegevens van deze stations moesten helpen bij het vinden van een geschikte locatie om een tweede diepe EPICA ijskernboring te verrichten (zie hoofdstuk 'Gletsjers als klimaatarchief') en vervolgens de gegevens uit die boring te interpreteren in termen van meteorologische omstandigheden. Het weerstation op de gekozen boorlocatie, het Duitse Kohnen station, is inmiddels 17 jaar actief, lang genoeg om de natuurlijke klimaatvariabiliteit en opwarming op deze locatie waar te nemen. In samenwerking met de British Antarctic Survey zijn in het kader van onderzoek naar de stabiliteit van ijsplaten inmiddels ook twee weerstations geplaatst op het Antarctisch Schiereiland: één op de Larsen C ijsplaat (in 2009) en één op de restanten van de Larsen B ijsplaat (in 2011), die in 2005 catastrofaal opbrak. Dit zijn de enige IMAU weerstations op Antarctica die in de zomermaanden regelmatig temperaturen boven het vriespunt registreren. Op Antarctica vormt de continue sneeuwval in de afwezigheid van smelten een uitdaging. Het is zeer tijdrovend om een vierpoot die diep is ingesneeuwd uit te graven; daarom is er een versie ontwikkeld die stabiel in sneeuw staat zonder vierpoot, die eenvoudig kan worden verlengd zonder dat er graafwerk nodig is.

Op technisch gebied zijn de weerstations in de loop van de jaren steeds verder aangepast op basis van opgedane ervaring en voortschrijdende technologie. Vanaf 1998 zijn alle stations standaard uitgerust met sensoren om relatieve vochtigheid en inkomende en uitgaande lang- en kortgolvige straling te meten. Met deze extra sensoren is het mogelijk om te berekenen hoeveel energie wordt gebruikt om sneeuw en ijs te smelten, een zeer belangrijke toepassing voor klimaatonderzoek. Dit heeft tot veel nieuwe inzichten geleid met betrekking tot het belang van bijvoorbeeld de reflectiviteit (albedo) van het oppervlak op de hoeveelheid smelt, en de invloed van het episodische karakter van neerslag op de isotopensamenstelling van sneeuw en ijs. Andere verbeteringen bestonden uit het vervangen van de oorspronkelijke cup-anemometers door propeller-windvanen die minder gevoelig zijn voor vastvriezen. Ook het gebruik van thermometerhutjes met witte in plaats van zwarte onderkant verbeterde de kwaliteit van de metingen aanzienlijk. Daarnaast zijn er versies ontwikkeld voor specifieke campagnes, met meerdere meetniveaus en voor extreem lage temperaturen. Zo is bijvoorbeeld het klimaat op het plateau van de Oost Antarctische ijskap zeer extreem: de twee IMAU stations die hier in de zomer van 2007/08 werden geïnstalleerd door een Noors-Amerikaanse expeditie meten regelmatig temperaturen beneden -80 °C. Om onder deze omstandigheden te blijven functioneren werd het ontwerp aangepast: door de batterijen diep in de sneeuw te begraven komen ze gedurende de winter niet in contact met de allerlaagste temperaturen.

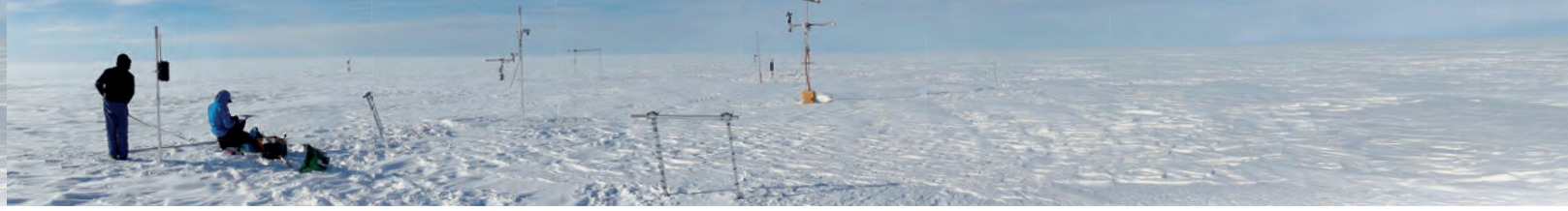
Op alle weerstations worden de meetgegevens lokaal op datakaartjes opgeslagen. Daarnaast worden de gegevens van de meeste stations via het Argos satellietsysteem naar Utrecht verzonden, zodat de stations 'live' (met een kleine



Links: ontwerpschets voor automatisch weerstation met batterijen in de sneeuw, en (rechtsboven) installatie in december 2007 door het Amerikaans-Noorse traverseteam. Rechtsonder: het eerste jaar van temperatuurmetingen. Foto: Stian Solbø; figuren: IMAU.

vertraging) te volgen zijn op internet, zie de IMAU weerstation website. Data-overdracht via Argos heeft als belangrijk bijkomend voordeel dat bij de voorbereiding van het onderhoud al duidelijk is welke onderdelen van het station niet meer (optimaal) werken. Dit beperkt het aantal verrassingen in het veld en het dataverlies tot een minimum.

Natuurlijk zijn niet alle geplaatste stations nog actief; dit zou voor een klein land als Nederland met een beperkt onderzoeksprogramma een te grote logistieke en financiële belasting zijn. Het vooruitzicht dat sommige (Antarctische)



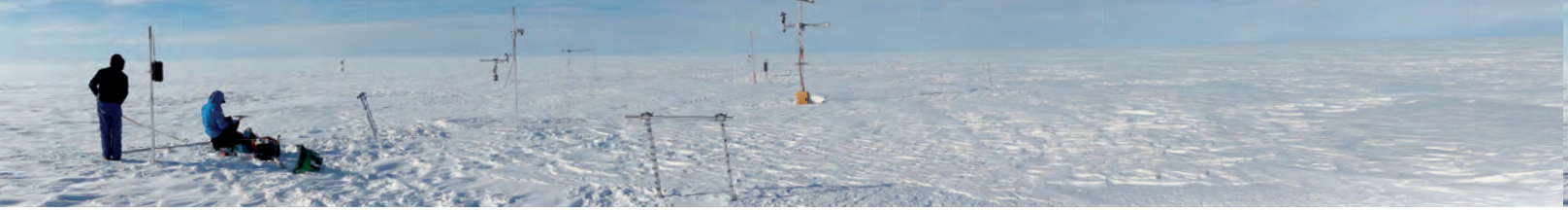
locaties in de nabije toekomst niet meer bezocht kunnen worden, het aflopen van projecten, of te lastige omstandigheden om een station operationeel te houden, noopte regelmatig tot het opheffen van meetlocaties. Van de 30 locaties waarop IMAU weerstations ooit operationeel zijn geweest, zijn er momenteel nog zo'n 15 actief in de Alpen, Noorwegen, Spitsbergen, Groenland en Antarctica.

Andere opstellingen die het IMAU gebruikt om gletsjers en ijskappen te bestuderen meten bijvoorbeeld de reflectiviteit van zonlicht (albedo) door sneeuw en ijs, of het transport van sneeuw door de wind (sneeuwdrift). Een voorbeeld hiervan is de uitgebreide sneeuwdriftopstelling langs het K-transect in Groenland op 1.500 m hoogte, opgesteld in de zomer van 2012. De optische sneeuwdriftsensoren verbruiken relatief veel energie, waardoor windgeneratoren nodig waren om de opstelling van voldoende energie te voorzien.



Groenland, augustus 2012: opstelling voor automatische meting van sneeuwdrift, met rechts de meetmast met wind, temperatuur en energieflux sensoren; in het midden de twee sneeuwdriftsensoren. De twee grote propellers zijn voor de energievoorziening. Foto: IMAU.

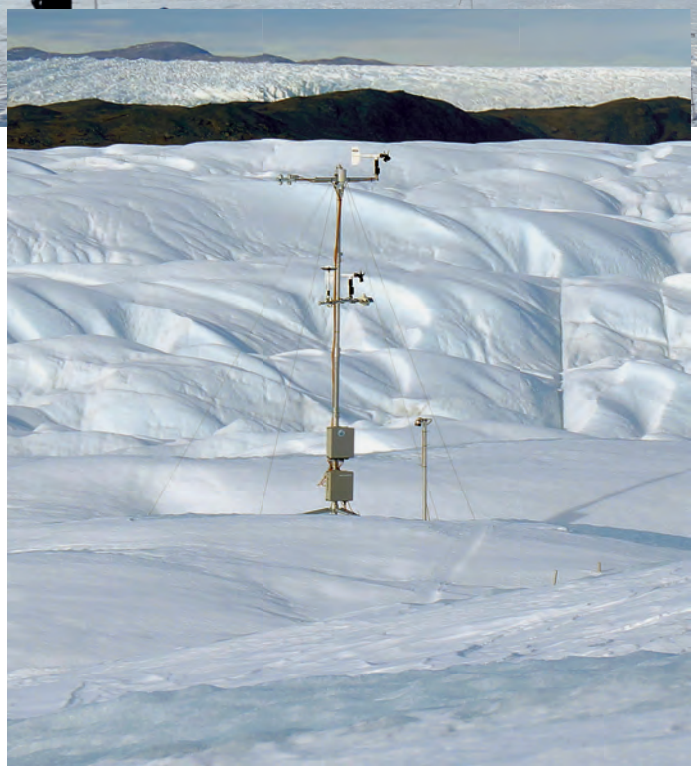
De verzamelde gegevens bleken zeer waardevol om een sneeuwdriftmodel te evalueren.
Het veranderen van het klimaat, en de daarmee samenhangende toename van de hoeveelheid smeltwater heeft invloed op de stroomsnelheid van gletsjers. Om dit verband beter te begrijpen hebben technici van het IMAU in de afgelopen jaren nog twee automatische meetsystemen ontwikkeld: draadloze sensoren die de waterdruk onder gletsjers meten (WiSe) en sensoren die de snelheid van gletsjers meten. Deze laatste maken gebruik van het Amerikaanse Global Positioning System (GPS), een constellatie van satellieten die het overal ter wereld mogelijk maakt de positie nauwkeurig te bepalen. Tot 2000 werd het GPS signaal vanwege militaire doeleinden met onregelmatige tussenpozen verstoord, zodat de nauwkeurigheid van een enkele GPS ontvanger soms slechter dan 100 meter was. In 2000 stopte men met deze bewuste verstoring waardoor met wat slimme middelingsmethodes de nauwkeurigheid van de GPS ontvangers verbeterde tot ongeveer een halve meter. Hiermee werden deze instrumenten geschikt voor het meten van de stroomsnelheid van gletsjers die typisch een paar honderd meter per jaar bedraagt. De eerste door het IMAU ontwikkelde continue metende GPS systemen werden in 2006 op Spitsbergen geplaatst. Daarna volgde Groenland met meerdere locaties waar smelt naar verwachting belangrijk is voor de beweging van het ijs.
Wat in alle jaren van veldwerk in koude condities hetzelfde is gebleven is de stroomvoorziening door middel van 30 Ah 3.6 V lithiumbatterijen. Deze batterijen hebben zich bewezen als de meest betrouwbare vorm van energievoorziening onder extreme koude. Ze zijn niet afhankelijk van zonlicht of wind en functioneren ook nog goed bij zeer lage temperaturen, tot wel -80°C. De eerste IMAU stations verbruikten het equivalent van 16 lithiumbatterijen per jaar. Met 128 batterijen kon bijvoorbeeld het Berkner Island weerstation op Antarctica 6 jaar onafgebroken werken. Een nadeel van deze grote hoeveelheid lithiumbatterijen is dat strengere veiligheidsvoorschriften het steeds moeilijker maken om ze per vliegtuig of helikopter naar de gewenste locaties te transporteren. Door verbeterde elektronica van de laatste generatie stations in combinatie met een klein zonnepaneel is het netto verbruik teruggebracht tot slechts een halve lithiumbatterij per jaar. Momenteel wordt gewerkt aan een oplaadbare stroomvoorziening, waardoor het gebruik van



lithiumbatterijen helemaal kan worden uitgefaseerd. De laatste generatie automatische weerstations (iWS: Intelligent Weather Station for polar use) combineert datalogger, batterijen en alle sensoren (behalve de wind- en stralingssensoren), in een enkele behuizing. Dit verkleint het aantal kabels, en daarmee het risico op kabelbreuk of vocht in de connectoren, tot een minimum. Middels Bluetooth datacommunicatie kan iWS in het veld draadloos worden gecontroleerd, van nieuwe software worden voorzien en de gegevens uitgelezen. Dit station is bovendien veel eenvoudiger en sneller te installeren en te onderhouden dan eerdere versies.

Zoals gezegd zijn grondwaarnemingen onlosmakelijk verbonden met satellietwaarnemingen en klimaatmodellen. Het modelleren en waarnemen van het polaire klimaat vanuit de ruimte vindt plaats op het KNMI, aan de TU Delft en aan de Universiteit Utrecht. Hiertoe worden zowel mondiale klimaatmodellen (EC-Earth, CESM; Community Earth System Model) als regionale klimaatmodellen (RACMO, Regional Atmospheric Climate Model) gebruikt. Met deze modellen is het mogelijk de spaarzame grondwaarnemingen in een ruimtelijk kader te plaatsen, grootschalige klimaatprocessen te onderzoeken en het in de toekomst smelten van de gletsjers wereldwijd te voorspellen.

Het eerste iWS (intelligent Weather Station for polar use) in april 2014 opgesteld in Oost-Groenland. Foto: Clément Miège.



Automatisch weerstation aan de rand van de Groenlandse ijskap, september 2014. Foto: IMAU.

RECCO

Wat is vervelender dan te weten dat je minder dan 50 meter verwijderd bent van je apparatuur en deze toch niet kunt vinden onder de sneeuw? Dit overkwam onderzoekers op Spitsbergen jaar op jaar; GPS ontvangers raakten ondergesneeuwd omdat er veel sneeuw was gevallen, of omdat de staak met sensor plat kwam te liggen door ijsafzetting. Pogingen om ze met een metaaldetector terug te vinden mislukten: het signaal van de detector drong niet diep genoeg door in de sneeuw. Toen stelde een fervent skiënde promovendus voor om reflectoren van de fabrikant RECCO te gebruiken, die in skikleding genaaid worden om skiërs die door een lawine zijn bedolven sneller te kunnen vinden. RECCO reflectoren zijn op grotere afstand en diepte te traceren en bovendien geeft de detector aan in welke richting moet worden gezocht. Sinds de GPS ontvangers met RECCO reflectoren zijn uitgerust worden ze vrijwel allemaal het volgende seizoen weer teruggevonden, zelfs als ze onder een dikke laag sneeuw verdwenen zijn.



Het zoeken naar ondergesneeuwde GPS ontvangers met de RECCO op Nordenskiöldbreen, Spitsbergen, door Rickard Pettersen (links) en Ward van Pelt (rechts). Foto: IMAU.



Mariene Wetenschappen





Mariene wetenschappen: inleiding

Anita G.J. Buma

De oceanen bedekken ongeveer 70% van onze planeet. Hoewel de Arctische en Antarctische Oceanen hiervan samen maar 10% uitmaken, spelen deze onherbergzame gebieden aan de uiteinden van de aardbol een essentiële rol in het wereldwijde klimaat en in de verplaatsing van warmte en chemische elementen. Ten eerste wordt de wereldwijde circulatie van oceaanstromen voor een belangrijk deel gestuurd door het naar beneden zakken van afgekoeld -en daardoor relatief zwaar geworden- zeewater naar de diepzee in de beide poolgebieden. Hierdoor treedt een continue wereldwijde waterverplaatsing op, waarvan ook onze warme Golfstroom, bepalend voor het milde klimaat in ons land, deel uitmaakt. Verder zorgt deze circulatie in sommige gebieden voor rijke visgronden, namelijk daar waar het van oorsprong polaire, voedselrijke water door opwelling ('upwelling') naar het oppervlak wordt gestuwd. Ten tweede wordt een deel van het antropogeen CO_2 door natuurlijke processen naar de zuidelijke diepzee getransporteerd en daar opgeslagen. Ten slotte staat de verwachte zeespiegelrijzing in direct verband met het afsmelten van het landijs in de beide poolgebieden. Deze en vele andere fenomenen leiden ertoe dat mariene processen in beide poolgebieden veel 'dichter bij huis' zijn dan men louter op basis van de enorme afstand ernaartoe zou veronderstellen.

De beide poolgebieden herbergen een enorme diversiteit aan zeeleven, die voor beide poolgebieden grotendeels verschillend is. Sommige soorten komen aan beide uiteinden van de aardbol voor, maar de meeste organismen zijn specifiek voor hetzij de Arctische, hetzij de Antarctische Oceaan. Deze aan de extreme poolomstandigheden aangepaste soorten omvatten niet alleen de toppredatoren, zoals de ijsbeer in het noorden en de talloze pinguïnsoorten in het zuiden, maar ook microscopische bacteriën en algen, en op de bodem of in het zee-ijs levende organismen. Hierbij moet worden vermeld dat de mate van diversiteit zelfs heden ten dage nog grotendeels onbekend is en slechts wordt vermoed: terwijl u dit leest wordt er mogelijk ergens een nieuwe diersoort uit een ijskoude poolzee opgevist. Men kan rustig stellen dat de wereldoceanen nog altijd grote geheimen herbergen en dit geldt in het bijzonder voor de poolgebieden. De laatste decennia is het mariene poolonderzoek internationaal gezien sterk op gang gekomen. Wetenschappers, politici, beleidsmakers en milieuorganisaties worden zich er steeds meer van bewust dat het onderzoek naar de effecten van klimaatverandering in deze aan sterke veranderingen onderhevige gebieden sterk te lijden heeft onder een gebrek aan fundamentele kennis van het functioneren van de polaire oceanen en hoe daarin de diverse organismen reageren op omgevingsfactoren. Het voorspellen van klimaateffecten is namelijk alleen mogelijk wanneer genoeg 'baseline' kennis aanwezig is; een verhoogde onderzoeksinspanning is dus geboden. Hierbij speelt in onze moderne tijd de voortgang in technologische ontwikkelingen een belangrijke rol. Schepen zijn steeds beter uitgerust voor het onderzoek onder extreme omstandigheden, en (onderzoeks) ijsbrekers kunnen tegenwoordig tot diep in het zee-ijs doordringen. Tevens zweven momenteel autonome onderwaterrobots in de poolzeeën rond (bijvoorbeeld onder het ijs) die allerlei eigenschappen van het zeewater in kaart brengen, wordt er gebruik gemaakt van ultra-schone monstermethodes, en helpen de huidige modernere DNA-technieken bij het verder ontrafelen van de biologische diversiteit. Onze kennis van de polaire oceanen zal echter nog lang achter-



blijven bij die van de warmere zeeën en oceanen, laat staan bij die op het land. Dit heeft niet in de laatste plaats te maken met de extreem hoge kosten van (marien) poolonderzoek naast de vaak gecompliceerde en zeer specialistische logistieke en technische ondersteuning die onlosmakelijk verbonden is met het onderzoek in deze extreme gebieden.

Nederland speelt sinds de jaren tachtig van de vorige eeuw een substantiële rol in het internationale mariene polaire onderzoek. In eerste instantie was dit onderzoek vooral gericht op de beschrijving van de chemie van het zeewater, de groei van fytoplankton, en de verspreiding en het broedsucces van zeevogels en zeezoogdieren. Naarmate de mondiale klimaatverandering duidelijker zichtbaar werd richtte het onderzoek zich meer op de gevolgen van klimaatverandering. Momenteel legt het Nederlands mariene onderzoek zich vooral toe op de effecten van klimaatverandering en ander menselijk ingrijpen op de polaire oceanen en hun inwoners. Dit onderzoek omvat onder andere de opslag van antropogeen CO_2 in de Antarctische diepzee, veranderingen in de voedselketen – van het fytoplankton tot zee-vogels en zee-zoogdieren – tot de ophoping van gifstoffen en uitstoot van klimaatgassen. Het Nederlandse polaire mariene onderzoek is sinds het begin van de tachtiger jaren vooral op Antarctica gericht geweest, en ook heden ten dage speelt het marien wetenschappelijk onderzoek zich nog voornamelijk op het zuidelijk halfrond af. Hoewel in de afgelopen jaren het Arctisch marien onderzoek schoorvoetend op gang is gekomen, zal in de onderstaande hoofdstukken dus vooral het Antarctische onderzoek worden belicht.

In de onderstaande hoofdstukken zal allereerst aandacht worden besteed aan het zogenaamde fytoplankton. Dit zijn eencellige microalgen die in de open oceaan groeien en de basis van de voedselketen vormen. Hierdoor zijn deze microscopische organismen van cruciaal belang voor alle leven in zee. Ook neemt fytoplankton CO_2 op waardoor het een bufferende werking heeft op de ophoping van CO_2 in de atmosfeer. Het is derhalve om allerlei redenen van belang om het functioneren van deze groep organismen in kaart te brengen, ook omdat de groei of diversiteit ervan door klimaatverandering wordt beïnvloed. Een belangrijk kenmerk van de polaire oceanen is de aanwezigheid van zee-ijs. Het door zee-ijs bedekte oppervlak van de oceanen is sterk seizoensgebonden, en allerlei eigenschappen van het zeewater en ook het aanwezige zeeleven worden sterk beïnvloed door deze jaarlijks optredende dynamiek. Omdat vanwege klimaatverandering de bedekking en de dikte van het zee-ijs verandert, is het derde hoofdstuk volledig gewijd aan dit unieke systeem en de organismen die het zee-ijs herbergt. Tenslotte komt het onderzoek aan de zogenaamde top-predatoren aan bod: Antarctische zeevogels en zeezoogdieren. In dit onderzoeksveld heeft Nederland een lange traditie, wat onder meer een aantal unieke tijdseries heeft opgeleverd.



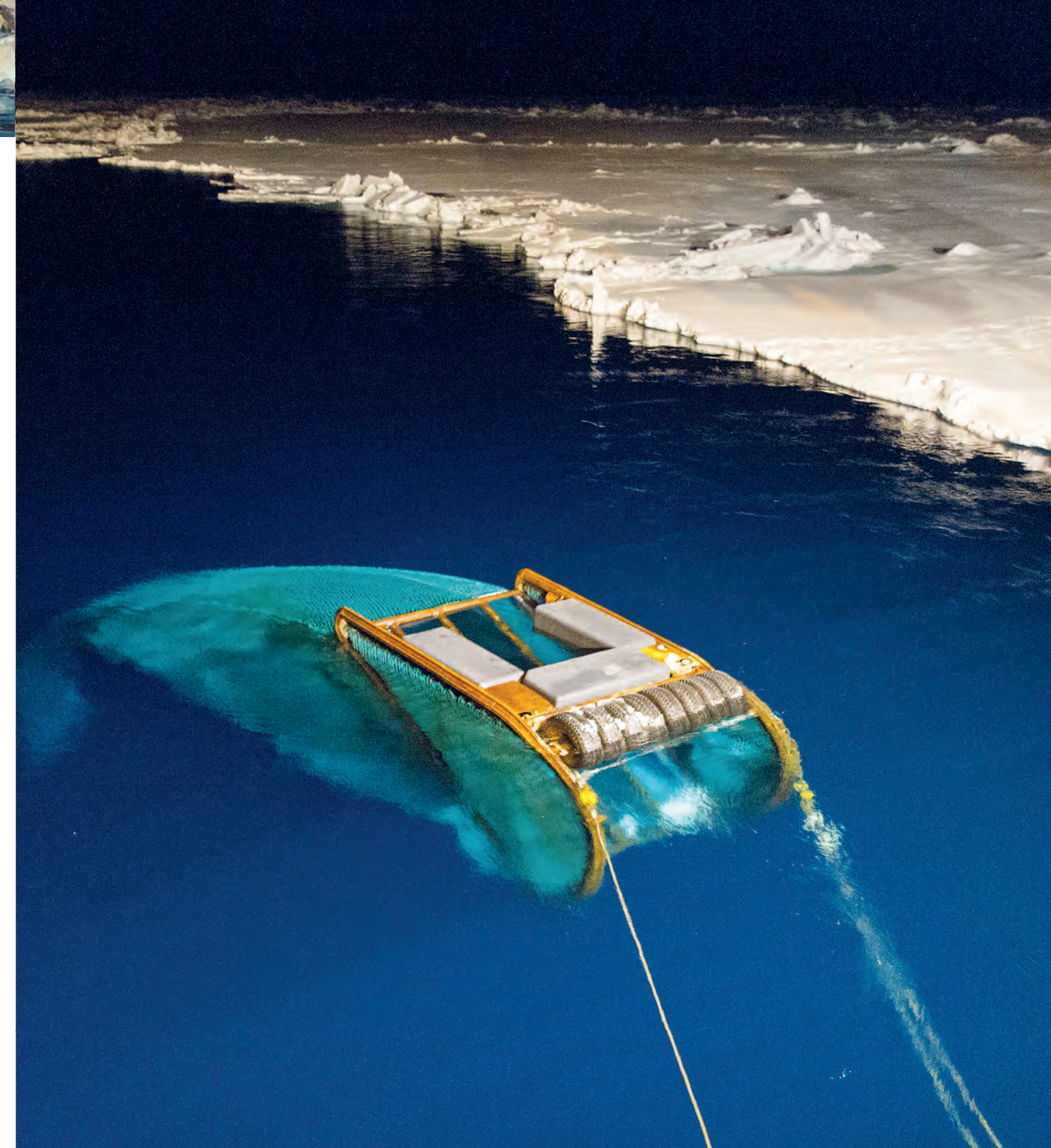
Macaroni pinguïns (Eudyptes chrysolophris). Foto: Frits Steenhuisen.

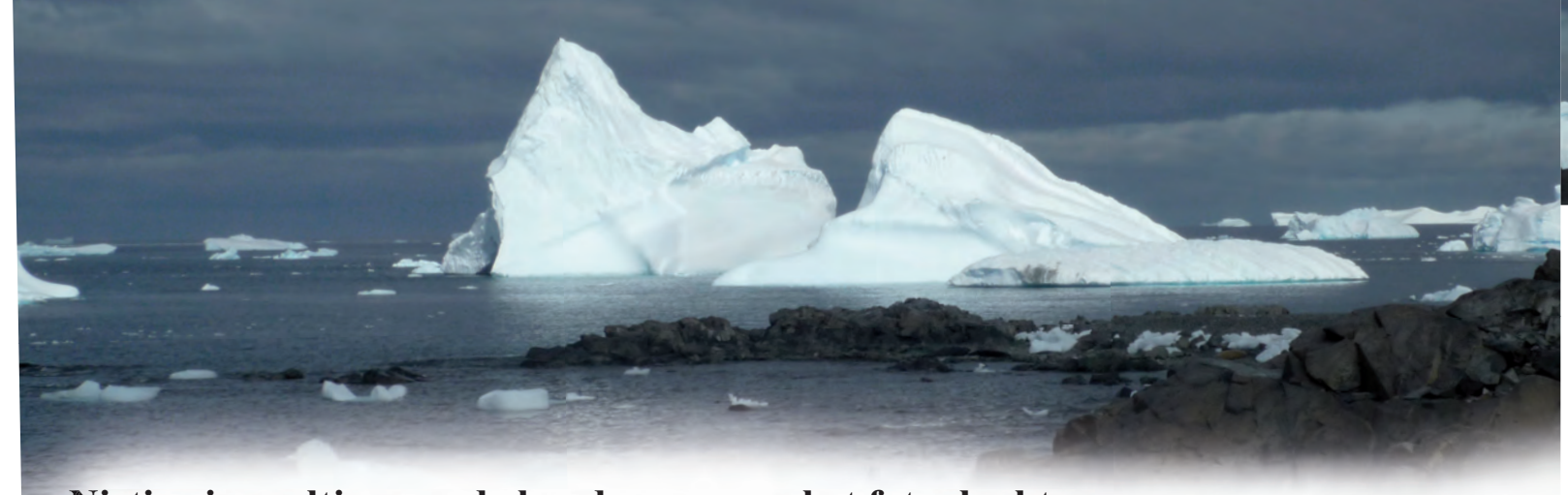
Het onderzoek beschreven in de navolgende hoofdstukken is deels uitgevoerd als uitvloeisel van de langdurige samenwerking tussen het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ), de Rijksuniversiteit Groningen (RuG) en het Instituut voor Bos- en Natuurbeheer (IBN, later bekend als Alterra en sinds enige jaren onderdeel van IMARES), mogelijk gemaakt met financiering vanuit NWO (Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek). Net als bij de andere wetenschappelijke thema's is ook marien onderzoek in de poolgebieden vrijwel altijd het gevolg van internationale 'joint efforts', zowel wetenschappelijk als financieel. Zo hebben Nederlandse onderzoekers vaak dankbaar gebruik gemaakt van de gastvrijheid van het Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) aan boord van ijsbreker Polarstern of op de bases van het AWI (Neumayer, Dallmann, Koldewey). Ook werd de gastvrijheid aan boord van de Marion Dufresne (Frankrijk) en de Nathaniel Palmer (USA), en op verschillende Australische bases enorm gewaardeerd, en meer recent, op het Rothera Research Station van de British Antarctic Survey (BAS), waar de Nederlandse Dirck Gerritsz labs zijn gevestigd. Hoewel de navolgende hoofdstukken derhalve een overzicht geven van Nederlands marien onderzoek, zou dit onderzoek zonder de genoemde internationale samenwerkingsverbanden nooit mogelijk zijn geweest.



De Duitse ijsbreker Polarstern bij Signy Island, Antarctica (18 december 1988). Foto: Anita G.J. Buma.

De SUIT die 's nachts te water wordt gelaten om onder het zee-ijs te vissen (voor een beschrijving zie pagina 135 en verder). Foto: Jan-Andries van Franeker.





Nietige juweeltjes van de koude oceanen: het fytoplankton

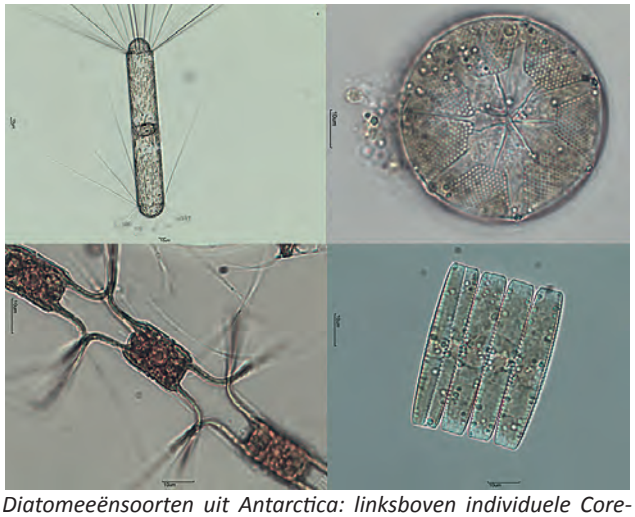
Anita G.J. Buma en Corina P.D. Brussaard

Een groot aantal biologisch oceanografen houdt zich bezig met in de oceanen rondzwevende minuscule eencellige algen, het zogenaamde 'fytoplankton'. Dit is niet voor niets. Deze nietige organismen spelen een cruciale rol in het wereldwijde klimaat en in de mondiale stof- en energiestromen. Bovendien vormen ze de basis van mariene voedselketens. Dit laatste betekent dat daar waar veel fytoplankton is, in potentie veel dierlijk plankton (zoöplankton) kan overleven, en vervolgens ook vissen, zeevogels (waaronder pinguïns) en zeezoogdieren (zoals zeehonden en walvissen). Met andere woorden: het fytoplankton bepaalt de potentiële productiviteit van een gebied en uiteindelijk dus ook de biologische rijkdom van een ecosysteem. Verder draagt het mariene fytoplankton wereldwijd voor ongeveer de helft bij aan het vastleggen van kooldioxide (CO_2) in de vorm van organische koolstof. Dit omzetten van CO_2 in biologisch materiaal door middel van het proces van fotosynthese zorgt ervoor dat deze algen een bufferende werking hebben op de ophoping van CO_2 in de atmosfeer, en hiermee op de opwarming van de aarde. Wanneer de groei van deze algen om wat voor reden dan ook wordt aangetast zal ook deze bufferende werking veranderen. In dit verband is het ook van groot belang om de soortensamenstelling van de algen in kaart te brengen. Relatief grote algen (vanaf 20 micrometer in diameter), zoals de fotogenieke diatomeeën of kiezelwieren, vormen een belangrijke en voedzame voedselbron voor dierlijk plankton. In de oceanen komen echter ook grote aantallen kleinere algensoorten voor, die tot wel honderdmaal kleiner zijn dan de eerder genoemde diatomeeën. Wanneer deze kleinere soorten overheersen, is het aantal schakels in de voedselketen groter, waardoor deze een stuk minder efficiënt is. Het is de laatste jaren duidelijk geworden dat klimaatverandering de algensamenstelling kan beïnvloeden. Dit kan grote gevolgen hebben voor de productiviteit, en dus ook voor de 'eindgebruikers' van een ecosysteem: vogels, vissen en zoogdieren, en uiteindelijk de mens.

Nederlandse onderzoekers spelen sinds het begin van de jaren tachtig een grote rol in het onderzoek naar fytoplanktongroei en -samenstelling in de beide poolgebieden. Hierbij is de laatste decennia vooral de nadruk komen te liggen op de gevolgen van menselijk ingrijpen voor de mariene productiviteit. Hieronder zullen verschillende voorbeelden van deze gevolgen aan de orde komen.

De eerste Nederlandse zee-onderzoeker die betrokken werd bij Antarctisch marien onderzoek was Johan van Bennekom van het NIOZ (Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee) te Texel. Van Bennekom's betrokkenheid kwam tot stand op initiatief van prof. Gotthilf Hempel, toentertijd directeur van het Duitse onderzoeksinstituut AWI (Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung). Prof. Hempel zocht begin jaren tachtig naar NIOZ onderzoekers die geïnteresseerd waren in Antarctisch onderzoek. Deze zoektocht had aanvankelijk vooral een politieke achtergrond. Hempel wilde graag dat Nederland stemhebbend lid werd van het Antarctic Treaty. In die tijd vond namelijk een heftige discussie over mineralenwinning en andere herzieningen van het poolverdrag plaats. De stemhebbende leden waren onderling nogal verdeeld, wat resulteerde in een fifty-fifty verdeling. Nederland was net als Duitsland tegen winning en vóór bescherming van het gebied. Vandaar dat de Nederlandse stem de doorslag zou kunnen geven, maar hiervoor was nodig dat Nederland actief onderzoek zou





Diatomeeënsoorten uit Antarctica: linksboven individuele Corethron pennatum cel, rechtsboven Asteromphalus sp. cel; linksonder keten van drie Chaetoceros dichaeta cellen, rechtsonder keten van vier Fragilariopsis sp. cellen. Schaal: 10 micrometer. Foto's: A.G.J. Buma, januari-maart 2014, Rothera research station, Antarctisch Schiereiland.

gaan doen in het Antarctische gebied. Hempel kende NIOZ directeur Jenne Zijlstra goed vanuit een eerdere samenwerking en gebruikte zijn netwerk om bij de buren interesse te wekken voor marien poolonderzoek. Johan van Bennekom's wetenschappelijke interesse was voor een groot deel gericht op de mariene silicium (Si) cyclus. Omdat de Si cyclus sterk gekoppeld is aan de activiteit van diatomeeën – diatomeeën nemen Si op uit het zeewater om hiermee hun glasachtig skelet te kunnen bouwen, zoals te zien op de foto's – was van Bennekom bijzonder geïnteresseerd in de Si-opname door diatomeeën. In de periode voorafgaand aan zijn eerste Antarctische expeditie raakte hij bovendien geïntrigeerd door de rol van aluminium (Al). Het idee was dat dit element een belangrijke rol zou kunnen spelen in de Si cyclus, doordat Al zou worden ingebouwd in het silicaatskelet van diatomeeën. Na het afsterven van de diatomeeën zou een hoog Al gehalte in de schaaltjes kunnen leiden tot een lage oplosbaarheid van het biogeen silicaat. Dit oplossen van de kiezelschaaltjes is een noodzakelijk proces voor het opnieuw vrijmaken van opgelost Si voor toekomstige diatomeeëngroei. Bovenstaande theorie zou van Bennekom gaan testen in de Antarctische Oceaan. Van dit gebied was al bekend dat de concentratie opgelost silicaat erg hoog was, maar er was nog geen informatie beschikbaar wat betreft de Al concentratie. Dit had onder andere te maken met het feit dat er nog geen goede methode beschikbaar was om Al in zeewater te meten, dus deze moest eerst worden ontwikkeld. Van Bennekoms allereerste expeditie naar het Antarctisch gebied vond plaats in 1981, met het Duitse onderzoeksschip RV Meteor. Toen een jaar later het tevens Duitse onderzoeksschip de Polarstern operationeel werd, maakte van Bennekom nog een aantal expedities op deze robuuste ijsbreker mee (1986, 1988/1989). Al zijn inspanningen leverden interessante resultaten op. Allereerst bleek de Al concentratie van het Antarctische zeewater zeer laag. Dit leidde tot een lage Al fractie in de diatomeeënschaaltjes, en een hoge oplossnelheid van de schaaltjes ten opzichte van gebieden elders in de wereld waar de Al/Si ratio veel groter is. Deze vroege Antarctische expedities ondersteunden derhalve zijn theorie omtrent het effect van het Al gehalte op de oplosbaarheid van de diatomeeënschaaltjes.



Johan van Bennekom verwijdert aan boord van de Polarstern een filter met hierop algenmateriaal. Foto: Anita G.J. Buma, 1989.

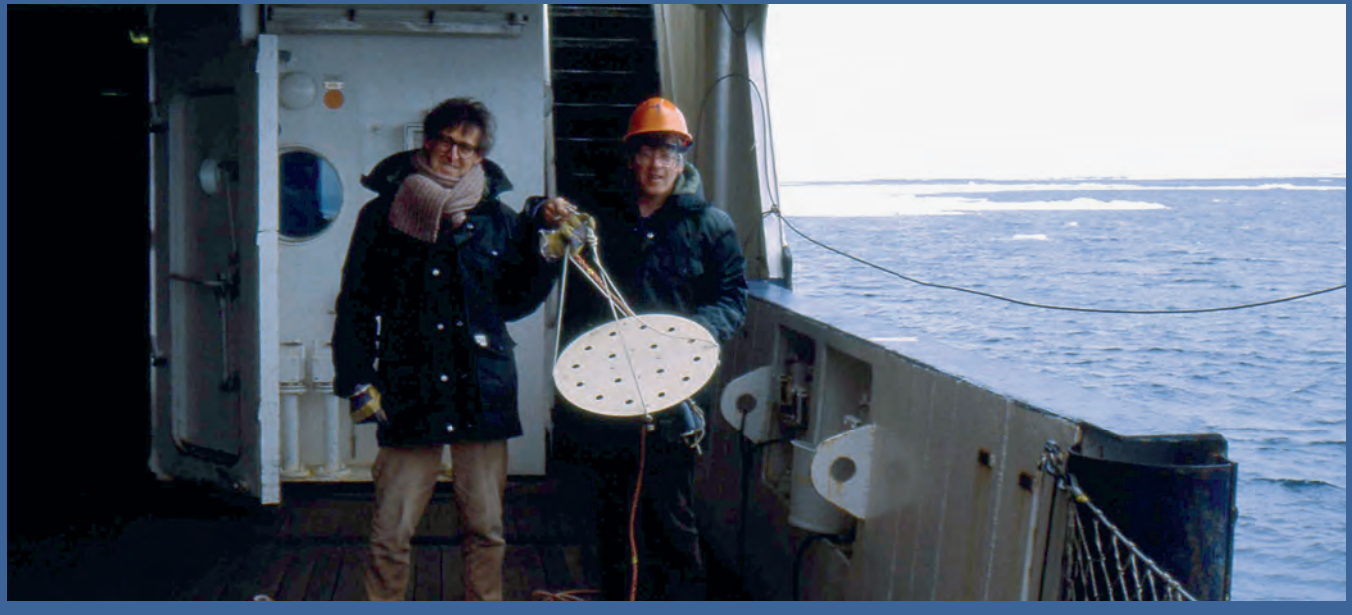


Een tweede Nederlandse onderzoeker die aan de basis heeft gestaan van het Nederlandse polaire fytoplankton-onderzoek is Winfried Gieskes. Gieskes, ook werkzaam bij het NIOZ en later bij de Rijksuniversiteit Groningen, werkte al jaren aan thema's als algenproductie en –samenstelling, maar dan gericht op de Noordzee, de subtropische Atlantische Oceaan, en de Bandazee bij Indonesië. Ook hij ging in op de uitnodiging van Gotthilf Hempel om richting Antarctische Oceaan te vertrekken. Dit resulteerde in deelname aan één van de eerste expedities van de Polarstern, die in 1982 in de vaart kwam. Gieskes' eerste expeditie vond plaats in oktober-november 1983. Doel was om te onderzoeken in hoeverre de eerder beschreven relatief grote algensoorten (groter dan 20 micrometer in diameter) domineren rond het Antarctisch Schiereiland. Nog niet zo lang daarvoor was door collega-onderzoekers gesuggereerd dat het gangbare concept van de zogenaamde *Food Chain of the Giants* in de Antarctische Oceaan sterk zou moeten worden genuanceerd. Dit tot dan toe heersende concept was gebaseerd op het idee dat de poolzeeën slechts worden bevolkt door zeer grote vertegenwoordigers binnen groepen organismen (algen,

Een wereldrecord gebroken!!

Op 13 oktober 1986 lieten Winfried Gieskes en NIOZ collega Kees Veth een zogenaamde Secchi disk in een open plek tussen de zee-ijsplaten van de Oostelijke Weddellzee zakken. Een Secchi disk is een witte schijf met een diameter van ongeveer 30 cm, vastgemaakt aan een gemarkeerd touw (1 meter markeringen). Deze schijf wordt ook nu nog gebruikt als makkelijke, betrouwbare en snelle methode om de lichtdoordringing in het water te bepalen. Regel hierbij is dat daar waar de schijf tijdens het neerlaten niet meer zichtbaar is, nog slechts 1% van het aan het wateroppervlak invallende licht aanwezig is. In totaal vier onderzoekers waren er getuige van dat de schijf pas op 80 m diepte uit het zicht verdween. Dit werd aangemerkt als absoluut wereldrecord (EOS, 1987), aangezien het oude record op 53 meter stond, gemeten in de Middellandse Zee. Het helderste zeewater was gevonden. Opmerkelijk is dat dit record de helderheid van gedestilleerd water benadert. Waarschijnlijk om deze reden is dit Weddellzee wereldrecord nooit geëvenaard.

Winfried Gieskes (links) en Kees Veth (rechts) met de Secchischijf aan boord van de Polarstern, Weddellzee 1986. Foto: collectie Kees Veth.





Neptunus en zijn streken…

Velen die voor het eerst per schip een poolcirkel passeren valt de twijfelachtige eer te beurt onderworpen te worden aan een inwijdingsritueel. Hierbij komt Neptunus, de god van de zee, tevoorschijn (op de foto rechts). De kandidaat wordt geacht neer te knielen en deemoedig allerlei opdrachten uit te voeren, welke over het algemeen akelig van aard zijn. Deze opdrachten variëren van het opeten van een door Neptunus klaargemaakt gerecht (door elkaar gehusselde restanten van eerdere maaltijden), een 'reinigingsritueel' met behulp van een brandspuit, tot en met het kussen van de met zeep of motorolie ingesmeerde harige voeten van de Grote Almachtige. Dit alles onder de kritische en waakzame blikken van de voltallige bemanning. Na het goed uitvoeren van de opdrachten krijgt het slachtoffer een certificaat uitgereikt, waarbij hij of zij tegelijkertijd een nieuwe (doop)naam in maritieme sfeer krijgt toegewezen.

Doopplechtigheid aan boord van de Polarstern, tussen Noorwegen en Spitsbergen, 1985. Foto: Anita G.J. Buma.

zoöplankton, krill, walvissen), die in combinatie met elkaar een korte, efficiënte voedselketen vormen. Echter, informatie over de aanwezigheid van de relatief kleinere algensoorten was toentertijd nog slechts beperkt beschikbaar, onder andere omdat deze kleine algen met behulp van klassieke microscopische technieken veel moeilijker te detecteren zijn dan de meestal veel grotere diatomeeën. Gieskes kon hier nieuwe inzichten in verschaffen, omdat in zijn laboratorium door technicus Gijs Kraay een analytisch-chemische methode was ontwikkeld om juist de kleinere algensoorten te kwantificeren ('HPLC pigment fingerprinting'). Tijdens Gieskes' eerste expeditie werd het fytoplankton samen met Duitse collega's intensief onderzocht. De resultaten waren duidelijk: kleine algensoorten vormden een significante fractie van het totale fytoplanktonbestand. De smaak van het poolonderzoek te pakken hebbend vertrok Gieskes een aantal jaar later (1986) opnieuw naar het Zuidpoolgebied, ditmaal naar de zeer zuidelijk gelegen Weddellzee. Dit was een voor die tijd unieke expeditie omdat deze plaatsvond tijdens het ijzige voorjaar. De ijsbreker Polarstern was echter zeer goed in staat het in de winter ontstane zee-ijs te kunnen breken, waardoor de meest afgelegen delen van de





Weddellzee veilig konden worden bereikt (en weer verlaten!). Hier bestudeerde Gieskes onder andere de lichtdoordringing in de waterkolom, omdat dit belangrijke informatie zou kunnen opleveren wat betreft de potentiële groei van de (lichtbehoevende) algen. Geïnspireerd door het pas ontdekte ozongat (zie verderop in dit hoofdstuk) bestudeerde hij bovendien de doordringing van schadelijke ultraviolette straling (UV). UV bleek tot tientallen meters diep door te kunnen dringen in deze ultra-heldere wateren. Ook werd tijdens deze expeditie een wereldrecord gevestigd, namelijk dat van het 'helderste water op aarde''(zie kader op pagina 110).

In navolging van beide senior onderzoekers van het NIOZ werd binnen het pas opgestarte Nederlandse Polaire Programma van NWO halverwege de jaren tachtig een nieuw marien project opgestart, gericht op Antarctisch fytoplankton. Hierop werd in 1986 één van de auteurs van dit hoofdstuk, Anita Buma (NIOZ, later RuG), als promovenda aangesteld. Het doel van haar onderzoek was om meer inzicht te verkrijgen in de factoren die groei en soortensamenstelling van de algen reguleren. In die tijd had Buma al verschillende Polarstern expedities naar het Noordpoolgebied tussen Spitsbergen en Groenland (Ark III Legs 1, 2, 3 en 4, 1985) achter de rug, waarbij zij samen met AWI onderzoekers de samenstelling van het fytoplankton had bestudeerd. Haar eerste Antarctische activiteit behelsde een herfstexpeditie aan boord van het Franse onderzoeksschip de Marion Dufresne, in maart-april 1987. De Marion Dufresne was een bekend onderzoeksschip dat veelvuldig opereerde in Antarctische wateren, maar het was geen ijsbreker. Hierdoor bleef de expeditie beperkt tot het woelige open water rond het Antarctische continent. Dit was echter geen probleem omdat de belangrijkste onderzoeksvraag zich juist richtte op de algengroei en -samenstelling in dit enorme, onherbergzame en hierdoor slecht onderzochte oceaangebied. Deze expeditie leverde een aantal publicaties op die een goed inzicht gaven in de algensamenstelling. In het bijzonder werd duidelijk dat de fractie kleinere algensoorten hier zeer variabel was maar gemiddeld hoger dan eerder werd aangenomen. Kortom, een verdere nuancering van de complexe opbouw van de voedselketen in de Antarctische Oceaan was hiermee een feit.

Halverwege de jaren negentig was het duidelijk dat de eerder genoemde *Food Chain of the Giants* zeker niet overal van toepassing was, en al helemaal niet op de diepe oceaan rond Antarctica. Ook werd in deze periode het klassieke beeld van een ecosysteem, gekenmerkt door een onuitputtelijk rijkdom aan algen, krill, pinguïns en walvissen, in rap tempo bijgesteld tot een systeem dat eigenlijk maar laag tot matig productief was. Onderliggende oorzaak hiervan is dat het aanwezige fytoplankton sterk beperkt wordt in de groei, met name door licht, een gebrek aan ijzer of een combinatie hiervan (zie hiervoor het volgende hoofdstuk). Ook werd steeds meer onderzoek gedaan naar de mogelijke rol van virussen op de algen-mortaliteit (onderzoek Brussaard, NIOZ) en op graasdruk door zoöplankton. Alleen daar waar deze beperkingen (tijdelijk) werden weggenomen zou zich een florerend marien leven kunnen ontwikkelen, zo was inmiddels de opvatting.

Terwijl het onderzoek naar de opbouw en het functioneren van Antarctische mariene ecosystemen in volle gang was werd de wereld plotseling opgeschrikt door de berichtgeving over het Antarctische ozongat. De van oorsprong Nederlandse atmosferisch-chemicus Paul Crutzen had al in de zeventiger jaren geopperd dat de ongecontroleerde uitstoot van CFKs (chloorfluorkoolwaterstoffen) de ozonlaag zou kunnen afbreken. Het hieruit volgende baanbrekende onderzoek naar de afbraakprocessen van de ozonlaag leverden Crutzen en zijn collega's Molina en Rowland in 1995 de Nobelprijs voor de Scheikunde op. Het potentieel gevaarlijke gevolg van een afnemende ozonconcentratie is een toename in schadelijke UV-B (280-320 nm) straling. UV-B straling kan bij planten, dieren en mensen allerlei vormen van schade teweegbrengen. Door het jaarlijks verder uitdiepende ozongat boven Antarctica werd in de negentiger jaren wereldwijd in rap tempo allerlei onderzoek opgestart. Dit onderzoek omhelsde het in kaart brengen van de ozonconcentratie en het schadelijke UV-B, maar ook onderzoek naar de mogelijke effecten hiervan op polaire organismen. Nederland raakte sterk bij dit onderzoek betrokken in de vorm van atmosferisch (KNMI) en biologisch onderzoek op land (NIOO-CEME, VU) en in zee (RuG, NIOZ). Wat het fytoplankton betreft werd vooral gekeken naar UV-B geïnduceerde schade aan het fytoplankton-DNA. Omdat DNA de universele drager van genetische informatie is leek het



Ziek!!!

Velen die wel eens op zee hebben gevaren kennen het: zeeziekte. Zeeziekte is een bewegingsaandoening, ook wel Mal de Mer of kinetose genoemd, die ontstaat in het evenwichtscentrum van de hersenen. Zeeziekte leidt tot een serie klachten, zoals zweten, hoofdpijn, duizeligheid, misselijkheid, buikpijn, en/of overgeven. In de meeste gevallen verdwijnen de klachten na een dag of drie op volle zee, maar in uitzonderlijke gevallen verdwijnen de klachten niet en nemen deze steeds ernstiger vormen aan. Dit levert soms gevaarlijke situaties op waarbij de ongelukkige uit wanhoop onverantwoorde dingen wil doen, zoals overboord springen. Tijdens het werk aan boord in de Zuidelijke Oceaan wordt men vaak geconfronteerd met enorme golven die karakteristiek zijn voor dit stormachtige deel van de wereld. Hier zijn golfhoogten tussen de 10 en 20 meter de gewoonste zaak van de wereld. In het begin van elke expeditie zoeken velen daarom tussen het werken door zoveel mogelijk hun kooi op. Na een gewenningsfase wordt het werken onder deze ruwe omstandigheden echter steeds gemakkelijker. Ook wordt het dan mogelijk om te genieten van dit indrukwekkende natuurgeweld, en tegelijkertijd diep ontzag en respect te ontwikkelen voor de bemanning die het schip veilig door deze woelige baren weet te loodsen. Het is geen wonder dat de breedtegraden op het zuidelijk halfrond tussen 40 en 50˚Z bekend staan als de Roaring Fourties, de breedtegraden tussen 50 en 60˚Z als de Furious Fifties, en die ten zuiden van 60˚Z als de Screaming Sixties!

Marion Dufresne in woelige baren, met onvermijdelijke scheve horizon (1987). Foto: Anita G.J. Buma.



aannemelijk dat de zogenaamde ‘targets’ van UV-B schade bij de diverse organismen onderling vergelijkbaar zou zijn. Met andere woorden, die vormen van DNA-schade die in de menselijke huid kanker veroorzaken zouden in principe ook kunnen voorkomen in Antarctische fytoplanktoncellen. Om dit te onderzoeken werd door RuG onderzoekers (Anita Buma, Peter Boelen, Willem van de Poll, Anouk Piquet) een zogenaamde immunochemische techniek vanuit de medische wereld (UMCU) overgenomen waarbij met behulp van antilichamen UV-B specifieke DNA-schade kon worden gedetecteerd. Ook werd deze techniek ingezet om de doordringing van biologisch effectieve schadelijke straling onder water te meten. Hiervoor werden minuscule buisjes gevuld met een standaard DNA oplossing en gedurende een zekere tijd onder water geplaatst. Na verloop van tijd werd de schade in dit ‘blote DNA’ vastgesteld, hetgeen een maat was voor de potentiële DNA-schade als gevolg van UV-B blootstelling. De uitkomsten van dit onderzoek, dat op verschillende Antarctische locaties werd uitgevoerd, toonden aan dat deze schadelijke straling tot een diepte van 25 meter kan doordringen. Ook werd UV-B gerelateerde DNA-schade in Antarctische algen en bacteriën gevonden. Nadat internationale maatregelen leidden tot een wereldwijde CFK



reductie verdween dit type onderzoek in het begin van dit millennium steeds meer uit de belangstelling, omdat het door politici en subsidieverstrekkers minder relevant geacht werd.

De afgelopen jaren wordt de rol van virussen op de sterfte van polair fytoplankton in detail onderzocht (door één van de auteurs van dit hoofdstuk, Corina Brussaard, NIOZ). Traditioneel werd begrazing (het opeten van algen door zoöplankton) als belangrijkste factor van sterfte van algen gezien, maar langzamerhand wordt duidelijk dat ook virussen sterftesnelheden kunnen veroorzaken die vergelijkbaar zijn met de graasdruk van het zoöplankton. Virussen zijn parasieten zonder eigen metabolisme. Hierdoor kunnen ze zich niet zelfstandig voortplanten; ze dringen een gastheer (bijvoorbeeld een fytoplanktoncel) binnen en daar zetten ze de gastheer aan tot het maken van nieuwe virusdeeltjes. Omdat het in dit geval om eencelligen gaat, sterft de alg zodra de nieuwe virussen uit de gastheer vrijkomen, waarna ze rondzweven in de hoop een nieuwe gastheercel tegen te komen. Niet altijd volgt na virusinfectie het produceren van nieuwe virussen (lytische cyclus), want virussen kunnen zich ook inbouwen in het genetisch materiaal (DNA) van de gastheer en meeliften met de celdeling totdat het virus vanuit deze zogenaamde lysogene cyclus overgaat in een lytische cyclus. Dit laatste wordt meestal gestuurd door een omgevingsverandering. Lysogene virussen zijn wel gevonden voor bacteriën, maar (nog) niet voor polaire algen. Virussen zijn over het algemeen heel specifiek in welk organisme ze kunnen infecteren en zo dragen ze bij aan de biodiversiteit van de voorkomende algensoorten. Immers, als een algensoort vanwege een virusinfectie wordt geminimaliseerd ontstaat hierdoor ruimte voor andere soorten om te groeien (successie). In tegenstelling tot het zoöplankton dat met name selecteert op grootte (en voedingswaarde) van de prooi, beïnvloeden virussen de fytoplanktongemeenschap dus meer specifiek, op soortniveau. Belangrijk is ook dat kleine fytoplanktonsoorten vaak in grotere aantallen voorkomen, waardoor de kans om een virus tegen te komen toeneemt. Een ander belangrijk verschil tussen begrazing en sterfte door een virusinfectie betreft hetgeen met de organische koolstof en de voedingstoffen van de gastheercel gebeurt: bij begrazing wordt dit gebruikt om zoöplankton biomassa te vormen, maar bij virale lysis (sterfte van de gastheercel) komt de celinhoud van de stervende gastheer (samen met de nieuw gevormde virussen) vrij in het omringende water. Daar wordt het verteerd door bacteriën, waarna het terechtkomt in de microbiële voedselketen en niet in de hogere trofische niveaus. Deze vorm van recycling zorgt ervoor dat essentiële voedingstoffen zoals nitraat, fosfaat en ijzer weer relatief snel beschikbaar komen voor opname door het fytoplankton. Verandering in oceaanstromingen door klimaatverandering brengen op sommige plekken meer ijzer mee en daardoor verhoogt de produktie, maar het virus-onderzoek heeft ook laten zien dat sterfte van bacteriën door virussen dan toeneemt. Recenter onderzoek vanuit het Nederlandse Dirck Gerritsz Lab op de Antarctische basis Rothera geeft de mogelijkheid sterfte van microorganismen over een seizoen en gedurende meerdere jaren te volgen. Resultaten laten grote verschillen zien in sterfte door virussen tussen de verschillende algengroepen door het seizoen heen, maar ook tussen verschillende jaren.

Het door klimaatverandering opwarmende zeewater is in de poolgebieden lokaal al zeer goed zichtbaar, onder meer omdat dit leidt tot het (deels) verdwijnen van zee-ijs. Dit verschijnsel is voor het Arctische gebied overduidelijk, en de verwachting is dat de centrale Arctische Oceaan binnen enkele decennia gedurende de zomer volledig ijsvrij zal zijn. In de Antarctische Oceaan is de afsmelting minder zichtbaar vanwege klimaatterugkoppelingen die de opwarming vertragen, maar rond het Antarctisch Schiereiland treedt wèl sterke opwarming op en verdwijnt het zee-ijs in rap tempo. Dit heeft grote gevolgen voor het functioneren van het mariene ecosysteem, om te beginnen bij het fytoplankton, omdat juist langs de randen van het zee-ijs algenbloeien ontstaan. Een ander gevolg van de opwarming is een verhoogde aanvoer van smeltwater. Gletsjers in de beide poolgebieden trekken zich sterk terug en dit heeft tot gevolg dat vooral tijdens de zomermaanden een toenemende hoeveelheid zoet water in zee stroomt. Door dit zoete water veranderen de chemische en fysische eigenschappen van het zeewater, hetgeen een sterke invloed heeft op de samenstelling en groei van het aanwezige fytoplankton. In het afgelopen decennium is door Nederlandse onderzoekers uitgebreid onderzoek gedaan naar de gevolgen van dit fenomeen, zowel in het Arctische als in het Antarctische gebied. Recent onderzoek op Spitsbergen is hiervan een goede illustratie. In de zeer noordelijk gelegen Kongsfjord op Spitsbergen wordt het mariene systeem in de zomermaanden zeer

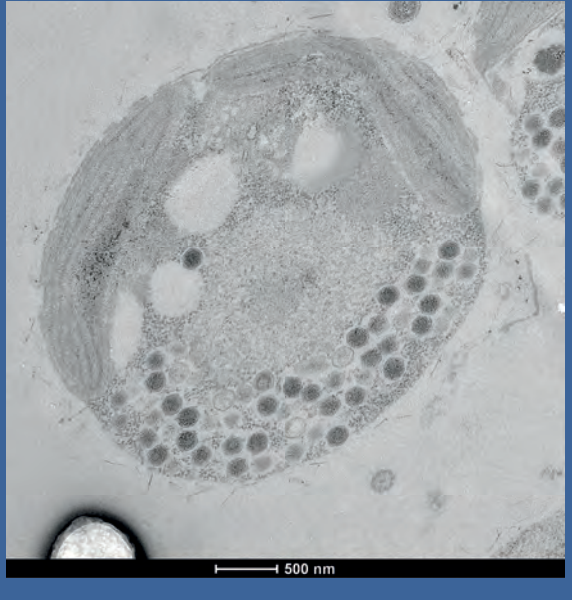


Koud, kouder, koudst

Om de groei- en sterftesnelheid van fytoplankton te bepalen is het zaak om de zeewatermonsters voorzichtig te manipuleren en/of te incuberen. Dat dient onder de natuurlijke omstandigheden te gebeuren, want anders raken de cellen gestrest en dat heeft een nadelig effect op de metingen. De onderzoekers moeten zich dus aanpassen en bij de juiste hoeveelheid licht (niet zo moeilijk) en temperatuur hun werk doen. Dat laatste is een uitdaging omdat het zeewater in de winter en het begin van het voorjaar normaliter een temperatuur heeft beneden het vriespunt (zout water blijft vloeibaar tot -1,9˚C), maar ook in de zomer is het water koud met maximaal een paar graden boven nul. Goed inpakken helpt, maar de handen zijn meestal het koudst (werken met micro-organismen gaat vaak minder goed met dikke handschoenen). Zo nu en dan een kopje thee doet wonderen!



sterk beïnvloed door instromend smeltwater. Dit smeltwater zorgt voor een stabiele bovenlaag van relatief licht, zoet water dat boven op het zwaardere zoute water drijft. Vanwege deze relatieve stabiliteit van de waterkolom zouden zich gunstige (licht)omstandigheden voor een algenbloei kunnen voordoen, maar juist het tegendeel werd gemeten tijdens een aantal recente Nederlandse projecten (RuG in samenwerking met AWI partners, 2005, 2007, 2008, 2013). Het smeltwater zorgt namelijk ook voor aanvoer van een groot aantal sedimentdeeltjes, waardoor het fjordwater van kraakhelder (in het voorjaar) verandert in een rood-gele troebele massa, hetgeen een sterk remmende werking op het licht-minnende fytoplankton heeft. Ook liet dit onderzoek zien dat verlaging van het zoutgehalte dicht bij de gletsjers de kleine algen bevoordeelt, om vooralsnog onbekende redenen. De effecten van toenemend smeltwater en andere vormen van klimaatverandering zijn echter sterk locatie-afhankelijk, waarbij zowel remming alsook stimulatie van de mariene productie is aangetoond. Op dit moment is dit onderzoek nog in volle gang, ook in Antarctica (gebruik makend van het Dirck Gerritsz Lab). Het moge duidelijk zijn dat het fytoplanktononderzoek in beide poolgebieden een zeer sterke ontwikkeling heeft doorgemaakt en dat deze ontwikkeling nog steeds gaande is.



Electronenmicroscopische foto van een algencel (Phaeocystis pouchetii) met hierin (donkere) virusdeeltjes. Foto: collectie Corina Brussaard.



IJzer, zonlicht, algen en CO_2

Hein J.W. de Baar

In 1986 kwam prof. Gotthilf Hempel, directeur van het nog jonge Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven naar het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ) op Texel met het aanbod om de nieuwe Duitse ijsbreker Polarstern voor een heel Antarctisch zomerseizoen (1988/1989) ter beschikking te stellen aan Europese onderzoekers. Hieruit kwamen drie vaartochten ('Legs') in het Antarctisch gebied voort. Deze werden gezamenlijk 'European Polarstern Study' (EPOS) genoemd. De Nederlandse voorbereiding van EPOS kwam in volle gang onder enthousiaste leiding van NIOZ directeur prof. Jenne Zijlstra, met grote inzet van de eigen NIOZ wetenschappers, apparatuur en financiering en in prima samenwerking met enkele collega's van andere instituten. In september 1987 waren Winfried Gieskes (zie ook vorige hoofdstuk) en Hein de Baar in Parijs bij een bijeenkomst ter voorbereiding van het zogenaamde 'Noord Atlantisch Algenbloei Experiment'. Op de laatste ochtend bleek het overleg sneller dan verwacht afgelopen, en eenieder werd gevraagd iets over zijn eigen recente onderzoek te presenteren. Hierop kwam John Martin (USA) naar voren die overhead sheets van hun drie weken eerder afgesloten vaartocht in de meest noordelijke, Sub-Arctische regio van de Stille Oceaan liet zien. Deze regio vormt een zogenaamd 'Hoog-Nutriënt-Laag-Chlorofyl' (HNLC) gebied. Dit houdt in dat in de bovenste laag van de oceaan weliswaar ruim voldoende opgeloste voedingsstoffen (nutriënten) stikstof (N), fosfor (P) en silicium (Si) aanwezig zijn, maar dat er desondanks nauwelijks algen groeien. Dit resulteert in een relatief laag gehalte aan chlorofyl, het groene pigment dat algen nodig hebben voor fotosynthese. John Martin liet zien dat het toevoegen van een minieme hoeveelheid opgelost ijzer (Fe) leidde tot een sterke toename in de groei en biomassa van de algen. Hiermee was het eerste bewijs geleverd dat de algenproductie in deze HNLC gebieden wordt beperkt door een tekort aan opgelost ijzer, een spoorelement dat essentieel is voor elke alg. Winfried en Hein realiseerden zich meteen dat het NIOZ in principe alles in huis had om tijdens de tweede EPOS Leg in 1988/1989 vergelijkbare ijzerverrijkingsproeven te doen in de Antarctische Oceaan, een ander en veel groter HNLC gebied.

Zo gezegd, zo gedaan. Tijdens EPOS Leg 2 waren elf Nederlandse wetenschappers aan boord van de Polarstern. Dit Nederlandse team zou worden geleid door Jenne Zijlstra, maar helaas moest hij afzeggen: kort daarvoor (oktober 1988) werd bij hem een ongeneeslijke ziekte ontdekt, en Jenne overleed op 2 augustus 1989. Eenmaal aangekomen in de Antarctische Oceaan deden Anita Buma, Rob Nolting en Hein de Baar met steun van Johan van Bennekom, Gerhard Cadée, Sven Ober en Franse collega's Guy Jacques en Paul Tréguer, de allereerste ijzerverrijkingsexperimenten in grote (20 liter) plastic flessen, elk gevuld met oppervlaktewater van de Antarctische Oceaan. De rest is geschiedenis: bij elk experiment bleek het toegevoegde ijzer de groei van algen te stimuleren. Een snel geproduceerd beknopt manuscript werd meegegeven aan de eerst vertrekkende collega Peter Björnsen (Denemarken) die direct bij aankomst op Heathrow Airport de envelop naar Nature in London stuurde. Helaas bleek deze bliksemactie tevergeefs, want het artikel werd niet geaccepteerd en dus ook niet geplaatst. Gelukkig werden in 1990 en 1991 meerdere uitgebreide versies gepubliceerd in andere vaktijdschriften: de allereerste ijzerverrijkingsexperimenten in de Antarctische Oceaan.



De Nederlandse deelnemers aan EPOS, Leg 2, op het zee-ijs in de Weddell Zee, tijdens Polarstern expeditie ANT VII/3, van Punta Arenas (22 november 1988) naar Punta Arenas (9 januari 1989). Van links naar rechts: Peter Schalk (ITZ-UvA), Kees Veth, Johan van Bennekom, Anita Buma, Hein de Baar, Rob Nolting, Santiago Gonzalez, Sven Ober (allen NIOZ), Jan Andries van Franeker (RIN). Op de voorgrond: Louk Lindner (NIKHEF), George Fransz (NIOZ). Alle expeditierapporten in de serie 'Berichte zur Polarforschung' zijn te vinden op de website: http://epic.awi.de/view/type/reports=5Fon=5Fpolar=5Fand=5Fmarine=5Fresearch/ *Foto: collectie Hein de Baar.*

Het EPOS (Leg 2) expeditieschip had 44 wetenschappers aan boord, afkomstig uit elf Europese landen, enthousiast aangevoerd door de charismatische expeditieleider Victor Smetacek. Samen met de 39 bemanningsleden vormden zij een klein drijvend dorp 'in the middle of nowhere'. In de nacht van 2 op 3 december kwamen er nog tien Britse collega's bij; hun eigen schip, de 'John Biscoe' was vastgelopen vanwege teveel ijs in de koelwaterinlaten. Deze Britten werden collegiaal opgenomen door de Polarstern om tenslotte rond middernacht onder een glasheldere sterrenhemel weer te worden afgezet op sledes die ons over de volledig ijsbedekte baai van de Britse basis op Signy Island (South Orkneys) tegemoet kwamen. Het was een magische nacht. Ruim twee weken later, op zondag 18 december, keerde de Polarstern terug naar de inmiddels volledig ijsvrije baai, ditmaal voor een eendaags bezoek aan de Britse basis en aan de grote pinguïn-broedkolonies op Signy Island. De bijzondere sfeer van internationale vriendschap tijdens EPOS Leg 2 kwam bovenal tot uiting op kerstavond 1988 in de Blauwe Salon, de ontspanningsruimte van de Polarstern. Er werd muziek gemaakt door een gelegenheidskwartet en voorgelezen uit het dagboek van de laatste expeditie van Robert F. Scott over de gebeurtenissen op kerstdag 1911 nabij de Zuidpool.

Tijdens de AWI-workshops die volgden laaiden regelmatig discussies op over de uitkomsten van de EPOS Leg 2 expeditie, want ook in de controle-experimenten (zonder ijzertoevoeging) werden hogere algendichtheden gemeten dan in de vrije natuur voorkwamen. Tijdens een speciaal



Stof in de Vostok Antarctica ijskernen

Metingen laten zien dat het CO_2-gehalte in de lucht sinds 1957 elk jaar toeneemt. Dit is het directe gevolg van de uitstoot van CO_2 door verbranding van fossiele brandstoffen, en dit leidt tot hogere temperaturen op aarde. In de periode ~1960-1980 was de grote vraag wat het natuurlijke CO_2-gehalte was in de periode vóór de industriële revolutie. Het verticaal boren van ijskernen op zowel Antarctica als Groenland leverde tenslotte het antwoord, en ook nog veel meer. De sneeuw die elk jaar valt vormt een tapijt van sneeuw vermengd met lucht. Door het eigen gewicht wordt dit pakket op enkele meters diepte omgezet in ijs, en de lucht is dan als luchtbelletjes ingesloten in het ijs. Met het boren van diepe ijskernen midden op Antarctica, het Russische Vostok station (en daarna ook op diverse andere locaties, zie ook het hoofdstuk Gletsjers als klimaatarchief), is uit de ruim 3000 meter diepe ijskern het verloop van het CO_2-gehalte in de atmosfeer over meer dan 800.000 jaar afgeleid. Allereerst bleek dat in de afgelopen ruim tienduizend jaar (het Holoceen) het CO_2-gehalte relatief constant was en schommelde rond de 0,028 % oftewel 280 ppm (parts per million). Vanaf circa 1780 begon het CO_2-gehalte te stijgen. De ijskerngegevens uit de periode van ~1780 tot heden sluiten overigens zeer goed aan bij de directe CO_2 metingen die vanaf 1957 in de lucht zijn gedaan. Op grotere diepte (ouder dan tienduizend jaar) bleek dat het CO_2-gehalte tussen circa 180 en 280 ppm schommelde, met een dominante periode van ongeveer honderdduizend jaar. Deze periodiciteit is in overeenstemming met variaties van de instraling van zonlicht die ook een regelmatige afwisseling van ijstijden en warme periodes aangaven, de Milankovitch cycli. Met andere woorden: een laag CO_2-gehalte (~180 ppm) kwam overeen met een ijstijd, terwijl een hoog CO_2-gehalte (~280 ppm) samenviel met een warme periode. In de diepste ijskern van Antarctica onderscheiden we acht periodes van elk ruwweg honderdduizend jaar. Dit was één van de grote klimatologische ontdekkingen van de vorige eeuw, voortkomend uit internationale samenwerking van vooral Europese en Russische onderzoekers.

Tevens bleek dat periodes met een laag CO_2-gehalte, overeenkomend met een ijstijd, samenvielen met relatief veel stofdeeltjes in de Antarctische ijskernen. Dit verhoogde stofgehalte zou afkomstig zijn uit Patagonië, zuidelijk Afrika, en/of Australië, en dit stof zou dan dus ook deels in zee moeten zijn beland. Omdat dit fijne stof, net als de gehele aardkorst, relatief veel ijzer bevat, gemiddeld circa 4%, deed John Martin in 1988-1990 de suggestie dat het vanuit de atmosfeer aangevoerde extra ijzer uit stofdeeltjes een stimulans zou kunnen zijn voor algengroei. Omdat deze extra algengroei leidt tot de vastlegging van meer CO_2, zou er minder CO_2 in de lucht zijn beland, met een ijstijd als gevolg. Deze 'ijzer-hypothese' met betrekking tot de oorzaak van ijstijden vormt ook heden ten dage nog altijd een stimulans voor onderzoek en discussies. Bovendien werd destijds door John Martin geponeerd dat kunstmatige ijzerbemesting van de Antarctische Oceaan zou leiden tot extra opname van CO_2 uit de atmosfeer, en dat zou mogelijk de oplossing van het broeikasvraagstuk vormen. Dit concept voor een dergelijke grootschalige manipulatie van oceanen en klimaat door ijzer-bemesting was en is nog steeds onderwerp van vele en soms felle debatten. Het concept werd twintig jaar later (2007-2009) ingepast bij de (zeer uiteenlopende en niet altijd even realistische) concepten onder de nieuw gelanceerde noemer geo-engineering.

internationaal HNLC symposium in februari 1991 te San Marcos, Californië, had Anita Buma laten zien dat ook het microzoöplankton (tot 0,2 millimeter groot) in deze controle-experimenten sterk was toegenomen. Hieruit kwam de hypothese naar voren dat de predatoren, namelijk krill en het overige grote mesozooplankton (van 0,2 tot 2 millimeter groot), onbedoeld waren uitgesloten van de experimenten omdat die door hun hoge zwemsnelheid aan de flessen, die voor de monstername werden gebruikt, konden ontsnappen. Zou het niet beter zijn om de ijzerverrijkings-experimenten gewoon direct in zee uit te voeren? Dat zou in ieder geval de hierboven beschreven moeilijkheden kunnen voorkomen. Het was bekend dat intensieve algenbloeien vaak voorkomen tijdens de Antarctische lente, met name langs de smeltende randen van het zee-ijs. Vervolgens ingediende gezamenlijke projectvoorstellen van Nederland met Duitsland om dit verder te bestuderen door het wederom inzetten van Polarstern hadden succes, en ook bij de Europese Unie werden onze gezamenlijke aanvragen gehonoreerd.

Op 29 september 1992 vertrok de expeditie 'Lente aan de IJsrand' (Frühling am Eisrand; Polarstern ANT X/6) van-



uit Punta Arenas (Chili) in oostwaartse richting. Aan boord bevonden zich 43 bemanningsleden tezamen met 51 wetenschappers uit vijf Europese landen. Het Duitse team van 29 onderzoekers werd geleid door Victor Smetacek. Ook microbioloog Karin Lochte (AWI), die later directeur zou worden van het AWI, was aan boord. Het Nederlandse team bestond uit 14 NIOZ onderzoekers die gegevens verzamelden wat betreft opgelost ijzer, kooldioxide (CO_2), algendichtheid en allerlei andere variabelen (nutriënten, zuurstof, fysische eigenschappen). Ook was Jan Andries van Franeker (IBN) aan boord voor zeevogel- en zeezoogdier-observaties. Het onderzoek werd uitgevoerd langs een transect op de 6° W meridiaan. Vanaf een eerste locatie (op 13 oktober) ver zuidelijk in het dikke pakijs (6° W, 50° Z) werd in noord-zuid richting heen en weer gevaren. Over een totale afstand van ruim 1000 kilometer (van 47 tot 60° Z) werd gedurende zes weken een aantal maal het transect bevaren, tot de allerlaatste locatie (6° W, 50° Z) in de nacht van 23 november 1992. Een razendsnelle terugtrekking van het zee-ijs als gevolg van de opwarming tijdens de lente zorgde ervoor dat na ongeveer drie weken de ijsrand sterk verbrokkeld was, en na zes weken geheel verdwenen. Bij het Antarctische Polaire Front (APF), een zone aan de noordkant van het transect die de scherpe overgang van het koude Antarctische oppervlaktewater naar het warmere sub-Antarctische water markeert, werd in eerste instantie een hoge concentratie opgelost ijzer gemeten, samen met een bescheiden algenbloei en een iets verlaagd CO_2-gehalte. Drie weken later was deze situatie spectaculair veranderd. Het ijzergehalte was sterk afgenomen, er hadden zich drie aparte, zeer intensieve bloeien van grote diatomeeën (de algensoorten die 'glazen huisjes' maken van silicium, Si, zie het eerste hoofdstuk in dit thema) ontwikkeld, en exact op de locaties van deze drie grote bloeien was het CO_2-gehalte van het zeewater significant afgenomen en sterk onderverzadigd geraakt ten opzichte van de atmosfeer erboven. Dit was het ultieme bewijs: bij voldoende aanbod van opgelost ijzer kunnen de grote diatomeeën zich explosief vermenigvuldigen. Hierbij nemen ze gaandeweg zowel ijzer als CO_2 op. Het bewijs was verkregen in de ongestoorde, natuurlijke open oceaan, waardoor de eerder gesuggereerde artefacten, voortkomend uit de experimenten in flessen, uitgesloten konden worden. Niettemin boden de parallel uitgevoerde fles-experimenten van Maria van Leeuwe samen met Renate Scharek (AWI) overtuigend aanvullend bewijs. Drie onafhankelijke, in drievoud uitgevoerde ijzerverrijkingsproeven leverden een exact dezelfde en ook zeer reproduceerbare respons op, terwijl de controle-experimenten evenzeer reproduceerbaar bleken. Met deze prachtige resultaten op zak was het snel inpakken en wegwezen om op 30 november punctueel te Kaapstad te arriveren. De resultaten van afname van opgelost ijzer, samenvallend met het opbloeien van diatomeeën en een sterke CO_2-afname, allemaal in de ongestoorde open zee bij het Antarctisch Polaire Front, werden ingezonden naar Nature en, wederom, afgewezen. Het onderwerp zou niet interessant zijn voor de brede lezerskring. Dit ging de auteurs te ver, want in hetzelfde jaar waren reeds drie andere artikelen in Nature verschenen over ijzer-limitatie in de Antarctische Oceaan. Dit werd in een protestbrief gemeld, evenals de impressie dat acceptatie in Nature kennelijk omgekeerd evenredig was met de afstand van de instituten van de auteurs tot de redactie in Londen. Dit laatste werd niet gewaardeerd, want de redactie antwoordde: '...if you would only realize how seriously we take such allegations, you would not have made these in the first place.' Niettemin werd in de laatste paragraaf van de lange antwoordbrief toch de deur op een kier gezet om het artikel wederom in te sturen. Op 2 februari 1995 kwam het artikel uit in Nature en is het sindsdien een van de meest geciteerde artikelen in de geschiedenis van de polaire mariene wetenschap. De complete en uitgewerkte resultaten van de expeditie werden gepubliceerd in een serie van 23 artikelen die, samen met een CD-ROM met alle data (destijds heel modern) in 1997 uitkwamen in een speciale uitgave van Deep-Sea Research II. Gedurende de navolgende circa 20 jaar werden regelmatig gezamenlijke aanvragen van Duitse en Nederlandse onderzoekers voor gebruik van Polarstern, en voor complementaire EU subsidies, ingediend. Bij toekenning vormden deze voorstellen de basis voor de continuering van de lange onderlinge samenwerking, die tot op de dag van vandaag voortduurt (zie hieronder de meest recente 2015 en 2016 expedities).

De Pacifische zijde van de Antarctische Oceaan is zeer ver verwijderd van de continenten Afrika, Azië, Amerika en Australië. Vanwege de overheersende westelijke winden rondom Antarctica kan slechts zeer weinig stof van die continenten de Pacifische kant van de Antarctische Oceaan

bereiken. In 1995 deed zich de kans voor om mee te liften met een Polarstern expeditie (ANT XII/4; 21 maart tot 14 mei 1995) naar de verafgelegen Bellingshausen Zee. Hier werden door NIOZ onderzoekers Jeroen de Jong en Rob Nolting zeer lage gehaltes opgelost ijzer in het oppervlaktewater gemeten, in overeenstemming met bovenstaande inzichten. De expeditie ging verder in zuidwaartse richting langs de 90° W meridiaan tot het in 1821 door Fabian Gotthilf von Bellingshausen ontdekte Tsaar Peter I Eiland (69° Z, 91°W), dat ruim een eeuw later (1929) voor het eerst door twee Noren werd betreden en aansluitend door Noorwegen werd geclaimd. Nabij Peter I Eiland bleek het ijzergehalte soms iets hoger: het sindsdien vaker gevonden 'eiland-effect' van ijzerstimulering van algengroei. In dit gebied was inderdaad ook meer chlorofyl aanwezig, en ook andere indicatoren die wezen op een recente sterke bloei van algen. Tijdens een eerdere tocht in de Noordzee (in 1993) had NIOZ gastonderzoeker Martha Gledhill (Liverpool) ontdekt dat het opgeloste ijzer in zeewater grotendeels aan organische moleculen gebonden is. Voor de Bellingshausen Zee werd dit proces voor het eerst aangetoond door Rob Nolting, Martijn Swagerman en Loes Gerringa. Maria van Leeuwe deed metingen aan de fotopigmenten van de algen en vond regulering van de pigment-samenstelling door hogere of lagere beschikbaarheid van ijzer. Dit werd vastgesteld tijdens kortdurende ijzerverrijkingsexperimen-

Onderzoekers Maria van Leeuwe, Bettina Löscher, Jeroen de Jong en Hein de Baar nemen monsters vanuit de rubberboot van water en ijsbrokken en bepalen aldus dat ijsbergen een bron van ijzer zijn. De ijsberg steekt ruim 120 meter boven zeeniveau uit. Cover foto van Nature, uitgave 2 februari 1995. Andere Nederlanders aan boord bij 1992 'Lente aan de IJsrand' waren Jan Andries van Franeker (IBN), en NIOZ collega's Dorothee Bakker, Karel Bakker, Ronald de Koster, Santiago Gonzalez, Bouwe Kuipers, Rinus Manuels, Sven Ober, Joop Rommets, Michel Stoll. Foto: Kees Veth.





Hoofdelementen, spoorelementen en ecologie

Elke levende cel, dus ook een eencellige alg, bevat als bouwstenen vooral de hoofdelementen koolstof (C), stikstof (N) en fosfor (P). De diatomeeën oftewel kiezelwieren vormen een belangrijke algengroep die ook nog het hoofdelement silicium (Si) nodig hebben voor de bouw van hun externe kiezelskelet (zie eerder hoofdstuk binnen dit thema). De grote diatomeeën die een sleutelrol spelen in het Antarctische voedselweb gebruiken veel Si, vaak twee- tot driemaal zoveel als N. Elke levende cel heeft ook zogenaamde spoorelementen nodig, vooral als co-factor in enzymen. Enzymen zijn biologische moleculen die ervoor zorgen dat biochemische reacties in levende cellen veel sneller verlopen, soms wel een miljoen maal sneller dan zonder het enzym. Het zestal essentiële (dus onmisbare) spoorelementen is, in volgorde van belangrijkheid voor de biochemie: ijzer (Fe), zink (Zn), mangaan (Mn), cobalt (Co), koper (Cu) en nikkel (Ni). Vooral ijzer is van groot belang in allerhande biochemische processen: het electronentransport in de fotosynthese, de omzetting van opgenomen nitraat naar uiteindelijk aminozuren, en de synthese van chlorofyl, het groene pigment dat essentieel is voor het invangen van zonlicht voor fotosynthese. Hoewel ijzer allerlei functies heeft, bevat een cel toch relatief weinig ijzer, vergeleken met de koolstofbehoefte: deze verhouding ligt in de orde van 1 atoom ijzer per ongeveer 25.000 atomen koolstof. De exacte verhouding is echter niet goed bekend en daarom onderwerp van veel actueel onderzoek en debat. Inmiddels weten we zeker dat algen door gebrek aan ijzer in 40% van het oceanisch oppervlaktewater minder goed groeien. De Antarctische Oceaan neemt door zijn enorme oppervlak hiervan ongeveer de helft voor zijn rekening. De mariene algen vormen de basis van het Antarctische voedselweb, want er groeien niet of nauwelijks planten op het volledig ijsbedekte continent van Antarctica. Je kunt dus stellen dat de populaties van krill, pinguïns, albatrosssen, zeehonden tot en met walvissen uiteindelijk worden gereguleerd door de beschikbaarheid van ijzer voor de groei van algen rondom Antarctica.

ten, uitgevoerd in samenwerking met Klaas Timmermans, waarin vele aanpassingen van de algen als functie van het ijzergehalte werden gevonden, met name stimulering van de assimilatie van stikstof (nitraat) uit zeewater.

Een volgende Polarstern expeditie (ANT XIII/2, 4 december 1995 tot 24 januari 1996) ten zuiden van Afrika, wederom onder leiding van Victor Smetacek, richtte zich op de dynamiek van het meanderende Antarctische Polaire Front (APF) waar in 1992 grote algenbloeien waren ontdekt. Deze expeditie combineerde onderzoek met de bevoorrading en uitwisseling van de staf van de Duitse basis Neumayer. Naast de 44-koppige bemanning bevonden zich 45 onderzoekers en 24 staf/onderzoekers voor Neumayer aan boord. Neumayer is gelegen op een honderden meters dikke ijsplaat die circa 45 kilometer de zee in steekt. De 'open' zee begint op circa 15 km afstand van Neumayer, maar het merendeel van het jaar is deze bedekt met dikke pakketten opgestuwd zee-ijs. Elke expeditie heeft te maken met wisselvallige ijscondities en mogelijke stormen. Kordate besluiten, eventueel snel weer aangepast aan nieuwe wind- en ijscondities, zijn een absolute vereiste. Gekozen werd om eerst de staf en bevoorrading naar Neumayer (71° Z, 8° W) te brengen. Nabij Neumayer bleek echter een zeer brede strook pakijs te liggen, die zelfs na intensieve pogingen met de ijsbreker geen doorgang bood. Er zat niets anders op dan terug te keren naar het Antarctische Polaire Front (APF op ~50° Z, 10° O) en het later in het seizoen nog eens te proberen. Aldus verdween tweemaal vijf dagen onderzoek als sneeuw voor de zon. De resterende vijftien onderzoeksdagen werden besteed aan oceanografische 3-D kartering van een relatief klein gebied (~100 bij 100 km, bij een waterdiepte van 400 meter). Edwin de Jong en Ingrid Zondervan deden hier CO_2-metingen. Verder bepaalden Jeroen de Jong en Johan den Das het ijzergehalte, terwijl Jan Andries van Franeker samen met Nico van den Brink tellingen van zeevogels en zeezoogdieren uitvoerde. De dynamiek van het meanderende APF bleek de dominante factor te zijn die alle chemie (CO_2, Fe) en de gehele biologie bepaalde, van de algen en de krill tot en met de toppers in de voedselketen, de zeevogels en zeezoogdieren. Op 7 januari 1996 werd het onderzoek onderbroken om weer een poging te doen



Neumayer te bereiken. Vijf dagen later bleek het pakijs in de buurt van Neumayer nog altijd ondoordringbaar, maar verder westwaarts bleek het gelukkig toch mogelijk om de ice-sheet van het continent te bereiken en alle voorraden en brandstof te deponeren, om ten slotte volgens plan op 24 januari in Kaapstad terug te keren.

De gemeten stijging van het CO_2-gehalte van de atmosfeer is weliswaar snel en verontrustend, maar desalniettemin circa 30 procent langzamer dan op grond van de jaarlijkse emissies uit fossiele brandstoffen te verwachten is. De gedachte was dat die missende 30 procent door de oceanen wordt opgenomen. Vanuit het NIOZ werd daarom in 1998 het initiatief genomen voor een programma van de Europese Unie, waarin instituten uit zes landen zouden samenwerken, met als centraal thema 'Carbondioxide Uptake in the Southern Ocean' (CARUSO). Het was eerder opgevallen dat programmavoorstellen met een mooie acronym meer kans van slagen leken te hebben, vandaar CARUSO. De allereerste voorbereidende workshop begon met het afspelen van 'La donna è mobile', een opname van Enrico Caruso uit 1903. Dit leidde overigens tot enige hilariteit want de tekst bleek haaks te staan op de 'gender equality' die elk EU project dient na te streven. Reeds bij het eerder genoemde HNLC symposium in 1991 werd overwogen of het beter zou zijn om een deel van de oceaan ter plekke (*in situ*) met ijzer te bemesten om te zien of dit zou leiden tot een oase van algengroei en hieraan gekoppeld een netto opname van CO_2 uit de atmosfeer. Dit zou, zoals eerder besproken, nauwkeuriger resultaten moeten opleveren dan de experimenten in grote flessen. Spoedig daarna, in 1993 en 1994, werden twee *in situ* ijzerbemestingsexperimenten uitgevoerd door Amerikaanse collega's nabij de evenaar van de Stille Oceaan, ook een natuurlijk HNLC gebied. In 1999 volgde het allereerste *in situ* experiment in de Antarctische Oceaan door collega's uit Nieuw Zeeland. Nu kon Europa natuurlijk niet achterblijven. In 1999 werd een verkennende vaartocht (ANT XVI/3) uitgevoerd met EU–CARUSO bijdragen in het beoogde gebied (20ºO) tussen Zuid Afrika en Antarctica. De Polarstern vertrok op 18 maart 1999 uit Kaapstad met aan boord 43 bemanningsleden en 48 wetenschappers onder leiding van (wederom) AWI-onderzoeker Victor Smetacek. Een grote groep Nederlandse onderzoekers was mee voor metingen aan algen, ijzerconcentratie en CO_2-opname. Santiago Gonzalez was de operator van de zogenaamde NIOZ-SCANFISH, een instrument dat door het schip wordt voortgetrokken en in de bovenste 250 meter van de oceaan op een neer beweegt. Tijdens deze bewegingen brengt de SCANFISH de dynamiek van de stromingen in beeld, wat belangrijke informatie oplevert wat betreft de locatie van het ijzerverrijkingsexperiment. Zowel in een relatief kleine 3-D studie (250 m diepte, rondom ~50º Z, 20º O) op het Antarctische Polaire Front, als langs een complete sectie tot aan de rand van het Antarctische continent (70º Z), bleek dat niet alleen ijzergebrek maar vooral ook lichtlimitatie een rol speelt bij de beperking van de algengroei. Op 10 mei keerde de Polarstern weer terug naar Kaapstad. Tijdens de tocht werden ook grote volumes (zes vaten van elk 1000 liter) ultraschoon (niet van buitenaf 'vervuild' door bijvoorbeeld ijzer) Antarctisch zeewater ingezameld. Op het NIOZ werden hiermee proeven gedaan door Klaas Timmermans, Bas van der Wagt en Margaret Davey om de unieke respons van individuele diatomeeënsoorten op ijzer-toevoeging aan natuurlijk zeewater te kwantificeren. Grotere soorten diatomeeën bleken relatief veel opgelost ijzer uit het omringende zeewater nodig te hebben voor een optimale groei.

Het *in situ* ijzerbemestings-experiment 'EisenEX(periment)' in het kader van het EU-CARUSO project vond plaats bij het APF pal ten zuiden van Afrika (48º Z, 20º O) tussen 25 oktober en 5 december 2000. Onder de 54 wetenschappers van 15 verschillende nationaliteiten bevond zich een groot 'Nederlands' team van 15 wetenschappers, dat overigens uit 6 nationaliteiten bestond. Na een eerste verkennende meting met de NIOZ SCANFISH door Santiago Gonzalez werd een gebied van 50 vierkante kilometer (~7 bij 7 km^2) oppervlakte gedurende 15 uur verrijkt met opgelost ijzer waardoor de ijzerconcentratie in zeewater ongeveer met een factor 100 toenam. De respons van de algen was al na 24 uur zichtbaar, vooral wat betreft hun fotofysiologie (werking van het fotosynthese-proces), maar ook door een (kleine) afname van het CO_2-gehalte. Tijdens het experiment vonden twee zware stormen plaats die, samen met de dynamiek van het APF, leidden tot een twintig-maal vergroot oppervlakte van het verrijkingsgebied en een navenante 'verdunning' van de verrijking in termen van ijzer en algenconcentratie. Ook de diepte van de menglaag (Wind Mixed Layer, WML) nam toe van circa 40 meter tot ruim



90 meter. Deze diepe verticale menging als gevolg van de stormen is ongunstig voor algen, want het organisme ontvangt dan gemiddeld genomen minder zonlicht. Niettemin vormde zich al na 20 dagen een oase, en de groenere kleur van het zeeoppervlak werd ook door een satelliet duidelijk waargenomen. Ondanks de verstoring van de zware stormen was het experiment een groot succes. Inmiddels waren wereldwijd zeven van dergelijke experimenten uitgevoerd en in 2005 verscheen een synthese-artikel van alle experimenten door een internationaal team van 35 auteurs. In alle experimenten had het toegevoegde ijzer een stimulerend effect op de groei van vooral de grotere algensoorten, met als gevolg een navenant verhoogde opname van CO_2 door de algen en dus een afname van CO_2 in het oppervlaktewater. Gecombineerd lieten de zeven experimenten zien dat vooral de diepte van de WML van doorslaggevend belang is voor de respons van het ecosysteem op de ijzertoevoeging: hoe dieper de WML, hoe ongunstiger het lichtklimaat voor algengroei is. In de Antarctische Oceaan is de WML als gevolg van de vele stormen die kenmerkend zijn voor de 'roaring forties' en de 'furious fifties' vaak zeer diep, waardoor de groei van algen dus mogelijk sterker wordt gelimiteerd door een gebrek aan licht dan door een tekort aan ijzer, maar beiden spelen hoe dan ook een sleutelrol.

In 2004 voerde Victor Smetacek (AWI) met een groot team nogmaals een *in situ* ijzerbemestings-experiment uit in de Antarctische Oceaan, EIFEX. Deze keer namen drie NIOZ-onderzoekers deel. Santiago Gonzalez was wederom operator van de NIOZ-SCANFISH, terwijl Jesus Arrieta en Gerhard Herndl de respons van bacteriën bestudeerden. Tijdens EIFEX was de Polarstern voor een langere, aaneengesloten periode beschikbaar en derhalve duurde het experiment een volle maand. Hierdoor kon na een grote bloei van diatomeeën ook het abrupte einde van de bloei, gevolgd door massale algenmortaliteit en het daarna snel afzinken van het dode algenmateriaal in kaart worden gebracht.

Satellietfoto's van de Zuidelijke Oceaan vertonen vaak enigszins groenere wateren rondom eilanden. Dit zogenaamde 'eiland-effect' zou het gevolg kunnen zijn van extra ijzer dat uit de ondiepere bodem nabij de eilanden afkomstig is. Om dit te onderzoeken namen Loes Gerringa,



Het werk gaat dag en nacht door. Van links naar rechts Peter Croot, Fenneke Brocken, Klaas Timmermans en Tim van Ooijen. Andere Nederlandse deelnemers tijdens ANT XVI/3 in 1999 waren Jan Andries van Franeker, Nico van den Brink, Ronald Visser, Marcel Veldhuis, Maria van Leeuwe, Santiago Gonzalez, Jeroen de Jong, Bas van der Wagt, Veronique Schoemann en NIOZ gastonderzoekers Marie Boye (Liverpool) en Margaret Davey (Plymouth). Foto: Bas van der Wagt.

Klaas Timmermans, Corina Brussaard, Marcel Veldhuis en Patrick Laan in 2005 deel aan een Franse expeditie naar de Kerguelen eilanden aan boord van de ijsbreker Marion Dufresne II. Het NIOZ-team verzorgde alle apparatuur voor schone monstername van het zeewater. Inderdaad werd een toename in het gehalte opgelost ijzer nabij de eilanden gevonden. Het ijzergehalte bleek bovendien sterk toe te nemen vlak boven de zeebodem, wat een duidelijk bewijs vormde voor bovengenoemde theorie.

Het vierde International Polar Year (IPY) in 2007-2008 vormde een stimulans voor internationale samenwerking alsmede door beschikbaarheid van extra IPY financiering voor polair onderzoek. Nu de rol van ijzer en ook andere essentiële spoorelementen met betrekking tot de groei van algen was bewezen kwam er meer belangstelling voor de horizontale en verticale verdelingen van deze spoormetalen in de poolzeeën. Tot dan toe waren er hier en daar sporadisch enkele metingen verricht, maar het overgrote deel van de poolzeeën was in dit opzicht een witte vlek op de kaart. De

timing van het IPY was bovendien ideaal, want het GEOTRACES programma voor de studie van spoorelementen in de oceanen was net begonnen, en vanuit het NIOZ werd daarom IPY-GEOTRACES opgezet om deel te nemen aan expedities georganiseerd door Australië, Canada, Duitsland/Nederland en Frankrijk. Onderzoekers en technici van het NIOZ ontwikkelden hiervoor een gloednieuw ijzervrij systeem om snel schone watermonsters te kunnen nemen, waarbij het risico van contaminatie door het materiaal zelf of het schip tot een minimum kon worden beperkt. Dit TITAN systeem – geheel gemaakt van titanium en uitgerust met 24 plastic waterscheppers – wordt aan een zeer sterke plastic (aramide) kabel tot vlak boven de zeebodem (4-6 km diepte) getakeld. Vervolgens worden tijdens het ophalen de 24 waterscheppers op vooraf bepaalde dieptes gesloten, en aldus een verticaal profiel bepaald.

De eerste IPY-GEOTRACES expeditie van het NIOZ 'A-Team' ging in de zomer van 2007 aan boord van de Polarstern op weg naar het Noordpoolgebied. Vanwege de opwarming van de gehele aarde, en vooral door de versterkte opwarming van het Noordpoolgebied, is de zomerbedekking van zee-ijs in de Arctische Oceaan zeer sterk afgenomen. De effecten van het afsmelten van het zee-ijs op de

Lier

Tijdens het Eisenex experiment sloeg in een zeer zware storm de gele NIOZ lier (zie foto vorige pagina) met de schone witte kunststof kabel los, waarbij deze dwars over dek schoof en zwaar beschadigd raakte. Ook stonden elektrische schakelkasten vol zeewater. Gelukkig bracht de stilte na de storm soelaas: de scheepswerktuigkundigen uit de machinekamer van de Polarstern repareerden in hun schone overalls binnen een halve dag alle schade, zodat we in de namiddag alweer nieuwe monsters konden nemen.



Van links naar rechts Jun Nishioka, Klaas Timmermans, Peter Croot en Patrick Laan nemen een schone waterschepper gevuld met 12 liter zeewater van de kunststof kabel. De andere Nederlandse deelnemers aan het Eisenex experiment in 2000 tijdens Polarstern tocht ANT XVIII/2 waren Jesus Arrieta, Dorothee Bakker, Marie Boye, Yann Bozec, Hein de Baar, Astrid Fischer, Santiago Gonzalez, Koos Kroon, Micha Rijkenberg, Tim van Oijen, Marcel Veldhuis en Markus Weinbauer. Foto: collectie Hein de Baar.



Het TITAN titanium frame met 24 plastic waterscheppers wordt naar binnen gebracht in de eigen ultraschone laboratorium container. Rechts NIOZ technicus Willem Polman. Links van de witte container is de grijze stalen extra 'vangrails' te zien die bescherming biedt tegen zware golven van opzij. Bij een eerdere expeditie werd een NIOZ container op deze plek namelijk diep ingedeukt door een grote golf. De foto is genomen in februari 2008 tijdens de Polarstern ANT XXIV/3 expeditie op weg naar Neumayer Station, Antarctica. Foto: Hein de Baar.



chemie en biologie van het Arctische mariene ecosysteem zijn nu een zeer actueel thema voor onderzoek. Terwijl de Polarstern altijd al tijdens de zomers van het noordelijk halfrond onderzoek deed in het Arctische gebied, zien we dat andere organisaties die vooral gericht waren op Antarctica, nu ook steeds meer hun onderzoeksteams en schepen inzetten in het Arctische gebied. In de Arctische Oceaan werd in de zomer van 2007 het nieuwe TITAN-systeem 58 keer met succes naar 3-5 kilometer diepte gebracht, en de gehaltes van opgelost ijzer en andere spoormetalen werden nauwkeurig gemeten in circa 1300 watermonsters. Deze expeditie leverde aldus de allereerste metingen van spoormetalen in de centrale Arctische Oceaan. De bovenste zoetere waterlaag bleek een vrij hoog gehalte opgelost ijzer te bevatten; dit ijzer wordt door de Siberische rivieren aangevoerd en komt vervolgens in de zogeheten 'Transpolar Drift' van het oppervlaktewater terecht, op weg naar de centrale Arctische Oceaan. In het diepe water vond men tot ieders verbazing een zeer grote, honderden kilometers brede 'pluim' van ijzer-verrijkt water als gevolg van hydrothermale 'fonteinen' op de Gakkel Ridge. Het was al langer bekend dat deze onderzeese bergrug tektonisch actief is (bijvoorbeeld door seismische activiteit), maar een dergelijk uitgebreide ijzerverrijkte pluim van diep water had niemand verwacht. Tevens werden metingen uitgevoerd van het toenemende CO_2-gehalte van de Arctische Oceaan. Deze toename is het gevolg van opname door de oceanen van de extra CO_2 uit fossiele brandstoffen via de atmosfeer.

De tweede expeditie in het kader van IPY-GEOTRACES vertrok begin februari 2008 uit Kaapstad langs de nul-meridiaan naar Neumayer Station, Antarctica. De monstername verliep prima; het ijzergehalte van het oppervlaktewater was extreem laag, dus limiterend voor de algengroei. Nabij Bouvet Eiland (bovenop een diepzee-driesprong, waar drie diepzee-bergruggen elkaar ontmoeten) werd ook een enorme pluim van hydrothermaal ijzerverrijkt diep water gemeten.
Tijdens de zonsopgang op zondag 2 maart arriveerde de Polarstern bij de Antarctische ijsrand waarna een helikopter richting Neumayer Station vertrok. De helikopter verongelukte en de twee personen op de voorstoelen, NIOZ technicus Willem Polman en de piloot, Stefan Winter, verloren het leven. Zittend op de achterbank raakten de jonge onderzoekers Maarten Klunder en Alice Renault (Frankrijk) zwaar gewond. De helikoptertechnicus Carsten Möllendorf was minder ernstig gewond en daardoor wist hij de twee overlevenden uit het wrak te halen en radiocontact te maken. Dankzij de snelle hulp en uitstekende medische verzorging door drie artsen en twee verpleegkundigen van het schip en de basis overleefden alle drie het ongeval. De expeditie lag stil totdat op woensdag 5 maart de drie gewonden per klein vliegtuig naar de 800 kilometer verderop gelegen Russische basis Novolazarevskaja konden worden geëvacueerd, en vandaar per straalvliegtuig naar Kaapstad. Nog diezelfde dag vertrok de Polarstern voor het afronden van de metingen langs de nulmeridiaan, waarna de expeditie oostwaarts werd voortgezet, dwars door de Weddellzee. Hier werd in het eerste oostelijke gebied een uitbundige hoeveelheid keizerpinguïns, zeehonden en dwergvinvissen aangetroffen. Door het zeer dikke zee-ijs was de voortgang traag, en vele geplande posities voor monstername midden in de Weddellzee moesten worden overgeslagen om toch volgens plan op 30 maart te kunnen arriveren in Admiralty Bay, King George Island, gelegen net ten noorden van het Antarctische schiereiland. Hier stonden acht Franse en Koreaanse onderzoekers reeds klaar om metingen van stroomsnelheden van de Antarctic Circumpolar Current te gaan doen tijdens de oversteek van de Drake Passage. Acht reeds aan boord zijnde wetenschappers zouden per vliegtuig vertrekken, maar door de ongunstige ijscondities op de landingsbaan kwam hun vlucht vanuit King George Island te vervallen. Met een hierdoor wat voller schip (104 personen) begon de oversteek van de Drake Passage, om ten slotte op 16 april in Punta Arenas (Chili) te arriveren. De wetenschappers aan boord besloten gezamenlijk een speciale uitgave van Deep-Sea Research te produceren ter ere van en nagedachtenis aan de twee omgekomen collega's, die in december 2011 verscheen. De expeditie was weliswaar een wetenschappelijk succes, maar de prijs was natuurlijk veel te hoog.

De permanente ijskap op Antarctica is min of meer in balans: de sneeuw die er jaarlijks bovenop valt wordt weer gecompenseerd door gletsjers die aan de randen van het continent traag in zee stromen. De dikke ijskap strekt zich vele kilometers over de zee uit als een drijvende ijsplaat, en aan de rand daarvan brokkelen regelmatig ijsbergen af. Deze ijsplaten steunen op sommige locaties op een rotspunt



Het NIOZ 'A-Team' op het zee-ijs nabij de Noordpool. Staande v.l.n.r. Rob Middag, Karel Bakker, Patrick Laan, Maarten Klunder; voorgrond Lorendz Boom, Charles-Edouard Thuróczy, Sven Ober. Polarstern expeditie ARK XXII/2, juli-oktober 2007. Foto: Karel Bakker.

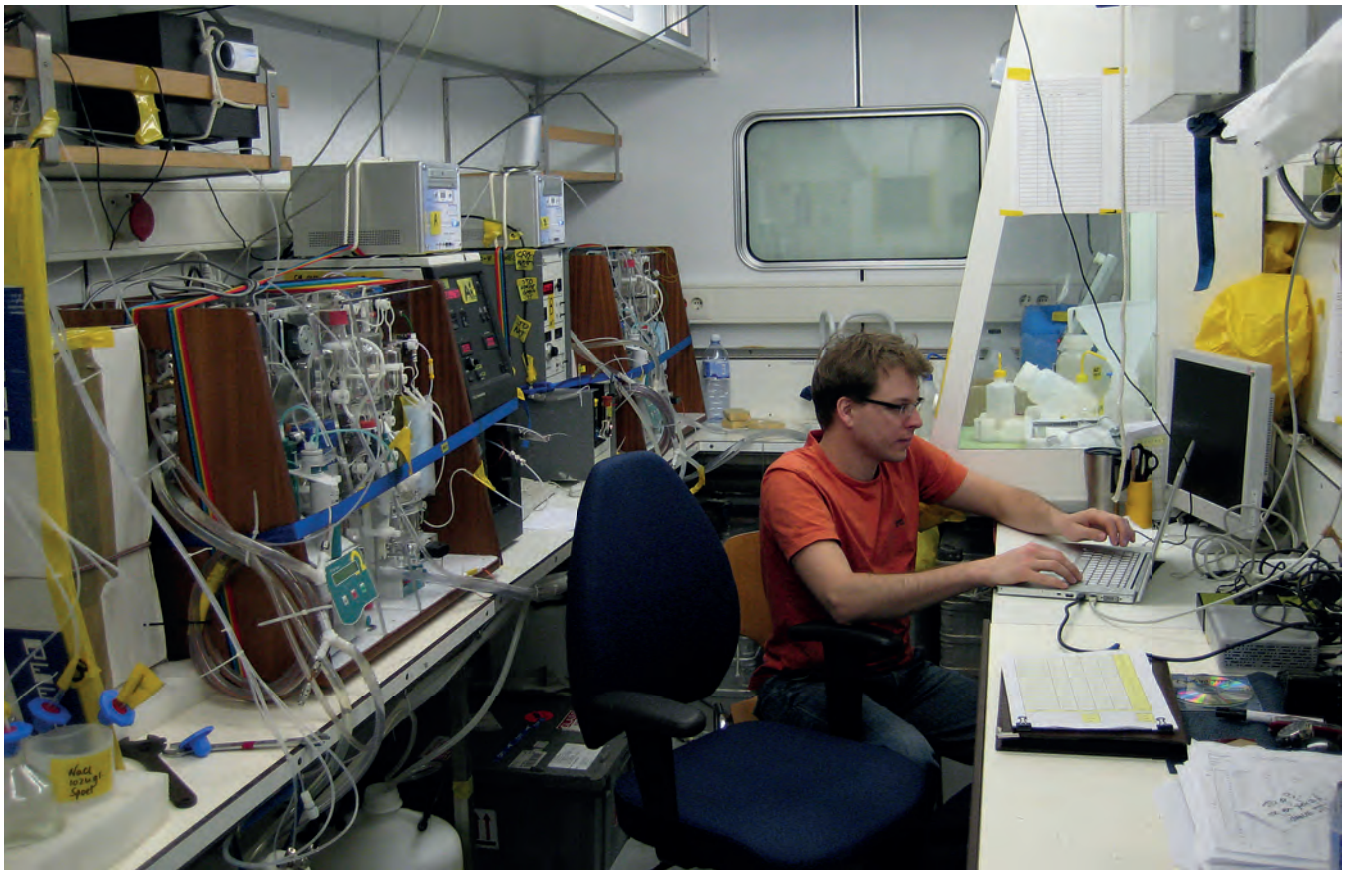
of een eiland. Bij West Antarctica is recentelijk het zeewater echter zodanig opgewarmd dat op een aantal locaties de zeewatertemperatuur tot iets boven het vriespunt is gestegen. Dit warmere water smelt de ijsplaten van onderen af, wat soms leidt tot het geheel opbreken ervan. In zo'n geval 'voelt' de achterliggende gletsjer ineens veel minder weerstand en gaat dus sneller naar zee stromen. De Pine Island Gletsjer is hiervan een voorbeeld; het is momenteel de snelst stromende gletsjer van Antarctica. In 2009 voeren Anne-Carlijn Alderkamp, Loes Gerringa, Charles-Edouard Thuroczy en Patrick Laan samen met Amerikaanse collega's van Stanford University op de ijsbreker Nathaniel Palmer (USA Polar Program) naar de Pine Island Gletsjer in de Amundsenzee. Metingen met een onbemand duikbootje onder de gletsjer lieten duidelijk zien dat de temperatuur van het zeewater was gestegen, waardoor de gletsjer van onderen afsmolt. De gletsjer bleek ook grote hoeveelheden opgelost ijzer naar zee te vervoeren door erosie van de rotsbodems. Dit extra opgeloste ijzer stroomt met het zoetere en dus relatief lichte gletsjerwater als oppervlaktewater ver de Amundsenzee in en is de oorzaak van grote algenbloeien. De samenwerking met de collega's van Stanford beviel zo goed dat in 2014 nogmaals werd deelgenomen aan twee expedities (januari en november) met het schip de Nathaniel Palmer, beide naar de Ross Zee. Hier werden extreem lage gehaltes opgelost ijzer gemeten.

De Polarstern is uitgerust met een Nederlands instrument voor volautomatische continu-metingen van CO_2 in het oppervlaktewater, in de context van een internationaal programma waarbij vergelijkbare metingen worden uitgevoerd aan boord van 'ships of opportunity'. De metingen met de Polarstern zijn hierbij zeer waardevol omdat in de poolgebieden vrijwel geen andere schepen aanwezig zijn, zeker niet daar waar er veel zee-ijs aanwezig is. Metingen van de toename van CO_2 in diepe wateren van de Antarctische Oceaan maken al veel langer, namelijk sinds 1992, deel uit van de AWI-NIOZ samenwerking, gecoördineerd door

Mario Hoppema van het AWI, waarbij zich Nederlandse apparatuur aan boord van Polarstern bevindt. Regelmatig varen Nederlandse onderzoekers met de Polarstern mee om het CO_2-gehalte te bepalen, naast het gehalte opgelost zuurstof en de voedingsstoffen nitraat, fosfaat en silicaat. Samen met enkele eerdere andere metingen is er momenteel een tijd-serie van bijna 40 jaar van de CO_2-toename van in het diepe water beschikbaar. Met name in het bodemwater van de Weddellzee is een snelle toename in CO_2 waarneembaar. Het bezoek in 2009 van (toen nog) Prins Willem Alexander en Prinses Maxima aan Rothera Research Station, Antarctica, vormde een stimulans voor de samenwerking van de British Antarctic Survey (BAS) met het Nederlandse Polaire Programma van NWO. Besloten werd tot de bouw van het Nederlandse Dirck Gerritsz Laboratorium, vernoemd naar de zeekapitein die in 1599 met zijn schip De Blijde Boodschap ver naar het zuiden was afgedreven en aldus de eerste mens werd die het continent Antarctica aanschouwde. Dit gebied stond tot ver in de negentiende eeuw bekend als de Dirck Gerritsz Archipel, bestaande uit de eilanden

Bezoek van één van de drie bultrugwalvissen aan het schip, die gedrieën een fascinerende duikshow van circa 40 minuten lieten zien nabij de nulmeridiaan, februari 2008. Nederlandse deelnemers aan Polarstern expeditie ANT XXIV/3 waren Willem Polman, Erwin Frijling, Patrick Laan, Maarten Klunder, Steven van Heuven, Anne-Carlijn Alderkamp, Babette Bontes, Jan van Ooijen, Claire Evans, Rob Middag, Sven Ober, Hans Slagter, Cees van Slooten, Charles-Edouard Thuróczy, Loes Gerringa, Ika Neven, Hein de Baar. Foto: Alexandra Gronholz.





Steven van Heuven aan het werk in zijn meetcontainer tijdens de Polarstern 2008 expeditie ANT XXIV/3. Achter Steven staan de twee identieke 'analyzers' voor metingen van het CO_2-gehalte in duizenden watermonsters in de Zuidelijke Oceaan. Tijdens deze en andere expeditie werden zulke metingen uitgevoerd door Jan Belgers en Mario Hoppema (1992), Dorothee Bakker (1991, 1992, 2002/2003), Karel Bakker (1992, 1996, 1998, 2010/2011), Nicola Clargo (2013/2014), Edwin de Jong (1995/1996), Bram Majoor (1993/1994; 1994, 1995), Michel Stoll (1992, 1996), Ronald Visser (1999), Rob Middag (2005), Evaline van Weerlee (2005), Elizabeth Jones (2010/2011; 2012, 2013/2014, 2015), Lesley Salt (2012), Steven van Heuven (2006, 2008) en Hans Slagter (2008). Foto: Hein de Baar.

ten westen van het Antarctisch schiereiland. Zuidwaarts hiervan, op Adelaide Island, ligt nu de Britse basis Rothera. Het Dirck Gerritsz gebouw werd in 2011/2012 geplaatst en vormt het onderkomen voor vier zeer goed geïsoleerde laboratoriumcontainers die door het NIOZ samen met koeltechnisch bedrijf JM Services zijn ontworpen en gebouwd. De containers zijn genoemd naar het schip Blijde Boodschap, en de drie andere schepen Geloof, Hoop en Liefde van de oorspronkelijke vloot waarmee Dirck Gerritsz de zuidelijke oceanen bevoer. In januari 2013 werd het Dirck Gerritsz Laboratorium officieel geopend en sindsdien zijn er vier projecten gaande, gericht op de processen in de Marguerite Baai, en een vijfde project gericht op de massabalans van de ijskap van West-Antarctica. De interactie tussen het plankton in de baai en het ijzer voor algengroei is inmiddels gedurende de zomerseizoenen (november – maart) bestudeerd, tezamen met gerelateerde projecten gericht op algenproductiviteit en -diversiteit, virus-plankton interacties en de productie van het klimaatgas DMS door algen. Overwinteraars nemen in de overige maanden wekelijks monsters, 'ijs en weder dienende' (letterlijk). Inmiddels is er nog een extra project bijgekomen waarin Elizabeth Jones in de pe-

riode 2013-2016 metingen doet van de opname van CO_2 in de baai en het effect daarvan op het plankton.

Na onze eerste Arctische expeditie in het International Polar Year 2007 (zie boven) kreeg het thema van snel afnemende zomerbedekking van zee-ijs in de Arctische Oceaan nog meer aandacht. De effecten van het afsmelten van zee-ijs op de biologie in de Arctische Oceaan waren het onderwerp van een Polarstern expeditie in de zomer van 2012. Karel Bakker, Charles-Edouard Thuróczy en Marie Le Guitton voerden metingen uit aan het voorkomen van voedingsstoffen en de beschikbaarheid van ijzer in het zee-ijs. Onder het ooit ruim aanwezige meerjarige zee-ijs kwamen lange slierten (macro)-algen voor, vastgehecht aan de onderzijde van het ijs, maar het meerjarige ijs is sterk afgenomen, en tijdens de expeditie bleek dat deze algen inmiddels massaal waren afgezonken naar de zeebodem en daar lagen te verrotten. Deze dramatische verandering werd in 2013 in Science gepubliceerd. Regelmatige terugkeer naar de Arctische Oceaan is van groot wetenschappelijk belang vanwege de grote veranderingen die nu plaatsvinden als gevolg van de sterke opwarming. Aldus werd weer een gezamenlijk Duits-Nederlands voorstel ingediend voor gebruik van Polarstern in de achtereenvolgende zomers 2015 en 2016.

In de zomer van 2015 vond een synchrone GEOTRACES studie plaats van spoorelementen en CO_2-toename in de Arctische Oceaan door drie schepen (Canada, Duitsland en de Verenigde Staten). De Polarstern vertrok 13 augustus 2015 uit Tromsø met wederom een Nederlands team aan boord, voor metingen in het naast Europa en Azië aangrenzende deel van de centrale Arctische Oceaan. Canada en de Verenigde Staten bestreken vanaf de Beaufort Zee respectievelijk de Bering Straat het westelijke deel van de Arctische Oceaan. Vergelijkingen met de eerdere IPY 2007 expeditie zijn bedoeld om het toenemende CO_2-gehalte te kunnen aantonen, en wie weet zijn er ook veranderingen van de diverse spoormetalen waarneembaar over deze periode (2007-2015). Op 7 september 2015 bereikte de Polarstern de geografische Noordpool. De kompasnaald draaide als een gek in de rondte, naar verwachting, en diverse computerschermen op de brug hadden de kans te laten zien of hun software wel of niet in staat was om te gaan met de exacte 90 graden Noord positie. Voor intercalibratie van de opgeloste spoormetalen, en van vele andere metingen, was ook de ijsbreker Healy (US Coast Guard) reeds aangemeerd aan een ijsplaat op de exacte Noordpool. Polarstern legde aan dezelfde ijsplaat aan en de opvarenden van beide schepen konden over het ijs een bezoek brengen aan het andere

Panorama-uitzicht in de zomer (januari) vanuit het Rothera Research Station. Middenvoor de schijnbaar gebogen maar toch rechte landingsbaan voor vliegtuigen vanuit Zuid Amerika. Vanaf Rothera vliegt men ook verder naar andere bases op Antarctica. Geheel links het Dirck Gerritsz Laboratorium, met daarnaast het lange, iets lagere Bonner Laboratorium, en in de achtergrond de Marguerite Baai met daarachter, iets links van het midden, de Sheldon gletsjer. Foto: Johann Bown.





Het Nederlandse team exact op de Noordpool, 7 september 2015 tijdens Polarstern expeditie PS94 (TransArc-II). Van links naar rechts: Hans Slagter (NIOZ), Michiel Rutgers van der Loeff (AWI), Micha Rijkenberg (NIOZ), Jan van Ooijen (NIOZ), Harold Jager (Nederlandse helicopterpiloot in dienst van Heliservice (Duitsland)), Loes Gerringa (NIOZ), Elizabeth Jones (Rijksuniversiteit Groningen, voorheen ook NIOZ), Sven Ober (NIOZ). Foto: Hans Slagter.

schip. Dagen tevoren was reeds een wegwijzer geknutseld met de afstanden naar ieders woonplaats, vlaggen werden gereed gelegd en de Glühwein opgewarmd.
Na afronding van de intercalibraties vertrok elke schip weer vanaf de Noordpool, elk haar eigen weg zoekend over de lange Arctic Ocean transecten. Polarstern keerde 15 oktober terug in Bremerhaven.
In 2016 zal Nederland deelnemen aan een tweede Polarstern expeditie naar de Barentsz Zee en naar de Fram Strait, tussen Spitsbergen en Groenland.





Zee-ijs: meer dan een witte deken over de donkere oceaan

Jacqueline Stefels, Veronique Schoemann, Hauke Flores

Met een oppervlak variërend tussen de 18 en 25 miljoen vierkante kilometer vormt zee-ijs één van de grootste ecosystemen ter wereld. Ter vergelijking: alle regenwouden bij elkaar hebben een oppervlak van ca. 18 miljoen vierkante kilometer; alle woestijnen en half-woestijnen bij elkaar ca. 25 miljoen. De ijsbedekking is in de winter het grootst; 's zomers smelten grote delen weer weg. In het Zuidpoolgebied blijft ca. 3 miljoen km^2 over, terwijl in het Arctisch gebied steeds minder overblijft: vroeger was dit zo'n acht miljoen km^2, terwijl tegenwoordig de zomerbedekking ca. vier miljoen km^2 bedraagt.

Voor het klimaat op aarde is de omvang van het witte ijsoppervlak van groot belang, omdat het in hoge mate zonlicht reflecteert. Dit in tegenstelling tot het donkere oceaanwater dat het merendeel van het zonlicht absorbeert. Het gevolg van deze belangrijke eigenschap van zee-ijs is dat het de polen beschermt tegen opwarming door de zon. Vanwege klimaatverandering is het zee-ijs in het Arctische gebied echter aan het smelten. Hierdoor komt het zeewater eronder bloot te liggen en wordt daardoor sneller door de zon opgewarmd. Het warme water doet het ijs nog sneller smelten. Dit zichzelf versterkende effect is momenteel duidelijk waarneembaar in het Noordpoolgebied. Op het zuidelijk halfrond is dit heel anders. Hier ligt het zee-ijs rond het Antarctische continent, terwijl het zee-ijs op de Noordpool juist omringd wordt door continenten. Rond Antarctica waaien westenwinden die zorgen voor een oceaanstroming waardoor het continent en de omringende zeeën grotendeels afgeschermd worden van de warmere gebieden in het noorden. In de winter, wanneer de laagstaande zon weinig kracht heeft, zal hierdoor het omringende water voorlopig nog wel bevriezen. Alleen in het gebied ten westen van het (relatief noordelijk gelegen) Antarctische Schiereiland zien we dat in de zomer steeds minder zee-ijs voorkomt.

Een ander aspect van zee-ijs dat het klimaat op Aarde beinvloedt betreft de rol die het speelt bij de uitwisseling van klimaatgassen tussen atmosfeer en oceaan. Lang heeft men gedacht dat zee-ijs vooral kon worden gezien als een deksel op het water, die voorkomt dat gasuitwisseling met de atmosfeer plaatsvindt. Aangezien de oceanen ca. 25% van alle CO_2 die door de mens geproduceerd wordt opnemen, zou de verandering van het vrije oceaanoppervlak – als zee-ijs smelt – mogelijk resulteren in een grotere opnamecapaciteit van CO_2 door de oceanen. Sinds kort denkt men hier echter genuanceerder over. Het blijkt namelijk dat zee-ijs niet zomaar een witte deksel is; vanwege extreme temperaturen in het ijs vinden er allerlei chemische reacties plaats die een belangrijke invloed hebben op de CO_2-vastlegging. Daarnaast blijkt zee-ijs zeer veel microscopische organismen te bevatten die CO_2 opnemen, en andere klimaatgassen produceren. Maar hierover later meer.

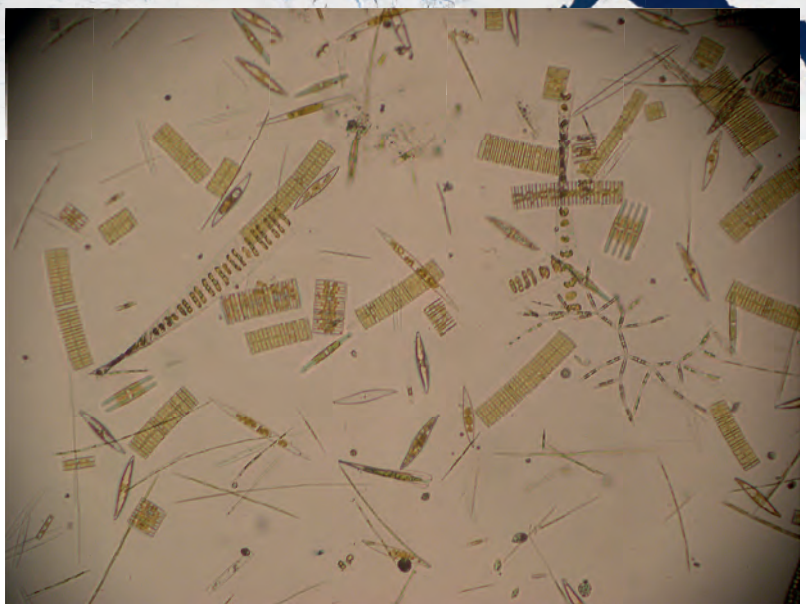
Een laatste aspect waardoor zee-ijs zo belangrijk is voor het klimaat op Aarde betreft de rol die het speelt bij de totstandkoming van circulatiepatronen in de oceanen. Wanneer zeewater bevriest, wordt het zout uitgescheiden. Een deel komt in zogenaamde 'brine pockets' in het ijs terecht (zie volgende paragraaf), maar het grootste deel wordt uitgescheiden in het water onder het ijs dat daardoor zouter wordt. Zeewater met een hoog zoutgehalte kan kouder worden dan normaal zeewater voordat het bevriest. Zout en koud water is zwaarder dan gewoon zeewater en zal daardoor eerder naar de diepzee zinken. Dit is een heel belangrijk proces bij

de oost- en zuidkust van Groenland en in de Weddellzee en Rosszee nabij Antarctica. Dit mechanisme vormt de motor van de wereldwijde oceaancirculatie, die voor een belangrijk deel het wereldwijde klimaat bepaalt.

Doordat zee-ijs het medium is dat zich tussen de atmosfeer en de oceaan bevindt, heeft het een temperatuur die ergens tussen deze twee ligt: het is minder koud dan de atmosfeer maar kouder dan het onderliggende zeewater. De aangroei van zee-ijs begint bij de vorming van kleine kristallen van zuiver water aan het wateroppervlak, maar vaak ook op grotere diepte. Omdat deze kristallen lichter zijn dan het omringende zeewater zullen ze naar het oppervlak stijgen. Onderweg blijven er microscopisch kleine algen aan 'kleven', die vervolgens nabij het oppervlak in het ijs gevangen raken. Vanwege de lage temperaturen in het ijs ontstaan tijdens het bevriezen kleine pockets waarin het zout zich ophoopt, de zogenaamde 'brine pockets'. Hoe kouder het wordt, des te kleiner worden deze pockets en des te hoger het zoutgehalte. Zodoende kan het zoutgehalte in deze holtes wel vier of vijf keer hoger worden dan dat van normaal zeewater.
Eenmaal gevangen in het ijs zullen de algen in de brine pockets zich moeten aanpassen aan de lage temperaturen (-10 °C is heel normaal) en de hoge zoutgehaltes. Lang niet alle algen zijn hiertoe in staat, maar de soorten die overleven blijken in staat te zijn om allerlei stoffen aan te maken om te voorkomen dat ze bevriezen: ze vormen bijvoorbeeld een suikerlaag om zich heen die niet bevriest, ze maken speciale eiwitten aan die tegen de kou bestand zijn en produceren stoffen die als antivries fungeren, waardoor vitale enzymsystemen worden beschermd.

Jong zee-ijs in de Weddellzee wordt veelal gevormd in opengewaaide plekken langs continentaal ijs. Foto: Jacqueline Stefels.





In zee-ijs levende kiezelalgen. Foto: Jacqueline Stefels.

Tegelijkertijd blijkt dat het voor algen ook voordelen oplevert om in zee-ijs ingevangen te worden. In tegenstelling tot de open oceaan – waarin ze aan zeer variërende lichtcondities blootgesteld worden doordat ze voortdurend door stromingen, golven en wind in de bovenste tientallen meters van de waterkolom gemengd worden – is het lichtklimaat in zee-ijs erg stabiel. Dit is zeer gunstig voor de groei van algen. Een ander belangrijk aspect bij de groei en bloei van algen is de rol van ijzer (zie ook het voorgaande hoofdstuk). In de Zuidelijke Oceaan zijn de ijzerconcentraties extreem laag, waardoor de groei van algen in grote gebieden beperkt wordt. Sinds kort weten we dat ijzer zich in zee-ijs kan ophopen tot concentraties die wel honderd keer hoger zijn vergeleken met het onderliggende zeewater. Deze ophoping is het gevolg van een soort zeeffunctie van het ijs, waarbij ijzer uit het water door het ijs gepompt wordt en daar aan organisch materiaal blijft plakken. Het hoge ijzergehalte is voor algen zeer gunstig om te kunnen groeien. Een derde voordeel is dat zee-ijs een zekere mate van bescherming biedt tegen begrazing, omdat de meeste dierlijke grazers niet in het zee-ijs voorkomen. Met andere woorden, ondanks de extreme omstandigheden is het milieu in zee-ijs toch voldoende gunstig om algen tot enorme dichtheden uit te laten groeien. Vooral in de onderste paar centimeter van het zee-ijs – waar de omstandigheden relatief mild zijn – blijken algen massaal voor te komen: de algen-biomassa van zo'n dun laagje aan de onderkant van het ijs is vergelijkbaar met het totaal aan algen in de volledige waterkolom! Tegen de zomer, wanneer het ijs smelt en daardoor poreuzer en beter toegankelijk wordt, zullen de kleinste grazers (vlokreeftjes en kleiner) het ijs inkruipen en daar de algen opeten. De dikke algenlaag onderaan het ijs vormt aldus een geweldig geconcentreerd diner voor grazers zoals vlokreeften, krill en kleine vissen. Dit is precies de reden waarom zo enorm veel van dit soort dieren onder het zee-ijs voorkomen. Zij

Wanneer een schip het zee-ijs omwoelt is goed de bruine massa aan algen te zien. Foto: Jacqueline Stefels.



vormen op hun beurt de belangrijkste voedselbron voor vogels, pinguïns, zeehonden en walvissen.
De aanwezigheid van zee-ijs is ook van grote betekenis voor hetgeen later in het jaar in het open water plaatsvindt. Wanneer in de vroege zomer het ijs smelt, zal de algenmassa gedeeltelijk doodgaan en gemineraliseerd worden. Hierbij komt een grote hoeveelheid ijzer vrij, waardoor de algenpopulaties in het water tot bloei komen. Zee-ijs bevat dus niet alleen zelf heel veel biomassa; het zorgt er ook voor dat er na het smelten van het ijs zeer dichte en omvangrijke algenbloeien kunnen ontstaan.
Doordat zee-ijs zo'n enorme concentratie aan leven bevat, speelt het ook een belangrijke rol in de elementencycli die van belang zijn voor het klimaat op Aarde. Algen die in het ijs groeien nemen grote hoeveelheden CO_2 op. Wanneer het ijs smelt zal een deel van de algen doodgaan en naar de bodem van de oceaan zakken. Dit proces wordt 'de biologische pomp' genoemd, omdat CO_2 uit de atmosfeer, via biologisch materiaal, naar de diepzee verdwijnt. De precieze bijdrage van zee-ijs is lastig te kwantificeren; verder onderzoek zal dat moeten uitwijzen.

Niet alleen nemen ijsalgen grote hoeveelheden CO_2 op, ze produceren ook klimaatgassen. Eén van die klimaatgassen is dimethylsulfide (DMS) dat met name in het voorjaar tijdens het smelten van het zee-ijs vrijkomt. De ijsalgen die zich in het zee-ijs aangepast hadden aan hoge zoutconcentraties worden opeens geconfronteerd met bijna zoet smeltwater. Het antivries dat zich in de algen heeft opgehoopt is ineens een probleem, en zal dus uitgescheiden moeten worden. Daarbij wordt het zwavelgas DMS gevormd, dat de zee zijn typische geur geeft. DMS heeft een compenserend effect op het klimaat ten opzichte van CO_2: het is betrokken bij de vorming van lage bewolking dat zonlicht reflecteert en daarmee een afkoelende werking heeft. Met name de bewolking rond Antarctica is nog lastig te modelleren en mede daardoor blijken klimaatmodellen behoorlijke afwijkingen te hebben. Het is daarom van groot belang om een beter begrip te krijgen van dit ecosysteem en de rol die het speelt bij de opname en afgifte van klimaatgassen, zodat we deze aspecten van klimaatmodellen kunnen verbeteren.

De Nederlandse betrokkenheid bij het internationale onderzoek van zee-ijs-systemen gaat terug tot de European



Krill is een van de belangrijkste koolstofbronnen in het Antarctische voedselweb. Foto: Jan-Andries van Franeker.

Polarstern Study (EPOS) in 1988 en verscheidene vervolgexpedities in de jaren '90 in het kader van de JGOFS (Joint Global Ocean Flux) en GLOBEC (Global Ecosystem Dynamics) programma's. Wetenschappers van het NIOZ en het toenmalige Rijksinstituut voor Natuurbeheer (RIN, inmiddels onderdeel van IMARES) richtten zich destijds op de koolstofkringloop in de Zuidelijke Oceaan. Uit onderzoek van Jan Andries van Franeker (IMARES) bleek dat de aantallen vogels, zeehonden en walvissen in ijsbedekte gebieden altijd groter waren dan in open water. Omdat de hoeveelheid algen in het water meestal erg laag is vormde dit al een sterke aanwijzing dat het zee-ijs meer voedsel te bieden heeft dan het water. Begin jaren 2000 ging van Franeker op zoek naar een manier om de voedselbronnen van vogels en zoogdieren aan de onderkant van het zee-ijs in kaart te brengen. De tot dan toe gangbare visnetten voor het vangen van krill zijn onder het ijs niet bruikbaar, en dus vormde de onderkant van het zee-ijs een 'zwart gat' wat betreft onze kennis over de dichtheid en biomassa van dieren. Om deze lacune aan te pakken werd bij IMARES de Surface and Under-Ice Trawl (SUIT) ontwikkeld, welke binnen het project 'Lazarev Sea Krill Study' (LAKRIS) in mei 2004 tijdens een expeditie met het Duitse onderzoeksschip RV Polarstern voor het eerst werd gebruikt.

Een belangrijke uitkomst van dit onderzoek was dat in Antarctica de dichtheid van krill in de bovenste twee meter onder het zee-ijs vaak beduidend groter is dan hetgeen uit vangsten met de standaard netten, die tot 200 m diepte gaan, blijkt. Omdat krill één van de belangrijkste koolstofbronnen in het Antarctisch voedselweb vormt, bevestigde het Nederlandse SUIT-onderzoek de opvatting dat zee-ijs een centrale rol speelt in het voorkomen van enorme aantallen algen en grazers in de Zuidelijke Oceaan. SUIT-gerelateerd onderzoek wordt tegenwoordig voortgezet in het Duits-Nederlandse samenwerkingsproject Iceflux (trekkers: Hauke Flores en Jan-Andries van Franeker), dat gefinancierd wordt door de Duitse Helmholtz-Gesellschaft, het Alfred Wegener Institut für Polar und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven en NWO.

Nederlands biologisch en chemisch onderzoek aan zee-ijs zelf is nog maar kortgeleden van start gegaan, in samenwerking met Belgische en Duitse collega's. Deze samenwerking startte in 2001 met een gezamenlijk projectvoorstel waarin gekeken zou gaan worden naar de variabiliteit, zowel in tijd als in ruimte, van ijzer en DMS in zee-ijs. Jacqueline Stefels (Rijksuniversiteit Groningen) zou DMS gaan onderzoeken, terwijl Veronique Schoemann en Jeroen de Jong – voormalige onderzoekers bij prof. de Baar van het NIOZ – het ijzeronderzoek in Brussel zouden gaan uitvoeren. Het onderzoek ging in 2004 van start met een gezamenlijke expeditie naar de Weddellzee op het Duitse onderzoeksschip RV Polarstern. Deze expeditie, genaamd ISPOL (Ice Station POLarstern), was een bijzondere, omdat het de tweede expeditie ooit was die volledig aan het bestuderen van de fysische, chemische en biologische aspecten van zee-ijs gewijd was. De RV Polarstern werd naar een van tevoren geselecteerde locatie in de Weddellzee gedirigeerd. Daar werd met helikopters een zo vlak mogelijke ijsschots van ca. twee km^2 opgezocht, waar het schip kon aanmeren.

De Polarstern ligt afgemeerd aan een ijsschots gedurende ruim een maand. Foto: Jacqueline Stefels.





Wetenschappers aan het werk op het zeeijs van de Weddellzee. Foto: Jacqueline Stefels.

Wat volgde was zes weken onderzoek door onder andere de Nederlandse onderzoekers Jacqueline Stefels, Henk Zemmelink en Jeroen de Jong, in samenwerking met Veronique Schoemann (Brussel). Veel van de hierboven genoemde inzichten over de rol die zee-ijs speelt bij het concentreren van ijzer uit het water en het produceren van grote hoeveelheden DMS zijn tijdens deze en volgende tochten verkregen en in diverse artikelen gepubliceerd.

De unieke opzet van de ISPOL-expeditie was een belangrijk uitgangspunt voor latere interdisciplinaire samenwerkingsverbanden tussen Nederlandse, Duitse en Belgische wetenschappers. Onderzoek naar onderijs-fauna en de relatie met de biologie in het ijs werd voortgezet in het eerder genoemde Duits-Nederlandse samenwerkingsproject Iceflux. Het onderzoek naar de bijdrage van zee-ijs in de productie van DMS werd voortgezet tijdens de WWOS-expeditie (Winter Weddell Outflow Study) met de Polarstern in 2006 (deelnemers: Jacqueline Stefels en Desiree den Os, beiden van de RuG), waarin een deel van de Weddellzee doorkruist werd om zoveel mogelijk verschillende soorten zee-ijs te kunnen bemonsteren. Van 2010 tot 2013 zette Veronique Schoemann haar onderzoek naar sporemetalen in zee-ijs bij het NIOZ voort. Samen met collega's uit België en Nieuw Zeeland nam zij deel aan het zee-ijsproject YROSIAE (Year-Round Ocean Sea Ice Atmosphere Exchanges) vanaf de Antarctische basis 'Scott Base' op Cape Evans (McMurdo Sound, Ross Sea). Ook maakte zij in 2012 deel uit van de 'IceArc'-cruise met de Polarstern om sporemetalen in Noordpool-ijs te meten.
De recent verworven mogelijkheid om onderzoek te doen op de Britse basis Rothera is ook gunstig voor het zee-ijsonderzoek. Omdat deze basis ook in de winter bemand is geeft dit de zeldzame mogelijkheid om een tijdserie te maken die de hele winter bestrijkt. In de winters van 2013, en vooral tijdens het zeer ijsrijke jaar 2014 zijn diverse ijskernen geboord ten behoeve van het DMS- en ijsalgen onderzoek (onderzoekers: Maria van Leeuwe, Desiree den Os, Jacqueline Stefels). De gegevens zullen ongetwijfeld ons begrip van het zee-ijssysteem verbeteren. Door internationale samenwerking met modelleurs zal de verkregen kennis toegepast worden in verbeterde modellen die de rol van zee-ijs in de biogeochemische cycli van zwavel en koolstof berekenen om daarmee een link naar het klimaat op Aarde te kunnen leggen.

Dat er nog maar relatief weinig bekend is over zee-ijs is niet verwonderlijk als men nagaat hoeveel moeite het kost om erbij in de buurt te komen. Maar weinig schepen zijn in staat om door gebieden met zee-ijs te varen, en als het schip er dan eindelijk is dan blijkt het ijs zo heterogeen dat het een grote uitdaging is om representatief onderzoek te doen. Afgezien daarvan is het ook een hele uitdaging om de diverse chemische en biologische parameters in zee-ijs te bepalen. Er kan bijna geen enkele component gemeten worden zonder het ijs eerst te smelten en dat brengt allerlei problemen met zich mee. De verschillende groepen die op de ISPOL-expeditie van 2004 aanwezig waren moesten dan ook verscheidene methoden ter plekke uitproberen, eenvoudigweg omdat dit type onderzoek voorheen nog nooit was uitgevoerd en het onmogelijk bleek om de omstandigheden in een laboratorium na te bootsen.
Voor het DMS-onderzoek werden twee verschillende methoden getest. In samenwerking met Belgische collega's werd een zogenaamde 'ice crusher' ontworpen, waarin een brokje zee-ijs door middel van stalen kogels tot een fijn poeder werd vermalen. Hierdoor kwamen alle gasvormige verbindingen vrij die met behulp van een dragergas uit de crusher werden geblazen en konden worden gemeten. Tegelijkertijd werd een andere methode uitgeprobeerd, waarin ijssecties ontdooid werden, waarna met behulp van toege-

voegde stabiele isotopen gekeken werd welke omzettingen tijdens het smelten optraden. Het voordeel hiervan is dat behalve dat de concentraties van de diverse componenten in de ijskern berekend kunnen worden er ook inzicht verkregen wordt in een aantal omzettingen die mogelijk een rol spelen tijdens het smelten van zee-ijs. Dit geeft een interessant kijkje in de activiteit van micro-organismen in het zee-ijs, maar levert ook belangrijke informatie voor modelleurs. Om spoormetalen in zee-ijs te kunnen meten is het noodzakelijk om een groot aantal voorzorgsmaatregelen te nemen. Doordat er relatief lage ijzerconcentraties in het ijs rond Antarctica aanwezig zijn kan alles een bron van vervuiling zijn: het schip, stof aan de zolen van schoenen, de uitlaat van een motor-gestuurd instrument, enzovoorts. Daarom wordt dit soort onderzoek zover mogelijk van mogelijke vervuilingsbronnen vandaan uitgevoerd, worden ijskernen verkregen met een boor die volledig uit titanium bestaat en moeten de onderzoekers stof-vrije kleding dragen.
De ontwikkeling van de SUIT – het net dat het mogelijk maakt om langs de onderkant van het zee-ijs te vissen – is noodzakelijkerwijs stapsgewijs gegaan, voornamelijk tijdens diverse expedities tussen 2004 en 2008. De SUIT bestaat uit een ijzeren frame dat bestand is tegen zware botsingen met uitsteeksels aan de onderkant van zee-ijs, dat normaal gesproken verre van vlak is. Daarachter hangen twee visnetten met verschillende maaswijdtes: één voor grotere en één voor kleinere diertjes. De SUIT wordt aan het oppervlak gehouden door middel van grote drijvers. Met een speciale techniek wordt het net achter het schip in zijwaartse richting ‘geduwd’ en ‘rijdt’ het vervolgens met behulp van wielen aan de bovenkant van het frame onder het zee-ijs door. Sinds 2012 is een aantal optische sensoren op het frame geplaatst waarmee met een nieuwe methode de biomassa van algen in het zee-ijs kan worden bepaald. De ontwikkeling van dit systeem is een goed voorbeeld van de inventiviteit die nodig is om biologisch onderzoek onder zee-ijs te doen.

Het onderzoek naar de biologische en chemische eigenschappen van het zee-ijs-ecosysteem staat, ook internationaal, nog in de kinderschoenen. Het heeft extra aandacht gekregen toen duidelijk werd dat het zee-ijs op de Noordpool in versneld tempo smelt. Een belangrijke vraag is hoezeer het smeltende zee-ijs de klimaatverandering versterkt en hoe dit doorwerkt naar de toekomst. Een gerelateerde vraag is wat het verlies van zee-ijs voor het zeeleven en daarmee ook voor de visserij zal gaan betekenen.
Voor een integraal begrip van het functioneren van zee-ijs-ecosystemen en hun interactie met het klimaatsysteem wordt het steeds belangrijker om kennis uit verschillende disciplines met elkaar te verbinden. Hierbij is het een grote uitdaging om de diverse ruimteschalen waarin de verschillende disciplines opereren naar elkaar te vertalen: van biologische processen in individuele ijskernen, via onderzoeksmethodes met duikers, onder-water ‘drones’ en visnetten, tot grootschalige modellen en satellietgegevens die het hele Poolgebied bestrijken. Expedities zoals ISPOL en gerelateerde projecten laten zien dat Nederlandse onderzoekers op dit vlak bijzonder actief zijn.

In de Poolgebieden zijn belangrijke veranderingen gaande die effect hebben op het zee-ijs, maar hoe en in welke mate dit doorwerkt op het ecosysteem en het klimaat is nog onduidelijk. Het Nederlandse zee-ijsonderzoek heeft zich tot op heden vooral geconcentreerd op Antarctica. Arctisch zee-ijs heeft echter andere fysische en biologische kenmerken en het zou zeer interessant zijn om ook het bijzondere ecosysteem van het Noordpoolgebied beter te begrijpen.



Aan boord van de Polarstern worden nieuwe methoden direct getest. Foto: Jacqueline Stefels.

Dagboek RV Polarstern van Kaapstad naar de Weddellzee, november 2004 door Jacqueline Stefels

'… Als het ijs ca. 80 cm dik is heeft het schip er geen enkele moeite mee, maar maandag hadden we een enorm veld dat veel dikker was. Op sommige stukken moesten we letterlijk een aanloop nemen om slechts 20 meter op te schieten en vervolgens weer terug te glijden voor de volgende aanloop. Het is een adembenemend schouwspel. Bij het klieven van de ijsschotsen komen deze hoog uit het water, draaien zich grommend en razend om of verdwijnen de diepte in. Je kan dan prachtig de gelaagdheid van het ijs bekijken en zien hoe waanzinnig veel algen erin groeien. Dat belooft veel goeds!! Door het dikke ijs van dinsdag kan de bemanning van de gelegenheid gebruik maken om een paar containers om te zetten: die van achterop het dek moet naar voren, het ruim in, en omgekeerd moet een container uit het ruim naar het achterdek. Dat gaat even via het ijs... Hup, container op het ijs, schip verleggen; andere container erbij; de eerste naar binnen gehesen; schip weer verleggen en de tweede op het dek; zo gepiept! Toen nog even de reddingsboten getest; wie wilde mocht mee een rondje varen om het schip en toen weer verder. Langs een uitzonderlijk prachtige ijsberg, die als een soort spookkasteel verstild in de witte vlakte ligt, prachtig aangelicht door een laagstaande zon.'



Foto's: Jacqueline Stefels.

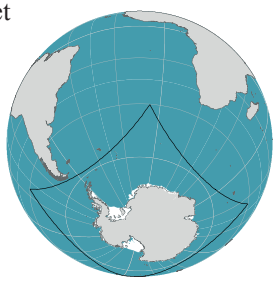




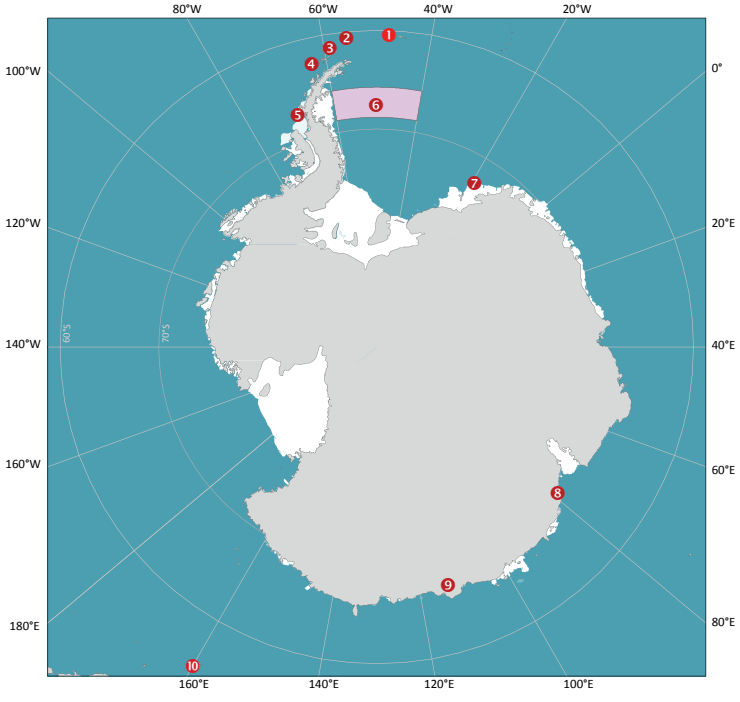
Aan het eind van de voedselketen: Antarctische toppredatoren

Jeroen Creuwels

Vanwege het barre klimaat in Antarctica kunnen maar weinig dieren op land overleven. Pinguïns, zeevogels, zeehonden en walvissen zijn voor hun voedsel vrijwel volledig aangewezen op lagere organismen die in de oceaan leven. Antarctische toppredatoren, dieren die aan de top van de voedselpiramide staan, brengen daarom het grootste deel van hun leven in of boven zee door. Alleen om hun jongen groot te brengen verblijft een aantal soorten in de zomerperiode op het land of op het pakijs. Dit is ook de periode waarin ze het gemakkelijkst bestudeerd kunnen worden en het meeste onderzoek plaatsvindt. Het onderzoek aan Antarctische toppredatoren is ook relevant omdat indicaties dat een ecosysteem aan het veranderen is vaak juist goed zichtbaar zijn aan het eind van de voedselketen. Met andere woorden, behalve voor fundamenteel biologische onderzoeksvragen kan dit soort onderzoek ook gebruikt worden om de gevolgen van de menselijke invloed (zoals bijvoorbeeld vervuiling, visserij, verstoring of veranderingen van het klimaat) in dit afgelegen en relatief ongerepte continent in kaart te brengen.



In Nederland ontstond in de jaren ‘80 van de vorige eeuw een politieke situatie waarbij nieuwe wetenschappelijke activiteiten in Antarctica sterk aangemoedigd werden. Nederland had de ambitie om volledig stemrecht te verwerven binnen het Antarctic Treaty. Voor een dergelijke ‘consultatieve status’ is het echter vereist dat een land substantieel wetenschappelijk onderzoek in Antarctica verricht. In het begin van de jaren ‘80 was daarvoor echter nog niet veel onderzoeksgeld beschikbaar. In het Antarctische seizoen 1984/85 vertrok Jan Andries van Franeker, in eerste instantie zelfs als onbetaald onderzoeker, naar het eiland Ardery (Oost-Antarctica). In de jaren die volgden werden de mogelijkheden voor onderzoek snel beter. Verschillende ministeries gingen gezamenlijk investeren in Antarctische onderzoeksactiviteiten. Het ministerie van Landbouw, Na-



Onderzoekslocaties die in de tekst worden genoemd. De eilanden: Signy (1), Elephant (2), Livingstone (3), King George (4), Adelaide -Rothera Station (5), Hop bij Davis Station (8), Ardery bij Casey Station (9) en Macquarie (10). Daarnaast de Westelijke Weddellzee (6) en de Riiser-Larsen Ice shelf (7). Kaart: Frits Steenhuisen.



Een paartje sneeuwstormvogels op hun nest. Foto: Jeroen Creuwels.

tuurbeheer en Visserij (LNV) gaf het Rijksinstituut voor Natuurbeheer (RIN) op Texel de opdracht onderzoeksactiviteiten op Antarctica te ontwikkelen, en in 1986 werd Van Franeker aangesteld als onderzoeker Antarctica op het RIN-Texel. In deze periode ontstonden veel nieuwe, Antarctische onderzoeksinitiatieven zoals het onderzoek aan Weddellzeehonden (*Leptonychotes weddellii*) van Peter Reijnders (zie verderop in dit hoofdstuk) en aan keelband- (*Pygoscelis antarcticus*) en macaronipinguïns (*Eudyptes chrysolophus*) van Albert Beintema. Beintema, onderzoeker weidevogels bij het RIN te Arnhem, ging samen met zijn assistent Henk Visser, die later professor Gedragsenergetica in Groningen zou worden, op expeditie naar Elephant Island (1988/89) en King George Island (1990/91). Ze onderzochten hoe kuikens van deze twee pinguïnsoorten groeien en hoe snel ze in staat zijn zelfstandig hun lichaamstemperatuur te reguleren. Zeker voor jonge pinguïns is onderkoeling namelijk een factor om rekening mee te houden. Een opmerkelijke ontdekking was de observatie dat keelbandpinguïns vaak hun maagwand afscheiden voor ze terug naar zee gaan om voedsel te halen voor hun jongen. Waarom ze dit doen is nog steeds een raadsel. Mogelijk dat de slecht verteerbare, hoornige schilden van hun basisvoedsel, het Antarctisch krill (*Euphausia superba*), de maagwand van de pinguïns irriteren, maar het kan ook een manier zijn om het toxische fluoride te lozen, dat krill van nature in hoge concentraties bevat.

Van Franeker reisde in totaal vier keer af naar het kleine eilandje Ardery om onderzoek te doen aan stormvogels. Al tijdens zijn studie was hij in het Zoölogisch Museum Amsterdam (Universiteit van Amsterdam) in de ban geraakt van deze vogels, en na zijn studie organiseerde hij begin jaren tachtig twee expedities naar de Arctische eilanden Beren Eiland en Jan Mayen. Op deze eilanden broeden veel Noordse stormvogels (*Fulmarus glacialis*). Echter een nog grotere aantrekkingskracht had het Antarctische eiland Ardery omdat hier maar liefst vier soorten nauwverwante stormvogels broeden. Ardery ligt op 11 kilometer van het Australische onderzoeksstation Casey, in Oost-Antarctica, en beslaat een oppervlakte van circa 0,5 km^2. Het heeft een bijzondere beschermingsstatus (Antarctic Specially Protected Area – ASPA103) vanwege de grote aantallen stormvogels die hier op de steile rotskliffen broeden: Zuidelijke stormvogels (*Fulmarus glacialoides*), Antarctische stormvogels (*Thalassoica antarctica*), Kaapse stormvogels (*Daption capense*) en sneeuwstormvogels (*Pagodroma nivea*).



Van Franeker financierde zijn eerste expeditie met steun van het Ministerie van LNV en had zelf logistieke ondersteuning van de Australische Antarctische Divisie geregeld. Na deze eerste expeditie in 1984/85 was hij ook tijdens de seizoenen 1986/87, 1991/92 en 1996/97 (eerste helft) op het eiland te vinden.

Jeroen Creuwels bezocht Ardery voor zijn promotieonderzoek tijdens drie opeenvolgende seizoenen (1996/97, 1997/98 en 1998/99). Elk jaar waren er ook Australische veldassistenten van de Australische Antarctische Divisie aanwezig. Tijdens deze drie seizoenen reisde er ook steeds een technisch veldassistent uit Nederland mee om de computers, het weegsysteem en het eigen systeem voor de energievoorziening te onderhouden, en soms ook om te assisteren bij het biologische veldwerk.



Het toegepaste onderzoek van het RIN (later IBN-DLO, Alterra, IMARES) houdt ook in dat de invloed van de mens op het ecosysteem wordt onderzocht. Het onderzoek op Ardery bleek goed aan te sluiten bij internationale beschermingsinitiatieven die net gestart waren in Antarctica. In 1982 werd het internationale verdrag CCAMLR (Convention on the Conservation of Antarctic Marine Living Resources) gesloten om de invloed van visserij op het Antarctisch ecosysteem in kaart te brengen en te reguleren. Vanwege de grote nadruk op krill en de toen heersende gedachte dat krill het sleutelorganisme binnen het Antarctische voedselweb is, wordt dit verdrag vaak het 'Krillverdrag' genoemd. CCAMLR staat visserij op krill en op diverse vissoorten toe, zolang het geen nadelige gevolgen voor het ecosysteem heeft. Langdurige en nauwkeurige studies moeten dit ondersteunen en hiervoor heeft CCAMLR in 1989 een ecologisch monitoring programma (CEMP) opgezet. Hierbij is een aantal diersoorten aangewezen als indicatorsoort, waaronder de Antarctische en de Kaapse stormvogel. Het CEMP geeft richtlijnen hoe de onderzoeksactiviteiten gemonitord kunnen worden en welke parameters bruikbaar zijn om de conditie van het Antarctisch ecosysteem te meten.

Jeroen Creuwels weegt een stormvogelkuiken. Foto: Jeroen Creuwels.

Jeroen Creuwels vangt een Antarctische stormvogel om te ringen. Foto: Jan Andries van Franeker.





Kaapse stormvogel met jong. Foto: Jeroen Creuwels.

Tijdens Van Franekers eerste seizoen (1984/85) werden veel vogels geringd en studiegebieden afgebakend waar alle stormvogels en hun nesten – indien de weersomstandigheden het toelieten – dagelijks werden gevolgd. Volgens CEMP-richtlijnen werden daarnaast ook referentiekolonies gedefinieerd die niet door de onderzoekers betreden mochten worden. De tellingen en observaties werden hier alleen vanaf een uitkijkpunt buiten de kolonie uitgevoerd. Antarctische stormvogels zijn uitermate tam; ze blijven meestal op hun nest zitten omdat ze de mens niet als gevaar zien. Echter, om te bepalen of menselijke aanwezigheid al dan niet schadelijke gevolgen heeft was een vergelijking van broedgegevens tussen referentie- en studiekolonies noodzakelijk. De negatieve effecten van de vrijwel dagelijkse aanwezigheid van onderzoekers in de studiekolonies bleken gering, aangezien het broedsucces in beide typen kolonies vergelijkbaar was.

Visserij in de Zuidelijke Oceaan kan de voedselbeschikbaarheid van prooidieren voor toppredatoren beïnvloeden. Om dit te meten heeft het CEMP ook een aantal dieetparameters van diverse toppredatoren in haar programma opgenomen. Het onderzoek naar het dieet van stormvogels in 1986/87 en 1990/91 sloot hier goed op aan. In de periode dat stormvogels hun kuikens voeren bestaat 80% van de voedselinname uit inktvis en vis. Vis en met name de Antarctische zilvervis (*Pleuragramma antarcticum*) wordt in deze periode veel meer gegeten dan krill. Dit is zeer tegen de heersende opvatting dat krill het basisvoedsel is voor stormvogels in Antarctica. De overschatting van het aandeel krill in het dieet van stormvogels lijkt te zijn ontstaan doordat men vaak veel restanten van krill vindt in het uitgebraakte voedsel. Krill heeft veel harde delen die nauwelijks verteren, en die hopen zich dus makkelijk in de maag op. De Antarctische zilvervis is bijzonder talrijk en komt in Oost-Antarctica in grote scholen voor, vaak vlak onder het wateroppervlak. Aangezien deze vissoort ook een hogere calorische waarde heeft dan krill, is het niet onlogisch dat juist deze veel wordt gegeten. Aanvullende dieetmonsters van Kaapse stormvogels werden tijdens de Nederlandse Antarctica Expeditie in 1990/1991 verzameld. Bij het Poolse station Arctowski op het eiland King George verzamelden de expeditieleden Wim Wolff en Tom van Spanje (beiden RIN) extra monsters op dezelfde wijze als Van Franeker op het eiland Ardery. Ruben Fijn onderzocht in 2006/2007 onder supervisie van Van Franeker de voedselkeuze van Kaapse stormvogels en sneeuwstormvogels op het eiland Signy (Zuid Orkney Eilanden) als afstudeerproject aan de Vrije Universiteit Amsterdam. De resultaten lieten zien dat er grote regionale verschillen in het dieet van stormvogels bestaan.

De resultaten van dit dieetonderzoek zijn van belang voor het beleid omtrent de toenemende krillvisserij in Antarctica. Het is nog te vroeg om te concluderen dat krillvisserij geen negatieve gevolgen heeft voor stormvogels, aangezien krill wel het basisvoedsel vormt voor de Antarctische zilvervis en andere vissoorten. Daarnaast is niet helemaal duidelijk hoe representatief het dieet van stormvogels is wanneer ze een hongerig kuiken moeten voeren. Verreweg de meeste tijd van het jaar zwerven de stormvogels over de zeeën en zullen zij dus vooral voedsel tot zich nemen dat ter plekke aanwezig is. Zo toonde het onderzoek op Ardery aan dat het dieet duidelijk verschuift naar een veel groter aandeel pijlinktvis indien de ouders geen jongen (meer) hebben.
Tijdens de laatste drie veldwerkseizoenen (1996-1999) lag de nadruk op de broedecologie van de Zuidelijke stormvogel en de Antarctische stormvogel, omdat uit eerdere seizoenen gebleken was dat het broedsucces bij deze twee soorten duidelijk aan het afnemen was. Stormvogels leggen slechts één ei per seizoen en de ouders wisselen elkaar af om het ei uit te broeden en om voedsel naar het kuiken te brengen.
Om te toetsen of verminderde voedselbeschikbaarheid een verklaring zou kunnen bieden voor het afnemende broedsucces, was er door de technische dienst van het IBN-DLO een automatisch weeg- en identificatiesysteem ontwikkeld. Met dit systeem kon de identiteit en het gewicht van de vogel op elk nest worden bepaald. In twee studiegebieden werden kunstmatige nesten geplaatst en via een centrale datalogger kwamen de gegevens binnen in het onderzoekskamp op Ardery. De nesten hadden een weegsensor en een ingebouwde antenne die transponders (een soort chip) kunnen aflezen. Voor het aanbrengen van de transponders moesten de vogels in de studiegebieden opnieuw worden gevangen. Tegelijkertijd werden veel van de eerder gebruikte ringen vervangen omdat deze in het verleden vaak niet van staal waren. Stormvogels kunnen meer dan 50 jaar oud worden, dus de ringen moeten van slijtvast materiaal zijn, indien men een individu levenslang wil kunnen blijven volgen. Het bleek overigens dat sommige individuen al in de jaren ’60 waren geringd. De kunstmatige nesten werden gemakkelijk geaccepteerd, omdat stormvogels uitermate honkvast zijn wat betreft hun plekje binnen de kolonie.
Helaas bleken veel weegmetingen door de onverwacht overvloedige sneeuwval vroeg in het seizoen lastig te interpreteren.
Wel was het mogelijk om later in het seizoen met de verkregen weeggegevens te bepalen hoeveel voedsel ouders aan hun kuiken gaven na elke foerageertocht. De maaltijdgroottes varieerden nogal (111-152 gram), maar bleken niet veel te verschillen tussen beide soorten. Echter, de voederfrequentie lag bij Antarctische stormvogels veel lager, waardoor hun kuikens per dag slechts ongeveer de helft binnenkregen vergeleken met de Zuidelijke stormvogelkuikens. Toch bleken de beide soorten kuikens bijna net zo snel te groeien. Tijdens de veel langere foerageertochten van Antarctische stormvogels wordt het voedsel in de maag namelijk geconcentreerd en krijgen hun kuikens hierdoor voedsel met een veel hogere calorische waarde.



Zuidelijke stormvogel voert jong op een artificieel nest.
Foto: Jeroen Creuwels.



Weegmetingen waren na hevige sneeuwval niet meer betrouwbaar, zoals hier bij een Zuidelijke stormvogelkuiken. Foto: Jeroen Creuwels.

Bij aankomst in het vroege voorjaar van 1996 werd het onderzoeksteam verrast door een dik pak sneeuw op het eiland, hetgeen niet alleen voor de onderzoekers lastig was, maar ook voor de vogels zelf omdat sneeuw of ijs de eieren kunnen afkoelen tot ze bevriezen. Deze nieuwe situatie bleek onverwachte verrassingen voor de onderzoekers in petto te hebben. Zuidelijke reuzenstormvogels (*Macronectes giganteus*) broeden niet op Ardery maar wel op eilanden in de buurt.

Reuzenstormvogels zijn, zoals de naam al aangeeft, zeer grote vogels met een gewicht van vier tot vijf kilo en een spanwijdte van ruim twee meter. Net als albatrossen zijn ze prima aangepast aan het zwevende bestaan boven zee, maar zijn ze nogal onhandig bij het landen. Daarom kunnen op de steile rotshellingen en kliffen de kleinere stormvogels normaal gesproken ongestoord broeden. Echter door de overvloedige sneeuwval waren deze plaatsen nu toegankelijk geworden voor de Zuidelijke reuzenstormvogels. Deze lieten zich dan ook als kamikaze-piloten in de sneeuwvelden vallen en liepen vervolgens over de opgehoopte sneeuw naar de stormvogels in de broedkolonies.
Reuzenstormvogels staan bekend als aaseters van onder andere zeehonden en zeeolifanten, en daarnaast grijpen ze ook wel jonge kuikens van pinguïns en andere vogels.

Op Ardery lieten ze een nieuw, althans nog niet eerder waargenomen, gedrag zien. Met verrassingsaanvallen bleken ze ook volwassen stormvogels te kunnen verschalken, al ging dat soms enigszins onhandig. Met name Antarctische stormvogels waren zich in het begin vaak niet bewust van het gevaar; naar schatting verdween zo'n 15% van de broedpopulatie gedurende dit broedseizoen. Later waren de oudervogels beter op hun hoede en verlieten ze veel sneller hun nest. Gealarmeerd door het tumult in de kolonie waren de Zuidpooljagers (*Carathacta maccormicki*), een soort roofmeeuwen, doorgaans snel ter plekke om te profiteren van de eieren die alleen gelaten werden.
Het broedsucces bij Antarctische stormvogels in het seizoen (1996/97) was dramatisch laag. Er werden 29 eieren gelegd, bijna de helft van het aantal in de twee seizoenen daarna, en er vloog maar één kuiken uit. Doordat Zuidelijke stormvogels zo'n drie weken later broeden, was er al meer sneeuw gesmolten en waren de verliezen voor deze soort derhalve minder extreem. Dat laat in het seizoen broeden ook nadelen heeft bleek aan het eind van het seizoen 1998/99. Een enorme sneeuwval werd een aantal relatief jonge Zuidelijke stormvogelkuikens noodlottig; ze werden begraven onder de sneeuw en vroren dood. De kuikens van de Antarctische stormvogels waren daarentegen al groter en konden zich redden door zichzelf uit de sneeuw te graven.



Zuidelijke reuzenstormvogel op nest (in een kolonie op de Frazier eilanden, niet ver van het eiland Ardery) Foto: Jeroen Creuwels.

Analyse van de weersgegevens wees uit dat sneeuwval in Ardery vanaf 1980 was toegenomen en dat ook de gemiddelde windrichting aan verandering onderhevig was. Deze factoren zorgden ervoor dat de sneeuw zich in het vroege voorjaar in de luwte van de rotsen kan ophopen. Deze onverwachte verklaring voor het afnemende broedsucces kon worden bepaald omdat het onderzoeksteam de hele broedperiode op het eiland aanwezig was. De biologen waren in de seizoenen 1996/97, 1997/98 en 1998/99 vanaf het moment dat de eerste stormvogels terugkeerden van hun overwinteringsgebieden tot het moment dat de laatsten in de herfst weer het eiland verlieten aanwezig. In dit deel van Antarctica zijn onderzoekers overgeleverd aan de vaarschema's van bevoorradingsschepen en zo lang in het veld blijven is dus uitzonderlijk, zeker op een geïsoleerde locatie als het eiland Ardery.
Enigszins onverwacht bleek uit Van Franekers onderzoek op Ardery dat ook niet-natuurlijke bestanddelen, zoals plastic, in het dieet voorkomen. De hoeveelheid plastic in de magen van de vogels die het hele jaar dichtbij Antarctica

Veldstation op het eiland Ardery. Achter de twee 'apple hutjes' zijn twee windgeneratoren zichtbaar, en de mast voor de radioverbinding met het station Casey. Expeditiemateriaal wordt in kisten (verzwaard met rotsblokken) rondom de hutten bewaard. Foto: Jeroen Creuwels.



Leven en werken op een afgelegen eiland in Antarctica

Het eiland Ardery heeft een speciale beschermde status en daarom mogen onderzoekers alleen onder strenge voorwaarden op het eiland werken. Helikopterverkeer is alleen mogelijk buiten het broedseizoen zodat de aanwezige vogels zo min mogelijk verstoord worden. Vervoer tussen het station en het eiland is tijdens het broedseizoen alleen mogelijk met zodiacs op dagen met weinig zee-ijs en goede weersomstandigheden. De temperaturen fluctueren in de zomermaanden (dec-feb) rond het vriespunt, maar in het begin en aan het eind van het seizoen kunnen temperaturen zakken tot beneden de -20°C. De gevoelstemperatuur kan dan nog verder dalen, omdat het vaak hard waait in Antarctica. Geregeld zijn er sneeuwstormen (blizzards) die soms dagen kunnen duren en veroorzaakt worden door zogenaamde katabatische winden die met hoge snelheden van de ijskap afblazen. Op zulke stormachtige dagen kan het te gevaarlijk zijn om de studiekolonies te bezoeken. Slapen, werken en koken vindt plaats in één of twee 'apple' hutjes. Dit zijn een soort knalrode iglo's van fiberglas met een doorsnede van 3 meter, bestaande uit losse onderdelen die ter plekke in elkaar geschroefd moeten worden. Extra comfort werd in de laatste drie seizoenen geleverd door een kacheltje en een fornuisje, die van brandstof werden voorzien door een LPG-tank aan de buitenkant. Voedsel wordt in containers bewaard, en alles wat bevroren moet blijven (voedsel, monsters, karkassen van vogels) wordt ingegraven in een sneeuwveld. Water komt van buiten de applehutjes waar het in vaste vorm in ruime mate aanwezig is. Het toilet is een ton met voor het zitcomfort een wc-bril erbovenop. Gesitueerd in de open lucht is het goed geventileerd en biedt het fantastische vergezichten over de baai. Elektriciteit werd in de eerste seizoenen geleverd door een dieselgenerator, maar tussen 1996 en 1999 werd deze alleen nog maar in noodgevallen gebruikt. In deze laatste drie seizoenen is een laag-volts energiesyteem ingezet dat bestaat uit een batterij zonnepanelen, een tweetal windgeneratoren, een aantal accu's en een regelkastje. Dit door IBN-DLO speciaal ontwikkelde energiesysteem voorziet de diverse computers, het weeg- en identificatiesysteem, en het radiosysteem van voldoende stroom. Elke avond is om acht uur een 'sked', een verplicht moment voor alle onderzoekers op buitenlocaties om radiocontact te maken met het station, waarbij noodzakelijke mededelingen en ook de laatste nieuwtjes worden uitgewisseld.

blijven (ten zuiden van het Antarctisch Polair Front) was echter zeer gering. Daarentegen bleken plastic deeltjes wel in aanzienlijke hoeveelheden voor te komen in Kaapse stormvogels en met name Wilson stormvogeltjes (*Oceanites oceanicus*), die ook op Ardery broeden. In het winterseizoen trekken deze soorten ver naar het noorden en kunnen zelfs de evenaar passeren. Alle kuikens van stormvogels zijn tot het moment dat ze uitvliegen volledig afhankelijk van het voedsel dat de ouders hen aanbieden. Aangezien de magen van dode kuikens van Wilson stormvogels veel plastic bevatten, maakt plastic al vanaf hun vroegste jeugd ongewenst een substantieel deel uit van het dieet.

Naast plastic kunnen er ook andere, minder zichtbare stoffen in het milieu voorkomen als gevolg van menselijke invloeden. De luchtkwaliteit kan ook in een relatief schone omgeving als Antarctica aangetast worden. Of er sprake is van een toenemende luchtvervuiling kan men alleen vaststellen met een goede nulmeting. Daarom werd vanuit IBN-DLO een promotieonderzoek gestart om de huidige achtergrondconcentraties van bepaalde stoffen te bepalen en om een meetnet op te zetten voor de lange termijn. Promovendus Nico van den Brink onderzocht in welke mate organochloorverbindingen (zoals PCB's die gebruikt worden als koelvloeistof, HCB als fungicide, DDT, mirex en dieldrin als insecticide) en de giftige verbrandingsproducten van deze stoffen (zoals dioxinen) in stormvogels en pinguïns voorkomen. Dit veldwerk werd verricht op het eiland Hop bij het Australisch Antarctisch Station Davis waar werd samengewerkt met Amerikaanse en Australische stormvogel- en pinguïnonderzoekers.
Niet-afbreekbare giftige stoffen hopen zich op in de voedselketen (bioaccumulatie) en komen daardoor bij de toppredatoren in de allerhoogste concentraties voor. Dit betekent dat monsters die genomen worden van dood gevonden dieren die aan de top van de voedselpiramide staan een goede graadmeter voor de vervuiling van het Antarctische ecosysteem zijn. Van den Brink ontwikkelde tevens een manier om bij levende dieren zonder nadelige effecten monsters te kunnen nemen. Het afnemen van bloed en stuitklierolie bleek een goede methode om gehaltes van organochloorverbindingen in zowel

Jan Andries van Franeker tijdens zeevogel- en zeezoogdiertellingen vanaf de Polarstern. Foto: Bram Feij.





stormvogels als pinguïns te bepalen. Tegelijkertijd bleek deze methode van monstername het broedsucces van deze vogels niet negatief te beïnvloeden.
Opvallend is dat de meest vluchtige stoffen (HCB en sommige PCB's) in veel hogere concentraties in Antarctica voorkomen dan elders op aarde: tot wel 700 keer hoger dan in vogels uit bijvoorbeeld de Nederlandse Waddenzee. Dit kan mogelijk door het 'cold-condenser effect' verklaard worden. Vluchtige stoffen die getransporteerd worden naar koude gebieden slaan daar neer, en omdat ze moeilijk verdampen kunnen deze stoffen uiteindelijk in (veel) hogere concentraties voorkomen dan in het gebied van origine. In het onderzoek van Van den Brink werden ook giftige stoffen aangetoond die nog niet eerder in Antarctica waren waargenomen. Daarom zijn regelmatige, liefst jaarlijkse metingen volgens een standaardprotocol noodzakelijk om de invloed van de mens op het Antarctische ecosysteem te bepalen.
Momenteel wordt onder leiding van Van den Brink vergelijkbaar eco-toxicologisch onderzoek uitgevoerd in de Dirck Gerritsz labs bij Rothera (Antarctisch Schiereiland), maar dan met betrekking tot bodemorganismen. In tegenstelling tot in de waterkolom levende vissen en stormvogels, waar de gehaltes aan PCB's en HCB's de laatste jaren sterk lijken af te nemen, wordt een dergelijke trend bij bodemorganismen (nog) niet waargenomen. Onderzocht wordt of giftige stoffen die wereldwijd verspreid worden zich inderdaad ophopen in organismen die alleen in de Antarctische bodem leven.

Zoals eerder vermeld verblijven stormvogels het grootste deel van het jaar niet aan land maar op zee, net als alle andere Antarctische toppredatoren. Om de verspreiding en aantallen walvissen, zeehonden, pinguïns en stormvogels in kaart te kunnen brengen zijn systematische tellingen in verschillende geografische gebieden en op verschillende tijden in het jaar broodnodig. Van Franeker en collega's voerden geregeld tellingen uit vanaf expeditieschepen in het Antarctische gebied zoals de ijsbreker Polarstern van het Duitse Alfred Wegener Institut für Polar und Meeresforschung (AWI). Verspreidingspatronen van toppredatoren kunnen vervolgens gecorreleerd worden aan relevante oceanografische en zee-ijsgegevens.
In het gebied waar zee-ijs zich in de lente terugtrekt vindt elk jaar een voorjaarsbloei van fytoplankton plaats. Algemeen werd aangenomen dat deze bloei veel vis en krill aantrekt, waar toppredatoren vervolgens in grote getale op afkomen. Dit zou de reden zijn waarom veel toppredatoren langs de rand van het zee-ijs waargenomen worden. Deze verklaring lijkt na nieuwe obervaties enigszins te moeten worden bijgesteld. Van Franeker constateerde al eerder dat de meeste toppredatoren lang niet altijd te vinden zijn daar waar de grootste algenproductie plaatsvindt. Dit werd bevestigd door nieuwe tellingen van Hauke Flores, die in het kader van een nieuw promotieonderzoek bij Alterra (IMARES) de ecologische betekenis van zee-ijs voor het Antarctische ecosysteem onderzocht. In 2004/2005 telde hij vanuit een helikopter de aanwezige toppredatoren in een weinig onderzocht deel van de Weddellzee. Diep in het pakijs bleken zeehonden en pinguïns in vergelijkbare aantallen voor te komen als aan de rand van het zee-ijs. De meest talrijke zeehond in dit gebied, de krabbeneter (*Lobodon carcinophaga*), die overigens geen krab maar krill eet, kwam vooral voor op plekken waar het pakijs relatief dun is.

Ook Antarctische zeezoogdieren waren al vroeg onderwerp van een aantal veldexpedities van Nederlandse onderzoekers. Aangespoord door de toegenomen Nederlandse interesse in Antarctica voer Peter Reijnders (RIN-Texel) in 1986 met de Polarstern mee om onderzoek te gaan doen aan weddellzeehonden in de oostelijke Weddellzee. Met collega's van het AWI werd een tijdelijk kamp opgezet op de Riiser Larsen Ice Shelf. Waarschijnlijk waren Reijnders en zijn medewerker Koos Zegers de eerste Nederlanders die op het pakijs van het Antarctisch continent onderzoek deden.
Sinds de jaren '70 werkt Reijnders als zeehonden-expert bij hetzelfde instituut als Van Franeker. Hij ontdekte dat, nadat de jacht op zeehonden was verboden in de Waddenzee, met name de milieuvervuiling door hoge concentraties organochloriden de belangrijkste boosdoener was voor de historisch lage aantallen in de jaren '70 en '80. Zeehonden bezitten veel vetweefsel waarin PCB's en DDT zich gemakkelijk kunnen ophopen, en waardoor de vruchtbaarheid van de vrouwtjes afneemt. Nadat het water in de rivieren en in de Waddenzee schoner werd (het gebruik van organochloriden werd steeds meer aan banden gelegd) bleek de zeehondenpopulatie zich langzaam te herstellen. Daarom onderzocht Reijnders of menselijke verstoring in de drukke Waddenzee



hierbij nog een rol speelde. Die expertise werd ingezet bij het Antarctisch onderzoek.
Het onderzoek aan Weddellzeehonden in Antarctica richtte zich op een aantal basale aspecten van de broedbiologie van deze soort omdat hiervan nog geen gegevens bekend waren. De pups werden geboren in de lente, namelijk in oktober en november, waarna de moeders bij hun pup bleven tijdens de zes tot zeven weken durende lactatieperiode. VHF-zenders werden gebruikt om het gedrag en de bewegingen van de moeders te kunnen volgen. Reijnders ontwikkelde een nieuwe methode om ook bij temperaturen rond het vriespunt zenders op de zeehonden te kunnen plakken. De gangbare epoxylijm kan namelijk niet uitharden bij de heersende lage temperaturen. Door hete lucht in een soort couveuse te blazen die op de zeehond was geplaatst, kon de luchttemperatuur rondom de zender verhoogd worden tot zo'n 10 °C. Doordat de vrouwtjes tijdens deze gehele periode vasten vindt er een bijzonder intensieve energieoverdracht van moeder naar pup plaats. In de eerste vijf weken verliezen de moeders al 38% van hun lichaamsgewicht, terwijl de pups 3,5 keer zo zwaar worden, enkel door de moedermelk. Van een aantal niet-zogende Weddellzeehonden werd het dieet bepaald. Het bleek dat ze een mix van vooral diverse vis- en pijlinktvissoorten hadden gegeten. Opvallend daarbij was dat de Antarctische zilvervis in het geheel ontbrak, terwijl deze toch vrijwel exclusief gegeten werd in het voorgaande zomerseizoen.

Door zijn onderzoek naar de gevolgen van menselijke verstoring op zeehonden in de Waddenzee was Reijnders geïnteresseerd geraakt in mogelijkheden om de effecten bij zeehonden in een vrijwel onverstoord gebied te onderzoeken. Een goede kandidaat hiervoor was de Zuidelijke zeeolifant (*Mirounga leonina*). Deze soort komt aan land op kiezel- en zandstranden van afgelegen sub-Antarctische eilanden, om te paren, te baren en om de pups te zogen. De vrouwtjes vormen op het strand groepen van tientallen tot honderden individuen, met maar één of enkele mannetjes daartussen. Deze groepen worden daarom ook wel harems genoemd. De zoogtijd is van september tot en met november en is ook bij deze soort kort en intensief. Vrouwtjes verliezen gemiddeld 35% van hun lichaamsgewicht en de pups kunnen in drie tot vier weken hun lichaamsgewicht verdubbelen tot zelfs vervierdubbelen.



Peter Reijnders (links) en Koos Zegers (rechts) zijn bezig met het lijmen van een VHF-zender op een Weddellzeehond. Met een zelf ontworpen couveuse wordt met behulp van aangevoerde warme lucht de temperatuur op circa 10 graden gebracht waardoor de 2-componenten epoxylijm kan uitharden. Foto: Joachim Plötz.

In de jaren '90 was onderzoek naar de menselijke invloed op het Antarctisch ecosysteem één van de hoofdthema's van het Nederlands AntArctisch Programma (NAAP) en het voorgestelde verstoringsonderzoek aan Zuidelijke zeeolifanten sloot hier goed bij aan. Vanuit NWO werd een promotieonderzoek gefinancierd en in 1995 werd Georg Engelhard (die al eerder aan Zuidelijke zeeolifanten in Patagonië had gewerkt) aangesteld als promovendus bij het IBN-DLO. Het veldwerk vond plaats op het eiland Macquarie, een Australisch sub-Antarctisch eiland, en gebeurde in nauwe samenwerking met het SMRU (Sea Mammal Research Unit, Groot-Brittanië) en de Australische Antarctische Divisie in Tasmanië. In het eerste seizoen (1995) werden samen met Jeroen Creuwels, destijds tijdelijk in dienst bij het IBN-DLO, verkennende gedragsobservaties verricht in de harems. Hierbij werd gekeken naar de invloed van 'natuurlijke' verstoring door de dominante zeeolifantenmannetjes op het gedrag van de vrouwtjes en de ontwikkeling van de pups. In latere seizoenen (1996 en 1998) werden gecontroleerde verstoringsexperimenten uitgevoerd samen met collega's van SMRU, IBN-DLO en studenten van de Rijksuniversiteit Groningen. De aantallen Zuidelijke zeeolifanten op het eiland Macquarie bleken net als andere

populaties in de Indische en de Pacifische Oceaan af te nemen. In Atlantische populaties daarentegen zijn de aantallen individuen stabiel en zeeolifantenpups in deze gebieden zijn ook significant zwaarder. Eerder onderzoek had al aangetoond dat een hoger speengewicht (gewicht van de pup aan het eind van de lactatieperiode) de overlevingskans van de pup verhoogt. Engelhard onderzocht of de toenemende menselijke verstoring een rol speelde in de populatieafname op het eiland. Daarom werd voor een proefopzet gekozen waarbij de onderzoeksactiviteiten (het wegen van de moeders en de pups en het nemen van bloedmonsters) zelf ook als verstoring werden opgevat. De zeeolifanten werden aan verschillende regimes van deze verstoring blootgesteld in de meest kritieke periode in het leven van een zeeolifant, namelijk de zoogtijd. Dit onderzoek toonde aan dat zeeolifanten reageren op verstoring door het aanmaken van verhoogde concentraties van het stresshormoon cortisol en door verhoogd alert gedrag. Bij andere fysiologische en hematologische waarden en gedragsparameters werden geen verschillen aangetroffen tussen de verschillende kolonies zeeolifanten. Ook konden geen effecten op de langere termijn worden aangetoond, zoals verminderde melkoverdracht of verminderde conditie aan het einde van de lactatieperiode van zowel de pups als de moeders. Hieruit concludeerde Engelhard dat menselijke verstoring op het land hoogstwaarschijnlijk geen invloed heeft op de zeeolifanten. Een verklaring voor de afnemende populaties zal dus gezocht moeten worden in andere factoren in het mariene milieu, zoals bijvoorbeeld de voedselbeschikbaarheid.

Een heel nieuw project, waarin het onderzoek naar plasticvervuiling van Van Franeker gecombineerd wordt met het zeehondenonderzoek door Reijnders, is onlangs gestart op IMARES. Elisa Bravo Rebolledo (IMARES) zal in samenwerking met het INACH (Chileens Antarctisch Instituut) en Van Franeker en Reijnders onderzoeken in hoeverre Antarctische pelsrobben (*Arctocephalus gazella*) plastic tot zich nemen en of ze vaak in plastic materialen verstrikt raken. Op Cape Shirreff bij het Chileense Guillermo Mann Station op het eiland Livingstone (Zuid Shetland Eilanden) zal zij poepmonsters verzamelen en zwerfvuil op de stranden inventariseren. Het gehalte aan (micro)plastics in de feces geeft een indicatie hoeveel plastic wordt ingeslikt. Ook poepmonsters van naburige onderzoekstations zullen worden verzameld en geanalyseerd om een beter beeld te krijgen hoe plastic deeltjes zich verspreiden in het Antarctische ecosysteem.

Jonge zee-olifanten, Rothera Point, Antarctica. Foto: Ronald J.W. Visser.

Weddellzeehondmoeder met jong op zee-ijs. Foto: Jeroen Creuwels.







Terrestrische Biologie





Terrestrisch onderzoek in de jaren voor de Nederlandse Polaire Programma's

Ad Huiskes

Toen in 1967 de samenwerking met België in Antarctica ophield kwam aan het Nederlandse Antarctische onderzoek een voorlopig einde. De Nederlandse wetenschappelijke inspanningen in Antarctica hadden tot dan toe vrijwel uitsluitend bestaan uit meteorologie en fysica van de atmosfeer. Met het KNMI als organisator van Nederlandse expedities naar de poolstreken was dat trouwens niet verwonderlijk.

Toch vond er vóór de jaren zestig van de 20e eeuw ook biologisch onderzoek in de poolstreken plaats. Dit maakte echter geen deel uit van reguliere Nederlandse expedities en werd veelal georganiseerd door de individuele onderzoekers zelf. Zo reisden Niko Tinbergen en zijn echtgenote in 1932 mee met de Nederlandse expeditie naar Angmagssalik in Kalaallit Nunaat (Groenland), een expeditie in het kader van het tweede Internationale Pooljaar (1932-1933). De Tinbergens deden er onderzoek naar de ecologie en ethologie (gedragsbiologie) van grauwe franjepoten, sneeuwgorzen en tapuiten. 'Voor het eerst,' schrijft Louwrens Hacquebord in zijn inaugurele rede (1995, Arctisch Centrum, Rijksuniversiteit Groningen), 'werd bij biologisch onderzoek niet alleen geïnventariseerd en verzameld, maar ook geanalyseerd en verklaard.'

De Utrechtse bioloog G.J. van Oordt deed in de twintiger jaren van de twintigste eeuw ornithologisch (vogel-) onderzoek in Spitsbergen, als gast van de Nederlandse maatschappij NESPICO, die daar een mijn exploiteerde. Een andere vogelonderzoeker, Jan P. Strijbos, publicist van vooral vogelboeken en ook fotograaf, bezocht Spitsbergen in de jaren 1939 en 1956 om ornithologische inventarisaties rond Ny-Ålesund te doen. Jan P. Strijbos deed ook vogelwaarnemingen tijdens de eerste reis van de Nederlandse walvisvaarder Willem Barendsz naar Antarctica (1946). Aan boord waren ook de biologen Everhard Slijper en Wim Vervoort, die beiden walvissen bestudeerden. Slijper publiceerde vervolgens een internationaal erkend standaardwerk, 'Whales', over deze dieren, en Vervoort schreef samen met C. F. Feldmann een boek over de biologische en technische grondslagen van de moderne walvisvaart. Deze onderzoeksinspanningen hadden een sterk *ad hoc* karakter. Biologisch onderzoek in de poolstreken werd derhalve voornamelijk gefinancierd met particuliere giften. Desalniettemin kon met kortlopende subsidies en particuliere steun wel degelijk langetermijnonderzoek worden verricht, getuige het ruim twintig jaar durende onderzoek op Edgeøya (Spitsbergen). Eric Flipse en Jowi de Roever, beiden biologiestudent en fanatieke vogelaars, voerden in 1963 in het oosten van Spitsbergen vogelinventarisaties uit. Flipse had contacten met het Norsk Polarinstitutt, waar plannen bestonden voor ijsbeeronderzoek. De ijsbeerpopulatie ging wereldwijd achteruit, vermoedelijk vanwege de jacht en door milieuverontreiniging waar de ijsbeer als toppredator veel schade van ondervond. Op een conferentie in Fairbanks (Alaska) was duidelijk geworden dat er weinig bekend was van de biologie van ijsberen, te weinig althans om adequate beschermingsmaatregelen te kunnen ontwikkelen. De Noren nodigden Flipse uit om aan dit onderzoek deel te nemen (het project 'International Polar bear Census Expeditions'). Flipse nam hierop het initiatief om een Nederlandse Spitsbergen Expeditie te organiseren. Hij had zich verzekerd van de steun van het toenmalige RIVON (Rijksinstituut voor Veldbiologisch Onderzoek ten behoeve van het Natuurbehoud) en dan met name van de zoöloog Anne van Wijngaarden, wiens onderzoek bijdroeg aan de bescherming van bedreigde zoogdieren in Europa. Flipse en Van Wijngaarden accepteerden vol





De vier overwinteraars op Edgeøya. Van links naar rechts: Paul de Groot, Eric Flipse, Ko de Korte en Piet Oosterveld. Foto: sees.nl.

enthousiasme de Noorse uitnodiging, maar geheel in lijn met de toenmalige gang van zaken gaven de overheid, de KNAW en NWO (destijds ZWO) niet thuis toen men om financiële steun vroeg. Flipse en Van Wijngaarden moesten het dus van particuliere giften en bijdragen van het bedrijfsleven (veelal in natura) hebben. Piet Oosterveld, een biologieleraar uit Zwolle die eerder onderzoek had gedaan op IJsland, werd door de initiatiefnemers benaderd om expeditieleider te worden. Hij richtte de Nederlandse Stichting voor Arctisch Natuurwetenschappelijk Onderzoek op om fondsen te werven. Deze fondsenwerving lukte maar ten dele en het zou nog jaren duren voor de schulden waren afgelost. Begin augustus 1968 reisde men toch af naar Spitsbergen. De leden van de expeditie waren de biologiestudenten Eric Flipse en Ko de Korte, de bosbouwstudent Paul de Groot en Piet Oosterveld. De expeditie werd bijgestaan door Anne van Wijngaarden van het RIVON, die als projectleider opereerde. Verder namen nog deel Nico Vergouw en Henk Vlug; beiden zouden helpen het station bij Kapp Lee, op de noordwestkust van Edgeøya, op te bouwen. Hans Zoet en Paul van den Bos verzorgden respectievelijk de radio- en televisiereportages. Half september keerden deze hulptroepen terug naar Nederland en begon voor de vier expeditieleden het eigenlijke werk. Pas een jaar later keerde de expeditie naar Nederland terug. Het viertal onderzoekers ontving voor zijn pionierswerk op Edgeøya in 1970 de ANV (Algemeen Nederlands Verbond) Herman Visser Neerlandia-prijs.

Het doel van de expeditie was om gegevens te verzamelen over de biologie en het gedrag van ijsberen, door deze dieren individueel te merken. Dertien ijsberen werden verdoofd, gemeten, gewogen en van een tag voorzien[1]. Daarnaast bestudeerde Oosterveld rendieren in relatie tot de toendravegetatie en De Korte inventariseerde vogels op het eiland Edgeøya.

Een aantal jaar later, in 1972, bestudeerden de studenten J. H. Kuper en Jan-Willem van Rijn van Alkemade de effecten van olieboringen op Edgeøya, met name de gevolgen ervan voor de toendravegetatie. Hiervoor markeerden en beschreven ze een aantal vegetatiekwadraten. In 1977 bezochten Van Rijn van Alkemade en Arnoud van den Berg wederom deze permanent gemarkeerde kwadraten om vast te stellen of er een langetermijneffect aanwezig was van met name bandensporen. De schade bleek mee te vallen. De sporen waren nog steeds zichtbaar, evenals de boorlocaties, maar de vegetatie vertoonde tekenen van herstel. In 1986 onderzocht Van Rijn van Alkemade samen met Cock van Herk en Rob Lensink deze locaties voor de derde maal en ze ontdekten dat de vegetatie in elk geval voor een deel was hersteld. Ook de bandensporen waren ondieper geworden. Wel bleek dat de diepte van de permafrost hier en daar veranderd was. Deze studie naar de regeneratie van toendravegetatie is nog altijd één van de weinige die zich over een periode van meer dan tien jaar uitstrekt.

In 1977 was Piet Oosterveld met financiële hulp van 'zijn' stichting in staat om de 'Reindeer Environment Expedition to Edgeøya, Svalbard' (REES '77) te organiseren. Het doel van de expeditie was de relatie tussen toendravegetatie en rendieren te bestuderen. De expeditie bestond uit een groot aantal deelnemers, verbonden aan vijf instituten maar deelnemend op persoonlijke titel. De expeditie keerde naar Nederland terug met een grote hoeveelheid gegevens

die resulteerden in een vegetatiekaart van een vallei, een landschapskaart van het gehele eiland, een schatting van de grootte van de rendierpopulatie en een opdeling van de rendiersterfte in leeftijdsklassen per sexe op basis van verzamelde rendierkaakresten. Na het veldwerkseizoen van 1977 organiseerde Piet Oosterveld nog zes volgende expedities naar Edgeøya, waarbij ook de bodemfauna aan bod kwam door het onderzoek van de Belgen Willem De Smet, Louis Beijens en P. De Bock.
Het onderzoek van die jaren is beschreven in de bundel Permanence in Diversity[2]. Uit de bijdragen in deze bundel wordt duidelijk dat het onderzoek op Edgeøya niet alleen



Arend van Dijk en Hester Heijnemeijer brengen de vegetatie op Edgeøa in kaart. Foto: I.S. Zonneveld.

zeer veelzijdig maar ook zowel nationaal als internationaal van belang is geweest. Van de dertien gemerkte ijsberen werden er vier binnen een jaar ver van Edgeøya, namelijk op de westkust van Spitsbergen, geschoten. Dit toonde onomstotelijk aan dat deze grote zoogdieren beter beschermd moesten worden en de bevindingen leidden dan ook tot een jachtverbod. De bestudering van de ijsbeerpopulatie leverde waardevolle gegevens op van de ecologie en het gedrag van deze diersoort, hetgeen een belangrijke bijdrage leverde aan de beschermingsmaatregelen van deze grote zoogdieren.

In augustus 2015 werd weer een Nederlandse expeditie naar Edgeøya georganiseerd (www.sees.nl). Dit betrof een negendaagse expeditie met ruim 50 onderzoekers van allerlei wetenschappelijke disciplines, aan boord van een cruiseschip. Piet Oosterveld, Ko de Korte en Paul de Groot, drie van de vier overwinteraars uit 1968, alsmede Sip van Wieren en Steven de Bie, de rendieronderzoekers van 1977, waren ook weer van de partij. Maarten Loonen van het Arctisch Centrum te Groningen trad op als expeditieleider. Een belangrijk doel van de expeditie was om de nieuwe observaties te vergelijken met de gegevens van enkele decennia eerder om inzicht te krijgen in de mogelijke gevolgen van het opwarmende klimaat. De wetenschappelijke resultaten van deze expeditie zullen de komende tijd worden uitgewerkt.

Ook in het Antarctische gebied deden Nederlanders onderzoek in de jaren tussen de sluiting van de Belgische Koning Boudewijnbasis (1967) en het begin van het Nederlands Antarctisch Programma (1984).
Dit werk vond plaats op het sub-Antarctische Marion Island. De Prince Edward Islands archipel, waartoe Marion Island behoort, ligt buiten het gebied van het Antarctic Treaty (zie Algemene Inleiding) en behoort tot de Republiek Zuid-Afrika. Dat land exploiteert er sinds 1947 een weerstation, dat sindsdien is getransformeerd tot een onderzoeksstation waar behalve meteorologie voornamelijk biologisch onderzoek wordt uitgevoerd.
Dat daar ook Nederlanders onderzoek mochten doen was te danken aan Eduard van Zinderen-Bakker. Deze Nederlandse botanicus was in 1947 naar Zuid-Afrika geëmigreerd en doceerde botanie, palynologie (pollenonderzoek) en archeologie aan de Universiteit van Oranje Vrijstaat te Bloemfontein. Toen Zuid-Afrika in 1947 de Prins Edward Islands annexeerde, maakte Van Zinderen-Bakker meteen plannen voor een biologisch onderzoeksproject in de archipel. Hij maakte zich ook sterk voor de internationalisering van het Zuid-Afrikaanse biologische onderzoek en nodigde buitenlandse collega's uit hun veelbelovende studenten naar Zuid-Afrika te sturen om een promotieonderzoek te



Opeens was daar die ijsbeer…

Oosterveld: ‘In de buurt van ons onderzoeksstation dat we in de herfst van 1968 hadden gebouwd, zagen we in 1987 een ijsberenfamilie met twee cubs. De moeder had later haar twee jongen in de steek gelaten en één ervan kwam naar het station geslopen. Ik was nergens op verdacht, stond buiten hout te zagen voor de open haard, en voel opeens een berenklauw. Ik heb me losgescheurd en ben het station ingerend. Mijn kameraad George (George Visser) stond binnen te koken en ik sta daar nog wat uit te hijgen. Wat er vervolgens gebeurt, hangt van mijn eigen stommiteiten aan elkaar. Alles wat ik mijn studenten voorhoud in confrontaties met ijsberen ben ik totaal vergeten. Ik zie de jonge ijsbeer naar de rubberboot lopen, die we daar ‘s ochtends hadden geparkeerd na een reparatie. Deze was nodig omdat beren er met hun nagels gaten in hadden gemaakt.
Toen zat die verdomde ijsbeer weer aan onze boot te klauwen. Ik was zo kwaad dat ik met een brandende fakkel, op mijn pantoffels, de deur openlatend, naar buiten rende om hem weg te jagen. Ik realiseerde me niet dat er voor dat hongerige beest lekkere geuren van gebakken spek naar buiten kwamen.
Ik gleed uit en lag op mijn rug. Het volgende moment zat de ijsbeer bovenop me. Toen deed ik weer iets wat ik mijn studenten in zo’n situatie afraad. Ik tilde mijn hoofd op. Het was een natuurlijke reactie, maar dat had ik niet moeten doen. Je moet je in zo’n situatie perfect dood houden, want misschien is de beer dan niet meer geïnteresseerd.
Geheel foute manoeuvre dus. Want zeehonden die hun kop optillen, krijgen meteen een dreun van de ijsbeer. Hun schedeltjes zijn dun, maar ik had een dikke schedel. Die werd half gescalpeerd. Hij trok de bovenhuid zo van mijn linker schedelkant af en begon toen aan de andere kant. Hij begon me mee te slepen. Ik heb geprobeerd de brandende pijp, die ik idioot genoeg nog in mijn handen had, in zijn bek te stoppen. Mijn vriend George greep de beer bij zijn schouders en probeerde hem weg te duwen. Hij werd in beide bovenarmen gebeten.
Uiteindelijk zijn we binnen geraakt. George heeft me verbonden. Pure alcohol dronken we tegen de pijn. Toen was het nog drie dagen wachten voordat de boot (de (oude) Plancius) ons kwam ophalen. Vanaf de boot kon met de boordradio snel een helikopter worden opgetrommeld en van daaruit zijn we naar het ziekenhuis vervoerd.

beginnen, volledig door Zuid-Afrika gefinancierd.
Vanwege zijn Nederlandse achtergrond werden er ook uitnodigingen naar Nederland verzonden. Han Lindeboom, microbioloog en afgestudeerd bij Henk Veldkamp in Groningen, was de eerste Nederlandse promovendus die van deze gelegenheid gebruik maakte. In de periodes december 1975 – mei 1976, november 1976 – december 1977 en april – mei 1978 bestudeerde hij de chemische en microbiologische aspecten van de stikstofcyclus op Marion Island. Lindeboom onderzocht de betekenis van micro-organismen (met name van bacteriën) voor de stikstofcyclus op verschillende locaties op het eiland (in een zeeolifantenkolonie, rond het nest van een albatros en in kolonies van konings- en macaronipinguïns). Ook bestudeerde hij de stikstoffixatie in algenmatten. Daarnaast verzamelde hij zo veel mogelijk chemische gegevens om een model van de stikstofcyclus te kunnen opstellen. Het meest in het oog springende deel van dit onderzoek betreft de stikstofcyclus in kolonies van de macaronipinguïn en van de koningspinguïn. De belangrijkste stikstofbron voor het terrestrische ecosysteem op Marion Island betreft de uitwerpselen van zeevogels (met name pinguïns). Stikstof is één van de belangrijkste voedingssubstanties voor de plantengroei en, aangezien planten aan de basis van het ecosysteem staan, belangrijk voor het hele ecosysteem. Tachtig procent van de stikstof in deze uitwerpselen is urinezuur, dat door microorganismen wordt afgebroken tot ammonia, hetgeen snel verdampt. Door de grote regenval komt de ammonia echter

Die pet? De huid van mijn been is naar mijn hoofd getransplanteerd. Dat geeft een badmutsgevoel. Maar wie wil er nou te maken hebben met iemand die zijn hele leven met zijn handen in het haar zit...?’
‘De aanval van de ijsbeer - overigens doodgeschoten na deze gebeurtenis - heeft mijn leven niet bepaald’, aldus Oosterveld. ‘Er zijn bepaalde situaties waarin je niet reageert zoals zou moeten. Dat is niet te voorkomen. De omstandigheden zijn altijd anders. Het was vooral mijn eigen stommiteit, de beer stond in zijn recht.’

(Samengevat uit het Volkskrant Archief 2004)



al snel weer in het ecosysteem terug. De kolonies van de twee pinguïnsoorten verschilden overigens niet veel wat betreft de stikstofhuishouding. Lindebooms studie vormde het eerste Nederlandse onderzoek in de poolstreken dat een puur ecologisch proces als onderwerp had. Het was sowieso één van de eerste ecologische processtudies in het Antarctische gebied.

Niek Gremmen, afgestudeerd in de vegetatiekunde bij Victor Westhoff in Nijmegen, was de tweede Nederlandse promovendus die onderzoek op Marion Island deed. In 1975 markeerde hij 55 locaties in verschillende vegetatietypen, die hij vervolgens nauwkeurig beschreef en classificeerde op de manier van de klassieke vegetatiekunde. Vegetatiekunde was in die tijd in Nederland nog een belangrijk onderzoeksgebied binnen de biologie. De studie van Gremmen was in het Antarctisch biologisch onderzoek een belangrijke stap voorwaarts. Algemene beschrijvingen van Antarctische vegetatie waren al gedaan, maar Gremmens studie ging een stap verder: het was niet uitsluitend beschrijvend vegetatiekundig, maar er werd ook een duidelijke relatie gelegd met de omgeving zoals de aanwezigheid van nestelende vogels die voor nutriëntenaanvoer zorgden, en met de hoogtegradiënten van het eiland. Gremmen bleek in staat een hele serie vervolgstudies uit te voeren. Hij verbleef de daaropvolgende veertig jaar regelmatig op Marion Island, daartoe financieel in staat gesteld door Zuid-Afrikaanse subsidies, zo nu en dan aangevuld met een toelage vanuit het Nederlands Antarctisch Programma. Elke keer als hij op het eiland kwam nam hij de 55 vegetatiekwadraten op. Daarmee is dit onderzoek internationaal gezien het langstlopende terrestrisch onderzoek (in 2015 veertig jaar) in Antarctica.
Vanwege de lange looptijd van het vegetatieonderzoek was Gremmen in staat uitspraken te doen over de effecten van klimaatverandering, betreding, en over de effecten van invasieve soorten. De publicaties hierover werden (en worden nog altijd) vaak geciteerd. Met name de publicaties over de invasies van niet-inheemse soorten als *Poa annua* (straatgras) en *Agrostis stolonifera* (fioringras) staan nog steeds volop in de belangstelling, omdat onderzoek aan niet-inheemse soorten in het kader van de Antarctische milieuregelgeving van groot belang wordt geacht.

Vanwege zijn expertise als vegetatiekundige en polair botanicus maakte Gremmen ook deel uit van andere onderzoeksprojecten. Hij nam op uitnodiging van de Zuid-Afrikanen deel aan expedities naar Prins Edward Island, het buureiland van Marion Island. Dit eiland is in principe verboden gebied, maar wordt éénmaal per tien jaar bezocht door een aan strenge eisen gebonden expeditie, die veranderingen in het ecosysteem van het eiland in kaart brengt. Verder verbleef Gremmen op uitnodiging van de Zuid-Afrikanen tweemaal op Tristan da Cunha en tweemaal op Gough Island om de effecten van niet-inheemse soorten te bestuderen en een uitroeiingsprogramma voor deze soorten te leiden. Om diezelfde reden bezocht hij tijdens een Australische expeditie ook het Australische Heard Island. Hij deed samen met Bart van de Vijver van de Universiteit van Antwerpen (thans werkzaam bij de Plantentuin van België in Meise) onderzoek naar eencellige kiezelwieren (diatomeeën) op sub-Antarctische eilanden. Hij nam deel aan het onderzoeksproject Antarctic Coastal Ecology (1990 – 1993) op de Argentine Islands (en het mariene deel op Signy Island) waarbij hij vaststelde dat ook in de Antarctische kustvegetatie, net als in kustvegetaties in andere klimaatzones, een zonering aanwezig is zoals bij kustvegetaties in de gematigde streken, en dat voor deze kustvegetatie milieugradiënten een belangrijke rol spelen. Ook nam Gremmen deel aan het prestigieuze project Aliens in Antarctica tijdens het vierde Internationale Pooljaar (2007-2008) waarbij onderzoekers uit negen landen onderzochten welke zaden en plantendelen bezoekers onbedoeld naar het continent Antarctica meebrengen. Gremmen was in dit project verantwoordelijk voor de determinatie van de monsters en voor de dataverwerking van de verzamelde gegevens. Het bleek dat bezoekers verbonden aan wetenschappelijke programma's een grotere kans hadden om zaden en plantendelen mee te nemen dan bijvoorbeeld toeristen en scheeps- en vliegtuigbemanningen.

Ad Huiskes voor de onderzoeksopstelling (zgn. Open-Top Kamers) op Anchorage Island Voor beschrijving zie volgende hoofdstuk. Foto: Louise Vet.





Het terrestrisch onderzoek tijdens de Nederlandse Antarctische en Arctische Programma's (1989 – 2009)

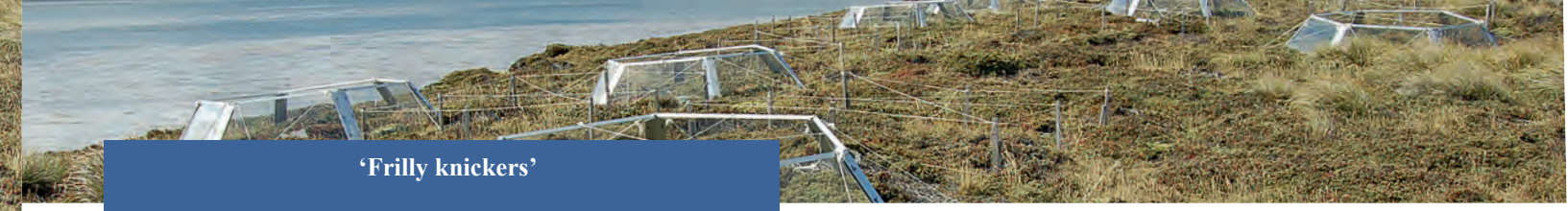
Ad Huiskes en Jelte Rozema

Zoals beschreven in het algemene inleidende hoofdstuk besloot het Kabinet in juni 1989 vier jaar lang extra geld voor Antarctisch onderzoek uit te trekken en wederom het consultatieve lidmaatschap van het Antarctica Verdrag aan te vragen. De Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW) zou als het Nederlandse lid van de International Council of Science (ICSU) het Nederlandse lidmaatschap van het Scientific Committee on Antarctic Research (onderdeel van ICSU) aanvragen. Hoewel niet officieel vastgelegd was het toch gebruikelijk dat een land eerst lid van SCAR werd en ook een door SCAR goedgekeurd onderzoeksprogramma had, om vervolgens stemhebbend lid te worden van de Antarctische Verdragsorganisatie. Met een breder opgezet Antarctisch Onderzoekprogramma, waarin, naast marien onderzoek, ook terrestrisch biologisch, glaciologisch, geologisch en klimatologisch onderzoek een plaats kregen, reisde Egbert Duursma (directeur van het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek in Yerseke, en voorzitter van de KNAW-commissie voor Antarctisch Onderzoek) in juli 1990 naar São Paulo (Brazilië) om het SCAR-lidmaatschap te bemachtigen. En dat lukte! Het was voor het eerst dat een land als volwaardig lid van SCAR werd toegelaten zonder dat het een onderzoeksstation op Antarctica had. In november 1990 werd Nederland vervolgens stemhebbend lid van de Antarctische Verdragsorganisatie. Om duidelijk te maken dat het Nederland menens was met het Antarctische onderzoek, ondanks het niet hebben van eigen infrastructuur, werd eind 1990/begin 1991 de 'Eerste Nederlandse Antarctische expeditie' georganiseerd. Jaap van der Land, voorzitter van het bestuur van de Stichting Onderzoek der Zee (SOZ) van NWO was de organisator, en Wim Wolff de expeditieleider. Voor deze



De ansichtkaart van São Paulo, die Egbert Duursma verstuurde toen SCAR Nederland als lid had aanvaard (1990).

expeditie werd een deel van het Poolse onderzoeksstation 'Henryk Arctowski' op King George Island afgehuurd. Een multidisciplinair gezelschap deed onderzoek op dit eiland, terwijl een kleine groep onderzoekers, onder leiding van Louwrens Hacquebord van het Arctisch Centrum, histo-



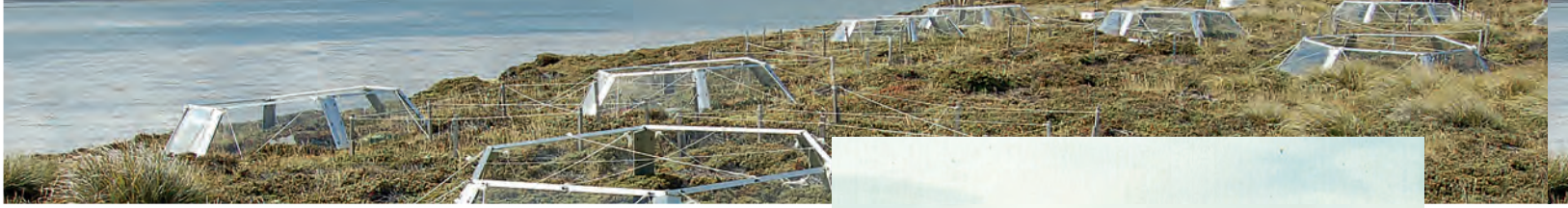
'Frilly knickers'

Gedurende de hele samenwerking met de British Antarctic Survey heeft het DIHO (later NIOO-CEME) de poolkleding voor zijn onderzoekers betrokken van de 'stores' van de BAS (op enkele kledingstukken na, die als sponsoring van Demmenie Sport afkomstig waren). Zo'n kleding-set was – uiteraard – bestemd voor leden van het mannelijk geslacht. In de tijd dat het DIHO met Antarctisch onderzoek van start ging begonnen de Britten voorzichtig na te denken over het toelaten van vrouwelijk personeel op hun bases. Overwintering door vrouwen was nog helemaal niet aan de orde. Het is dus opmerkelijk te noemen dat Patty Brouwer de eerste vrouwelijke onderzoeker zou worden die op een Britse basis in Antarctica overwinterde. Als gevolg hiervan kreeg Signy in diezelfde periode een vrouwelijke arts: een vrouw alleen laten overwinteren was natuurlijk 'not done'. In de jaren negentig kreeg het personeel van de BAS dat veldwerk deed een contract van drie jaar. Hiervan verbleef men 2,5 jaar in Antarctica, aan één stuk. De Britse kledingkit was derhalve gebaseerd op een aaneensluitend verblijf van 2,5 jaar. Dit betekende, naast 'normale' poolkleren, de aanwezigheid van een stapeltje onderbroeken, hemden, sokken, enz. De onderbroeken waren degelijke ouderwetse mannenonderbroeken met gulp, in het jargon 'BAS Y-fronts'. Wat te doen met Patty en Frances? Die kon je moeilijk dit soort onderbroeken laten dragen. Uiteindelijk besloot de BAS in al haar wijsheid aan Patty en Frances het equivalent van die onderbroeken in Engelse ponden uit te betalen, met het verzoek daarvoor zelf ondergoed aan te schaffen. Hierop verspreidde zich het gerucht dat de BAS aan het vrouwelijke personeel op de bases geld betaalde om frivool ondergoed ('frilly knickers') aan te schaffen...

risch-archeologisch onderzoek deed op Deception Island[3]. Naast onderzoekers namen ook een journalist (Klaas Wiese), een fotograaf (Fred Hoogervorst) en twee journalisten/TV-makers deel uit van de expeditie. Zij maakten van de expeditie een film, 'Natte Sneeuw' genaamd.

Toen de leden van de Nederlandse Antarctica expeditie op King George Island en Deception Island aankwamen, was enkele honderden kilometers verderop een groep onderzoekers van het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek uit Yerseke (DIHO) al enkele weken bezig met de uitvoering van het project 'Antarctic Coastal Ecology'. Dit was een project dat zich bezighield met de vegetatie van de Antarctische (rots)kusten, zowel boven als onder water. Hierbij werd de kust boven de waterlijn op de Argentine Islands, halverwege het Antarctisch Schiereiland, door Ad Huiskes, Niek Gremmen en Hans Francke bestudeerd. De wierenvegetatie onder de waterlijn werd door Patty Brouwer en Frances van Lent op Signy Island onderzocht.
Het feit dat deze twee delen van het project zo'n 1000 km van elkaar verwijderd werden uitgevoerd had louter logistieke redenen. Omdat het DIHO geen enkele ervaring had met Antarctisch onderzoek zocht Huiskes contact met een oude kennis uit zijn promotietijd: David Walton. Walton was in dienst van de British Antarctic Survey (BAS) te Cambridge en deze organisatie was direct bereid de 'cloggies' (een Engelse bijnaam van de Nederlanders, clog is klomp) onder haar vleugels te nemen. Duikonderzoek aan wiervegetaties kon alleen op het station te Signy Island worden uitgevoerd (hier stond de enige decompressiekamer in de zéér wijde omtrek) maar hier was helaas geen plaats voor vijf Nederlanders. Vandaar dat het terrestrische kustonderzoek werd uitgevoerd op het Britse station Faraday (thans de Oekraïense basis Vernadsky) op de Argentine Islands.
Dit onderzoek markeerde het begin van een nauwe en hartelijke samenwerking tussen Nederlandse en Britse poolonderzoekers, een samenwerking die zich bovendien in de loop der jaren heeft verbreed en uiteindelijk tot de vestiging van een Nederlandse onderzoeksfaciliteit op het Britse onderzoeksstation Rothera heeft geleid.

Het Antarctisch onderzoek van het DIHO lag aanvankelijk in het verlengde van het onderzoek dat in Zuidwest-Nederland werd uitgevoerd, en voornamelijk gericht was op zeekusten en kustzeeën. Dat betekende dat de onderzoekers zich vooral bezighielden met het gedeelte van de rotseilanden dat in direct contact stond met de zee. Niek Gremmen legde zich toe op de beschrijving van de kustvegetatie. Hans Francke en Ad Huiskes hielden zich voornamelijk bezig met ecofysiologisch onderzoek van de belangrijkste korstmossen aan de kust (*Turgidosculum complicatulum* en *Usnea antarctica*). Gekeken werd naar de effecten van vocht, zout en nutriënten op de fotosynthese van deze korstmossen. Ook de relatie tussen biomassa van *Turgidosculum complicatulum* en de nutriëntenconcentratie in het ecosysteem werd bestudeerd langs gradiënten op Petermann Is-



land, een eiland ten noorden van de Argentine Islands. De gevonden hoeveelheid planten per oppervlakte bleek vergelijkbaar met die van van *T. complicatulum* op Marion Island, een sub-Antarctisch eiland met een milder klimaat (veel vochtiger, maar minder zonnig). Ook op Signy Island bleef men dicht bij het onderzoeksprogramma van het instituut: Patty Brouwer en Frances van Lent, die hier een zomerseizoen werkte, beschreven de wiervegetatie langs de dieptegradiënt aan de kust en maten tevens de fotosyntheseactiviteit. In 1997 promoveerde Patty in Nijmegen op dit onderzoek waarbij Piet Nienhuis en Andrew Clarke (werkzaam bij de BAS) als co-promotores optraden, daarmee de goede samenwerking tussen DIHO en BAS bevestigend.

Na het eerste Nederlands Antarctisch Programma van NWO werd in volgende onderzoeksprogramma's steeds meer de nadruk gelegd op onderzoek dat zich bezighield met actuele vraagstukken (temperatuurverandering, het ozongat, invasieve soorten, vervuiling) of op onderzoek dat directe toepassingen had. De samenwerking tussen enerzijds het DIHO, dat inmiddels was gefuseerd met het Instituut voor Oecologisch Onderzoek en het Limnologisch instituut tot het Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO), en anderzijds de Radboud Universiteit in Nijmegen kwam mede daardoor tot een einde. Bovendien vonden de biologen in Nijmegen het promotieonderzoek van Patty Brouwer weliswaar waardevol, maar lag hun werkelijke interesse elders. Ad Huiskes (NIOO), die geen promotierecht bezat, moest zodoende op zoek naar een andere universitaire partner en vond die in de personen van Jelte Rozema en Rien Aerts van de vakgroep Systems Ecology van de Vrije Universiteit Amsterdam.

Het eerste project dat Huiskes en Rozema gezamenlijk indienden bij het Nederlands AntArctisch Programma (NAAP) betrof onderzoek naar de effecten van de dankzij het 'ozongat' toegenomen ultraviolette (UV) straling in Antarctica. Het UV-onderzoek stond na 1985, toen Joe Farman en medewerkers de ontdekking van dit ozongat boven Antarctica in Nature publiceerden, volop in de belangstelling. Daniela Lud, een Duitse studente, werd aangesteld op de promotieplaats van dit project (BRUVA: Biological Responses to Ultra Violet radiation in Antarctica). Het veldwerk, dat op Léonie Island in de omgeving van het Britse



Het kamp van de Nederlandse poolonderzoekers Huiskes, Moerdijk, Lud en Rozema, 1999. Direct naast de melon bevindt zich de vrouwentent, met rechts daarvan de mannentent en aan de kust de 'Antarctic throne'. Foto: Jelte Rozema.

station Rothera werd gedaan, werd voornamelijk uitgevoerd door Daniela met Tanja Moerdijk als assistente. Ook Ad Huiskes was de meeste veldseizoenen op Rothera aanwezig, en Jelte Rozema was in 1999 van de partij.

Gedurende het eerste seizoen (1997) hielden de onderzoekers zich voornamelijk bezig met het opzetten van een automatisch weerstation en van een aantal langlopende veldproeven. Hierbij werden delen van de vegetatie afgeschermd met behulp van twee soorten perspex, één die UV doorlaat, en een andere die UV juist tegenhoudt. Van UV-straling is bekend dat het de fotosynthese kan beïnvloeden en het DNA kan beschadigen. Dit werd met behulp van deze schermen bestudeerd. Deze schermen ('cloches') waren afgekeken van de Engelsen, maar voldeden slechts ten dele: ze fungeerden vooral als mini-broeikasjes waarin de temperatuur en vochtigheid een belangrijkere rol speelden dan de UV afscherming. De gegevens zijn in het onderzoek naar UV effecten dan ook nauwelijks gebruikt, maar in een later project waarbij vooral naar tempera-



Kamperen in Antarctica:
meneer wordt hartelijk bedankt!

Ad Huiskes en Jelte Rozema sliepen in een zogenaamde Amundsen tent (door de Engelsen 'pyramid tent' genoemd). Onze vrouwelijke collega-onderzoekers Daniela Lud en Tanja Moerdijk sliepen in een andere Amundsen-tent. Beide tenten waren met hulp van stafleden van de British Antarctic Survey opgezet op het kiezelstrand van Léonie eiland. We hadden onder andere schapenvachten neergelegd om de harde ondergrond zachter te maken. Toch verbleven we niet veel in onze tenten. Overdag waren we met het onderzoek bezig: Ad controleerde, pijprokend, of het automatisch weerstation goed draaide en vulde zonodig het tankje van de Honda generator met brandstof bij (zonder pijp). Daniela en Tanja namen monsters van de schaarse toendra vegetatie. Jelte Rozema had eenvoudige opstellingen met UV lampen boven de *Deschampsia antarctica* en *Colobanthus quitensis* aangebracht om te zien of deze organismen beschadigd raakten en mogelijk UV-absorberende stoffen werden aangemaakt. De elektrische voeding hiervoor bestond uit kleine accu's, die telkens moesten worden opgeladen met de Honda generator. Aldus ging er elke keer één opgeladen accu in een rugzak de rotsachtige heuvel op en kwam er een lege accu mee terug. Een stok of vlag op de rugzak verhinderde duikvluchten van agressieve skua's (grote roofmeeuw). Tanja Moerdijk was de enige die een goede verstandhouding met de skua's leek te hebben, totdat ze, totaal onverwacht, van top tot teen besmeurd raakte met skua uitwerpselen. Na dit incident werd ze totaal ontdaan door BAS-stafleden opgepikt en naar de basis teruggevaren voor een warme douche en schone kleding.
Naast de heren- en dames-Amundsen-tenten stond er een kleine, winderige tent nabij de poolzeerand die de naam 'Antarctic throne' droeg. Het was een stoel voorzien van een gat in de zitting, met daaronder een grote emmer Elsan (een desinfecterende chemische oplossing). Niet erg duurzaam dus. Van tijd tot tijd moest de emmer 'op volle zee' vanuit de rubberboot worden geloosd. Het lot wees Jelte Rozema driemaal aan om deze eervolle handeling te verrichten.
De maaltijden werden bereid en genuttigd in de rode melon, een wind- en waterdichte rode kunststof constructie die binnen zitgelegenheid bood. Vanuit deze rode melon hadden we regelmatig radiocontact met de BAS-basis op Rothera. 'Hello Rothera, hello Rothera, do I copy?' zo had Ad ons geïnstrueerd. Aldus werden we geïnformeerd wanneer de zodiac ons tegen het weekend zou komen ophalen.

Ook hebben we een keer gemeld dat onze koffievoorraad op was, waarna er midweeks verse koffie werd gebracht. De rode melon was voorzien van een eenvoudige kookinstallatie, waardoor onze poolkleding en schoeisel er kon drogen. Het was de behaaglijkste plek van ons kampement op Léonie. Toch werd er niet geslapen in de rode melon. Een boek lezen kon net, maar alleen wanneer je ziek was.
Vlak naast de rode melon bevond zich allerlei materiaal, de voedselvoorraad, en tevens een afwasbak die werd gebruikt om te wassen en tanden te poetsen. We haalden sneeuw van een schone plek in de buurt om te smelten; dit water werd ook voor het koken gebruikt.
Ad Huiskes, Jelte Rozema en de anderen hadden het er goed. Niet ver van de tent begon de poolzee met op de oever rustende (en stinkende!) zeeolifanten, Weddellzeehonden en Adéliepinguïns, uitzicht op immense ijsbergen die her en der in de poolzee dreven, krijsende skua's die langsscheerden, en af en toe een dwergvinvis of een bultrug. Het ademhalen oftewel het spuiten van de walvissen was op sommige momenten prima te horen. Een groots, blauw, grijs en wit zuidpoollandschap, poolluchten die nu eens stralend blauw waren en dan weer grauw, windstiltes afgewisseld door striemende sneeuwjachten.
Op een avond waren zowel Ad Huiskes, vermoeid door het lezen, als Jelte Rozema, voldaan mijmerend over de indrukwekkende zuidpoolomgeving, als een blok in slaap gevallen. Slaapdronken was Jelte die nacht nog door het mangat de tent uitgekropen om aan de rand van het kampement de blaas te legen. Hierna moet het weer plotseling zijn omgeslagen, want toen Ad en Jelte de volgende ochtend wakker werden, was Ads slaapzak bedolven onder een dikke laag sneeuw. 'Rozema...!' klonk het geïrriteerd en licht dreigend, '...is meneer soms vergeten het tentgat dicht te doen? Meneer wordt hartelijk bedankt!' Ad besloot die ochtend maar een extra pijp te stoppen en op te roken...



Vier Nederlandse zuidpoolonderzoekers voor de melon op Léonie Island. Van links naar rechts Jelte Rozema (VU), Tanja Moerdijk (NIOO), Daniela Lud (NIOO-VU), Ad Huiskes (NIOO). Rechts van de opengeklapte deur een plastic afwasbak voor het tandenpoetsen. Foto: Jelte Rozema.

tuureffecten gekeken werd kwamen de gegevens toch goed van pas. Het onderzoek werd uitgebreid met een aantal andere veld- en laboratoriumexperimenten, waaronder het nauwkeurig verzamelen van monsters voor biochemische analyses (van pigmenten, DNA-schade en andere biomoleculen, die bijvoorbeeld UV afschermen of absorberen). Eén van die experimenten bestond uit een proef met lampen, waarmee extra UV aan de vegetatie werd aangeboden.
Daniela vond dat de onderzochte planten (het gras *Deschampsia antarctica,* het mos *Drepanocladus uncinatus,* de landalg *Prasiola crispa,* en het korstmos *Turgidiusculum*



De kampeeruitrusting op Léonie Island uitgestald voor de Amundsen tent van de heren. Foto: Jelte Rozema.

complicatulum) niet noemenswaardig te lijden hadden van de toegenomen UV-straling. Ze concludeerde dat dit vooral kwam doordat deze soorten al bescherming hadden tegen de sterke instraling van zichtbaar licht in Antarctica, en dat eventuele schade aan het DNA in periodes van verminderde lichtinstraling door de aanwezige enzymen kon worden gerepareerd.
Vanwege onder andere deze resultaten nam de interesse voor het terrestrische onderzoek naar UV-effecten wereldwijd snel af en kwam het accent meer te liggen op andere klimaateffecten, met name temperatuur en de beschikbaarheid van vocht.



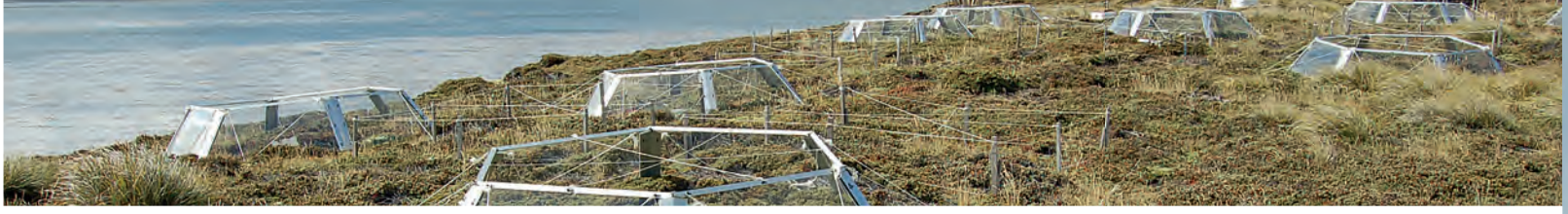
UV minilampen waarmee de zuidpoolplanten bestraald werden. Léonie Island, januari 1999. Beneden is nog de Melon te zien. Aan de overkant van de baai ligt de BAS basis Rothera. Foto: Jelte Rozema.

Ook de groepen van het NIOO en de VU gingen deze onderzoeksrichting op. Rien Aerts en Jelte Rozema van de VU, Ad Huiskes en George Kowalchuk van het NIOO, en Pete Convey van de British Antarctic Survey slaagden er in 2003 in om een onderzoekssubsidie in de wacht te slepen waarbij een promovendus (Stef Bokhorst) zich vooral bezighield met de effecten van temperatuur op terrestrische ecosystemen; een tweede promovendus (Merlijn Janssens) werkte aan de effecten van vocht op terrestrische ecosystemen en een derde promovendus (Etienne Yergeau) onderzocht de effecten van temperatuur en vocht op de microbiele gemeenschappen in de bodem.



Open-Top Kamers, een automatisch weerstation en zonnepanelen voor de energiebehoefte (achtergrond) in een Empetrum rubrum - Cortaderia pilosa vegetatie. Foto: Ad Huiskes.

Voor dit doel werden op drie locaties (Falkland Islands, Signy Island en Anchorage Island (nabij Rothera)) zogenaamde open-top kamers in twee verschillende plantengemeenschappen geplaatst. Deze bestonden uit een vochtige, mos-gedomineerde gemeenschap, en een droge gemeenschap, op de Falkland Islands gedomineerd door rode kraaihei (*Empetrum rubrum)* en door korstmossen op Anchorage Island en Signy Island. Jelte Rozema gebruikte diezelfde open-top kamers voor identiek onderzoek op Spitsbergen (o.a. aan (zwarte) kraaihei *Empetrum nigrum)*. De open-top kamers (OTC's), uitgevonden door Pat Webber (Michigan State University), werden in een groot aantal locaties in het Arctisch gebied (en ook in enkele alpine locaties) gebruikt. Dit onderzoek viel onder de coördinatie van ITEX (International Tundra Experiment).



De studie van Bokhorst toonde onomstotelijk aan dat het niet zozeer de toegenomen temperatuur in de OTC's was die veranderingen in de vegetatie en in de ongewervelden-gemeenschap (zoals insecten) veroorzaakten, maar de uitdroging van de bodem die door de temperatuurverandering werd veroorzaakt. Jammer genoeg werd het promotie-onderzoek naar de effecten van vocht voortijdig afgebroken.

Etienne Yergeau, begeleid door George Kowalchuk, was één van de eerste onderzoekers die de microbiële gemeenschappen in de bodem bestudeerde. Hij gebruikte behalve de OTC's en de bijbehorende controlelocaties ook een groot aantal monsterpunten langs een gradiënt op het Antarctisch Schiereiland, lopend van 51° zuiderbreedte (de Falkland Eilanden) tot 72° zuiderbreedte (Coal Nunatak op Alexander Island). Het bleek dat de microbiële gemeenschappen sterk gerelateerd waren aan bodemfactoren bepaald door de vegetatie (vocht, organische koolstof en stikstof), en bodemfactoren gerelateerd aan de breedtegraad (bodemtemperatuur, nitraat en zuurgraad). Yergeau onderzocht ook de diversiteit van de microbiële gemeenschappen via 'genomics' technieken. Hierdoor was hij één van de eerste onderzoekers die de diversiteit van Antarctische bodemgemeenschappen heeft beschreven.

Het veldwerk van Bokhorst werd na diens promotie met enige regelmaat voortgezet door onderzoekers van zowel het NIOO, de VU en de BAS. Met name het uitlezen van de dataloggerbestanden met betrekking tot de microklimaatsgegevens heeft sinds 2003 vrijwel jaarlijks plaatsgevonden. Bokhorst heeft in het seizoen 2014/2015 de diverse locaties weer bezocht, zodat hij kon zien in hoeverre de aanwezigheid van de OTC's gedurende een periode van 12 jaar invloed heeft gehad op het ecosysteem. Het bleek dat vooral de korstmossen en dan met name de soort *Usnea antarctica* te lijden hadden van de aanwezigheid van de OTC's. *U. antarctica* was in de meeste OTC's nagenoeg verdwenen, maar mossen en ongewervelden waren vrijwel onveranderd gebleven qua aantallen en soortensamenstelling. De negatieve effecten van de OTC's op het korstmos waren toe te schrijven aan de sneeuwophoping in de OTC's, die zorgde voor een temperatuurtoename aan de bodem, waardoor de korstmossen zuurstof bleven gebruiken maar geen licht kregen voor fotosynthese, een geval van zichzelf opbranden.
Naast deze grote projecten werden op het NIOO en aan de VU ook een aantal kleinere projecten uitgevoerd: Mark van de Wouw (NIOO) deed in 2004/2005 een postdoctoraal onderzoek naar de genetische diversiteit van *Deschampsia antarctica* (Antarctische smele). Uitwisseling van genetisch materiaal tussen de verschillende eilanden en delen van het Antarctische vasteland bleek vrijwel niet voor te komen; de onderzochte 38 populaties waren te verdelen in vier clusters (Falkland Islands, maritiem Antarctica (westelijk Schiereiland en de omringende eilanden), South Georgia en ten slotte de subantarctische eilanden in de Indische Oceaan). Binnen deze clusters was overigens nog steeds aanzienlijke diversiteit aanwezig, behalve in de Indische Oceaan.
Ger Ernsting, werkzaam aan de Vrije Universiteit, onderzocht in 1991/1992 de populaties van twee per ongeluk op South Georgia geïntroduceerde carnivore loopkevers (*Trechisibus antarcticus* en *Oopterus soledadinus*). Deze twee soorten worden gekenmerkt door een totaal verschillende ecologie: *O. soledadinus* blijft vooral aanwezig in het gebied waar de kever is geïntroduceerd en heeft een gevarieerd dieet. *T. antarcticus* daarentegen verspreidt zich veel verder en sneller en eet vooral de larves van de inheemse loopkeversoort *Hydromedion sparsutum*. Ernstings onderzoek was één van de eerste studies naar de effecten van exoten in Antarctica.

Léonie Island gezien vanaf Rothera Station. Foto: Anita G.J. Buma.





Het Arctische onderzoek aan ganzen, steltlopers en zeevogels

Maarten Loonen

Het Arctische ganzenonderzoek begon in 1974 op Spitsbergen toen drie vogelaars in kano's langs de westkust trokken. Hierbij ontdekten ze meerdere eilanden met broedende brandganzen. De brandgans was in die tijd nog een redelijk zeldzame verschijning; het dier was net aan een opmars begonnen die later in een spectaculaire aantalstoename zou uitmonden. Tot dan toe werd aangenomen dat de meeste brandganzen op onbereikbare vogelrotsen broeden, maar hier bevonden ze zich op kleine eilandjes voor de kust. Het daaropvolgende jaar ging Bart Ebbinge samen met zijn vrouw Doortje op pad om de situatie verder te verkennen. Bart had net de brandganzen een winter lang op Schiermonnikoog gevolgd en daaruit berekend hoeveel gras ze consumeerden. De Schierse brandganzen trokken naar Rusland om te broeden. Helaas waren vanwege de koude oorlog de Russische broedgebieden voor westerlingen verboden terrein. Hoewel de brandganzen van Spitsbergen niet in Nederland overwinterden, maar in Schotland, bood deze populatie dé mogelijkheid om de vogels een heel jaar lang te kunnen volgen. Britse collega's van de Wildfowl Trust waren in 1974 ook op Spitsbergen aanwezig, en na terugkeer werden er plannen gemaakt voor een gezamenlijke expeditie. Deze vond plaats in 1977, het jaar waarin de logistiek gecombineerd kon worden met de REES expeditie van Piet Oosterveld naar Edgeøya (zie elders in dit thema). Bart Ebbinge was wederom van de partij, terwijl Jouke Prop, Mennobart van Eerden en Rudi Drent voor de eerste keer Spitsbergen bezochten.

Tijdens de expeditie van 1977 werden brandganzen individueel geringd met gekleurde pootringen, waarop een inscriptie was gegraveerd die met een telescoop kon worden afgelezen. Deze methode maakte het mogelijk om gedragingen in het vrije veld te koppelen aan individueel broedsucces en overleving. Op Spitsbergen konden de ganzen eenvoudig in grote groepen gevangen worden omdat ze in de ruiperiode niet kunnen vliegen en dus in een afzetting van netten gedreven kunnen worden. In Schotland overwinterden vrijwel alle brandganzen in één reservaat van de Wildfowl Trust dat speciaal was ingericht om de (geringde) ganzen van nabij te observeren. Zo werd het mogelijk om de gegevens van Spitsbergen te koppelen aan de Schotse gegevens en broedsucces en overleving ook tijdens de najaarstrek te kwantificeren. Vanaf 1978 tot 1981 werd elk jaar een grote expeditie naar Spitsbergen georganiseerd. Waarnemingen aan individuele verschillen in terreingebruik, dieetkeuze en voedselopname werden gecombineerd met gedetailleerde metingen aan ontwikkelingsstadium en kwaliteit van voedselplanten. Jouke Prop deed de gedetailleerde metingen en zou daar (uiteindelijk) in 2004 op promoveren, en Rudi Drent maakte door middel van voordrachten deze resultaten wereldkundig.

In 1988 kwam Jouke Prop voor het eerst sinds 1981 weer terug in zijn studiegebied, de Nordenskiöldkysten. Samen met Jan Musch en Tijs Tinbergen maakte hij daar tijdens twee zomers opnamen voor de documentaire Ganzenproblemen. Vanaf 1977 tot en met 2015 zijn er in totaal 23 Nederlandse expedities naar Nordenskiöldkysten geweest. Jouke Prop was 19 keer van de partij, waarvan de laatste negen jaar met zijn partner Eva Wolters. Rudi Drent is tien keer gegaan, waarvan vijf keer zonder Jouke Prop. Jouke ging in die jaren twee keer naar de Helgelanden in midden Noorwegen, waar de brandganzen van Spitsbergen opvetten tijdens de voorjaarstrek. Daarnaast ging hij twee jaar



tijdens de voorjaarstrek naar het Kanin schiereiland aan de Russische Witte Zee en drie broedseizoenen naar Taimyr in Noord-Rusland om samen met de Wildfowl and Wetlands Trust roodhalsganzen te bestuderen. Overal keek hij op onnavolgbaar gedetailleerde wijze naar de voedselopname van de ganzen en kon daarmee verschillen in broedsucces en overleving verklaren. In Nordenskiöldkysten leverde de unieke lange tijdreeks belangrijke inzichten op betreffende de draagkracht van de Arctische toendra. Echter, sinds 2000 bepaalden de ijsberen ter plekke het broedsucces van de ganzen. Steeds vaker verstoorden ze de broedkolonie en aten ze de eieren van de brandganzen en eidereenden op. Daardoor werd Jouke tegen wil en dank ook ijsbeeronderzoeker.
Samen met collega's schreef hij een monografie over de brandgans die in 2014 is verschenen in de prestigieuze Poyser serie. De lange en unieke tijdreeks is een direct gevolg van de persoonlijke investeringen van Jouke Prop en Rudi Drent. De omstandigheden waaronder Jouke Prop zijn onderzoek uitvoerde en ook nu nog uitvoert worden in de eerste hoofdstukken van dit boek verder belicht.

In 1988 ging Maarten Loonen voor het eerst met Jouke Prop mee naar Spitsbergen. Onder de vleugels van Rudi Drent had hij al eerder kennis gemaakt met het ganzenonderzoek. Via Schiermonnikoog en Lauwersmeer was hij namelijk in 1985 naar Canada gereisd om deel te nemen aan de sneeuwgansstudie van Fred Cooke en medewerkers, in La Pérouse Bay, gelegen aan de Hudson Bay ten oosten van het dorp Churchill. Het contact was ontstaan tijdens een ganzenconferentie in Quebec, waar Drent en Prop kennis hadden gemaakt met Robert Jefferies, een plantenecoloog uit Toronto. Jefferies volgde op dezelfde gedetailleerde wijze als de Groningse biologen het lot van gemerkte grasblaadjes op de Arctische toendra, daarbij de situatie met en zonder ganzenvraat vergelijkend. Dit werk, en de intentie van Fred Cooke om zijn populatie-genetische studie uit te breiden met ecologische aspecten, zorgden voor een uitnodiging aan Rudi Drent om een student aan te leveren voor een gezamenlijk onderzoek. Vanaf een toren op de toendra in La Pérouse Bay deed Loonen daarop twee zomers lang waarnemingen aan de begrazing door sneeuwganzen en maakte hij voor het eerst van dichtbij kennis met ijsberen.



De vervallen waarneemtoren op de graasvlakte van de sneeuwganzen in La Pérouse Bay in 2011. Sinds de overbegrazing door sneeuwganzen in de periode 1988 - 1992 is de voormalige groene kwelder met Pucinellia phryganodes en Carex subspathaceae veranderd in een kale zandvlakte. Foto: Maarten Loonen.

Wat volgde was een langdurige samenwerking met de Canadese onderzoeksgroep, waarbij Robert Jefferies vele keren als gastonderzoeker in Groningen heeft gewerkt. In 1990 kreeg Drent voor het eerst sinds Jouke Prop weer de mogelijkheid om met universitaire middelen een promovendus aan te stellen. Ter voorbereiding hierop telden Drent en Loonen in de zomer van 1989 samen al kamperend de ganzen op Nordenskiöldkysten. Vervolgens vingen en ringden zij samen met de Wildfowl Trust brandganzen op verschillende locaties langs de westkust van Spitsbergen.
Fridtjof Mehlum, toenmalig vogeldeskundige van het Norsk Polarinstitutt, had al vaker tegen Drent gezegd dat de broedpopulatie van brandganzen die zich sinds 1982 in de Kongsfjord had gevestigd interessant was voor een nadere Groningse studie. Tegelijkertijd probeerde de Noorse overheid Ny-Ålesund te ontwikkelen tot een internationaal centrum van poolonderzoek, en men wilde graag de Nederlandse ganzenonderzoekers hierbij betrekken. Toen Loonen had gezien hoe dicht bij het dorp de brandganzen ruiden en hoe gemakkelijk ze vanuit het dorp te observeren waren besloot hij hier zijn promotieonderzoek te beginnen. Ny-Ålesund had de potentie om een locatie te worden waar experimenten onderdeel van het brandgansonderzoek konden worden. Loonen besloot om de veldwerkperiode te



beperken: deze begon als de jongen uitkwamen en eindigde wanneer ze vliegvlug werden. Dit was in Nordenskiöldkysten de lastige waarneemperiode en juist daardoor de minst overzichtelijke tijd. Twee maanden veldwerk per jaar, ver weg van huis, was voor Loonen meer dan genoeg.

In 1990 was het Norsk Polarinstitutt het enige wetenschappelijk station in Ny-Ålesund dat het gehele jaar bemand was. Een team uit Cambridge gebruikte de barak Mexico en buiten het dorp lagen nog een Frans en Japans huttencomplex. Kings Bay, de eigenaar van het dorp, werd het hele jaar bemand door een technische staf en er was een gaarkeuken. De administratieve staf hield echter kantoor op het Noorse vasteland. Dat veranderde het jaar daarop. In 1991 opende het Duitse Alfred Wegener Instituut een station dat het gehele jaar bemand zou worden. Gedurende de zomer werkte een grote groep Britten vanuit het huis Amsterdam in afwachting van de bouw van hun eigen station. Bovendien verplaatste Kings Bay al zijn kantoorpersoneel definitief naar Ny-Ålesund. Daarmee werd een begin gemaakt met de ontwikkeling van Ny-Ålesund tot het grootste en meest internationale onderzoeksdorp ter wereld. Over de jaren breidde de infrastructuur zich uit met een nieuwe haven, drie atmosferische meetlaboratoria, een radiotelescoop, een raketlanceerinrichting, diverse automatische meetopstellingen en een marien laboratorium. Ook openden steeds meer landen een eigen basis (huis) in het dorp. De Noren boden een voortreffelijke infrastructuur, regelmatig transport en een geheel verzorgd verblijf. Vanwege het Spitsbergenverdrag hadden alle landen gelijke toegang en de omgeving kreeg een beschermde groene status om zoveel mogelijk een onverstoord referentiegebied te blijven. Inmiddels bestaat het dorp uit permanente infrastructuur afkomstig uit elf landen (Noorwegen, Duitsland, Frankrijk, Groot Brittannië, Italië, Zweden, Nederland, Japan, Zuid Korea, China en India) en is er een gezamenlijk marien laboratorium.'s Zomers zijn er meer dan 180 personen in het poolonderzoek werkzaam.

Tijdens Loonens promotie-onderzoek kreeg hij ieder veldseizoen hulp van een veelbelovende student. Achtereenvolgens waren dat Dik Heg, Kees Oosterbeek, Leo Bruinzeel en René van der Wal. In het eerste jaar werden enkel gedragsobservaties in de buurt van het dorp gedaan. In het tweede jaar, 1991, kwam het ganzenonderzoek in een stroomversnelling door de deelname van twee andere onderzoeksteams (Noors en Brits). Het eerste Noorse vrouwenteam met Ingunn Tombre als promovenda en Inger Alsos en Laila Dalhaug als masterstudenten begon al vroeg in het broedseizoen met observeren terwijl de brandganzen nog op de eilanden broedden. Door hun aanwezigheid kreeg Loonen ook toegang tot de broedeilanden, en derhalve ervaring met het varen in het fjord. Ingunn bestudeerde het optimale moment van broeden, Laila onderzocht verschillen in legselgrootte en Inger was vegetatiekundige en beschreef de voedselplanten van het broedeiland. Het was een heel plezierige samenwerking. Vlak na het uitkomen van

Minimalistisch verblijf

'Aanvankelijk was er weinig geld voor veldwerk,' aldus Maarten Loonen. 'De eerste keer liftte ik gratis mee met een journaliste in het vliegtuigje van Longyearbyen naar Ny-Ålesund. Daar aangekomen wilde ik in een hut kamperen en koken. Er stonden immers overal hutten leeg. Voor een schappelijke dagprijs kreeg ik de oude school toegewezen. Vanaf de bovenverdieping hadden we rondom uitzicht. Op de benedenverdieping was een schietbaan voor luchtbuksen. We sliepen overdag en observeerden 's nachts; hierdoor waren wij jarenlang de enige onderzoekers die voor zichzelf kookten want iedereen at in de gaarkeuken van Kings Bay, de eigenaar van Ny-Ålesund. Ons voedsel werd aangevoerd door de Waterproef, zoals het expeditieschip van de Smeerenburg expeditie inmiddels heette. Het eerste jaar had ik nog braaf maaltijden ingeslagen volgens de lijsten van Jouke: veel havermout, hardkeks en gedroogde groenten. Pas het volgende jaar realiseerde ik me dat ik best van die lijst mocht afwijken. Hagelslag en blikgroenten deden hun entree op het menu. Brood kochten we vers uit de keuken van Kingsbay. Ieder jaar in mei werden er voor 150 mandagen boodschappen vanuit Nederland naar Spitsbergen verscheept. Kaas, melkpoeder en koffie waren de duurste onderdelen. Één zomer heb ik me laten verleiden tot de aanschaf van koffie van het merk 'Pittig en voordelig.' Deze is nooit opgegaan en jaren later weggegooid. Daar stond tegenover dat de mayonaise altijd in de winter bedierf, maar al het andere overgebleven voedsel vormde het magere startkapitaal voor het daaropvolgende jaar.'

de kuikens vertrokken de Noren, waarop Charles Bishop en Pat Butler uit Birmingham ten tonele verschenen. Zij wilden begrijpen hoe het mogelijk was dat ganzenkuikens in staat waren een lange en moeilijke najaarstrek te volbrengen. Hun plan was om elke week zes kuikens te vangen en te ontleden, gedurende een periode van zeven weken, om zo de spieropbouw te volgen. Daarnaast zou men bij zes volwassen ganzen een hartslagmeter implanteren en bij zes andere ganzen een satellietzender op hun rug bevestigen zodat de energiekosten van de najaarstrek gemeten konden worden. Gelukkig had Loonen ervaring met het vangen en ringen van ganzen waardoor hij de rol van centrale coördinator van deze activiteiten op zich kon nemen. Door de vele uren die Kees en Maarten besteedden aan waarnemingen van geringde ganzen wisten zij ook het beste waar de ganzen zich ophielden en wat ze aan het doen waren. Bovendien werden alle nieuw gevangen ganzen ook van kleurringen voorzien, alsmede gemeten en gewogen. Op basis van dit soort metingen kon later worden aangetoond dat naarmate het aantal ganzen toenam de kuikens langzamer groeiden, en later als volwassen gans ook kleiner bleven dan normaal. Het jaar daarop maakten zowel Ingunn als Maarten plannen voor een groot experiment in de broedkolonie. Ingunn wilde de broedduur verlengen door van 30 legsels de eieren vlak na de leg te vervangen door nep-eieren. De echte eieren werden na vijf dagen teruggeplaatst. Hierdoor kon gekwantificeerd worden wat het effect was van een specifieke uitkomstdatum, onafhankelijk van ei- of ouderkwaliteit. Tegen Maartens verwachting in verdroegen de broedende vrouwtjes deze manipulatie. De meeste legsels kwamen uit en een verlate uitkomstdatum leek in deze studie geen negatief effect te hebben. Er waren nog voldoende nesten over, zodat Maarten zijn eigen experiment kon uitvoeren: van veertig nesten werden de familiegroottes gemanipuleerd. Op het moment van uitkomen verplaatsten Leo en Maarten twee kuikens van het ene nest naar het andere nest. Zo ontstonden verkleinde en vergrote legsels. De kuikens hadden een merkje in het web van de voet gekregen, zodat ze later tijdens de ruivangst te herkennen waren. De ouders waren al herkenbaar door de inscripties op de gekleurde pootringen. Eerder onderzoek had aangetoond dat grote families dominanter waren. Echter, als zo'n dominante familie jongen verloor nam ook de dominantie af. Dit experiment was bedoeld om te ontdekken of dominantie de familiegrootte bepaalt of, familiegrootte de dominantie. Duidelijk werd dat familiegrootte inderdaad direct de dominantie bepaalt. Doordat dominante ganzen op de beste plekken konden fourageren groeiden de jongen van de grote families harder en werden de moeders zwaarder. Ook werd aangetoond dat de grootste kuikens de najaarstrek het best overleven. Daarmee is de gans één van de weinige diersoorten waar het verkrijgen van meer nakomelingen voordelig lijkt te zijn. De bij deze ganzen vaak geziene adoptie is daarvan een logisch gevolg.



Poolvossen zijn in de loop der jaren steeds nadrukkelijker de overleving van de ganzenkuikens gaan beperken. Van 2000 tot en met 2010 was de burcht onder het Nederlands Poolstation steeds bewoond door jonge vosjes.
Foto: Ronald J.W. Visser.



In 1993 wilde Maarten samen met René van der Wal de dieetkeuze van brandganzen onderzoeken. Hierbij werden zij gehinderd door ganzenkeutel-etende rendieren. Deze dieren bleken selectief alleen de keutels van ganzen die een grasdieet volgden te eten, want de keutels van mos-etende ganzen lieten zij liggen. Dat kon verklaard worden door de hogere voedingswaarde van gras- versus moskeutels.
Dat jaar verhuisden Maarten en zijn team van de oude school naar London II, één van de vier historische huisjes die in 1912 aan de overkant van het fjord waren gebouwd en in 1950 naar Ny-Ålesund werden verplaatst als huisvesting voor de gezinnen met kinderen. London II zou tot 2010 Maartens vaste verblijfplaats worden (zie ook hoofdstuk Nederlandse Voetsporen). Tijdens de restauratie van London II verhuisde men naar London IV, maar in 2015 is London II weer 'Holland Huset' geworden.

Dries Kuiper en Suzanne Lubbe bekijken samen de effecten van ganzenvraat op de vegetatie. De plots waren omringd door plankieren om deze natte vegetatie niet te beschadigen.
Foto: Maarten Loonen.

Het jaar 1994 liet zien dat de seizoenen in het poolgebied erg van elkaar kunnen verschillen. Dat jaar waren de broedeilanden namelijk lange tijd door ijs omringd, terwijl dat in andere jaren niet zo was. Poolvossen wisten daardoor over het ijs naar de eilanden te komen en vraten de legsels op. In de daaropvolgende jaren kreeg Maarten elke zomer van Rudi Drent de mogelijkheid om veldwerk op Spitsbergen te doen. Hij bleef legsels inventariseren en uitkomstdata registreren, ringen lezen, en in de ruitijd ganzen vangen en ringen. Zijn team bestudeerde ook groeistimulatie van grassen door begrazing, verschuivingen in terreingebruik onder invloed van predatoren, voedselopname in relatie tot domi-





nantie en de positie in de ganzengroep, en de effecten van verstoring door mensen.
Daarna kwam Ad Huiskes, samen met Marcel Klaassen en Maarten Loonen, met het vermetele plan om een groot Europees project aan te vragen om de effecten van de toenemende ganzenpopulaties en de stijgende temperatuur op de Arctische toendra experimenteel te bepalen. De aanvraag was succesvol en een groot internationaal project onder de naam FRAGILE (Fragility of Arctic Goose habitat: Impact of Land use, conservation, and Elevated temperature) met een looptijd van drie jaar, van 2002 tot en met 2005, was een feit. Behalve Nederlandse onderzoeksgroepen namen ook Engelse, Franse, Belgische, Deense en Noorse groepen deel. In Adventdalen werd een experimenteel veld met gemanipuleerde vegetaties aangelegd.
De manipulaties bestonden uit drie verschillende begrazingsintensiteiten met behulp van ganzen in gevangenschap en twee verschillende temperatuur-regimes met behulp van de al eerder genoemde Open Top Kamers. Detailmetingen aan de begrazing en de planten werden gecombineerd met metingen van de koolstofcyclus. Tijdens deze studie kwam aan het licht dat de kleine rietgans in het vroege voorjaar vegetatie omwroet op zoek naar wortelstokken. Soortgelijk wroetgedrag, maar dan door sneeuwganzen, was in Canada inmiddels als voornaamste oorzaak van woestijnvorming geïdentificeerd, een belangrijke aanleiding voor het FRAGILE project. René van der Wal was inmiddels in Aberdeen werkzaam, maar keerde na enkele jaren rendieronderzoek op Spitsbergen vanwege het FRAGILE project terug naar het ganzenonderzoek. Hij koos voor een experimentele benadering wat betreft het meten van de schade door wroeten aan de vegetatie. Marcel Klaassen raakte tijdens het FRAGILE project nauw betrokken bij het onderzoek van de Deense Jesper Madsen aan kleine rietganzen. Hij modelleerde samen met Silke Bauer de voorjaarstrek van deze soort. Naast Huiskes en Klaassen van het NIOO was ook Ellen van Donk (NIOO) betrokken bij het FRAGILE project. Zij bestudeerde samen met Gerben van Geest de invloed van ganzenmest op watervlooien in toendrameertjes.
In 2002 ging Rudi Drent met emeritaat en richtte de vakgroep dierecologie zich minder op het ganzenonderzoek. Loonen verhuisde daarop met het FRAGILE-project als bruidsschat naar het Arctisch Centrum. Beide werkkring en maakten deel uit van de Rijksuniversiteit Groningen, maar doordat de transfer een verhuizing tussen faculteiten betrof was de verandering substantieel. Loonen zette zijn onderzoek in Ny-Ålesund voort, en andere groepen maakten ook steeds vaker gebruik van het Nederlands Poolstation. Ellen Kalmbach deed als post-doc twee jaar veldwerkonderzoek naar de adoptie van ganzenkuikens (2003-2004), maar haar experimenten mislukten doordat poolvossen alle ganzenkuikens opaten. Steffen Hahn verzamelde ganzeneieren en bestudeerde de herkomst van de eieren op basis van isotopensamenstelling (2006-2007). Hij toonde aan dat de eieren deels waren opgebouwd uit voedingsstoffen van de Arctische toendra en niet enkel van de pleisterplaatsen in Noorwegen, wat tot dan toe werd aangenomen.

In al die jaren is er ook veel onderzoek aan de vegetatie gedaan. Loonen heeft in Ny-Ålesund niet alleen ganzen maar ook grassprietjes geringd. Ieder jaar werden de productie en consumptie van het ganzenvoedsel bepaald door het meten van de bladlengte met en zonder begrazing van wilde ganzen. Samen met René van der Wal toonde hij aan dat ganzenbegrazing de concurrentie tussen mos en gras ten gunste van het gras beïnvloedt. Het aan het oppervlak groeiende mos verlengt de periode van vorst in de bodem, door zijn goede isolerende werking, maar heeft daar veel minder last van dan het dieper wortelende gras. Daardoor gaat het mos overheersen als er geen begrazing plaatsvindt.
In 2005 werden in het kader van het FRAGILE experiment in Ny-Ålesund voor meerdere jaren zes gepaarde vegetatieplots opgezet in een zwaar door ganzen begraasd gebied. De ene plot werd afgesloten voor ganzenvraat en daarmee een exclosure genoemd. De andere gepaarde plot was vrij toegankelijk voor ganzen. Vooral na afloop van het FRAGILE project werden deze exclosures onderwerp van studie. Sofie Sjögersten uit Aberdeen vergeleek er in 2007 de koolstof- en stikstofkringloop. Zonder begrazing bleek de toendra koolstof vast te leggen in de bodem. Met begrazing verdween er echter meer koolstof dan dat er gevormd werd. Begrazing bleek dus een veel groter effect op de koolstofbalans te hebben dan opwarming. De stikstof uit de ganzenkeutels bleek helemaal ten goede te komen aan de mosvegetatie en daarmee was ook verklaard waarom in deze gemengde vegetatie van mos en gras geen groeistimulatie van de grassen door bemesting via de ganzenkeutels werd gevonden. Lise Fivez uit Antwerpen vergeleek van 2007 tot





en met 2009 de decompositie van organisch materiaal in begraasde en onbegraasde vegetatie maar vond geen grote verschillen. Hans Kruijer en Michael Stech van Naturalis in Leiden bestudeerden de voedselselectie van mos en ganzen (2008-2011) maar constateerden met behulp van de vegetatieplots dat de bedekking van verschillende soorten mos sterk van jaar tot jaar kan variëren.

De lange tijdreeks van metingen aan planten en ganzen werd in het kader van klimaatverandering steeds belangrijker. Niet alleen continentaal Rusland, maar ook maritiem Spitsbergen warmde sneller op dan de rest van de wereld. De ganzen ontwikkelden nieuwe trekstrategieën met andere tussenstops en komen sinds 2007 ineens twee weken eerder tot broeden. Vanwege die algehele verschuivingen als gevolg van de opwarming besloot Loonen zijn jaarlijkse monitoring-activiteiten uit te breiden door ook de aanwezigheid van insecten, noordse sternen en poolvossen te kwantificeren. De noordse stern was in 1986 en 1990 al onderwerp van onderzoek geweest van Marcel Klaassen in samenwerking met de Noorse onderzoeker Claus Bech. Zij onderzochten de thermoregulatie van de opgroeiende sternenkuikens. Loonen pakte in 2012 het onderzoek aan deze vogels weer op, geïnspireerd door nieuwe inzichten wat betreft de trekroute. Jaarlijks vliegen deze vogels namelijk op en neer naar Antarctica. Door middel van crowdfunding lukte het om een project gefinancierd te krijgen en kreeg elke gevangen stern de naam van een sponsor en een zogenaamde geolocator, die lichtmetingen vastlegt waaruit na terugvangst dagelijkse verblijfplaatsen kunnen worden berekend. De Arctische sternen bleken voornamelijk in de Antarctische Weddellzee te overwinteren terwijl de in Nederland broedende sternen door hun vroege broedseizoen twee maanden eerder in Zuid-Afrika aan te komen en daardoor nog helemaal niet naar Antarctica kunnen doorvliegen vanwege de winter aldaar. Daarom vliegen ze eerst richting Australië en zijn ze hierdoor recordhouder van de langste jaarlijkse trekafstand. Door dezelfde noordse sternen meerdere jaren te volgen hoopte Loonen vast te stellen hoe de sternen reageren op veranderende voedselomstandigheden naar aanleiding van verschijnselen zoals El Niño.

ZMS Zeeland ligt voor het Noorse station en de Beerenberg vulkaan bij het eiland Jan Mayen. Aan boord een team wetenschappers dat vijf dagen lang over het eiland zal trekken (zie pagina 177). Foto: Tintin Zhou.

In 2013 werden twee nieuwe ganzenprojectaanvragen betreffende onderzoek te Ny-Ålesund gehonoreerd. Isabella Scheiber werkte als post-doc bij Jan Komdeur in Groningen, en zij onderzocht de hormonale stressreactie van brandganzen die zijn blootgesteld aan een negatieve sociale context of vervuiling. Margje de Jong had al twee jaar als student meegewerkt aan experimenten met brandganskuikens op Spitsbergen en begon in 2014 aan een promotieonderzoek dat uiteindelijk moet aantonen in hoeverre de drie ganzensoorten op Spitsbergen met elkaar concurreren.
Rudi Drent zat na zijn emeritaat bepaald niet stil. Hij zette een nieuwe onderzoekslijn op die de voorjaarstrek van de brandganspopulatie van Nederland naar Rusland als onderwerp had. Henk van der Jeugd en Julia Stahl waren hierbij als post-docs betrokken. Sandra van der Graaf (2006) en Götz Eichhorn (2008) onderzochten als promovendi hoe de optimale planning van de voorjaarstrek veranderde door de ongelijke opwarming langs de trekroute. De groene golf van voorjaarsgras, die voorheen de timing van de voorjaarstrek van de ganzen bepaalde, werd bestudeerd aan de hand van exclosure experimenten langs de trekroute en de ganzentrek werd gevolgd met behulp van satellietzenders en gps-loggers. Het hele team ging in samenwerking met Russen van het Russisch vogeltrekstation op expeditie naar de Witte Zee (2001, 2002) en de Pechora Delta (2002-2006). Ook tijdens deze studie bood de uitbreiding van het broedareaal van de brandgans van Novaya Zemlya en Yamal, via de Russische noordkust en de Oostzee tot in Nederland een belangrijke bron van vergelijkingsmateriaal.
Rusland was een logische keuze voor Arctisch vogelonderzoek vanuit Nederland omdat ganzen en steltlopers vanuit de Waddenzee naar de Russische toendra migreerden. Vanwege de koude oorlog was het lange tijd onmogelijk om naar Rusland af te reizen, maar dat veranderde in 1989 vanwege de Perestrojka van Gorbatsjov. Gerard Boere was gepromoveerd op Arctische steltlopers in de Waddenzee en werkte sindsdien op het Ministerie van LNV aan internationale natuurbescherming. Als zodanig speelde hij een grote rol bij het opzetten van de eerste contacten met Russische onderzoekers. Bart Ebbinge, onderzoeker bij het door het ministerie van LNV gefinancierde onderzoeksinstituut Alterra, beet in 1990 de spits af als organisator van de eerste Nederlands-Russische expeditie naar Taymir. Op Spitsbergen was hij de eerste Nederlandse ganzenonderzoeker ge-



weest (zie eerder in dit hoofdstuk), en nu werd hij dat ook in Noord-Siberië. Het onderwerp van zijn studie was de rotgans. Door opvettende ganzen in de Waddenzee te vangen en te voorzien van kleurringen had Bart laten zien dat de zwaarste ganzen de grootste kans hebben om met jongen uit de broedgebieden terug te komen. In die tijd dacht men dat voedsel de belangrijkste beperkende factor was voor populatiegroei. De Russische gegevens suggereerden echter dat predatoren de belangrijkste beperking vormden. Het broedsucces van rotganzen in de Waddenzee bleek extreem laag in jaren volgend op een lemmingpiek in de broedgebieden. Het verhaal ging dat predatoren na het instorten van de lemmingpopulatie overschakelden op broedende vogels. In Groningen werd het verhaal nauwelijks geloofd; onderzoek ter plekke moest uitsluitsel brengen. Van 1990 tot 2008 bleef Bart de grote initiator van een veelzijdig onderzoek aan de Pyasina delta in Taimyr, beschreven in zijn boek De Rotgans (2014). Ook de documentaire *Onze rotgans in Siberië* van Jan Musch en Tijs Tinbergen geeft een goed beeld van het onderzoek. Duidelijk werd dat allerlei verschillende predatoren synchroon reproduceren met de lemmingcyclus zodat de rotganzen nauwelijks broedsucces hebben in jaren na een lemmingpiek. Overigens bleek de lemmingpiek in de onderzoeksperiode onverwachts een cyclus over te slaan wat verklaard werd door een gebrek aan sneeuwbedekking en misschien wel klimaatverandering. Talloze Russische en Nederlandse onderzoekers kregen dankzij deze expedities toegang tot de Noord-Siberische toendra en werkten intensief samen. Helaas bleek dat het vanwege de sterk stijgende kosten steeds moeilijker werd om zulke expedities te financieren en daardoor is het niet mogelijk gebleken om dit veldwerk na 2008 te vervolgen.

Op weg naar Taimyr was Dikson, aan de monding van de Jenisej in de Karazee, het laatste logistieke knooppunt. Te Dikson werd in 1995 met subsidie vanuit Nederland het Willem Barentsz Biological Station opgericht. Hier stond steltloperonderzoek in de Medusabaai centraal. Na enkele seizoenen met voornamelijk inventarisaties vond hier het promotieonderzoek plaats van Ingrid Tulp (2007). Samen met haar partner Hans Schekkerman werd het broedsucces van drie soorten steltlopers bestudeerd in relatie tot aankomstdatum, voedselbeschikbaarheid en lichaamsconditie. Ook zij probeerden vast te stellen wat het optimale moment



Tevreden kijken de ganzenvangers naar hun vangst, die met kano's en hardlopers naar de netten zijn gebracht om geringd te worden. Nu moeten de brandganzen eerst hun darmen legen voordat ze geringd en gemeten worden. Locatie: Isdammen, Longyearbyen, Spitsbergen. Foto: poolstation.nl.



van reproduceren was en constateerden dat dit maar een korte periode in de jaarcyclus was. Zonder blijvende Nederlandse steun raakte het station in verval en sinds 2007 is het niet meer gebruikt.
Iets dichter bij huis, ten westen van Novaya Zemlya, ligt de Pechora Delta, die uitmondt in de Barentszee. Het gebied is vooralsnog een onverstoord natuurlijk ecosysteem, maar bevindt zich in een omgeving vol olie- en gasvelden die recent in productie zijn genomen. Daarom stond het gebied ook volop in de belangstelling bij het Nederlands bedrijfsleven. Jan Beekman bestudeerde er van 1992 tot en met 1998 eerst vanuit Groningen en later vanuit het NIOO welke factoren het broedsucces van de zeldzame kleine zwanen negatief kunnen beïnvloeden. Dat onderzoek werd in 2015 voortgezet door Bart Nolet (NIOO) die de recente afname in populatiegrootte van de kleine zwaan probeerde te duiden. Aan de noordzijde, bij Tobseda, waren de brandganzen, zoals eerder beschreven, onderwerp van studie van de Rijksuniversiteit Groningen. Henk van der Jeugd (CAPS) en Bart Nolet (NIOO) hebben dit onderzoek doorgezet en in 2014 en 2015 deed Thomas Lameris als promovendus onderzoek ter plekke. Hij vervolgde de eerdere studie naar veranderingen onder invloed van klimaatverandering en volgde de timing van de trek van de ganzen met gps-loggers en geolocators. Ook combineerde hij deze gegevens met de kwaliteit en beschikbaarheid van de belangrijkste voedselplanten.
Mennobart van Eerden, werkzaam bij het RIZA van het Ministerie van Infrastructuur, bestudeerde door middel van expedities in de periode 1995 – 2004 de diverse ecologische relaties binnen de gehele Pechora Delta, als referentie voor de situatie in Nederland. Ook hier werd nauw met Russische partners samengewerkt en was het onderzoek zeer veelzijdig. Tot de onderwerpen van deze studie behoorden landschapclassificatie, vegetatiebedekking en productiviteit, hydrologie, waterchemie, fytoplankton, zooplankton, zoobenthos, vissen, insecten, vogels en zoogdieren. Deze studie liet zien dat verschillende onderdelen van het landschap niet op hetzelfde moment productief zijn, waardoor dieren en mensen volgens vaste ruimtelijke patronen het landschap benutten.
Na zijn overwintering op Edgeøya bleef Ko de Korte zeldzame zeevogels inventariseren. Voor zijn promotieonderzoek aan de kleinste jagers van Scoresby Sund ging hij naar de oostkust van Groenland. Later deed hij onder primitieve omstandigheden onderzoek aan ivoormeeuwen op Severnaya Zemlya waar hij ontdekte dat het grootste deel van de wereldpopulatie zich in één kolonie ophield. Later werden ook de zeevogels van Peary Land in Noordoost-Groenland door hem geïnventariseerd.
Kees Camphuysen heeft talrijke Arctische reizen ondernomen en vanaf diverse schepen zeevogels in het Noordpoolgebied geïnventariseerd. Met name Jan Mayen en Spitsbergen zijn gedurende meerdere jaren door hem bezocht. Ook Jan Andries van Franeker is door middel van expedities naar Jan Mayen en Bereneiland in het zeevogelonderzoek beland; later richtte hij zich helemaal op Antarctica. In 2014 stond Jan Mayen plotseling weer even op de kaart vanwege een expeditie samen met de Koninklijke Marine. Archeologen, bryologen (moskundigen), ornithologen en walvisdeskundigen brachten vijf dagen op dit afgelegen eiland door en beschreven ieder vanuit hun eigen expertise het unieke karakter van dit eiland. Hierbij werden zij logistiek bijgestaan door ZMS Zeeland en een team mariniers. Over deze bijzondere samenwerking tussen onderzoekers en marine is een publieksboek en een documentaire verschenen.

Theunis Piersma verbleef in 1989 en 1990 in het noorden van Canada om de energieafgifte van de kanoetstrandloper te kwantificeren door middel van koperen modellen. In 2003 reisde hij samen met Jeroen Reneerkens naar het Deense veldstation Zackenberg in Oost-Groenland om onderzoek te doen aan steltlopers. Voor Jeroen Reneerkens was dit het begin van een ‘arctische’ carrière, waarbij hij drieteenstrandlopers langs de gehele trekroute, van Mauretanië via de Waddenzee en IJsland naar Groenland volgde om vast te stellen waar deze vogels het meest kwetsbaar zijn. Inmiddels heeft hij er alweer tien seizoenen op het Deense onderzoeksstation opzitten. Auteur en columnist Koos Dijksterhuis is hem een aantal jaren gevolgd en heeft daarover het boek *Een Groenlander in Afrika* geschreven. De komende jaren zal Jeroen Reneerkens dit werk in het kader van een nieuw gefinancierd project samen met Theunis Piersma voortzetten.



Effecten van een veranderend klimaat op de poolvegetatie

Jelte Rozema

Vanaf de zomer van 1999 heeft Jelte Rozema (VU) onderzoek verricht naar de gevolgen van verhoogde UV-B straling op toendraplanten. Dit onderzoek was gerelateerd aan de jaarlijks terugkerende ozonafbraak in de stratosfeer, waardoor met name de schadelijke UV-B straling aan het aardoppervlak toeneemt. De toendravegetatie bestond onder meer uit *Salix polaris* (poolwilg), *Cassiope tetragona* (poolklokje), *Dryas octopetala* (achtster) en de mossen *Polytrichym hyperboreum* en *Sanionia uncinata*. Er mocht gebruik worden gemaakt van een UV-opstelling van Bjørn Solheim (Universiteit van Tromsø) nabij Isdammen en in Adventdalen (Spitsbergen). De toendravegetatie werd daar overigens al vanaf 1996 ’s zomers met UV lampen bestraald. Vervolgens werden er vanaf 2002 door de vakgroep Systeemecologie van de Vrije Universiteit UV lampen bijgeplaatst. Na 7 jaar bestraling bleken de effecten van verhoogde UV-B straling op vegetatiebedekking, dichtheid, vers- en drooggewicht van het blad, bladdikte, vocht- en fenolengehalte van het blad verwaarloosbaar. Evenmin kon er schade worden vastgesteld aan het DNA van de toendravegetatie.

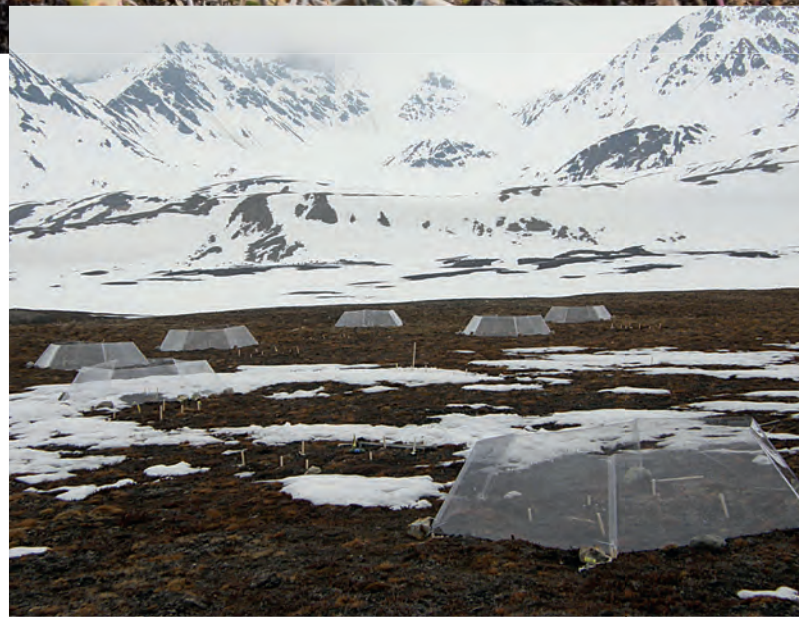
In het Antarctisch gebied, namelijk op Signy eiland, voerden Peter Boelen en Karin de Boer in februari 2003 experimenten uit waarbij zij met dezelfde UV-B lampen zuidpoolmossen aan een verhoogde dosering UV-B blootstelden. Ook bij de mossen *Sanionia uncinata*, *Warnstorfia sarmentosa*, *Chorisodontium aciphyllum* en *Polytrichum strictum* kon geen verhoogde DNA-schade worden vastgesteld.

Het stuifmeel van de poolwilg en de bladeren van het poolklokje werden, en worden, onderworpen aan testen om te bepalen of het gehalte aan *para*-coumaarzuur onder invloed van UV-B straling toeneemt. Nadat namelijk geen duidelijke negatieve effecten van verhoogde UV-B straling op de biomassa, morfologie en DNA van poolplanten kon worden vastgesteld richtte het onderzoek zich op de stoffen die UV-B absorberen. Zo zou een door UV-B geïnduceerde verhoging van *para*-coumaarzuur in de bladcuticula (waslaag) danwel in de wand van het stuifmeel zoveel UV-B straling kunnen wegvangen dat DNA-schade wordt voorkomen. In de tweede plaats zou de verhoging van *para*-coumaarzuur in de cuticula van *Cassiope tetragona* en in het stuifmeel van de poolwilg een proxy functie kunnen hebben bij het reconstrueren van historische UV-B stralingsniveaus en dus



Jelte Rozema borend in de permafrost. Foto: Peter Boelen.

van de dikte van de ozonlaag in de stratosfeer. Met proxy functie wordt in dit geval bedoeld dat een hoog gehalte aan *para*-coumaarzuur duidt op een hoog UV-B stralingsniveau en dus een dunnere ozonlaag.
Een gunstig aspect hierin is dat *para*-coumaarzuur in de cuticula en in stuifmeel in principe heel goed en heel lang bewaard kan blijven. Zo werd gevonden dat het UV-absorptie spectrum van een fossiel blad van *Ginkgo adiantoides* (ongeveer 60 miljoen jaar oud!) en een *Ginkgo biloba* van de campus van de Vrije Universiteit nauwelijks van elkaar verschilden. Na miljoenen jaren is kennelijk de organische samenstelling van het *Ginkgo* blad niet veel veranderd.
In het kader van ditzelfde onderzoek werden nabij Stuphallet, Brøggerhalvøya (vlakbij NyÅlesund, Spitsbergen) boringen verricht in het toendraveen. Dit gebeurde onder andere op de locatie waar eerder Pim van der Knaap paleo-botanisch onderzoek had verricht. Het onderste, diepste gedeelte van de boorkernen werd met de ^{14}C methode gedateerd op 5000-6000 jaar BP. In het poolveen blijven stuifmeelkorrels doorgaans goed bewaard en kunnen vaak tot op de soort worden gedetermineerd. Het stuifmeel van de poolwilg komt in de pollendiagrammen heel dominant voor, wat ook geldt voor een soort als *Cassiope*. Daarnaast wordt ook stuifmeel van de boomsoorten *Betula* (berk), *Pinus* (den) en *Alnus* (els) gevonden. Dit stuifmeel wordt waarschijnlijk door de atmosfeer vanuit Scandinavië en Siberië naar Spitsbergen getransporteerd.
Een doorbraak in het Arctische onderzoek werd bereikt door het vaststellen van goed meetbare jaargroei bij het poolklokje. De jaargroei van de stengel van deze plant bleek sterk te correleren met de zomertemperatuur. Voorts kan *Cassiope tetragona* bijzonder oud worden, tot wel 150 jaar, zodat een lange tijdserie van zomertemperaturen kan worden verkregen. Bovendien bleek een gemiddelde temperatuurverhoging van ongeveer 1,5 °C in de OTCs te Adventdalen, Endalen en bij Ny-Ålesund tot een sterkere stengelgroei te leiden. Hieruit kon op Spitsbergen de zomertemperatuur vanaf 1840 worden gereconstrueerd. Dit is ver voordat in 1911 de officiële meteorologische metingen op Spitsbergen van start gingen in verband met introductie van de luchtvaart. Kortom, daar waar op de toendra echte boomgroei (en dus jaarringen) ontbreekt, kon met de jaarlijkse stengelgroei van *Cassiope* toch een nieuwe klimaat- en temperatuurproxy worden bepaald!



Open-Top kamers op de toendravegetatie bij Ny Ålesund. Foto: Jelte Rozema.

Tijdens zijn eerste bezoek aan de hoofdstad van Spitsbergen, Longyearbyen, had de botanicus Sigmund Spjelkavikk Jelte Rozema al gewezen op het voorkomen van kraaiheide of kraaibes (*Empetrum nigrum*) in de beschutte toendravegetatie nabij Huset. Kraaibes, een dwergstruik, is een heidesoort met zwarte bessen. Prof. Inger Greve Alsos (Universiteit Tromsø), specialist op het gebied van de geografische verspreiding van planten op Spitsbergen, wist dat het aantal vindplaatsen van kraaiheide op Spitsbergen toeneemt. Kraaiheide komt in subarctische en arctische gebieden voor, en het warmer wordende klimaat zou derhalve de toename van kraaiheide op Spitsbergen kunnen verklaren. Een aanwijzing hiervoor kwam van Buizer en medewerkers van de Vrije Universiteit, die vonden dat kraaiheide binnen OTC's (met een hogere luchttemperatuur) meer en rijpere bessen vormde dan controle-kraaibessen.

Op de Falkland Eilanden werden door Ad Huiskes, Hans Franke en Stef Bokhorst OTC's geplaatst in een gebied waarin *Empetrum rubrum*, rode kraaiheide (vanwege de rode bessen) domineert. De Falklanders, die deze plant diddledee noemen, gebruiken de takjes ervan om in het veld vuur te maken zodat men bijvoorbeeld thee kan zetten. Rode kraaiheide bevat namelijk zeer brandbare, vluchtige



stoffen waardoor zelfs vochtige exemplaren snel vlam vatten. Van de rode bessen wordt ook wel jam gemaakt. Uit het onderzoek bleek dat de bessen van planten binnen de OTC's groter werden dan die op de controle-locaties. Naar alle waarschijnlijkheid was dit niet (alleen) het gevolg van opwarming, maar ook van een minder sterke evapotranspiratie (verdamping en transpiratie van planten). Gedurende het hele jaar staat op de Falkland eilanden namelijk een zeer stevige wind, en binnen de OTC's uiteraard veel minder.

Empetrum rubrum (Diddledee) op de Falkland eilanden. Foto: Ad Huiskes.

Het noordpoolgevoel op Spitsbergen

Het Spitsbergen-onderzoek van Jelte Rozema begon in 1999 toen hij van de Groningse plantenecoloog Jan Bakker hoorde dat er bij het vliegveld van Longyearbyen eenvoudige accommodatie was die door het Norsk Polar Institutt beheerd werd. Jelte Rozema onderzocht de gevolgen van het gat in de ozonlaag op de vegetatie en had in de Noordhollandse duinen en laagvenen met UV-lampen boven de vegetatie gewerkt. De gedachte was om die UV-lampen boven de toendraplanten op Spitsbergen te plaatsen. Hij nam contact op met Bjørn Solheim van Tromsø University, die bij Isdammen in Adventdalen UV-lampen boven Peltigera kostmossen had geplaatst; deze korstmossen leven in symbiose met blauwalgen die atmosferische stikstof kunnen binden. Bjørn Solheim had eerder aan de VU te Amsterdam gewerkt in het kader van een ERASMUS uitwisseling, en had daar behalve met zijn onderzoek indruk gemaakt met een dia van zijn – enige – ontmoeting met een ijsbeer op Spitsbergen.

Het was pionieren tijdens deze eerste veldcampagne vanuit Longyearbyen. De fietsen gehuurd van het Norsk Polar Institutt (NP) waren krakkemikkig. Het geweer, verplicht tijdens het veldwerk, huurden we bij een sportzaak, en na een instructie van minder dan vijf minuten bij de toonbank stonden we pardoes buiten met een zwaar kaliber wapen en vijf kogels. Enorm stoer, dat wel, maar ook ongelofelijk riskant – we hoopten oprecht nooit een ijsbeer tegen te komen. Maar ja... het geweer ging over de schouder en we fietsten weg of het de gewoonste zaak van de wereld was. Al gauw bleek dat er veel meer mensen met een geweer over hun schouder of op de bagagedrager rondliepen en -fietsten. Aangekomen bij het NP airport hotel werden natuurlijk meteen stoere foto's gemaakt van de noordpoolonderzoeker die achteloos een geweer draagt, met het Isfjord en de gletsjers op de achtergrond.

Overigens droeg Bjørn Solheim zelden of nooit een geweer, maar een zwaar kaliber revolver. Hij heeft gelukkig nooit hoeven te bewijzen dat hij hiermee een ijsbeer zou kunnen doden of wegjagen.

Het angstaanjagende gevoel om zomaar een ijsbeer te kunnen tegenkomen greep veel mensen bij de keel. De VU-postdoc Peter Blokker kreeg het op de toendra bij Ny-Ålesund ineens op zijn heupen. Hij raakte bevangen door 'ijsbeerangst' en maakte rechtsomkeert, hoewel we degelijke schietoefeningen hadden gedaan en goed radiocontact hadden met het BAS-NERC station te Ny Alesund, Harland Huset. Van de Britse onderzoekster Nanette Madan, die vanuit het BAS-NERC station op de toendra buiten Ny-Ålesund werkte, leerden we dat je het best zo hard mogelijk met je spullen moet rammelen. Daarmee maak je namelijk een ijsbeer die mogelijk achter een heuveltje ligt te slapen op veilige afstand wakker.



Augustus 2007. In de zon voor het 'Holland Huset'. V.l.n.r. Rob Broekman en Jelte Rozema (Vrije Universiteit Amsterdam), Bas Vervust en Lize Fivez (Universiteit Antwerpen). Vlak nadat deze foto genomen werd, brak de plank waarop we zaten doormidden en belandden we alle vier op de grond. Foto: Maarten Loonen.



Terrestrisch onderzoek tijdens het vierde Internationale Pooljaar

Ad Huiskes, Maarten Loonen en Jelte Rozema

Tijdens de SCAR vergadering in Shanghai (2002) stelde Chris Rapley (voormalig directeur van de BAS en uittredend president van SCAR) voor om wederom een Internationaal Pooljaar te organiseren. In 2007 zou het namelijk 125 jaar geleden zijn dat het eerste Internationale Pooljaar plaatsvond (1882-1883), 75 jaar geleden dat het tweede Internationale Pooljaar plaatsvond (1932-1933) en vijftig jaar geleden dat het derde Internationale Pooljaar plaatsvond (1957-1958). Aan het derde Internationale Pooljaar had Nederland niet meegedaan (afgezien van het onderzoek van Jaap Tinbergen, zie Algemene Inleiding), maar met veel enthousiasme werd begonnen met de voorbereidingen voor het vierde Internationale Pooljaar. Verschillende ministeries en NWO zorgden voor een, voor Nederlandse begrippen, ongekend ruimhartige subsidie.

Uiteindelijk werd binnen het thema Terrestrische Biologie, naast het al lopende onderzoek, gewerkt aan drie projecten. Ten eerste verwierf Maarten Loonen het project BIRD-HEALTH, waarmee het ganzenonderzoek op Spitsbergen een nieuwe fase inging. Na jarenlang gedrag, voedselkeuze, predatie en effecten op de vegetatie bestudeerd te hebben was dit project vooral gericht op de consequenties van ziektes en parasieten op natuurlijke ganzenpopulaties. Omdat precies in die tijd diverse uitbraken van vogelgriep de pluimveesector wereldwijd lamlegden was er grote belangstelling voor dergelijk veldonderzoek. Het project kreeg in Noorwegen en Nederland dan ook ruime subsidies. In Nederland initieerde Marcel Klaassen (NIOO) een samenwerkingsverband met griep-experts van de Erasmus Universiteit en met epidemiologen van de Universiteit van Utrecht. Indertijd werd gedacht dat contact tussen vogels van verschillende trekroutes in de Arctische broedgebieden wel eens tot een snelle en ongewenste verspreiding van de vogelgriep zou kunnen leiden. Hiertoe bouwde hij de samenwerking met professor Jesper Madsen (Universiteit van Aarhus, Denemarken), met wie hij al eerder tijdens het EU-project FRAGILE had samengewerkt, verder uit. Zijn promovenda Bethany Hoye onderzocht ganzenpopulaties langs de gehele trekroute tot aan Spitsbergen op de aanwezigheid van vogelgriep. Uiteindelijk werd de vogelgriep niet in het Noordpoolgebied, maar pas aan het einde van de najaarstrek in België vastgesteld.
Loonens eigen onderzoek aan de brandganzen kon ook worden vervolgd. Hij kon dankzij de beurs voltijds bij het Arctisch Centrum gaan werken, hij kreeg er een promovenda in samenwerking met Anita Buma en kon bovendien Jouke Prop twee jaar aanstellen, waardoor het ganzenonderzoek op Nordenskiöldkysten een nieuwe impuls kreeg.

Deze promovenda, Cecilia Sandström, vergeleek de gezondheidstoestand van brandganzen broedend in Nederland, Rusland en Spitsbergen op basis van bloedmonsters. Ze constateerde dat het immuunsysteem van brandganzen wijst op een kleinere kans op ziekte in het Noordpoolgebied dan in gematigde streken. Dit werd daarna ook bewezen dankzij pathologisch onderzoek van kuikens die opgroeiden in gevangenschap maar die in dezelfde gebieden als de wilde ganzen in Nederland en Spitsbergen graasden. De Nederlandse kuikens waren aanzienlijk minder gezond.



Ook bij de brandgans werd de vogelgriep niet aangetroffen in de Arctische gebieden. Volwassen ganzen droegen echter wel antilichamen die wezen op een eerdere blootstelling aan het vogelgriepvirus buiten de broedgebieden.

Ten tweede werd het project TARANTELLA goedgekeurd (Terrestrial ecosystems in Arctic and Antarctic: Effects of UV light, Liquefying ice, and Ascending temperatures). Dit project was opgezet om verschillende studies naar de effecten van klimaatverandering op ecosystemen met elkaar te vergelijken, en te proberen om bepaalde wetmatigheden uit alle resultaten te destilleren. De bedoeling was om twee samenvattende artikelen te schrijven waarvan één bestond uit een analyse van het onderzoek naar de effecten van het gebruik van passieve verwarmingsmethodes (OTC's, schermen, geventileerde 'cloches') op het microklimaat. Dit artikel bundelde het onderzoek van Nederland, België, Frankrijk, Verenigde Staten, Nieuw-Zeeland, en Groot-Brittannië Een tweede artikel combineerde het onderzoek met Open Top Kamers in Antarctica, de Arctische regio en een tweetal alpiene gebieden. Aan dit reviewartikel werkten zestien onderzoekers uit elf landen mee.
Eigenlijk bouwde TARANTELLA voort op het onderzoek van Stef Bokhorst naar de effecten van klimaatverandering op terrestrische ecosystemen. Zoals eerder vermeld werkte Bokhorst met Open Top Kamers (OTC's) in de regio van het Antarctisch Schiereiland (Falkland Islands, Signy Island, Anchorage Island). Dit was echter niet het enige onderzoek waarbij OTC's gebruikt werden. In Antarctica alleen al werd door onderzoekers uit acht verschillende landen de effecten van klimaatverandering met behulp van OTC's en schermen bestudeerd. In het Arctische gebied werd in het kader van het International Tundra Experiment door onderzoekers van elf landen vergelijkbaar onderzoek gedaan, vrijwel zonder uitzondering met behulp van OTC's.

Langlopend onderzoek met behulp van warmtelampen of warmtedraden in de bodem is om logistieke redenen in Antarctica nauwelijks mogelijk. De experimenten moeten op enige afstand van een station worden uitgevoerd (waar de verstoring van het ecosysteem minder is) en zodoende is de energievoorziening een probleem. Vandaar dat in Antarctica het onderzoek naar de effecten van temperatuurveranderingen voornamelijk met passieve methoden (bv. broeikassen, schermen, OTC's) wordt uitgevoerd.
De ontwerpen van deze passieve systemen zijn erg divers: van simpele perspex schermen via al dan niet beluchte 'cloches' (mini-broeikasjes) tot volwaardige OTC's. Bokhorst wist uit de veelheid van gegevens – vaak op zeer verschillende manieren verkregen – toch nuttige wetmatigheden te destilleren. De temperatuurverschillen tussen de diverse systemen en ontwerpen waren aanzienlijk, maar het bleek dat de grootste verandering in temperatuur (in vergelijking met de temperatuur buiten de verwarmingskamers) vooral tijdens het winterseizoen optrad, en eigenlijk niet in de zomer. Ook bleek dat de bodem in de kamers vooral in de herfst langer vochtig bleef. Dit zou de eerder beschreven degradatie van korstmossen kunnen verklaren: relatief hoge wintertemperaturen en langere vochtige periodes, maar geen licht. Hierdoor kunnen de korstmossen wel respireren maar niet fotosynthetiseren, en 'verademen' ze zichzelf. Mossen zijn hier – kennelijk – beter tegen bestand. De toename in bodemvocht heeft trouwens ook een toename in het aantal nematoden (rondwormen) in de bodem tot gevolg.
Het tweede artikel, ook weer met Bokhorst als eerste auteur, toonde aan dat de OTC-methode voor de drie heel verschillende vegetatietypen (Arctisch, Antarctisch, alpien) vergelijkbare resultaten liet zien. Bewerking van de gegevens wees dus uit dat de OTC-methode voor alle vegetatietypen te gebruiken was, maar dat het grootste effect aanwezig was in gebieden met een relatief lage temperatuur. Met andere woorden, in de relatief mildere subarctische en sub-Antarctische gebieden (ten opzichte van 'echte' polaire gebieden) resulteerde deze methode in minder duidelijke verschillen tussen de ecosystemen binnen en buiten de kamers.

Enkele jaren voor het vierde internationale Pooljaar nam de interesse naar de gevolgen van de introductie van niet-inheemse soorten in de poolgebieden toe. Hier kwam het derde project, ALIENS in Antarctica (de omvang van het onbewust importeren van niet-inheemse zaden en plantendelen in Antarctica), uit voort. De problemen rondom niet-inheemse soorten ('aliens') werden in de tachtiger jaren voor het Subantarctische Marion Island beschreven door Niek Gremmen en in de negentiger jaren voor South Georgia door Ger Ernsting. De Australische onderzoekster Dana Bergstrom en collega's experimenteerden met stofzuigers om kleding en ander materiaal (bv. rugzakken) van weten-



schappers te onderzoeken op niet-inheemse zaden. Diverse onderzoekers van verschillende nationaliteiten sloten zich hierbij aan, en bij het begin van het IPY (International Polar Year) in 2007 was een groep van twaalf onderzoekers uit negen landen bij dit onderzoek betrokken. Het project was een daverend succes. De vijftig Philips stofzuigers die overal op de schepen, de vliegvelden in Punta Arenas, Stanley, Hobart en Christchurch (belangrijke vertrekpunten voor vluchten naar Antarctica) klaarstonden om vrijwilligers 'schoon te zuigen' werden binnen de Antarctische onderzoeksfamilie al snel een begrip.

Het was een omvangrijk project waarbij ook veel vrijwilligers (voor het bemonsteren van de kleding en bagage van expeditieleden) werden ingezet. Zo hielp onder andere Oceanwide Expeditions (een toeristenorganisatie) mee, maar bijvoorbeeld ook douanepersoneel (!) in Punta Arenas en Ushuaia om het project tot een succes te maken.



Cecilia Sandström controleert een net uitgekomen nest brandganzen op het eiland Storholmen. Foto: Maarten Loonen.



De zaden en delen van mossen en korstmossen gevonden bij de bemonsteringen van in totaal 853 bezoekers in verschillende categorieën (toeristen en gidsen, wetenschappers en ondersteunende personeel, crews van schepen en vliegtuigen) werden zorgvuldig geteld en gedetermineerd. Het bleek dat bezoekers die professioneel Antarctica bezochten (wetenschappers en ondersteuners, personeel van toeristenschepen) relatief grote aantallen zaden of plantendelen bij zich droegen, vergeleken met toeristen en bemanningen van schepen en vliegtuigen. Professionele bezoekers komen ook buiten Antarctica relatief vaak in natuurgebieden en ze gebruiken vaker dezelfde kleding, rugzak en tas en hebben bovendien de neiging deze minder grondig schoon te maken (hetgeen na dit project gelukkig sterk is verbeterd). Toeristen dragen er doorgaans hun expeditiekleding voor het eerst en worden er ook veel grondiger op gewezen om bijvoorbeeld hun schoeisel te reinigen.

Omdat het merendeel van de bezoekers van Antarctica het Schiereiland aandoen loopt dit deel van Antarctica de grootste kans op de introductie van niet-inheemse soorten. Hier komt bij dat deze regio een relatief snelle en intensieve klimaatverandering doormaakt. Inderdaad komt op het Antarctisch Schiereiland inmiddels al op verschillende locaties straatgras (*Poa annua*) voor, een plantensoort die van nature niet in Antarctica voorkomt.

Eindnoten

1. *Oosterveld, p. (1969). Polar Bear. Nederlandse Spitsbergen Expeditie 1968 – 1969. Preliminary Report no. 2.*
2. *Boschman N. en L. Hacquebord (2004). Permanence in Diversity, Netherlands Ecological Research on Edgeøya, Spitsbergen. Barkhuis Publishing, Groningen. 156 pp. met bijlagen. ISBN 9080739073, ISSN 1574-0374*
3. *Wiese K., J.H. Stel, W. Wolff en F. Hoogervorst (1992). Op de rand van Antarctica. Verslag van de eerste Nederlandse Antarctica expeditie. Leusden, 94 pp.*



Jennifer Lee (Zuid Afrika) zuigt met één van de 50 door Philips gesponsorde stofzuigers een regenjack schoon om mogelijk aanwezige uitheemse zaden, plantendelen en insecten te verzamelen. Foto: Hans Francke.



Menswetenschappen



Inleiding

Louwrens Hacquebord

Nederland heeft een lange relatie met het Noordpoolgebied. Al in 1560 stichtten Nederlandse kooplieden een handelspost op het Kolaschiereiland, in het uiterste noordwesten van Rusland. Een aantal jaren daarna voeren Nederlandse schepen over de Witte Zee en de benedenloop van de Noordelijke Dwina naar de Russische nederzetting Kolmogory om handel te drijven met de inwoners. Eén van die eerste Nederlanders ter plekke was Olivier Brunel. Hij legde er handelscontacten en probeerde in 1584 vanuit Kolmogory een zeeweg naar China en Japan te vinden. Dit mislukte, maar tegen het eind van de eeuw probeerden Nederlandse kooplieden het opnieuw. Tussen 1594 en 1596 organiseerden ze drie expedities om ten noorden van Siberië een route naar Cathay (het huidige China) te zoeken. Ook ditmaal slaagden ze niet. De laatste expeditie onder leiding van Willem Barentsz en Jacob van Heemskerck (1596-1597) vroor vast in het ijs van de Karazee waardoor de bemanning gedwongen werd om op Nova Zembla te overwinteren. Gebruik makend van drijf- en scheepshout bouwden ze er een hut die ze het Behouden Huijs noemden. Hierin trotseerden ze als eerste Europeanen de Arctische poolwinter. In de zomer van het volgende jaar keerden ze in roeiboten naar Kola terug waar ze werden opgepikt door Jan Cornelisz Rijp, hun expeditiegenoot van het jaar ervoor, die opnieuw was uitgevaren om hen te zoeken. Willem Barentsz was hier echter niet meer bij; hij overleed op de terugweg aan uitputting en scheurbuik. Met Rijp voeren de overlevenden terug naar Amsterdam, waar ze getooid in mutsen van vossenbont op het stadhuis werden ontvangen. Ze hadden hun doel niet bereikt en waren bovendien hun leider kwijtgeraakt, maar ze hadden toch belangwekkende ontdekkingen gedaan. Tijdens de laatste expeditie had men namelijk Bereneiland en Spitsbergen ontdekt en kreeg men een heel ander beeld van de Arctis, dat spoedig op nieuwe landkaarten zou worden aangegeven.


VVaerachtighe Beschryvinghe

Van drie seylagien / ter werelt noyt soo vreemt ghe-

hoort / drie jaren achter malcanderen deur de Hollandtsche ende Teelandtsche schepen by

noorden Noorweghen/Moscovia ende Tartaria/na de Coninckrijcken van Cathay ende China, so mede van de

doeninghe van de Weygats, Nova Sembla, en vanr lande op de 80. grade / dat men acht Groenlandt te zijn / daer noyt mensch ghewest is/ ende

van de selle verschrickende Bergen ende andre Zee-monsters ende onbekende houde, en hoe op de laetste reyse schip int ys brack is/ ende overleden

op 76. graden op Nova Sembla een huys ghetimmert/ ende 10. manden haer aldaer onthouden hebben/ende daer noch meer als 250. mylen met

open sleyne schuyten over ende langs der Zee ghevaren. Alles met seer grooten perijckel/ moyten/ende ongelooffelijcke swarichevt. Gedaen

deur Gerrit de Veer van Amstelredam.

Ghedruckt t'Amstelredam, by Cornelis Claesz, op't water, int Schrijf-boeck, Anno 1598.

Titelpagina van het dagboek van Gerrit de Veer met daarop vier momenten uit de tweede en derde reis van Willem Barentsz.



Willem Barentsz Poolkaart uit 'Beschrijvinghe van de drie seylagien door de Hollanders gedaan (...)' door Willem Barentsz, uitgegeven door Cornelis Claesz, 1598, te Amsterdam.

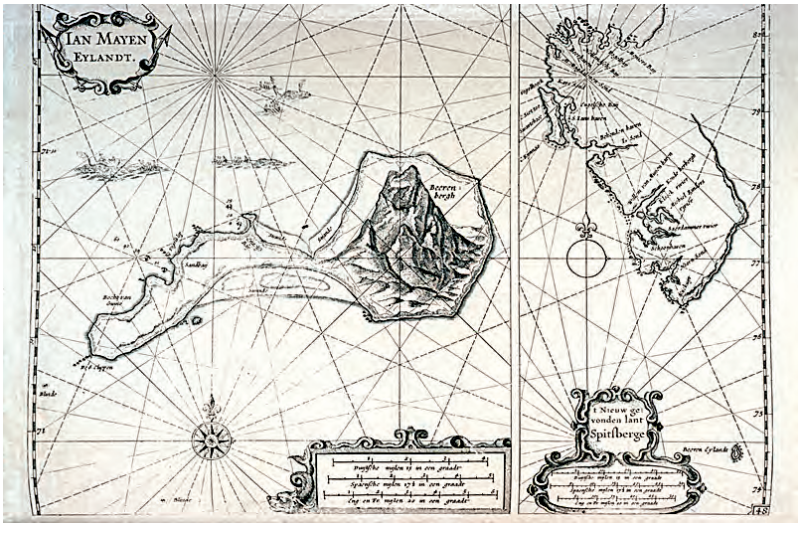
In de jaren na deze eerste ontdekkingstochten raakten Nederlandse kooplieden geïnteresseerd in de walvisvaart, en in 1612 voer Willem van Muiden als eerste Nederlandse walvisvaarder naar Spitsbergen. Na een aarzelend begin ontstond in 1614 de Noordse Compagnie die tot 1642 in Nederland het alleenrecht op de walvisvangst bij Spitsbergen en Jan Mayen verkreeg. De compagnie bouwde op beide locaties traankokerijen en zo ontstonden de eerste Nederlandse nederzettingen in het Noordpoolgebied. De belangrijkste nederzetting was Smeerenburg op Amsterdam Eiland in het noordwesten van Spitsbergen. Hier woonden en werkten in de zomers van 1614-1654 ongeveer 250 mensen. Het was de eerste nederzetting op deze Arctische eilandengroep. Het was niet de enige Nederlandse nederzetting in het Arctisch gebied. De Noordse Compagnie had namelijk ook op het zuidelijker gelegen Jan Mayen Eiland enkele traankokerijen.

Tegelijkertijd voerde men in deze 'walvisvangstperiode' ook steeds meer ontdekkingsreizen uit, waardoor het geografische beeld van het Noordpoolgebied alsmaar completer werd. Toonaangevende Nederlandse kaartenmakers als



Cornelis de Man. Een Nederlands walvisvangststation in de Noordelijke IJzee ca. 1639. Foto: Rijksmuseum Amsterdam.

Willem Barentsz, Jodocus Hondius, Joris Carolus, Willem Jansz Blaeu, Gerard van Keulen en Johannes van Keulen maakten de nieuwe ontdekkingen wereldkundig. Halverwege de zeventiende eeuw veranderde de uitvoering van de walvisvangst. De schepen achtervolgden de walvis tot in het ijs waarbij ze overigens regelmatig verongelukten. De walvissen werden langszij het schip afgespekt en het spek werd in Nederland gekookt tot traan. De Nederlanders zouden tot halverwege de negentiende eeuw in deze regionen op walvissen blijven jagen. Daarna ebde de Nederlandse polaire belangstelling enigszins weg, totdat men merkte dat veel oorspronkelijke Nederlandse namen van de Arctische kaarten waren verdwenen. Het in 1873 opgerichte Aardrijkskundig Genootschap organiseerde daarom in 1878 een expeditie met de schoener Willem Barentsz naar diverse Nederlandse historische locaties in het poolgebied. Uiteindelijk bezocht de Willem Barentsz het Noordpoolgebied zeven keer (1878-1884) om gedenkstenen op historische plekken te plaatsen en wetenschappelijke – vooral oceanografische en meteorologische – waarnemingen te doen.



Kaart van Spitsbergen en Jan Mayeneiland 1623, Willem Jansz Blaeu in Atlas Zeespiegel.

Op initiatief van Christophorus H.D. Buys Ballot nam Nederland deel aan het eerste Internationale Pooljaar (internationaal gedragen en gekenmerkt door extra inzet op het gebied van poolonderzoek) in 1882-1883, en ons land was ook betrokken bij het tweede Internationale Pooljaar in 1932-1933. De onderzoeksinteresse spitste zich in het eerste pooljaar toe op het meteorologisch onderzoek en het aardmagnetisme. In het tweede pooljaar waren dit nog altijd de belangrijkste disciplines, maar werd voor het eerst ook biologisch onderzoek uitgevoerd door Niko Tinbergen in Ammassalik (Groenland). Nederland sloeg het derde Internationale Pooljaar in 1957-1958 over en richtte het onder-

zoek vooral op de tropen. Het vierde Internationale Pooljaar 2007-2009 daarentegen trok wel weer Nederlandse onderzoekers die aan veel internationale, vaak multidisciplinaire projecten deelnamen. Voor het eerst werd ook vanuit de menswetenschappen aan het Internationale Pooljaar meegedaan.

Al deze activiteiten hebben vele sporen in het poolgebied achtergelaten die ons meer kunnen vertellen over de historie van het gebied en de rol van Nederlanders daarin. De historische locaties zijn interessant voor archeologen omdat het door studie van de vaak goed geconserveerde materiële cultuur mogelijk is het bijbehorende verhaal te reconstrueren. Bovendien zijn er vele geschreven en gedrukte documenten in diverse Nederlandse bibliotheken en archieven bewaard gebleven, die het bestuderen meer dan waard zijn.

De historische activiteiten van de Nederlanders hebben ervoor gezorgd dat een groot aantal voorwerpen van en gegevens over de diverse Arctische volkeren in Nederlandse archieven zijn beland. Bovendien wordt vanuit Nederland al decennialang antropologisch onderzoek in het Noordpoolgebied gedaan. Dit begon al tijdens het tweede Internationale Pooljaar toen bioloog Niko Tinbergen niet alleen belangstelling had voor de lokale fauna maar tegelijkertijd ook de lokale bevolking bestudeerde. Hij nam een groot aantal inheemse gebruiksvoorwerpen mee terug naar Nederland. Deze voorwerpen vormen nog altijd de kern van enkele museale collecties. Vanaf de tweede helft van de jaren vijftig van de vorige eeuw kwam het antropologisch onderzoek in het Noordpoolgebied goed op gang.

Achttiende eeuwse walvisvangst nabij Spitsbergen. Paneel in het museum In 't Houten Huis in De Rijp. Schilder onbekend. Foto: Ben Bekooy.





In het Zuidpoolgebied zijn het vooral de toeristische ontwikkelingen die Nederlandse menswetenschappers hebben aangezet tot toeristisch en ook juridisch onderzoek. Nederland is in 1990 consultatief lid geworden van het Antarctisch Verdrag en Nederlandse onderzoekers hebben zich vanaf dat moment dan ook beziggehouden met juridische- en impactaspecten van Antarctisch toerisme. In het kader van de Nederlandse Polaire programma's is veel onderzoek gedaan naar de ontwikkelingen en milieu-effecten van toerisme in de beide poolgebieden.



Ets van de schoener Willem Barentsz, 1878. Particulier bezit.



Nederlandse Poolexpeditie op het ijs van de Karazee 1882-1883. Uit M. Sneller, De Nederlandsche Pool-Expeditie 1882-1883 (Utrecht 1886).



Leden van de Nederlandse expeditie in het Internationale Pooljaar 1932-1933 in Ammassalik. Achterste rij van links naar rechts: Jaap van Zuylen, Karel Schouwenburg, Dé Bruine, Lies Tinbergen-Rutten. Op de voorgrond Henk Lohuizen en Niko Tinbergen. Foto: Niko Tinbergen (collectie Rijksmuseum Volkenkunde Leiden).



Historisch-archeologisch onderzoek in de poolgebieden

Louwrens Hacquebord

Van 1979 tot 1981 werd in het kader van het Smeerenburg-project onder leiding van Louwrens Hacquebord van het Arctisch Centrum van de Rijksuniversiteit Groningen historisch-archeologisch onderzoek op Spitsbergen gedaan. Dit onderzoek werd voorafgegaan door een uitgebreide veldverkenning van Bas Kist van het Rijksmuseum te Amsterdam. Samen met onderzoekers van het Tromsømuseum te Tromsø, Noorwegen, en het Instituut voor Pre- en Protohistorie van de Universiteit van Amsterdam werden gedurende drie zomers op Amsterdam Eiland opgravingen uitgevoerd. Diezelfde jaren werd 's winters literatuur- en archiefonderzoek gedaan, en de uitkomsten daarvan werden met die van het archeologisch onderzoek vergeleken. Zo ontstond een compleet beeld van de omvang en de gevolgen van de Nederlandse aanwezigheid op Spitsbergen. Bovendien werd belangrijke nieuwe informatie over het dagelijks leven en de manier van werken van Nederlandse walvisvaarders op Spitsbergen verkregen. Het onderzoek maakte duidelijk dat Smeerenburg in totaal zestien huizen en dertien traanovens heeft gehad. Op een naburig eiland, Zeeuwse Uijtkijck, werden 50 graven uit de walvisvaartperiode opgegraven. Dit grafonderzoek, dat in het kader van het Smeerenburgproject door George Maat en Menno Hoogland van de Universiteit van Leiden werd uitgevoerd, verschafte meer inzicht in de gezondheid en leeftijd van de walvisvaarders. Tachtig procent van de opgegraven personen waren aan scheurbuik overleden. Opvallend was dat de leeftijd van de overledenen sterk uiteenliep: van 14 tot 70 jaar. In aanvulling op het historisch-archeologisch onderzoek werd ook nog paleo-ecologisch onderzoek gedaan om de relatie van de walvisvaarders met het Arctisch milieu te bestuderen. Het was de eerste keer dat dit soort onderzoek op Spitsbergen werd uitgevoerd. Met behulp van palynologisch (pollen-) onderzoek werd de invloed van de inwoners van Smeerenburg op de vegetatie in de directe omgeving bestudeerd. Uit dit onderzoek bleek dat het 150 jaar heeft geduurd voordat de vegetatie rondom Smeerenburg zich min of meer van de zeventiende eeuwse activiteiten had hersteld. Op sommige locaties was de vegetatie overigens rijker dan voor de bewoning. In 1984 promoveerde Louwrens Hacquebord *cum laude* op de resultaten van het Smeerenburgproject. Later zouden in het kader van dit project nog de promoties van Pim van der Knaap (1989) en Sandra Comis (2016) volgen. Het multidisciplinaire Smeerenburgproject werd uitgevoerd door 32 onderzoekers en studenten van verschillende universiteiten en musea in Nederland en Noorwegen[1]. Het project had daardoor een enorme uitstraling en kreeg derhalve veel aandacht van de media. De resultaten zijn behalve in



Metaaldetectoronderzoek op Amsterdam Eiland.
Foto: Ben Bekooy.



Kartering van de archeologische resten van Smeerenburg. Foto: Ben Bekooy.



Resten van een traanoven op het strand van Amsterdam Eiland. Foto: Frits Steenhuisen.



Plattegrond van Smeerenburg met de huizen en de traanovens. Kaart: Frits Steenhuisen.





Walvisbotten in de Hornsund, Zuid-Spitsbergen.
Foto: Frits Steenhuisen.

wetenschappelijke publicaties ook in documentaires op TV en radio, artikelen in kranten en tijdschriften en tentoonstellingen in binnen- en buitenland gepresenteerd.
Na het Smeerenburgproject zijn allerlei archeologische verkenningen uitgevoerd waarbij gezocht werd naar mogelijkheden om de uitkomsten van het Smeerenburgonderzoek met die van andere locaties te vergelijken. In dat kader verkende Louwrens Hacquebord in 1983 de Walrusbaai op Jan Mayen. Hij trof in het noordelijke deel van de baai nog een behoorlijke hoeveelheid resten van het Nederlandse walvisvangststation aan, die hij registreerde en karteerde. Ook vond hij op het meest landinwaarts gelegen gedeelte van de baai naast veel enkelvoudige graven het vermoedelijke graf van de zeven Nederlandse walvisvaarders die tijdens

Opgravingen van een van de huizen van Smeerenburg.
Foto: Ben Bekooy.





de winter van 1633-1634 op Jan Mayen achterbleven om op het station te passen. Zij werden juni 1634 door de teruggekeerde walvisvaarders dood aangetroffen in hun huis en op het eiland begraven. In 1988 werd Jan Mayen samen met Noorse collega's opnieuw verkend waarbij opnieuw resten uit de walvisvangstperiode werden aangetroffen, ditmaal in de Tientententenbaai en de Maria Muschbaai. In 2007 en 2014 bleek dat het meeste Nederlandse erfgoed door erosie in zee was verdwenen. Wat nog resteerde werd geregistreerd en gekarteerd.

Tijdens de archeologische verkenningen op Spitsbergen werd een groot aantal walvisvangstlocaties bezocht en gekarteerd. In 1998, 1999 en 2004 werden zo de Engelse walvisvangststations in Laegerneset, Mitterhuken en Gashamna onderzocht en gekarteerd. De structuur van de stations werd met Smeerenburg vergeleken en telkens bleek weer hoe uniek Smeerenburg eigenlijk was. In tegenstelling tot de andere stations was Smeerenburg namelijk een echte nederzetting, met een duidelijke structuur en accommodatie voor zo'n 250 inwoners. In de nederzetting verbleven niet alleen walvisvaarders, maar ook personen met ondersteunende functies zoals een bakker, een smid, een timmerman, een chirurgijn en een dominee. Bovendien was er een klein fort om de nederzetting, indien nodig, tegen belagers te verdedigen. Het was in feite de eerste werkelijke nederzetting op Spitsbergen, en Smeerenburg fungeerde ook als symbool voor de Nederlandse aanwezigheid – in de hoedanigheid van de Noordse Compagnie – in de Arctische archipel. Wapens en vlaggen op de traankokerijen accentueerden die functie.

Bij de meerderheid van de archeologische verkenningen speelden ecologische vragen een belangrijke rol. Historische bronnen en archeologische locaties en collecties werden onderzocht op ecologische informatie. Op verschillende archeologische locaties op Spitsbergen werden testopgravingen uitgevoerd, waarbij botmateriaal werd verzameld om meer informatie te verkrijgen over de invloed van de zeventiende-eeuwse Nederlandse walvisvaarders op het Arctische milieu[2]. Uit dit onderzoek bleek dat de Nederlandse walvisvangst ten tijde van de Noordse Compagnie vanwege de vangstbeperking duurzaam genoemd kan worden. Er werd namelijk niet meer gevangen dan de jaarlijkse aanwas van de populatie.

In 1986 reisde Louwrens Hacquebord naar Canada om deel te nemen aan de opgraving van een Baskisch walvisvangststation in Redbay in Labrador die werd uitgevoerd door een archeologisch team van de Memorial University of New Foundland te St. John. Wederom was de belangrijkste doelstelling om dit station met Smeerenburg te vergelijken om de Baskische kennisoverdracht en hun invloed op de Nederlandse walvisvangst beter te kunnen begrijpen.

Zoals eerder aangegeven waren Nederlandse kooplieden al vanaf de zestiende eeuw actief in het noorden van Rusland. Ze handelden en woonden hier in de periode 1550-1785. Vanaf 1990 tot 2000 deed Jan Willem Veluwenkamp van het Arctisch Centrum onderzoek naar de activiteiten van de Nederlandse kooplieden in Archangel, of Novo-Kolmogory zoals de stad ook wel wordt genoemd. Het bleek dat er een kleine maar zeer levendige Nederlandse kooplieden-gemeenschap in deze Noord-Russische plaats aanwezig is geweest. Er werden slechts weinig materiële sporen aangetroffen, maar met behulp van Nederlands en Russisch archiefmateriaal heeft Veluwenkamp deze vroege Nederlandse bedrijfsgeschiedenis in Noord-Rusland toch kunnen reconstrueren. Hij publiceerde zijn bevindingen in een boek met de titel 'Archangel, Nederlandse ondernemers in Rusland 1550-1785'.



Opgegraven mutsen in een vitrine voor het schilderij van Cornelis de Man in het Rijksmuseum Amsterdam. Foto: Ben Bekooy.



De eerste bewoners van Jan Mayen

Op 20 augustus 2014 vond tijdens een korte ceremonie de onthulling plaats van de gerestaureerde en verplaatste gedenksteen in de Walrusbaai op Jan Mayen. Net als in 1930, toen de steen oorspronkelijk werd geplaatst, stond de bemanning van een Nederlands marineschip even stil bij de dramatisch verlopen overwintering van zeven walvisvaarders. De zeven waren in 1633 op het eiland achtergebleven om de huizen en installaties van de Noordse Compagnie tegen rovers te beschermen. Uiteindelijk bleek dit niet nodig, want de rovers bleven weg. De prijs die betaald werd was hoog, want alle zeven overwinteraars kwamen om. Van deze fatale overwintering zijn twee journalen bewaard gebleven. Beide beginnen op 26 augustus 1633 en verhalen dat de mannen in de beginperiode telkens de berg opliepen om over zee naar walvissen uit te kijken. Ook wandelden ze enkele keren naar de andere kant van het eiland om de stranden en de lagune te verkennen. In de mest onder de vogelrotsen zochten ze naar lepelblad want ze wisten dat dat een goed medicijn tegen scheurbuik was. Ze aten het meerdere malen maar ontdekten dat lepelblad in de tweede helft van september verlept raakte en niet langer eetbaar was. Gedurende de gehele winter moesten ze dus jagen om aan vers voedsel te komen. Ze probeerden meerdere keren een walvis te doden maar dat lukte niet. Op 2 november doodden de overwinteraars hun eerste ijsbeer, die ze meteen vilden en slachtten. Het vet werd gekookt en het vlees werd buiten gehangen. Dit ijsbeervlees aten ze echter pas in maart toen de honger ondraaglijk was geworden.

Vanwege het slechte weer moesten de mannen vaak binnenblijven. Ze lazen en schreven veel, en vertelden elkaar over hun leven. Een van de overwinteraars gebruikte de tijd om te leren lezen en schrijven. In één van de journalen klaagt de schrijver over verveling. Toch gebeurde er wel het een en ander. Ze voelden een aardschok, zagen in het na- en voorjaar walvissen in de baai en doodden in totaal vijf ijsberen. Poolvossen kwamen ze echter de hele winter niet tegen. Ze aten beren- en kippenvlees en slachtten ten slotte ook hun honden, maar het hielp allemaal niet want hun conditie werd alsmaar slechter. Honger en uitputting deden hen uiteindelijk allemaal de das om. De boekhouder stierf als eerste. Hij werd op 16 april gekist en in een naburig huis bijgezet. De overgebleven mannen kwamen daarna bijna niet meer uit hun kooien. De een na de andere overleed, en op



Vermoedelijke graf van de overwinteraars op Jan Mayen. Foto: Louwrens Hacquebord.

30 april werden de laatste regels in het journaal geschreven. Hoe lang de schrijver hierna nog heeft geleefd weten we niet. Op 4 juni werden alle zeven mannen door de terugkerende walvisvaarders dood aangetroffen. De overwintering was volledig mislukt; het ontbreken van rendieren en vossen was de overwinteraars noodlottig geworden. Het vroegtijdig consumeren en dus niet bewaren van het lepelblad kan ook een rol hebben gespeeld, maar het eten van gezouten en dus niet goed gebraden of gekookt berenvlees zou ook een rol kunnen hebben gespeeld (vanwege trichinosis, besmetting door wormen als gevolg van het eten van rauw vlees).

Op 24 juli 1930 werd ter herinnering aan deze zeven overwinteraars door de bemanning van de Hr. Ms. Nautilus namens het Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap een gedenksteen geplaatst die in augustus 2014 tijdens de multidisciplinaire Jan Mayen expeditie met Zr. Ms. Zeeland werd opgeknapt en verplaatst zodat de zeven overwinterende walvisvaarders nog lang herdacht kunnen worden[a)].

a) Bewerkt uit Louwrens Hacquebord, 2015. Wildernis, Woongebied en Wingewest. Een geschiedenis van de poolgebieden. Atlas/ Contact Amsterdam.





Door de smid van Smeerenburg gemaakte harpoenpunten. Foto: Ben Bekooy.



Steengoed medicijnflesje van de chirurgijn. Foto: Ben Bekooy.

Als deelnemers aan de 'Eerste Nederlandse Antarctica Expeditie' (1990-1991) werden Ko de Korte, Pim van der Knaap en Louwrens Hacquebord in de gelegenheid gesteld om op Deception Eiland in Antarctica anderhalve maand onderzoek te doen naar de invloed van een walvisvangst/onderzoeksstation op zijn directe natuurlijke omgeving. Het station werd onderzocht en gekarteerd en alle voorwerpen geregistreerd, waarbij speciale aandacht werd besteed aan de opbouw van het station en de herkomst van de machines. De gebouwen van het walvisvangststation bleken vanwege de bouwwijze en gebruikte bouwmaterialen goed te onderscheiden van de latere bouwsels van het onderzoeksstation van de Falkland Islands Dependencies Survey (FIDS) en nog later van de British Antarctic Survey (BAS). Allerlei algemene 20ste-eeuwse wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen waren in het station te herkennen, waarbij vooral de overgang van kolen- naar oliegestookte stoommachines opviel. Ook werd een inventarisatie gemaakt van de flora en fauna rond het station, welke werd aangevuld met eerdere inventarisaties van de BAS. Zo kon worden vastgesteld dat de omgeving van het station door het vele afval met voedingstoffen verrijkt was, waardoor er vóór de vulkaanuitbarsting van 1970 een relatief rijke vegetatie was ontstaan. De door deze uitbarsting veroorzaakte modderstromen hebben deze invloed echter geheel teniet gedaan. Ook het kerkhof met 35 graven werd grotendeels door de modderstromen weggevaagd. Slechts van drie graven werden nog enkele resten teruggevonden.

In 1992 werd een archeologische verkenning op de overwinteringsplek van Willem Barentsz op Nova Zembla uitgevoerd[3]. Alle overblijfselen werden daarbij gekarteerd waardoor meer inzicht werd verkregen in de mate van conservering. Ook is een groot aantal andere historische overwinteringen bestudeerd en vergeleken met de allereerste van Barentsz en consorten op Nova Zembla, waardoor een goed beeld is ontstaan van de succesfactoren die bij overwinteringen in het Noordpoolgebied een rol spelen.
In 1993 en 1995 werd het onderzoek naar de overwinteringsplaats van Willem Barentsz op Nova Zembla door een team van de Universiteit van Amsterdam onder leiding van Jerzy Gawronski voortgezet[4]. Tijdens deze opgravingen werd een aantal belangwekkende voorwerpen gevonden en aanvullende informatie verzameld. Gedurende deze expedities is op de westkust van Nova Zembla – vergeefs – gezocht naar het graf van Willem Barentsz. Bij de 400-jarige herdenking van de befaamde overwintering op Nova Zembla in 1996 werden tijdens een tentoonstelling in het Neder-



De boilers van Hectorstation op Deception Eiland. Foto: Louwrens Hacquebord.



Het ketelhuis van Hectorstation op Deception Eiland. Foto: Frits Steenhuisen.

lands Scheepsvaartmuseum in Amsterdam ook de bevindingen van de onderzoekingen op Nova Zembla gepresenteerd. In datzelfde jaar werden eveneens diverse herdenkingsactiviteiten op Terschelling georganiseerd waaraan het Arctisch Centrum deelnam.

In 1999 deed zich de mogelijkheid voor om in Pearyland, in het noorden van Groenland, een archeologische verkenning uit te voeren naar kampplaatsen van jagers-verzamelaars van de Independence-cultuur (3000-4000 jaar geleden). Na alle onderzoeken naar het wel en wee van zeventiende-eeuwse en latere jagers was het interessant om de jachtactiviteiten van deze zeer vroege cultuur te bestuderen. Daarbij werd vooral gekeken naar de bestaansmogelijkheden en adaptatieprocessen van deze cultuur in de extreme omstandigheden van een poolwoestijn als die van Pearyland. Samen met Ko de Korte werd door Louwrens Hacquebord een gebied van 150 vierkante kilometer afgespeurd naar archeologische resten van de jagers/verzamelaars van de Independence cultuur. Met behulp van de uitkomsten van dit onderzoek werd een model gemaakt van hun leefwijze en bovendien werd op grond van de aanwezige fauna een raming gemaakt van het maximale aantal personen dat op grond van de middelen van bestaan in dit gebied heeft kunnen leven.

Tijdens het vierde Internationale Pooljaar (2007-2009) werd vanuit Nederland een groot internationaal en multidisciplinair project uitgevoerd: Large Scale Historical exploitation of natural resources in Polar Areas (LASHIPA). Het onderzoek binnen dit project had betrekking op de geschiedenis van de exploitatie van natuurlijke hulpbronnen, waarbij de vraag of dit duurzaam gebeurde een centrale plaats innam. In het project werd reeds uitgevoerd onderzoek samengebracht en op elkaar afgestemd, maar in samenwerking met de Europese Universiteit van St. Petersburg werd nieuw archiefonderzoek in Rusland geïnitieerd en met collega's van de Michigan Technological University en de Koninklijke Technische Universiteit Stockholm werden de kusten van Spitsbergen, South Georgia en Antarctica uitgebreid en grondig verkend. Een archeologische opgraving op Spitsbergen, in samenwerking met het Archeologisch Instituut van de Russische Academie van Wetenschappen te Moskou, maakte ook deel uit van dit project dat geleid werd door het Arctisch Centrum van de Rijksuniversiteit Groningen[5]. Deze laatste opgraving was primair bedoeld om de resultaten van het Smeerenburgproject te vergelijken met die van een archeologisch onderzoek van een Russisch jachtstation op Spitsbergen, waarbij de verschillen tussen de Russische en Europese aanpak in de wijze waarop men de natuurlijke hulpbronnen exploiteerde centraal stonden. Was de één duurzamer dan de andere in het gebruik van natuurlijke hulpbronnen, of was er geen verschil? Hierbij werd vooral aandacht besteed aan het archeologisch botmateriaal want daaruit kon worden afgeleid of Russische jagers anders met hun natuurlijk omgeving omgingen dan de Europeanen. Ze jaagden commercieel op walrussen waarvan ze volgens historische bronnen vooral de tanden,

Het Behouden Huys

Op 20 augustus 1992 stuurt de piloot de helikopter laag over Nova Zembla, op weg naar IJshaven. Hij volgt de kustlijn. Onder ons zien we een bizar landschap. Het is relatief vlak, niet of nauwelijks begroeid en wordt doorsneden door smeltwaterbeken die diepe dalen hebben uitgeschuurd. Aan onze rechterkant zien we aan de horizon de 1500 meter hoge centrale bergketen van het eiland, bedekt met een ijskap. Deze permanente ijskap licht op onder de laaghangende bewolking. Ik zit bij het raampje met een landkaart voor mijn neus en tuur naar buiten. Ik probeer het landschap beneden mij op de kaart terug te vinden. Ik heb me wekenlang voorbereid op dit moment want ik wist dat ik niet van een Russische helikopterpiloot mocht verwachten dat hij ons in een rechte lijn naar de locatie zou brengen waar Barentsz en zijn lotgenoten vierhonderd jaar geleden hebben overwinterd. Ik herken de bochten in de kustlijn, maar het blijft toch lastig en veel hulp van de anderen hoef ik ook al niet te verwachten want die zitten allemaal aan de andere kant van de helikopter naar ijsberen te kijken die door de helicopterherrie zijn opgeschrikt en voor en naast ons rennen. Plotseling zie ik een rechthoekige vorm in het ruige landschap. Vlakbij de rechthoek staat een groot kruis. Ik wijs naar beneden en roep naar de piloot dat we daar moeten zijn. Hij heeft het begrepen en maakt een mooie bocht. Hij vliegt echter zo laag over de plek dat enkele plankjes de lucht in vliegen. Gelukkig zet hij de helikopter niet boven op de restanten van het Behouden Huis, want dat had ook zomaar kunnen gebeuren. We landen op een redelijke afstand van de rechthoek. Eindelijk, na jaren lobbyen en onderhandelen zijn we op de plek aangekomen waar precies 396 jaar geleden Barentsz en zijn bemanning in het ijs vast kwamen te zitten en hebben overwinterd.
De rechthoek die we vanuit de lucht zagen was de fundering van het Behouden Huys. Drie balken zijn nog stevig, de vierde is grotendeels vergaan. De bodem in en rond de rechthoek is zacht en groen van het mos en de kleine toendraplantjes. Het is de enige plek in de wijde omgeving met plantengroei. Een duidelijke aanwijzing dat menselijk afval plantengroei mogelijk heeft gemaakt.
Na een verblijf van meer dan zeven maanden verlieten de overwinteraars op 14 juni 1597 het Behouden Huys. Ze roeiden en zeilden in twee open boten terug naar het zuiden. Na 381 zeemijlen arriveerden ze in Kola, toen de belangrijkste nederzetting op het Kolaschiereiland. Daar zagen ze tot hun grote vreugde een Nederlands schip dat hen naar Amsterdam terugbracht. Willem Barentsz overleed echter op de terugtocht en werd in het ijs achtergelaten. Op 1 november arriveerden de overige twaalf overlevenden in Amsterdam. Ze hadden hun doel niet bereikt, hun schip was verloren gegaan en hun leider plus vier metgezellen hadden de tocht niet overleefd. Toch was de expeditie niet mislukt. Er werden tijdens de tocht meer onbekende kusten ontdekt dan tijdens de twee voorgaande tochten. Bereneiland, Spitsbergen en de noord- en oostkust van Nova Zembla werden voor het eerst gezien en in kaart gebracht. Het was bovendien de eerste keer dat Europeanen met succes in de hoge Arctis overwinterden. Het dagboek van Gerrit de Veer werd direct na terugkomst uitgegeven, en het verkocht meteen goed. Het werd nog datzelfde jaar in verschillende talen vertaald. Het belangrijkste resultaat van de reis was echter de door Cornelis Claesz in 1598 uitgegeven Willem Barentsz Poolkaart waarop het poolgebied op een geheel nieuwe wijze was afgebeeld: voor het eerst was er sprake van een open poolzee zonder de vier pooleilanden rond een noordpoolrots. De sponsors van de tocht hadden echter geen boodschap aan deze lange termijn resultaten. Ze besloten na deze derde tocht niet nog een ontdekkingsreis te financieren. Ze weigerden zelfs de weduwe van Barentsz een toelage te geven voor haar levensonderhoud en dat van haar kinderen[b].



Resten van het Behouden Huis op Nova Zembla. Foto: Louwrens Hacquebord.

b) Bewerkt uit Louwrens Hacquebord, 2015, Wildernis, Woongebied en Wingewest. Een geschiedenis van de poolgebieden. Atlas/Contact, Amsterdam.



penissen, huiden en het spek meenamen. Uit het archeologische onderzoek kon overigens alleen het meenemen van de tanden worden bevestigd. Het bleek ook dat de Russen zich steevast in de nabijheid van locaties met rendieren vestigden zodat men redelijk zeker was van voedsel. Ook de walvisvaarders jaagden op rendieren, maar deze dieren vormden niet hun basisvoedsel, want dat namen ze in gedroogde en gezouten vorm mee uit de landen van herkomst. Uit het onderzoek bleek bovendien dat walvisvaarders veel minder efficiënt met hun natuurlijke hulpbronnen omgingen dan de Russen. De walvisvaarders aten zelfs het vlees van de walvissen niet. Overigens gebruikte geen van beide groepen de natuurlijke hulpbronnen op een duurzame manier.

Het onderzoek naar de geschiedenis van de steenkoolwinning op Spitsbergen werd uitgevoerd door Dag Avango, Frigga Kruse en Hidde de Haas (Arctisch Centrum, RuG). Het liet zien dat steenkool vooral gewonnen werd op plekken waar het in grote, makkelijk verkrijgbare hoeveelheden te winnen was en waar het gemakkelijk per schip kon worden afgevoerd. Het claimen van gebied was in een niemandsland als Spitsbergen een normale gang van zaken, en dat gebeurde door middel van vlaggen, borden en hutten. Overal werden deze claimborden en claimhutten aangetroffen. Vooral de mijnbouw-compagnieën bedienden zich van deze instrumenten. In 2013 promoveerde Frigga Kruse *cum laude* aan de Rijksuniversiteit Groningen op haar LASHIPA-onderzoek naar de Britse mijnbouwactiviteiten op Spitsbergen.

In 2009 werd de focus van het LASHIPA-project verlegd naar het zuidelijk halfrond. Allereerst werden de walvisvangststations op Zuid Georgië onderzocht. Samen met de Noorse onderzoekers Gustav Rossnes en Bjørn Basberg inventariseerden en karteerden Dag Avango en Ulf Gustafsson van het Arctisch Centrum de locaties Ocean Harbour en Prins Olav Harbour, waardoor een goed beeld van de structuur en de aanwezige accommodaties in een twintigste-eeuws walvisvangststation werd verkregen. Dit beeld kon worden vergeleken met dat van het eerder onderzochte walvisvangststation op Deception Eiland. Uit deze vergelijking bleek dat de stations op Zuid-Georgië zelfstandig functioneerden terwijl het station op Deception Eiland een duidelijke aanvullende functie had op de fabriekschepen. Het station beschikte namelijk over veel minder voorzieningen dan de stations op Zuid Georgië. In 2010 werd met een zeilboot een verkenningstocht uitgevoerd langs verschillende onderzoeksstations op de kusten van het Antarctisch Schiereiland. Hierdoor werd duidelijk dat veel onderzoeksstations vooral dienden als claimindicatoren. Stations werden na gebruik niet afgebroken, maar bleven gewoon staan en werden vaak zelfs onderhouden om te voorkomen dat het desbetreffende gebied door andere landen zou worden gebruikt en geclaimd. Historische musea spelen een belangrijke rol bij het claimen van een bepaald gebied. De meeste stations in Antarctica herbergen daarom een museum waarin de historie van de ontdekking, controle en gebruik van het station tentoon wordt gespreid.

Eindnoten

1. *Deelnemers aan het Smeerenburgproject waren: Ben Bekooy, Renee de Bok, Jerzy Gawronski, Helge Guttormsen, Jaap Kees Kwadijk, Hans Mazee, Sven Erik Albrethsen, Jurjen Bosch, Albert Flonk, Menno Hoogland, Christian Keller, Wim van Leeuwaarden, George Maat, Dag Naevestad, Jan Peter Pals, Carlos van Regteren Altena, Marjon Seeman, Eddy Smink, Loes van Wijngaarden-Bakker, Wouter Zweers, Rob Gerritsen, Gerard van Haaf, Daan den Hartog Jager, Frits Laarman, Milli Milosevic, Joke Ubbens, Jan Brinks, Sandra Comis, Pim van der Knaap, Jacqueline van Leeuwen en Olav Goubitz.*
2. *In de Bellsund Mitterhuken en Laegerneset met Louwrens Hacquebord, Frits Steenhuisen, Chrisje van Ek, Huib Waterbolk en Sijmen Hacquebord en in de Hornsund Gåshamna met Louwrens Hacquebord, Frits Steenhuisen, Marlies van Kruining en Marcel Niekes.*
3. *Deelnemers aan de expeditie naar Nova Zembla in 1992: Louwrens Hacquebord, Frits Steenhuisen, Ko de Korte, Herbert Blankesteijn, Joes Odufré, Anton van Munster, Svetlana Gusarova, Juri Vanda, Ludmilla Maksimova, Zenija Boonina.*
4. *Deelnemers aan de UvA expeditie in 1993 waren Hans Bonke, Pieter Floore, Rene Gerritsen, Henri Hoogewoud, Taco Slagter, Dirk van Smeerdijk, Henk van Veen, Svetlana Gusarova, Victor Dershawin, Vadim Starkov, Yuri Vanda en in 1995 Hans Bonke, Pieter Floore, Jerzy Gawronski, Rene Gerritsen, Mark Glotzbach, Henri Hoogewoud, Bas Kist, George Maat, Anton van Munster, Dirk van Smeerdijk, Herre Wynia, Jaapjan Zeeberg, Daniel Badyukov, Dmitri Badyukov, Konstantin Blinov, PyotrBoyarsky, Victor Dershawin, Anatoli Kuliyev, Nicolai Labutin, Roman Labutin, Yuri Mazurov, Jevgeni Salikov, Vadim Starkov, Vitali Teplyakov en Yuri Zakharov.*
5. *Deelnemers aan het LASHIPA-project: Dag Avango, Urban Wrakberg, Julia Lajus, Alexei Kraikovski, Yaroslava, Margarite Dadykina, Vadim Starkov, Vladimir Prokurnov, Ypie Aalders, Hidde de Haas, Frigga Kruse, Seth DePasqual, Cameron Hartnell, Jan Willem Veluwenkamp, Louwrens Hacquebord, Frits Steenhuisen, Ulf Gustafsson, Ron Doel, Patrick Martin, Marie Nisser, Bjørn Basberg, Gustav Rosness, Sarah Dresscher, Martha de Jong.*



LASHIPA, kokerineset in de Groene Haven. Foto Ben Bekooy.



LASHIPA, resten van een oude steenkoolmijn in Longyearbyen, Spitsbergen. Foto: Ben Bekooy.

LASHIPA, transportlijn voor steenkool in Longyearbyen, Spitsbergen. Foto: Ben Bekooy.





Antropologisch onderzoek in het Noordpoolgebied

Cunera Buijs en Barbara Miller

Arctische leefgemeenschappen zijn de laatste honderd jaar aan snelle veranderingen onderhevig. De gegevens en inzichten van antropologen kunnen bijdragen aan een beter begrip van de invloed van veranderingsprocessen op het leven van de bewoners van het Arctische gebied. De manier van leven van Inuit, Sámi, en van de aanverwante Siberische volkeren is sterk onder druk komen te staan vanwege ingrijpend contact met de westerse, vaak dominante, cultuur. Industrialisatie en urbanisatie, klimaatverandering – met name het smeltende zee-ijs – en ontginning van delfstoffen spelen hierin een belangrijke rol. De politieke leiders van Groenland en van het noordelijke Canadese gebiedsdeel Nunavut – relatief jonge politieke staten die nog maar kortgeleden een zekere mate van zelfstandigheid verwierven – moeten het hoofd bieden aan hoge zelfmoordcijfers onder jongeren, woningnood ten gevolge van een zeer snelle urbanisatie, een bedreigd jagersbestaan en beperkte werkgelegenheid. Bovendien zijn deze samenlevingen steeds minder geworteld in de eigen religie, met grote gevolgen voor het zelfbeeld en de eigen identiteit. De afgelopen decennia is in deze regio's een sterk (politiek) bewustzijn op gang gekomen dat zich vertaalt in de *Inuit Qaujimajatuqangit* (IQ) (Inuit Knowledge) die wordt toegepast in de politiek en het onderwijs in de Canadese Arctis. Arctische antropologen in Nederland hebben zich verenigd in de niet-instituut gebonden Research Group Circumpolar Cultures (RGCC). Het onderzoek hiervan richt zich op sociale en culturele transformaties en op thema's die ook voor inheemse volken zelf belangrijk zijn. Vaak raakt hun onderzoek het spanningsveld tussen inheemse en westerse visies, of internationale trends en ongelijke machtsrelaties, zoals die zich voordoen bij kolonisering en globalisering. De RGCC werkt samen met zowel inheemse partners als buitenlandse wetenschappelijke instellingen. De Nederlandse expertise op het gebied van Arctische antropologie is internationaal erkend en gerespecteerd. Bovendien kunnen Arctische antropologen in Nederland op een lange traditie van Arctisch onderzoek (Niko Tinbergen, Geert van den Steenhoven, Gerti Nooter) bouwen, en kunnen zij terugvallen op rijke Arctische collecties van voorwerpen en foto's in volkenkundige musea en op omvangrijke bibliotheek-collecties.

Geert van den Steenhoven (1919-1998) studeerde rechten in Leiden en antropologie in Toronto. Hij deed onderzoek naar de rechtsopvattingen van de Inuit in Ennadai Lake (1955) en Kugaaruk, of Pelly Bay (1957), Nunavut, Canada. Van der Steenhoven bediende zich van de case-method, omdat een veldwerker niet kan 'gaan zitten wachten tot hij recht-in-actie kan waarnemen (…) maar hij moet dit afleiden uit gevallen die hij optekent uit verhalen van informanten en de ideale normen die zij formuleren.' Van den Steenhoven benadrukte daarbij de absolute noodzaak van nauwgezette vertalingen van de diverse uitspraken van informanten. Hiervoor kreeg hij hulp van de paters Oblaten Lionel Ducharme en Franz Van de Velde, die het Inuktitut vloeiend spraken. In 1962 promoveerde Van den Steenhoven aan de Universiteit van Leiden op dit onderzoek. In zijn proefschrift, dat nog altijd wordt beschouwd als baanbrekend op het gebied van de rechtsantropologie, toonde hij aan dat de Inuit in patrilocale bands leefden. Echter, hoewel het mannelijk familiehoofd, de ihumataq, als leider functioneerde was hij toch geen duidelijke vastomlijnde autoriteit in onze zin van het woord. Toch is de term 'wetteloos' hier zeker niet van toepassing. Inuit leefden volgens principes

van collectieve besluitvorming en sociale cohesie zoals zorg voor elkaar en (vlees)verdeling. Er bestonden andere regulerende principes om iemands gedrag bij te sturen, zoals sociale of letterlijke uitsluiting (men werd verbannen en vertrok naar een andere plaats). Deze inheemse normen en waarden kwamen later op schrijnende wijze in aanvaring met de principes van het Canadese rechtssysteem. Het werk van Van den Steenhoven leidde tot nieuw onderzoek op het gebied van sociale organisatie, sociale controle en leiderschap. Toen Van den Steenhoven in 1957 onderzoek deed in Pelly Bay vroeg hij de lokale missionaris, pater Franz van de Velde O.M.I., of één van zijn parochianen een dagboek wilde bijhouden. Zo ontstond het dagboek van Awongaitsiark (een pseudoniem) waarin het dagelijkse leven in Pelly Bay van 1958 tot en met 1964 werd beschreven. Cor Remie promoveerde in 1978 aan de Universiteit van Nijmegen op deze informatie. Het dagboek blijkt ook heden ten dage nog een goudmijn voor antropologen. Het verschaft unieke inzichten in lokale machtsverhoudingen en sociale verdeeldheid die zijn oorsprong vindt in een familievete daterend uit het begin van de 19e eeuw. Daarnaast blijkt hieruit hoe de traditionele religieuze opvattingen, met name het sjamanisme, een min of meer ondergronds bestaan leiden in het rooms-katholieke Pelly Bay. Het werd bijvoorbeeld duidelijk dat de missie ondanks haar machtspositie toch maar een van de vele pionnen op het lokale schaakbord is. Verder bevat het dagboek uitgebreide gegevens over geboortes, huwelijken, overlijden, jachtgebruiken, leiderschap en recht, moord, infanticide en senilicide (het moedwillig doden van kinderen respectievelijk ouderen), maar ook hoe de verhoudingen tussen qablunait (blanken) en Inuit zich ontwikkelen. Remie heeft in zijn periode als onderzoeker en later in zijn hoedanigheid als universitair hoofddocent aan de Universiteit van Nijmegen een aantal van deze thema's verder onderzocht. Deze omvatten demografische kwesties, continuïteit van sjamanistische gebruiken en de rol daarin van de katholieke missie in Pelly Bay (onderzoek in samenwerking met Jarich Oosten en Frédéric Laugrand), de landrechtenbeweging en de oprichting van het Nunavut Territorium.

De 'Northwest Territories' van Canada vormen de achtergrond van de rechts-antropologische studies van Willem Rasing in 1979 betreffende conflictbeslechting bij nomadische Inuit. Een reizende rechtbank, bekend als 'circuit court', visiteerde periodiek Indiaanse en Inuit gemeenschappen waarbij ter plekke recht werd gesproken. In 1986 werd Rasing als contractonderzoeker ingehuurd door het Canadese (federale) 'Departement van Indiaanse Zaken en Noordelijke Aangelegenheden' (DIAND) om te onderzoeken hoe het ongeschreven Inuit recht zich verhield tot het Canadese strafrecht. Igloolik werd gekozen als onderzoekslocatie vanwege haar reputatie als een in de traditionele Inuit-cultuur gewortelde gemeenschap. Het veldwerk aldaar vond plaats tussen augustus 1986 en mei 1987. Uiteindelijk leidde dit onderzoek in 1994 tot de promotie van Rasing aan de Universiteit Nijmegen met het proefschrift Too Many People. Hierin komt naar voren dat de Inuit samenleving als gevolg van de westerse invloed in toene-



Mike Imaruittuq op zeehondenjacht bij een ademgat, Fury and Hecla Strait, februari 1987. Foto: Wim Rasing.



mende mate aan ontwrichting onderhevig is en Inuit steeds vaker in aanraking komen met de RCMP (politie) en met justitie. Opnieuw zijn de Inuit-waarden niet verenigbaar gebleken met het door Canada ingevoerde rechtssysteem. Rasing toont dit aan door middel van de case study rond de oude Kolitalik, die, wanneer hij vindt dat zijn tijd van gaan gekomen is, hulp bij zelfdoding vraagt. Uiteindelijk leidt dit tot een rechtszaak waarbij de letter van de wet en de regels van het overleven in het hoge noorden met elkaar botsen.

Het thema leiderschap binnen de Inuit cultuur had ook de belangstelling van Gerti Nooter (1930-1998). Nooter combineerde dit thema op creatieve wijze met veranderingen in de materiële cultuur. De jonge jagers blijken veel handiger te zijn met de nieuw geïntroduceerde westerse technologie, zoals geweren en motorboten (heden ten dage aangevuld met mobiele telefoons en gps). De oudere jagers zien hun inkomsten dalen en boeten in aan gezag. Dit zet uiteindelijk de machtsverhoudingen in de gemeenschap op scherp. Een van Nooter's statements luidde dan ook: 'Veranderen de dingen, dan veranderen de mensen.' In het Museum voor het Onderwijs (thans Museon), waarvan hij van 1962 tot 1970 conservator was, werd hij geïnspireerd door de etnografische collectie en het veldwerk van Niko Tinbergen, die tijdens het tweede Internationale Pooljaar (1932-1933) ornithologisch onderzoek had gedaan in Oost-Groenland. In juli 1967 reisde Gerti Nooter daarom met zijn gezin naar Oost-Groenland om er een jaar lang antropologisch veldwerk te doen. In de kleine jagersgemeenschap Diilerilaaq leerde Nooter de lokale taal en raakte hij al doende gefas-

Massenti Akipe en Gerti Nooter met een baardrob, 1967. Foto: Noortje Nooter, Museon/Rijksmuseum Volkenkunde Leiden.





Noortje Nooter en Kornelia Kajammat met Groenlandse babies in hun amautit, Diilerilaaq, 1967. Foto: G. Nooter, Museon/Rijksmuseum Volkenkunde Leiden.

cineerd door het egalitaire karakter van deze Groenlandse dorpsgemeenschap vanwege het ogenschijnlijk ontbreken van leiderschap. Waar waren de oudere hoofdmannen of de geestelijke leiders? Het leek alsof de anciënniteit van ervaren oudere jagers niet telde. Als gevolg hiervan introduceerde Nooter het begrip situationeel leiderschap. Wanneer de situatie erom vroeg, bijvoorbeeld tijdens tochten met hondensleden op onbetrouwbaar ijs, nam als vanzelfsprekend diegene die het beste was in de betreffende situatie de leiding; deze persoon passeerde de andere sleden en ging voorop rijden. Terug in het dorp was echter niets meer te merken van zijn leiderschap. Er was wel leiderschap, maar dit was geen permanent of vaststaand leiderschap. In zijn jaren als Arctisch Conservator van het Rijkmuseum Volkenkunde te Leiden (1970 –1990), legde Nooter de mate van continuïteit en verandering van de lokale gemeenschap vast door middel van nieuw verworven museumcollecties, tentoonstellingen en ruim 10.000 foto's en dia's. Dertig jaar later, in 2008, besloten het Rijksmuseum voor Volkenkunde, het Museon, het lokale Ammassalik Museum in Oost-Groenland en het Groenlands Nationale Museum in Nuuk de Nooter-fotocollectie te delen met de Groenlandse bevolking. Groenlanders zijn namelijk bijzonder goed in

Ontploffend kolenfornuis

Zomer 1967. Net aangekomen in Diilerilaaq moesten de Nooters alles nog leren. Toen Gerti Nooter op een morgen het kolenfornuis niet aankreeg – het was bitterkoud – gooide hij er een flinke scheut petroleum bij. Een enorme explosie joeg het oude roet van de kachel door het hele huis. Alles zag pikzwart. Het kostte hen dagen om alles schoon te maken. Dat wil zeggen, zijn vrouw Noortje, want geheel volgens de traditionele arbeidsverdeling smeerde Gerti hem om de mannen te bezoeken! Zoals Gerti in zijn dagboeken noteerde: 'Het is triest om vast te stellen dat de Groenlanders ook met voorwerpen uit de Europese cultuur beduidend handiger omspringen dan ik.'[a)]. De Nooters waren ook een keer samen met een Groenlandse familie aan het forelvissen in een snelstromende rivier. Massanti Akipe, toen al op leeftijd, sprong nagenoeg zonder aanloop over de rivier naar de overkant. Gerti volgde, maar haalde de overkant niet. Het leverde hem een nat pak op, tot grote hilariteit van de aanwezige Groenlanders.

a) Bewerkt naar Nooters dagboek 2 september 1967.





Schoolproject tijdens Roots 2 Share, Tasiilaq, 2011. Een van de leerlingen vindt een jeugdfoto uit 1967 waarop haar biologische vader, die toen nog niet haar vader was, te zien is. Er zijn veel emotionele momenten van herkenning. Foto: Diederik Veerman, Museon.

het herkennen van hun voorouders op foto's. In het zogenaamde Roots 2 Share Project ontwikkelden zij een website die Groenlanders in staat stelde om deze foto's te bekijken en er vervolgens in hun eigen taal informatie aan toe te voegen. Geïnspireerd door het werk van Nooter besloot Erik Lanting zijn studie culturele antropologie in Groningen, later vervolgd aan het Arctisch Centrum, met een zo hoog mogelijk 'noordelijk' gehalte in te vullen. Dit leidde tot het proefschrift 'Groenlandisering en het dagelijks leven in Groenland' (Rijksuniversiteit Leiden, 1995). De kernvraag van het onderzoek was hoe Groenlanders omgaan met hun etnische achtergrond in het licht van de wens naar meer materiële welvaart. Het veldonderzoek vond plaats in Nuuk, Upernavik en Tasiussaq, locaties met een variërende intensiteit van contacten tussen Groenlanders en Denen. De nieuwe generatie jonge Groenlanders, die in Denemarken had gestudeerd, bleek in het proces van Groenlandisering een sleutelrol te spelen.

De veranderende identiteit door cultuurcontact en globalisering speelden ook een prominente rol in het onderzoek van museum-antropoloog Cunera Buijs, de opvolger van Gerti Nooter in Leiden. Door de zeehondenhuiden-boycot van de Europese Unie, aangezet door Greenpeace, daalden de huidenprijzen waarvan de Groenlanders in hun dagelijks leven zo sterk afhankelijk waren. De kosten van benzine voor motorboten en munitie, dus de voorwaarden om op

Frans

Cunera Buijs: 'Op 26 december wordt het achterkleinkind van Thomasine in de kerk in Tasiilaq gedoopt. Het kind was al in november geboren en had al die tijd nog geen naam, zoals vroeger gebruikelijk was voordat de bewoners Luthers werden. Het jongetje krijgt vijf namen, allen van overleden familieleden. Zijn eerste naam wordt Gunda. Een kind erft namelijk niet alleen de naam maar ook eigenschappen van de overledenen en soms zelfs halve levensgeschiedenissen. Positionele successie wordt dat genoemd. De geesten van overledenen willen graag vernoemd worden, zeggen de mensen hier. Zo leven de overledenen voort. Mijn vader is vorige juli gestorven. Dat wist Thomasine, want ze heeft hem ontmoet. Frans heette hij. 'Geen moeilijke naam,' vond Thomasine. Ze zei tegen mij: 'noem zijn naam maar zachtjes als het kind wordt gedoopt, dan krijgt het ook zijn naam.' Zo leeft er momenteel een kind in Tasiilaq met de naam van mijn vader; wat zou mijn vader dat mooi hebben gevonden.' [b)]

b) Uit 'Blog Kerst in Groenland 2012' (www.volkenkunde.nl)



jacht te kunnen, waren groter dan de vleesopbrengst voor de gezinnen en het cash inkomen van de huidenverkoop. Jagers werden hierdoor de paupers van de samenleving en het leven in de kleine nederzettingen kwam sterk onder druk te staan.
Nellejet Zorgdrager toonde het verband aan tussen historische religieuze processen en veranderingen in kleding bij de Sámi van Noorwegen en Zweden. Een hoge, met een houten mal verstevigde vrouwenmuts verdween rond 1850 nadat de Sámi van Kautokeino zich bekeerden tot het Laestadianisme. Zij gaven met deze verandering in kleding uitdrukking aan de principes van hun nieuwe geloof en aan hun nieuwe (religieuze) identiteit. In het Groenland van de 19e eeuw veranderde de kledij om andere redenen. Destijds bestond het begrip 'etnische identiteit' nog niet, en kleding gaf uitdrukking aan spirituele en sociale posities binnen de Groenlandse samenleving. Daarna ontstond meer gedifferentieerde kleding die onder andere uitdrukking gaf aan de culturele, etnische en nationale identiteit van Groenlanders. Zo ontstond het nationale kostuum, maar ook een regionaal Oost-Groenlands kostuum als antwoord op intern kolonialisme.

Niet-westerse samenlevingen kenmerken zich doorgaans door een sterke mondelinge overlevering van mythen, religie, ecologie, lokale geschiedenissen en genealogieën. Binnen de verteltraditie vindt tevens de overdracht van waarden en normen plaats. Selma van Londen was a*ssociate professor* aan de School of Social and Behavioural Sciences van Tilburg University, en deed veldwerk in Pangnirtung (1996, 1998) en in Cape Dorset (2010), Nunavut, Canada. Zij bestudeerde hier diversiteit, identiteit, duurzaamheid, cultuur en ecologie, mythologie en beeldhouwkunst van de Inuit cultuur. Van Londen promoveerde op het proefschrift 'Meesters van de lange nacht' (1994), een structurele analyse van de relatie tussen mythologie en ecologie (mythen zijn een reflectie van en op de werkelijkheid). Daarnaast publiceerde zij over identiteit en mythen. Het mythencomplex van het weeskind Kagsagsuk bijvoorbeeld experimenteert met verschillende identiteiten. Volgens deze mythe wordt Kagsagsuk slecht behandeld. Hij slaapt bij de honden, krijgt niet voldoende te eten, is slecht gekleed en wordt voortdurend aan zijn neusvleugels getrokken. Door dit alles kan hij niet jagen, de mannelijke identiteit *par excellence*, maar uiteindelijk wordt hij door de interventie van een hulpgeest toch ongekend sterk en een succesvol jager. Meedogenloos neemt hij daarna wraak. Kagsagsuk transformeert van een wees, zonder een aanvaardbare identiteit ten gevolge van een gebrek aan sociale relaties, tot een persoon met de identiteit van een echte jager, een super *Inuk*.

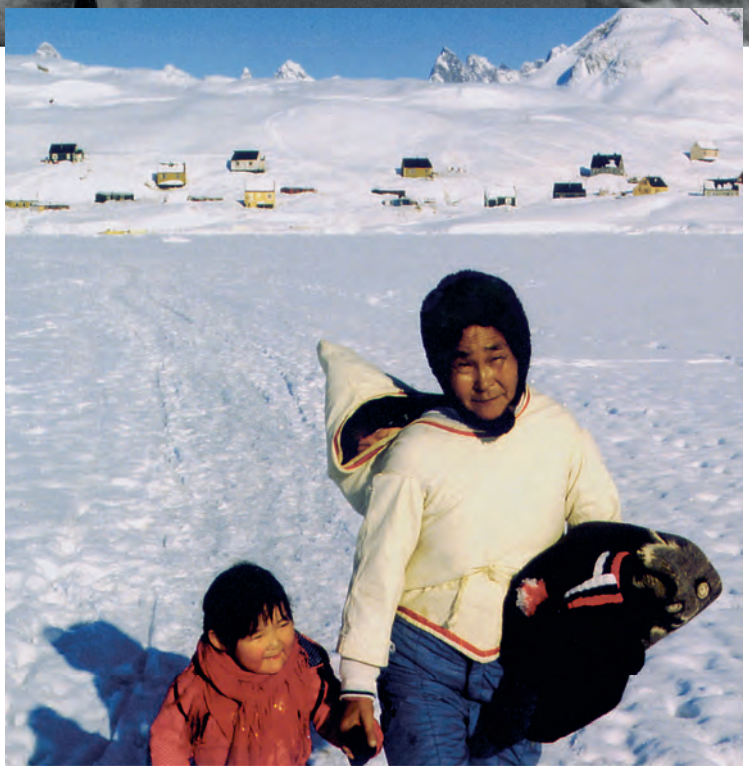
Jarich Oosten, hoogleraar aan de Universiteit van Leiden (1997-2008) en Utrecht (1998-2002), ontwikkelde samen met het Arctic College in Iqaluit en met Frédéric Laugrand van de Laval Universiteit in Québec diverse *oral history* projecten, waarin gedurende vijftien jaar met Inuit Elders (ouderen) en jongeren workshops werden georganiseerd over diverse onderwerpen zoals traditioneel recht (samen met Willem Rasing) en kennis van het land en sjamanisme (samen met Cor Remie). Soms werden de workshops zo opgezet dat Inuit jongeren hun grootouders of andere ouderen uit hun gemeenschap interviewden. In andere gevallen lag het accent vooral op de interactie tussen de Elders. Doel was steeds de kennisoverdracht tussen de generaties te stimuleren en het initiatief hiervoor bij de Inuit zelf neer te leggen. De resultaten van de meeste workshops werden door het Arctic College in het Engels en het Inuktitut gepubliceerd en worden nu in het onderwijs in Nunavut gebruikt. Daarnaast publiceerden Laugrand en Oosten omvangrijke studies waarin veldwerk en archiefstudie werden gecombineerd. In een boek over het werk van de Anglicaanse missionaris Peck tussen 1894 en 1905 (Laugrand, Oosten and Trudel 2006) werden niet alleen zijn dagboeken, maar ook zijn omvangrijke ethnografisch werk in het zuiden van Baffin Island, Canada, gepubliceerd. In het boek *Christianity and Shamanism* (Laugrand en Oosten 2008) laten de auteurs zien dat lekenpredikers vaak voormalige sjamanen waren en hoe daardoor het Christendom in veel opzichten ingebed werd in de oude sjamanistische tradities. In een recent boek (Laugrand and Oosten 2015) onderzoeken de auteurs de visie van Inuit op de dierenwereld en de betekenis daarvan voor hun perspectief voor een modern beleid gericht op natuurbehoud. Oosten was promotor van Buijs (kleding en identiteit in Oost-Groenland), Stuckenberger (rituelen en feesten in de moderne Inuit community van Qikiqtarjuak) en Miller (Sámi healing)[1].

Inheemse kennis is van groot belang voor de vorming van een eigen geschiedenis en identiteit, zoals bleek uit het onderzoek van Nellejet Zorgdrager. In 1852 kwam een groep rendierhoudende Sámi van het dorp Kautokeino in opstand tegen de Noorse autoriteiten, de dominee, de politiefunctionaris en de Noorse handelaar. De zogeheten vernoorsingspolitiek (onderdrukking van de Samische taal en cultuur) nam vooral na 1840 toe.
De bevolking van Kautokeino kwam in aanraking met de religieuze opwekkingsbeweging van dominee Læstadius. Tegelijkertijd leidden twisten over rendierweiderechten in 1852 tot de sluiting van de Fins-Noorse grens voor overtrekkende rendierkuddes, waardoor de Samen van Kautokeino hun winterweidegebied verloren. Deze regelgeving met betrekking tot de rendierhouderij heeft tot op de dag van vandaag gevolgen voor de rendierhouderij. Het oproer en de gevolgen van deze onrust, zoals de onthoofding van de beide leiders en vele lange gevangenisstraffen voor andere betrokkenen, lieten diepe sporen na in de samenleving van Kautokeino. Zorgdrager's dissertatie over de opstand (1989) doorbrak het taboe over dit onderwerp. In 1997 werden de schedels van de twee geëxecuteerde leiders tijdens een officiële plechtigheid ter aarde besteld. Zorgdragers aanwezigheid daarbij leidde vervolgens tot bovengenoemd onderzoek naar de vele verhalen die, ondanks het taboe, in Kautokeino de ronde deden, en nog altijd doen. Haar proefschrift diende mede als basis voor de film 'Het Kautokeino Oproer' (2008) van de Samische filmmaker Nils Gaup, en deze film is inmiddels een belangrijk document voor de Sámi geworden.
In Finnmark, bij de kust-Sámi van het Porsanger Fjord in Noord-Noorwegen, bestudeerde Barbara Miller de overblijfselen van een pre-Christelijke sjamanistische religie, en de relatie daarvan met het Laestadianisme, een piëtistische (Christelijke) beweging. Zij bouwde een nauwe band op met haar sleutelinformanten Nanna en Sigvald Persen. In haar dissertatie kon Barbara dan ook een diepgravend beeld geven van de visie van deze informanten op traditionele Sámi-geneeswijzen, op het lokale discours, op de kernbegrippen rond Sámi healing en op de overdracht van die kennis (healing knowledge) naar nieuwe generaties. Millers unieke onderzoek verschaft inzicht van binnenuit op een veelal verborgen thematiek in een onbekende cultuur.

Met de overdracht van inheemse kennis werden inheemse perceptie en strategieën van zelfredzaamheid binnen Arctische leefgemeenschappen doorgegeven. Inuit die naar Denemarken of Canada migreren worden opgevangen door familie of door Inuit gemeenschappen, aldus het promotieonderzoek van Tekke Terpstra (Arctisch Centrum, Rijksuniversiteit Groningen) over migratie, identiteit en beeldvorming. Zijn studie betreft voornamelijk de Groenland-gerelateerde situatie, maar bevat ook onderzoek naar vergelijkbare ervaringen van Inuit in Zuid-Canada.
Coping strategieën komen ook sterk naar voren in het tijdens het laatste Internationale Pooljaar uitgevoerde onderzoek naar de invloed van klimaatveranderingen op Arctische gemeenschappen (2007). Cunera Buijs concludeerde dat, over het algemeen, zwakkere lokale (mono) economieën de minste veerkracht hebben om abrupte veranderingen het hoofd te bieden. De zeehondenhuiden-boycots, bepleit door milieuorganisaties (1964 tot ca. 1990) en de daaruit voortvloeiende handelsbeperkingen pakten desastreus uit voor jagersgemeenschappen in Groenland. Wat betreft klimaatverandering verwoordde één van haar respondenten in Noord-Sakhalin (in het verre oosten van Rusland) de problematiek als volgt: 'De toekomst van onze kinderen ligt in goed onderwijs, maar wij kunnen een kaartje voor de bus naar school niet betalen.'



Het bijeendrijven van de rendierkudde, april 1993. Foto: Nellejet Zorgdrager.



Asta Jonathansen met kleindochter Elisa aan de hand en kleinzoon Aron in haar amaut, die zij nog volop gebruikte in Diilerilaaq in 1985. Foto: Cunera Buijs, Diiderlilaaq, Rijksmuseum Volkenkunde.

De regering van Nunavut heeft duurzame ontwikkeling hoog in het vaandel staan, en volgt daarbij de inheemse principes van *Inuit Qaujimajatuqangit* (inheemse (ecologische) kennis van de Inuit). Binnen de hedendaagse Inuit maatschappij is daarbij niet alleen ruimte voor 'traditionele' bezigheden (jacht) en culturele uitingen, maar ook voor nieuwe vormen van economische ontwikkeling, zoals mijnbouw en toerisme. Kim van Dam (Arctisch Centrum, Rijksuniversiteit Groningen) concludeerde dat door verregaande overheveling van de politieke macht van de Canadese federale overheid naar de territoriale regering van Nunavut de Inuit sterker afhankelijk zijn geworden van de opbrengsten van bijvoorbeeld de mijnbouw.

Door de opwarming van de Aarde en het terugtrekken van het zee-ijs krijgt het Arctisch gebied een nieuwe, strategische betekenis, bijvoorbeeld als nieuwe waterweg of als nieuw wingebied voor mineralen. Hierbij maken verscheidene *stakeholders* aanspraak op (deel)gebieden. In feite is er niets nieuws onder de zon; voor hen is het Arctisch gebied nog altijd een ongerepte wildernis of een grensgebied dat voor het eerst wordt ontgonnen. Voor de meeste Inuit, Sámi en Siberische volken vormt het Arctische gebied echter vooral hun thuisland, een regio waar zij geboren zijn en waar hun cultuur en levenswijze ontstond en nog altijd leidend is.

Eindnoten

1. Thea Olsthorn, lid van de Nederlandse Research Group Circumpolar Cultures, doet onderzoek naar Moravische Missie in Labrador. Er verschenen diverse publicaties in samenwerking met Centre for Non-Western Studies (CNWS), het Rijksmuseum voor Volkenkunde, de RGCC en de Leidse universiteit zoals publicaties Continuity and Discontinuity, Arctic Identities en Braving the Cold.



Nederlands onderzoek naar Antarctisch toerisme: trends, effecten en regulering

Ricardo Roura en Kees Bastmeijer

Commercieel toerisme in Antarctica begon aan het einde van de jaren vijftig van de 20e eeuw. Tot het eind van de jaren tachtig bleef het gemiddelde aantal toeristen onder de 1.000 personen per zomerseizoen, maar daarna maakte de sector een sterke groei door. Het aantal toeristen per seizoen ligt inmiddels nabij de 40.000 en ook de diversiteit van de activiteiten is sterk toegenomen. Deze ontwikkeling heeft geleid tot uiteenlopende zorgen bij overheden, milieuorganisaties, academici en ook bij de toerismesector zelf. Vanwege deze zorgen is Antarctisch toerisme een belangrijk onderwerp van internationaal onderzoek geworden waarin Nederlandse onderzoekers al geruime tijd een belangrijke rol spelen. Het toerisme-onderzoek werd vanaf begin jaren negentig uitgevoerd door onderzoekers van de universiteiten van Groningen, Maastricht, Tilburg, Utrecht en Wageningen, en de NHTV Breda. Drie thema's, die onderling nauw samenhangen, zijn: a) de ontwikkelingen in Antarctisch toerisme (vormen en trends), b) de gevolgen van dit toerisme voor Antarctica, en c) de regulering van toerisme door overheden (individueel en gezamenlijk) en binnen de sector (zelfregulering).

Het eerste thema omvat onderzoek naar de ontwikkelingen in Antarctisch toerisme, met name de omvang, modaliteiten (vormen) en toekomstige scenario's. In 1991, één jaar nadat Nederland de consultatieve status (stemrecht) binnen het Antarctisch verdragssysteem had verkregen, werd het Protocol inzake milieubescherming bij het Antarctic Treaty aangenomen (hierna: Protocol). De regels van het Protocol beogen het Antarctisch milieu een 'veelomvattende bescherming' te bieden, mede tegen de nadelige gevolgen van toerisme. Speciale regels met betrekking tot toerisme ontbreken echter, want een voorstel begin jaren negentig om een afzonderlijke annex over toerisme aan het Protocol toe te voegen werd niet aangenomen. Vanwege de sterke groei van het toerisme begin jaren negentig werd deze trend en de mogelijke gevolgen wél een belangrijk gespreksonderwerp op de jaarlijkse Antarctic Treaty Consultative Meetings (ATCMs). Nederland, onder meer vertegenwoordigd door Fer von der Assen (Ministerie LNV), speelde in dit debat een actieve rol, en ook in wetenschappelijke kringen binnen Nederland kreeg het onderwerp serieuze aandacht. Ko de Korte was in deze periode al actief in het onderzoek naar de effecten van het toerisme in de beide poolgebieden en publiceerde hierover in *Circumpolar Journal*. Kees Bastmeijer, die als VROM-medewerker aan de ATCMs deelnam, schreef in 1993 in ditzelfde tijdschrift een bijdrage over de regulering van toerisme in Antarctica. Een jaar later organiseerde Sander van Bennekom (destijds werkzaam bij het Nederlands Comité van IUCN - de International Union for the Conservation of Nature - en trekker van de IUCN werkgroep Antarctica), een Nederlandse workshop over Antarctisch toerisme (17 februari 1994, Den Haag), en de bijdragen van deze workshop werden wederom gepubliceerd in *Circumpolar Journal*. In deze periode richtte het Nederlandse onderzoek zich vooral op de trends en de modaliteiten in het Antarctisch toerisme, maar er bestond ook al aandacht voor mogelijke nadelige effecten, en voor mogelijke maatregelen om deze effecten tegen te gaan.

Dit vroege nationale debat was erg nuttig voor de Nederlandse deelname aan de ATCM, maar in de jaren negentig bestond er op internationaal niveau een grote terughoudendheid in het aannemen van aanvullende maatregelen



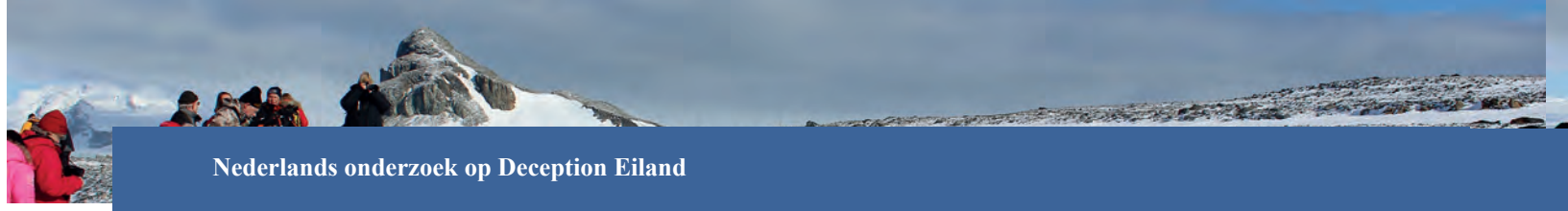


MS Ortelius, een Nederlands toeristenschip in polaire wateren. Foto: Louwrens Hacquebord.

voor toerisme. Deze terughoudendheid had mede te maken met een actieve opstelling van de toerismesector zelf. In 1991 werd de International Association of Antarctica Tour Operators (IAATO) opgericht, en al vanaf het begin pleitten de leden hiervan krachtig om de negatieve effecten van toerisme zo veel mogelijk door zelfregulering tegen te gaan. Vanwege het succes van IAATO kozen de meeste landen voor ondersteuning van IAATO in plaats van aanvullende 'eigen regels' in het ATCM-kader.

Ook na de millenniumwisseling stond het thema trends en modaliteiten van polair toerisme regelmatig in de aandacht van Nederlands onderzoek, veelal als onderdeel van, of basis voor, breder opgezette studies. In een publicatie in 2003 besprak Kees Bastmeijer wederom de groei in diversiteit van toerisme naar Antarctica en concludeerde dat in het Protocol en/of nationale implementatiewetgeving heldere criteria voor het al dan niet toestaan van deze activiteiten ontbraken. Bij verdere groei zou dit kunnen leiden tot aantasting van de Antarctische waarden die op grond van artikel 3 van het Protocol beschermd dienden te worden. De discussie betreffende de groei van diversiteit in toerisme, in het bijzonder het avontuurlijke toerisme, kreeg ook aandacht in het werk van Machiel Lamers, Jan Stel en Bas Amelung. Dit 'avontuurlijk toerisme' was in deze periode tijdens de ATCMs een veelbesproken onderwerp, waarbij vooral de bijbehorende veiligheidsaspecten en mogelijke verstoringen van nationale onderzoeksprogramma's ter sprake kwamen. Een ander veelbesproken onderwerp betrof de ontwikkeling van permanente faciliteiten voor toerisme op Antarctica, zoals hotels. In een publicatie in 2008 brachten Kees Bastmeijer, Machiel Lamers en Juan Harcha (Chili) de toen al bestaande permanente faciliteiten voor toeristen in Antarctica in kaart. Het ging (en gaat) daarbij bijvoorbeeld om onderzoekstations waar toeristen ook terecht konden. Op basis van de voor- en nadelen van deze faciliteiten werden diverse opties voor regulering geschetst die als input dienden voor het internationale debat, zoals de voorwaarden waaronder dergelijke faciliteiten mogen worden gerealiseerd (bijvoorbeeld betreffende locatie of omvang) inclusief een totaalverbod. Het promotieonderzoek van Machiel Lamers, getiteld T*he Future of Tourism in Antarctica: Challenges for Sustainability*, handelt over trends en toekomstige scenario's van Antarctisch toerisme. Teneinde de vele scenario's in kaart te brengen werden diverse workshops georganiseerd. Deelnemers waren vertegenwoordigers van ministeries, de wetenschap, de toerismesector en maatschappelijke organisaties. De gezamenlijke visies gaven inzicht in mogelijke trends, en diverse 'storylines' van verschillende soorten samenwerkingsverbanden tussen overheid en toerismesector werden in kaart gebracht. Deze verbanden konden vanuit diverse doelstellingen vorm krijgen (bijvoorbeeld maximale winst, of maximale milieubescherming), maar de deelnemers achtten een verdere groei van toerisme vrijwel onvermijdelijk, in alle scenario's.
Machiel Lamers, Daniela Haase (Nieuw Zeeland) en Bas Amelung publiceerden in hetzelfde jaar een artikel waarin werd uitgelegd dat de mogelijkheden voor toerisme in Antarctica door een combinatie van factoren bepaald worden. Deze factoren werden door de auteurs in een zogenaamd 'Antarctic tourism opportunity spectrum' geplaatst. De onderzoekers hadden het, zo bleek later, bij het rechte eind toen zij voorspelden dat de groei van het toerisme gepaard zou gaan met een toename in de diversiteit waarin een steeds grotere categorie 'niche-producten' aangeboden werd: marathons, bergbeklimmen, base jumping, kamperen, excursies met trucks, alles lijkt mogelijk.

Het tweede thema omvat onderzoek naar de (mogelijke) effecten van toerisme op Antarctische waarden. Bij die waarden gaat het onder meer om het behoud van de Antarcti-



Nederlands onderzoek op Deception Eiland

De ‘Eerste Nederlandse Antarctica Expeditie’ (1 december 1990 tot 2 februari 1991) werd door de Stichting Onderzoek der Zee van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek georganiseerd om de wereld te laten zien dat er in Nederland belangstelling was voor wetenschappelijk onderzoek in Antarctica, om op die manier het lidmaatschap van het Antarctic Treaty veilig te stellen.
Enkele dagen na aankomst op het Poolse station Arctowski reisden drie onderzoekers van het Arctisch Centrum van de Rijksuniversiteit Groningen met het Poolse onderzoeksschip Arctowski door naar Deception Eiland om daar de resten van Hector Station, een walvisvangststation uit de periode 1911-1931, te onderzoeken. Het was de bedoeling om de resten van het station te bestuderen en te karteren, de invloed van het station op het milieu en de waarde ervan als toeristische attractie vast te stellen. Het expeditieteam kwam zaterdag 15 december 1990 om vijf uur in de ochtend bij Deception Eiland aan. Het was koud en er stond een gure wind. Op de open zee stond een behoorlijke deining, maar binnen Deception Eiland was het rustiger. Deception Eiland is namelijk een heel bijzonder eiland. Het is een hoefijzervormig, vulkanisch eiland bedekt met sneeuw en ijs. De ongebruikelijke vorm is het resultaat van één of meerdere grote vulkanische uitbarstingen die waarschijnlijk zo’n honderdduizend jaar geleden hebben plaatsgevonden. Tijdens die uitbarsting(en) is niet alleen de top van de oorspronkelijke vulkaankegel weggeblazen, maar is tevens zoveel materiaal uit de magmahaard onder de vulkaan verdwenen dat het midden van de vulkaan na de uitbarsting langs concentrische breuken tot onder zeeniveau weggezakt is. Het overgebleven eiland is dus in feite een vulkaanruïne en wordt een caldera genoemd. Het roodbruine en zwarte vulkanisch gesteente van de kegelwand rijst loodrecht uit zee op en omgeeft Port Foster, een kratermeer van negen bij zes kilometer dat door een smalle opening met de zee is verbonden en daardoor zout water bevat. Het is een natuurlijke haven die in de walvisvaartperiode regelmatig door fabrieksschepen werd gebruikt.
De lavagesteenten op de caldera stammen uit het Pleistoceen en nog jongere perioden. Ze zijn niet ouder dan 100.000 jaar, hetgeen in de geologie jong genoemd wordt. Het hoogste punt van de caldera is Mount Pond op 539 meter boven zeeniveau. De vulkaan is overigens nog altijd actief. Hier en daar bevinden zich op de bodem van Port Foster kleine kraters die het water plaatselijk opwarmen tot wel 70 °C. Deze opwarming is te zien aan de damp die boven het water zweeft en is erg aantrekkelijk voor toeristen omdat ze hierdoor in Antarctisch water kunnen zwemmen zonder te bevriezen. De meeste toeristische cruises nemen alleen al daarom Deception Eiland in hun programma op. Helemaal ongevaarlijk is dit overigens niet omdat er recentelijk nog vulkanische erupties op het eiland hebben plaatsgevonden. De laatste vulkanische activiteit van belang was in 1987.
De opening in de kraterwand wordt Neptune’s Bellow genoemd; men hoort de wind bulderen als er een schip doorheen vaart. Aan de zijkant van de opening ligt het wrak van een schip dat het niet gelukt is de krater binnen te varen. Of het vanwege dit wrak of door het ontbreken van dieptemetingen op de zeekaart kwam weten we niet, maar de kapitein van de Arctowski weigerde de krater binnen te varen en dus moesten we, getooid in overlevingspakken, op volle zee de rubberboot in. Begeleid door een motorsloep van de Arctowski met onze bagage en uitrusting voeren we door Neptune’s Bellow. Het was een spectaculaire entree. Vanuit de rubberboot leken de rotswanden wel honderden meters hoog. Sneeuw en ijsvelden bovenop de rotsen gaven het landschap een surrealistisch tintje. Honderden kaapse duiven vlogen af en aan naar hun nesten hoog op de rotsen, en trokken zich niets van ons aan. Het verroeste scheepswrak aan de overzijde van de opening lag er naargeestig bij; de uitwerpselen van de keelbandpinguïnkolonie hadden een roze-witte vlek uitgebeten. In het kratermeer aangekomen bestond de wereld alleen nog maar uit zwart en wit. Het was alsof iemand alle andere kleuren had uitgegumd. Op de vlakkere, rotsige gedeeltes lag nog een behoorlijk pak sneeuw maar de zwarte stranden waren vanwege de golven sneeuwvrij, net als sommige steile zwarte rotsen. Whalersbay binnenvarend kwamen de ruïnes van de uit de sneeuw oprijzende traanketels in beeld. We realiseerden ons ineens dat deze desolate plek de komende zes weken onze verblijfplaats zou zijn, en dat we gedurende deze periode de enige mensen op dit eiland zouden zijn. De bagage werd aan wal gezet en de rubberboot het strand opgetrokken. Snel gingen we op zoek naar een beschutte plek om onze tenten op te zetten. Die gedachte lieten we echter weldra varen want het dikke pak sneeuw maakte het vrijwel onmogelijk om de tenten te gebruiken. Bij onze verkenning van het gebied stuitten we op het half ingezakte Biscoe-gebouw van de



British Antarctic Survey waarvan de zolder een geschikte verblijfplaats bleek te zijn. Dus brachten we al onze spullen naar deze zolder, waar we onze basis inrichtten. Het raampje werd met een plastic zak gedicht zodat de wind buiten bleef, en meteen werd het een stuk aangenamer. We waren veel tijd kwijt met het opzetten van de radio en het installeren van de antenne, en toen we uiteindelijk de radio aan de praat hadden gekregen bleek de verbinding met het Poolse station verre van optimaal: er was teveel ruis op de lijn zodat de andere kant moeilijk te verstaan was. Na lang proberen bleek uiteindelijk dat de gekozen frequentie niet juist was. De volgende dag hadden we de goede frequentie te pakken en konden we met de andere expeditieleden communiceren. We spraken af om iedere avond om acht uur contact te hebben om verslag te doen van onze activiteiten. De volgende dag werden we ruw gewekt door een scheepstoeter. Tientallen toeristen waren met rubberboten van een cruiseschip aan land gezet. Met hun jassen kleurden ze de Whalersbay helemaal rood. Ze zwierven in korte tijd uit over het hele station. Ons onderzoek naar de toeristische attractiewaarde van het station kon meteen beginnen.[a)]

a) Bewerkt uit Louwrens Hacquebord, 2015. Wildernis, Woongebied en Wingewest. Een geschiedenis van de poolgebieden. Atlas/Contact, Amsterdam.

sche flora en fauna, de wetenschappelijke waarden, maar bijvoorbeeld ook de wilderniswaarden van Antarctica. Ook gaat het zowel om waarden op land als in de Zuidelijke Oceaan. Wat betreft het mariene milieu kan onder meer melding worden gemaakt van de betrokkenheid van Jon Coosen van Rijkswaterstaat bij de internationale discussie over het Argentijnse schip Bahía Paraíso, die in januari 1989 zonk terwijl het ook betalende toeristen aan boord had. Jon Coosen leidde begin jaren negentig het Nederlandse team dat – in samenwerking met Argentinië – betrokken was bij de berging van 600.000 liter olie uit het schip. Deze ecologische ramp heeft de sterke groei van het Antarctisch toerisme gedurende de jaren negentig niet kunnen voorkomen, en in 2001 werd een speciale Toerisme Werkgroep van de ATCM ingesteld waardoor structurele aandacht voor het onderwerp was gewaarborgd. In 2004 organiseerde Noorwegen een Antarctic Treaty Meeting of Experts om de internationale discussie over toerisme te stimuleren. Veel landen hechtten aan een objectief debat over toerisme in Antarctica, waardoor er grote behoefte ontstond aan wetenschappelijke kennis over de mogelijke nadelige gevolgen van toerisme voor de diverse Antarctische waarden. Nederlanders hebben aan het vergroten van deze kennis een belangrijke bijdrage geleverd. Zo werden tijdens de Nederlandse Antarctica Expeditie van 1990-91 op Deception Eiland historische overblijfselen van de walvisvaart onderzocht, op grond waarvan Louwrens Hacquebord concludeerde dat het toerisme door betreding en souvenirjacht grote invloed op de historische waarden heeft gehad. Tien jaren later constateerde Ricardo Roura dat Deception Eiland een populaire 'toerismebestemming' is geworden. Cora de Leeuw onderzocht in een doctoraal onderzoek aan de RuG (1994) de invloeden van toerisme op de Antarctische vegetatie als onderdeel van een grotere toerisme-effectstudie op Cuverville Island (Antarctisch Schiereiland). Op basis van simulatie van het belopen van mos door een groep van 50 personen gedurende een week concludeerde zij dat een dergelijke belasting resulteert in schade die niet binnen één groeiseizoen hersteld kan worden.

Minder goed meetbaar zijn de effecten van toerisme op wilderniswaarden. Bij wilderniswaarden gaat het om ecologische, sociale, wetenschappelijke en intrinsieke waarden die kenmerkend zijn voor wildernissen: veelal uitgestrekte gebieden met relatief intacte natuurlijke systemen waar permanente bewijzen van de aanwezigheid van de moderne mens (gebouwen, wegen, hoogspanningskabels, etc.) ontbreken. Antarctica wordt door veel mensen gewaardeerd als een ongerepte wildernis, en wilderniswaarden hebben dan ook een expliciete erkenning gekregen in artikel 3 van bovengenoemd Protocol. In diverse publicaties (2005, 2007 en 2009) stelde Kees Bastmeijer de vraag of en zo ja, hoe de in dat artikel vastgelegde algemene plicht tot het rekening houden met wilderniswaarden concrete uitwerking en toepassing heeft gekregen. Hij concludeerde dat wilderniswaarden nagenoeg geen serieuze aandacht krijgen bij de aanwijzing van 'Antarctic Specially Protected Areas', bij het maken van milieu-effectbeoordelingen, bij het beleid ten aanzien van nieuwe onderzoeksstations en bij de regulering van toerisme. Ad Huiskes (NIOZ), Frits Steenhuisen (RUG) en Niek Gremmen (Data Analyse Ecologie) namen deel aan het IPY-onderzoek 'Aliens in Antarctica' (2007-2009), waarbij bezoekers (toeristen en onderzoekers) en



hun kleding werden onderzocht op de aanwezigheid van (voor Antarctica) niet-inheemse zaden en dieren (zie ook Thema Terrestrische Biologie). De uitkomst van dit onderzoek was tamelijk schokkend: gemiddeld neemt iedere bezoeker naar Antarctica zo'n 10 zaden met zich mee die er niet thuishoren. Op basis van een risicoanalyse deden de onderzoekers aanbevelingen aan de ATCM om maatregelen hieromtrent te treffen. Dit onderzoek kreeg in de ATCM en het adviserend milieucomité (CEP) veel aandacht en vormde een belangrijke bron voor de ontwikkeling van de zogenaamde 'Non-native species manual', waarvan het gebruik door ATCM Resolutie 6 (2011) wordt aangemoedigd.

Het is helder dat de aard en omvang van effecten van het toerisme op de Antarctische waarden sterk afhangen van de aard en omvang van het toerisme en ook van de kwetsbaarheid van de gebieden die worden bezocht, maar ook het gedrag van toeristen speelt een rol. Dit laatste aspect vormde het centrale onderwerp van het promotieonderzoek van Ricardo Roura van het Arctisch Centrum van de Rijksuniversiteit Groningen. Hij deed literatuur- en veldonderzoek naar het gedrag van toeristen op historische plaatsen (cultureel erfgoed) in zowel Antarctica als Spitsbergen, zoals hutten van ontdekkingsreizigers, graven, historische gedenkstenen en walvisstations. De resultaten van zijn onderzoek gaven aan dat alle locaties door toeristische bezoeken worden aangetast. Een toeristische 'voetafdruk' kan de sporen van vroegere (historische) activiteiten makkelijk uitwissen of aantasten. Weersinvloeden en andere natuurlijke processen hebben natuurlijk ook een effect, en hoewel deze invloeden veelal groter zijn dan de effecten van toerisme moet worden beseft dat het polaire toerisme vaak geconcentreerd is op de meest bijzondere historische plaatsen die daardoor extra kwetsbaar zijn. Bovendien speelt toerisme zich af in een hiërarchie van gedragsschalen – van individuele bezoekers tot toerisme als geheel. Het verschijnsel toerisme kan een bepaalde locatie ook omvormen van een historisch waardevolle plaats tot een toeristenbestemming waar een locatie zoveel mogelijk wordt 'bevroren' in de tijd. Het kan daarbij bijvoorbeeld gaan om het verbouwen van een plaats conform een bepaalde periode in de geschiedenis, waarmee bewijzen uit eerdere of latere perioden worden uitgewist, waardoor de historische waarde als geheel juist wordt aangetast.

De relatie tussen perceptie, gedrag en mogelijke effecten stond centraal in het onderzoek van Michiel Lamers en Hans Gelter in 2012. Op basis van waarnemingen tijdens een expeditie van duikende en niet-duikende toeristen stellen de auteurs dat bepaalde aspecten van de expeditie door beide groepen anders worden beleefd of beschouwd, waaruit verschillen in houding en gedrag (bijvoorbeeld ten aanzien van de gidsen) voortvloeien. Dit kan gevolgen hebben voor de aard en omvang van negatieve gevolgen en – daarmee samenhangend – de effectiviteit van reguleringsinstrumenten ('site specific guidelines') behoorlijk beïnvloeden. Voor een beter begrip van de gedragspatronen van toeristen onderzocht Ricardo Roura weblogs. Tussen 2007 en 2010 werd Antarctica door ongeveer 150.000 toeristen aangedaan, die in totaal ongeveer 700.000 landingen maakten. Door informatie van toeristen zelf te verzamelen kon een goed beeld worden verkregen van hetgeen zij in Antarctica ondernemen en hoe deze activiteiten worden ervaren. Zo



Toeristen gaan na een landing terug naar de boot. Foto: Louwrens Hacquebord.





Zeeluipaard met op de achtergrond de Plancius. Foto: Frits Steenhuisen.

werd duidelijk dat de fauna een belangrijke component van een reis vormt, waardoor plaatsen met een bijzondere fauna al snel een belangrijke toeristische bestemming worden. De blogs gaven ook veel informatie over mens-dier interacties, de mogelijke effecten daarvan en de mate waarin toeristen zich aan regels houden. Hieruit konden zelfs voor specifieke locaties aanbevelingen worden geformuleerd. Ook een preventieve benadering kan in sommige gevallen nuttig zijn. Het toerisme-onderzoek richtte zich vooral op effecten in het Antarctisch gebied zelf, maar Bas Amelung en Machiel Lamers hebben ook de bijdrage van Antarctisch toerisme aan de uitstoot van broeikasgassen en daarmee aan klimaatverandering onderzocht. Vanwege het vliegverkeer en de scheepvaart behoort het Antarctisch toerisme tot de meest klimaat belastende segmenten van het mondiale toerisme, zo bleek. Later hebben deze auteurs samen met Spaanse onderzoekers dit onderwerp opnieuw onderzocht. Duidelijk is dat deze klimaateffecten in het Antarctische verdragssysteem veelal geen aandacht krijgen bij het maken van een milieu-effectbeoordeling voor toeristische activiteiten.

Tot slot gaat het bij Nederlands 'effect-onderzoek' niet alleen om de impact van toerisme op het milieu, maar maken de mogelijke effecten van Antarcticabezoek op de toeristen zelf ook deel uit van het onderzoek. Eke Eijgelaar, Carla Thaper en Paul Peters verrichtten onderzoek naar het effect van het Antarctisch toerisme op het milieubewustzijn van de toeristen. Veel toeristen lijken de poolgebieden te bezoeken vanuit een 'laatste kans' overweging; deze instelling zou ambassadeurs opleveren ten faveure van de bescherming van deze gebieden, aldus de tourismesector. De survey onderschrijft dit argument voor wat betreft het klimaatprobleem echter niet: 59% van de toeristen geeft aan van mening te zijn dat hun reis geen bijdrage levert aan het klimaatprobleem en slechts 7% had maatregelen genomen (of was daartoe bereid) om de klimaateffecten van hun reis



te compenseren. Machiel Lamers, Eke Eijgelaar en Bas Amelung hebben een hoofdstuk over Antarctisch toerisme gepubliceerd in een boek over 'last-chance tourism'.

Een derde pijler van het Nederlandse onderzoek naar Antarctisch toerisme betreft de effectiviteit van bestaande regels (instrumentarium) en de mogelijke verbetering van de regulering ten behoeve van het voorkomen of beperken van negatieve gevolgen voor bovengenoemde Antarctische waarden. Toerisme valt al onder de werking van veel algemene ATCM-instrumenten, waaronder het Protocol, en onder de regulering van IAATO, maar aanvullende regels kunnen gewenst zijn, bijvoorbeeld vanwege nieuwe inzichten wat betreft ongewenste effecten van bestaande activiteiten of vanwege veranderende ontwikkelingen in Antarctisch toerisme. Wat betreft de eerste vraag (werking van bestaand instrumentarium) is onder meer het promotieonderzoek van Kees Bastmeijer aan de Universiteit van Tilburg (2002) naar de implementatie van het Protocol van belang. Op basis van onderzoek naar de minimum-eisen die het Protocol stelt aan de nationale wetgeving concludeerde Bastmeijer onder meer dat deze wetgeving in de meeste landen met veel zorg is vormgegeven. Tegelijkertijd stelde hij vast dat de 'optelsom' van al deze nationale systemen niet vanzelfsprekend tot een effectieve gezamenlijke bescherming van het Antarctisch milieu leidt. Zo wordt bij de uitvoering van milieu-effectbeoordelingen nauwelijks rekening gehouden met cumulatie van effecten, bestaat er geen overeenstemming wat betreft de criteria voor toelating van steeds diverser wordende toeristische activiteiten in Antarctica, werken instellingen van het bevoegde gezag niet gestructureerd samen en worden zowel toezicht als handhaving internationaal niet afgestemd.
De inzichten in de ontwikkeling van Antarctisch toerisme zijn goed ontwikkeld (eerste thema), maar het onderzoek naar de effecten van toerisme (tweede thema) is versnipperd en onvolledig. Dit geldt niet alleen voor het Nederlandse onderzoek maar voor het gehele internationale onderzoek. In het bijzonder lange termijn monitoring (bijvoorbeeld de invloed van toerisme op vegetatie en op pinguïnkolonies) vindt maar zeer beperkt plaats. Dit toont aan dat preventie in het reguleren van toerisme in Antarctica cruciaal is. Dit houdt tevens in dat ook bij het ontbreken van volledig bewijs van nadelige gevolgen maatregelen wenselijk kunnen zijn om risico's weg te nemen of te verkleinen. Deze vraag stond centraal in de 'Current development note' van Kees Bastmeijer en Ricardo Roura in het American Journal of International Law in 2004. Hoewel in het verleden voorzorg vaak leidde tot een pro-actieve regulering van activiteiten (zoals het zeerobbenverdrag, het verbod op niet-wetenschappelijke mijnbouw en het verbod op honden in Antarctica), concludeerden de auteurs dat sinds de invoering van het Protocol (1991) de ATCM terughoudend is met het aannemen van wetgeving zonder 'bewijs van noodzaak'. Het voorzorgbeginsel lijkt hiermee een minder centrale rol in het systeem te hebben gekregen, ondanks de leemtes in onze kennis van toerisme-effecten. ATCM- en IAATO-regels gaan namelijk vaak over 'condities' waaronder toerisme mag worden bedreven, terwijl beperkingen zelden worden opgelegd.

De sterke en zwakke kanten van het zelfreguleringssysteem van IAATO vormden de centrale onderwerpen van het onderzoek van Daniela Haase (Nieuw Zeeland), Machiel Lamers en Bas Amelung. Het succes van zelfregulering werd onder meer toegeschreven aan de hoge organisatiegraad van de toerismesector. De auteurs stellen echter dat veranderende omstandigheden het risico met zich meebrengen dat leden het IAATO lidmaatschap niet langer waardevol vinden. Voortdurende positieve prikkels ten faveure van het lidmaatschap zijn daarom van groot belang. Hoewel de auteurs IAATO als een robuust systeem aanmerken kan het systeem onder druk komen te staan wanneer het aantal toeristen en de diversiteit van de activiteiten blijven toenemen. Vrij uitvoerige aandacht is ook uitgegaan naar het instrument van milieu-effectbeoordeling ('environmental impact assessment', EIA). Dit instrument is neergelegd in Artikel 8 en Annex I van het Protocol en is bedoeld om vooraf-gaand aan het verlenen van toestemming van bepaalde activiteiten de mogelijke milieugevolgen ervan in kaart te brengen. Kees Bastmeijer en Ricardo Roura onderzochten dit systeem als onderdeel van een internationaal boek over internationale milieu-effect beoordelingssystemen. lan Hemmings (Nieuw Zeeland) en Ricardo Roura onderzochten meer specifiek of deze EIA-regels een goede werking hebben ten aanzien van het Antarctisch toerisme. Anders dan bij onderzoeksstations en wetenschappelijk onderzoek gaat het bij toerisme om sterk verspreide activiteiten die on-

Toeristen bij een pinguïnbroedplaats in Mikkelsen Harbour, Antarctica. Foto: Louwrens Hacquebord.





regelmatig plaatsvinden, waarmee de beschikbaarheid van gegevens en het beoordelen van eventuele (vooral cumulatieve) gevolgen extra wordt bemoeilijkt. Mede vanwege deze nadelen hebben Ricardo Roura en Alan Hemmings ook onderzoek gedaan naar de effectiviteit van strategische milieu-effectbeoordelingen. Zij stellen dat – gegeven de toenemende druk van toerisme en andere activiteiten op het Antarctisch milieu – doelstellingen voor milieubeleid nodig zijn die vooruitlopen op toekomstige ontwikkelingen omdat anders mogelijk ongewenste ontwikkelingen niet zijn terug te draaien. Een goede overall-bescherming kan niet worden bereikt door een aanpak die enkel gericht is op individuele activiteiten of alleen door zelfregulering.

Vanwege de zwakheden van, en gaten in, zowel het statelijke reguleringssysteem als het zelfreguleringssysteem van IAATO richtte het Nederlandse onderzoek zich op de mogelijkheden om deze systemen beter te laten functioneren of aan te vullen met nieuwe bindende of niet-bindende instrumenten. Erik J. Molenaar zocht hierbij door middel van een uitvoerig NWO-onderzoek aansluiting bij het concept 'IUU (Illegal, Unreported and Unregulated) fishing' dat voortkomt uit het internationale visserijrecht. Hij onderzocht of uitgaande van dit concept een versterkte regulering van Antarctisch scheepvaart-toerisme nodig was. Kees Bastmeijer gaf in 2009 een overzicht van het internationaal toerismebeleid sinds de ondertekening van het Protocol, en stelde daarin de vraag of het aannemen van een langetermijnstrategie door de ATCM de 'besluiteloosheid' van de ATCM op veel toerisme-onderwerpen zou kunnen opheffen. Dit onderwerp werd ook onderzocht in het eerder genoemde proefschrift van Machiel Lamers. Kees Bastmeijer en Machiel Lamers publiceerden in 2012 de resultaten van onderzoek naar de vraag of het ontbreken van ATCM-consensus ten aanzien van veel toerisme-onderwerpen verklaard zou kunnen worden door culturele verschillen of door verschillen in de 'mens-natuur-grondhoudingen' van consultatieve partijstaten. In het zelfde jaar publiceerden Lamers, Liggett en Amelung in Polar Research over het belang van, en gebrek aan, strategisch denken betreffende Antarctisch toerisme. Meer recent richtten Tina Tin (Frankrijk), Kees Bastmeijer en enkele andere internationale onderzoekers zich op de vraag of het bestaande reguleringssysteem wel goed aansluit bij de waarden die de bevolking aan Antarctica toekent. Daartoe werd in diverse landen (onder andere Canada, Nederland, Spanje en de Verenigde Staten) survey onderzoek (onderzoek gebruikmakend van vragenlijsten) uitgevoerd. Opvallend was dat de bevindingen van het publiek in deze landen sterk overeenkwamen: Antarctica bleek door eenieder vooral te worden gewaardeerd als gebied voor wetenschap, als een van de laatste grote wildernissen op Aarde en essentiële regio ten behoeve van het wereldklimaat. 'Antarctica als toeristenbestemming' scoorde laag (veelal tussen de 10% en 25%). De deelnemers werd ook gevraagd naar hun oordeel over diverse vormen van Antarctisch toerisme. Grootschalig scheepvaarttoerisme en 'land-based' toerisme kreeg niet veel bijval (veelal tussen de 10% en 25%), maar een meerderheid was wel voorstander van kleinschalig toerisme en reizen gericht op educatie. Deze inzichten nodigden uit om na te denken over een betere koppeling van het concept 'wildernisbescherming' en de regulering van toerisme in Antarctica. Dit is het centrale onderwerp van het proefschriftonderzoek dat Antje Neumann momenteel onder begeleiding van Kees Bastmeijer aan Tilburg University uitvoert.

Het voorgaande maakt duidelijk dat Nederlandse onderzoekers een actieve rol hebben gespeeld (en nog steeds spelen) in het verkrijgen van bruikbare kennis wat betreft Antarctisch toerisme en de gevolgen voor Antarctica. Het bovenstaande overzicht geeft aan dat het hierbij vooral gaat over kennis over de feitelijke ontwikkelingen, de mogelijke toekomstige trends, het gedrag van toerisme, de aard en omvang van de gevolgen van de toeristische ontwikkelingen op waarden van Antarctica, de perceptie van mensen ten aanzien van de waarden van Antarctica en de juridische status van die waarden, de effectiviteit van bestaande reguleringssystemen (overheidssystemen en zelfregulering), en over beschikbare opties om de regulering van toerisme met het oog op de betreffende waarden te verbeteren. Bovenstaand overzicht laat ook zien dat het Nederlandse toerismeonderzoek niet is uitgevoerd in het raamwerk van grote onderzoeksprogramma's, maar dat een veelheid van kleinschalig onderzoek door zeer betrokken individuen bij verschillende universiteiten tot tamelijk coherent themagericht onderzoek kan leiden. Hiermee wordt het belang van kleinschalig onderzoek (PhD-projecten, financiering van boekprojecten, e.d.) voor de menswetenschappen on-



derstreept. Toch zet het overzicht ook aan tot het nadenken over een mogelijk betere strategische, lange termijn-samenwerking wat betreft de ontwikkeling en de uitvoering van Nederlands polair onderzoek binnen de menswetenschappen, waarbij ook moet worden gedacht aan de ontwikkeling van grootschaliger onderzoek (kernprogramma's). De besproken publicaties laten voorts zien dat de hierboven genoemde onderzoekers een sterk internationaal onderzoeksnetwerk hebben, en dat hun onderzoek goed in het internationale onderzoek is ingebed. Netwerken met actieve Nederlandse participatie zijn onder meer de jaarlijkse Polar Law Symposia, het International Polar Tourism Research Network (IPTRN) en de Social Sciences and Humanities Expert Group (HASSEG) van de Scientific Committee for Antarctic Research (SCAR), de primaire internationale wetenschappelijke organisatie voor onderzoek betreffende Antarctica.

Duidelijk is ook dat het Nederlandse toerisme-onderzoek internationaal zichtbaar is. Dit blijkt onder meer uit de mate waarin Nederlandse publicaties internationaal worden geciteerd. Van de 153 publicaties (gepubliceerd tussen 1980-2011) die worden aangehaald in het veelomvattende onderzoek naar toerisme in Antarctica (in 2012 uitgevoerd voor de Committee for Environmental Protection (CEP) en ATCM onder verantwoording van Nieuw Zeeland) is 8,5% van Nederlandse onderzoekers afkomstig. Wat betreft de kwaliteit van het onderzoek is een duidelijke positieve trend zichtbaar. Het grootste deel van de genoemde publicaties zijn internationaal en 'peer-reviewed'. De betrokken onderzoekers zijn ook zeer actief met het 'vertalen' van onderzoeksuitkomsten naar beleidsmakers en het bredere publiek. Gezien de te verwachten verdere groei van het pooltoerisme (Antarctica en Arctica) en de gaten in onze kennis blijft onderzoek naar de hierboven genoemde onderwerpen van groot belang. Bovenstaande inventarisatie maakt duidelijk dat er een goed fundament ligt om de verdere Nederlandse bijdrage aan dit onderzoek invulling te geven.



Toeristen nemen een bad in de warme bronnen bij Pendulum Cove op Deception Eiland.
Foto: Ricardo Roura.



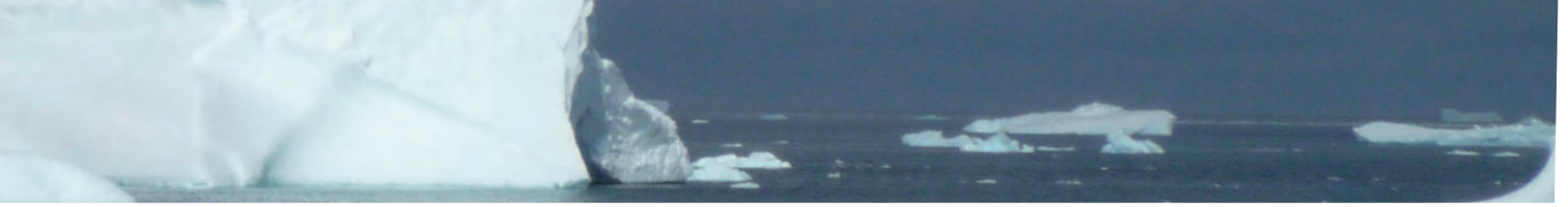


Bijlagen



Nederlandse promoties poolonderzoek

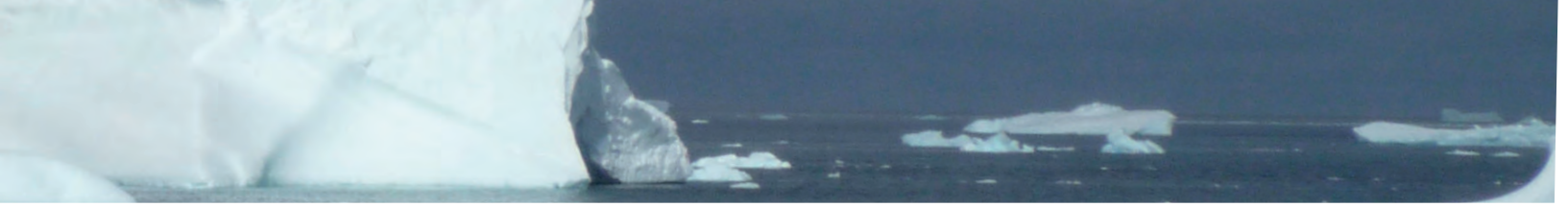
Jaar	Naam promovendus	Titel proefschrift	1e Promotor	Universiteit
1962	Geert van den Steenhoven	Leadership and Law among the Eskimos of the Keewatin District, Northwest Territories	J. de Keuning	UvLeiden
1973	Hans de Molenaar	Vegetation of the Angmagssalik District, Southeast Greenland	Onbekend	UU
1976	Jarich Oosten	The theoretical structure of the religion of the Netsilik and Iglulik	van Baaren	RUG
1978	Cor(nelius) H.W. Remie	Het dagboek van Awongaitsiark 1958-1964; een persoonlijk dokument van een Netjilik Eskimo	A.A. Trouwborst	KUN
1979	Han Lindeboom	Chemical and microbiological aspects of the nitrogen cycle on marion island (sub-antarctic)	H. Veldkamp	RUG
1980	Johannes Oerlemans	Some model studies on the ice-age problem	C. Schuurmans	UU
1980	Fred Daniëls	Vegetation of the Angmagssalik District Southeast Greenland IV. Shrub, Dwarf shrub and Terricolous Lichen Vegetation	Onbekend	UU
1984	Louwrens Hacquebord	Smeerenburg. Het verblijf van Nederlandse walvisvaarders op de westkust van Spitsbergen in de 17e eeuw	H.H. van Regteren Altena	UvA
1986	Cees van der Veen	Ice sheets, atmospheric CO2 and sea level	J. Oerlemans	UU
1986	Ko de Korte	Aspects of breeding success in tundra birds, studies of long-tailed skuas and waders at Scoresby Sund, East Greenland	J.H. Stock	UvA
1989	Wouter Greuell	Glaciers and climate: energy balance studies and numerical modelling of the historical front variations of Hintereisferner (Austria)	J. Oerlemans	UU
1989	Nellejet Zorgdrager	De strijd der rechtvaardigen Kautokeino 1852. Religieus verzet van Samen tegen intern Noors kolonialisme	H.U.E. Thoden van Velzen	UU
1989	Pim (W.O.) van der Knaap	Palynological and paleobotanicalinvestigations of peat deposits and soils from Spitsbergen and Jan Mayen	Onbekend	UU
1990	Jos Dijkmans	Aspects of geomorphology and thermoluminiscence dating of cold-climate eolian sands	W. Koster	UU
1991	Reineke Bok-Bennema	Case and agreement in Inuit	H.C. van Riemsdijk	KUB
1992	Anita G.J. Buma	Factors controlling phytoplankton growth and species composition in the Antarctic Ocean	C. van den Hoek	RUG
1992	Bart Ebbinge	Population limitation in Arctic-Breeding geese	R.H. Drent	RUG
1992	Roderik van de Wal	Ice and climate	J. Oerlemans	UU
1992	Paul Fortuin	The surface mass balance and temperature of Antarctica	J. Oerlemans	UU
1992	Marcel Klaassen	The naive proficient: metabolic responses of chicks to problems of climate and food availability	R.H. Drent	RUG
1993	Rob Alkemade	Nematodes and decomposition in intertidal ecosystems (1 hoofdstuk over Antarctica)	A.F. van der Wal	WUR
1994	Willem Rasing	Too Many People'. Order and Nonconformity in Iglulingmiut Social Process.	A.A. Trouwborst	KUN
1994	Selma van Londen	Meesters van de lange nacht: Ecologie en mythologie van de Inuit	A. De Ruijter	UU



Jaar	Naam promovendus	Titel proefschrift	1e Promotor	Universiteit
1995	Erik Lanting	Sumut: Groenlandisering en het dagelijks leven in het Upernavik district, Groenland	H. Claessen	UvLeiden
1995	Jur Leinenga	Arctische walvisvangst in de achttiende eeuw. De betekenis van Straat Davis als vangstgebied	L. Hacquebord	RUG
1995	Madeleine J.H. Van Oppen	Tracking Trails Caracking Codes. Molecular Biogeography and Evolotion of Benthis Cold-Water Seaweeds.	C. van den Hoek	RUG
1995	Richard Bintanja	The Antarctic ice sheet and climate	J. Oerlemans	UU
1995	Frank van Tatenhove	The dynamics of Holocene deglaciation in west Greenland with emphasis on recent ice marginal processes	J. van der Meer	UvA
1996	Michiel van den Broeke	The atmospheric boundary layer over ice sheets and glaciers	J. Oerlemans	UU
1996	Job van Roijen	Determination of ages and specific mass balances from 14C measurements of Antarctic surface ice	J. Oerlemans	UU
1997	Maarten Loonen	Goose breeding ecology. Overcoming successive hurdles to raise goslings	R.H. Drent	RUG
1997	Maria A. van Leeuwe	A barren ocean: Iron and light interactions with phytoplankton growth in the Southern Ocean	H.J.W. de Baar	RUG
1997	Wouter Knap	Satellite-derived and ground-based measurements of the surface albedo of glaciers	J. Oerlemans	UU
1997	Patty Brouwer	Distribution, year-round primary production and decomposition of Antarctic macroalgae	P.H. Nienhuis	KUN
1997	Nico W. van den Brink	Probing for the invisible. The development of a monitoring system for global background levels of organochlorine pollutants in Antarctica	W.J. Wolff	RUG
1998	Dorothee C.E. Bakker	Process studies of the air-sea exchange of carbon dioxide in the Atlantic Ocean	H.J.W. de Baar	RUG
1999	Cas J. Wiebinga	Process studies of dissolved organic carbon and bacterioplankton in the ocean	H.J.W. de Baar	RUG
1999	Nicole van Lipzig	The surface mass balance of the Antarctic ice sheet: a study with a regional atmospheric model	J. Oerlemans	UU
2000	Paul Smeets	Stable boundary layer over a melting glacier: turbulence characteristics and surface energy balance	H.F. Vugts	VU
2000	Nico Willemse	Arctic Natural Archives. Lake and Eolian Sedimentary Records from West Greenland	E.A. Koster	UU
2001	Daniela Lud	Biotic responses to UV-B radiation in Antarctica	W. Ernst	VU
2001	Julia Stahl	Limits to the co-occurence of avian herbivores. How geese share scarce resources	R.H. Drent	RUG
2001	Jan Andries van Franeker	Mirrors in Ice: Fulmarine petrels and Antarctic Ecosystems	W. Wolff	RUG
2001	Bruce Denby	Modelling and interpretation of turbulent fluxes in katabatic flows: applications to glaciers and the Greenland ice sheet	J. Oerlemans	UU
2001	Carleen Reijmer	Antarctic meteorology: a study with automatic weather stations	J. Oerlemans	UU
2001	John Hiemstra	Dirt picture: reveal the past extent of the grounded Antarctic ice sheet	J. van der Meer	UvA



Jaar	Naam promovendus	Titel proefschrift	1e Promotor	Universiteit
2002	Georg Hermann Engelhard	Southern elephant seal population declines: the human onshore disturbance hypothesis	R.H. Drent	RUG
2002	Martijn de Ruyter de Wildt	Satellite retrieval and modeling of glacier mass balance	J. Oerlemans	UU
2003	Willem H. van de Poll	Patterns in ultraviolet radiation sensitivity of tropical temperate and Arctic marine macroalge	W. Wolff	RUG
2003	Lisette Klok	The response of glaciers to climate change	J. Oerlemans	UU
2003	M.C. Ollers	Influences of Inertia-Gravity Waves on the Permeability of the Antarctic Polar Vortex Edge	H. Kelder	TUE/KNMI
2004	Tim van Oijen	Iron and light limitation of carbohydrate production by phytoplankton in the Southern Ocean	H.J.W. de Baar	RUG
2004	Jouke Prop	Food finding. On the trail to successful reproduction in migratory geese	R.H. Drent	RUG
2004	Cunera Buijs	Furs and Fabrics, Transformations, Clothing and Identity in East Greenland	J. Oosten	UvLeiden
2004	Karsten Kaspers	Chemical and physical analyses of firn and firn air	J. Oerlemans	UU
2005	Nanka Karstkarel	Changes in shelf ice extent in West Antarctica between 1840 and 1960	L. Hacquebord	RUG
2005	Yann Bozec	Process studies of the biological pump of carbon dioxide in the North Sea and Southern Ocean	H.J.W. de Baar	RUG
2005	Micha Rijkenberg	Photochemistry and organic complexation of iron interactions in the Southern Ocean	H.J.W. de Baar	RUG
2005	Dirk van As	The summertime atmospheric boundary layer over the Antarctic Plateau	J. Oerlemans	UU
2005	Ellen Dorrepaal	Plant growth-form and climate controls on production and decomposition in northern peatlands	M.A.P.A. Aerts en J.H.C. Cornelissen	VU
2006	Alexandra van der Graaf	Geese on a green wave: flexible migrants in a changing world	R.H. Drent	RUG
2006	Kathleen Tjørve	From an egg to a fledgling: a perspective on shorebird breeding ecology and chick energetics.	G.H. Visser	RUG
2006	Michiel Helsen	On the interpretation of stable isotopes in Antarctic precipitation	J. Oerlemans	UU
2006	Faezeh Nick	Modelling the behaviour of tidewater glaciers	J. Oerlemans	UU
2007	Ingrid Tulp	The arctic pulse. Timing of breeding in long-distance migrant shorebrids	T. Piersma	RUG
2007	Jeroen Reneerkens	Functional aspects of seasonal variation in preen wax composition of sandpipers (Scolopacidae)	T. Piersma	RUG
2007	Jojanneke van den Berg	Interactions between ice sheets, climate and the solid earth	J. Oerlemans	UU
2007	Barbara Helen Miller	Connecting and correcting, a case study of Sami Healers in Porsanger	J. Oosten	UvLeiden
2007	Stef Bokhorst	Functioning of terrestrial ecosystems of the Maritime Antarctic in a warmer climate	M.A.P.A. Aerts	VU
2008	Kim van Dam	A place called Nunavut: multiple identities for a new region	L. Hacquebord	RUG



Jaar	Naam promovendus	Titel proefschrift	1e Promotor	Universiteit
2008	Joost Schokkenbroek	Trying-out: an anatomy of Dutch whaling and sealing in the nineteenth century, 1815-1885	F.S. Gaastra	UvLeiden
2008	Willem Jan van de Berg	Present-day climate of Antarctica: A study with a regional climate model	J. Oerlemans	UU
2008	Étienne Yergeau	Effects of global warming on Antarctic soil microorganisms and associated functions	G.A. Kowalchuk	VU
2008	Hans Schekkerman	Precocial problems: shorebird chick performance in relation to weather, farming, and predation.	R.H. Drent	RUG
2008	Goetz Eichhorn	Travels in a changing world: flexibility and constraints in migration and breeding of the barnacle goose	R.H. Drent	RUG
2009	Machiel Lamers	The future of tourism in Antarctica. Challenges for sustainability	J.H. Stel	Uv-Maastricht
2009	Peter Abbink	Antarctic policy making & science in the Netherlands, Belgium and Germany (1957-1990)	L. Hacquebord	RUG
2009	Paul Janknegt	Antioxidants a radical solution? Antioxidant responses of marine microalgae to ultraviolet radiation	A.G.J. Buma	RUG
2009	Hauke Flores	Frozen deserts alive: the role of sea ice for pelagic macrofauna and its predators: implications for the Antarctic pack ice food web	W.J. Wolff	RUG
2009	Astrid C Fischer	A compartmental analysis of the kinetics of Iron uptake by two Antarctic diatoms	H.Th. Wolterbeek	TU Delft
2009	Peter Kuipers Munneke	Snow, ice and solar radiation	J. Oerlemans	UU
2009	Rianne Giesen	The ice cap Hardangerjokulen in the past, present and future climate	J. Oerlemans	UU
2010	Anouk Piquet	Mild climate harsh time for polar marine microbes	A.G.J. Buma	RUG
2010	Jeroen Creuwels	Breeding ecology of Antarctic petrels and southern fulmars in coastal Antarctica	W.J. Wolff	RUG
2010	Rob Middag	Dissolved aluminium and manganese in the polar oceans	H.J.W. de Baar	RUG
2010	Simon Axelsen	Large-eddy simulation and analytical modelling of katabatic winds	J. Oerlemans	UU
2010	Janneke Ettema	The present-day climate of Greenland: a study with a regional climate model	M.R. van den Broeke	UU
2011	Rudy Jonker	Revolutionary non-migratory migrants	H.H.T. Prins	WUR
2011	Bethany Hoye	Host-pathogen interactions on the move: Migratory waterfowl and avian influenza viruses	M. Klaassen	UU
2011	Francien Peterse	Environmental controls on the distribution of bacterial tetraether membrane lipids: Constraints on the MBT-CBT paleothermometer	J.S. Sinninghe Damsté	UU
2011	Frans-Jan Parmentier	Any Way the Wind Blows - Dynamics of Greenhouse Gas Exchange in Northeastern Siberian Tundra	A.J. Dolman	VU



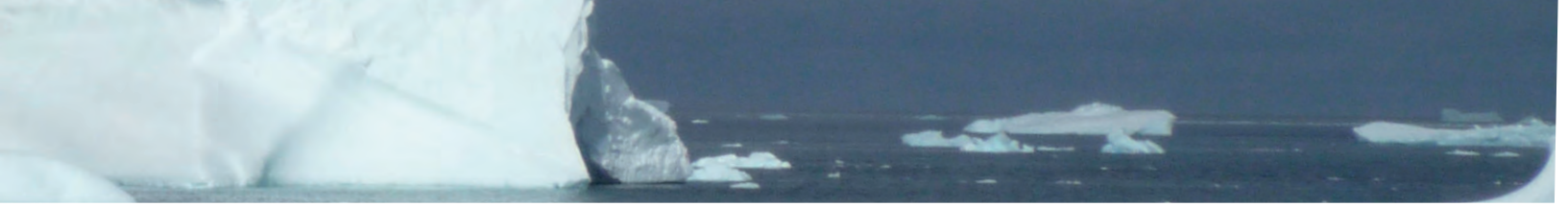
Jaar	Naam promovendus	Titel proefschrift	1e Promotor	Univer-siteit
2011	Simone Lang	Global change and the functional diversity of cryptogams in northern biomes	J.H.C. Cornelissen	VU
2011	Ricardo Roura	The footprint of polar tourism: tourist behaviour at cultural heritage sites in Antarctica and Svalbard	L. Hacquebord	RUG
2011	Charles-Edouard Thuroczy	Physical and chemical speciation of iron in the polar oceans	H.J.W. de Baar	RUG
2011	Irene Wientjes	A study of the dark region in the western ablation zone of the Greenland ice sheet	J. Oerlemans	UU
2012	Maarten Klunder	Distributions and sources of dissolved iron in the polar oceans	H.J.W. de Baar	RUG
2012	Stef Wijers	Climate reconstruction in the High Arctic: development and validation of a new tree-ring-like climate proxy	J. Rozema	VU
2012	Karen Krijgsveld	Behavioural and physiological adaptations of precocial chicks to arctic environments	S. Verhulst	RUG
2012	Paul Leclercq	Glacier fluctuations, global temperature and sea-level change	J. Oerlemans	UU
2012	Bas de Boer	A reconstruction of temperature, ice volume and atmospheric CO2 over the past 40 million years	J. Oerlemans	UU
2012	Aimee Slangen	Modelling regional sea-level changes in recent past and future	J. Oerlemans	UU
2012	Gerko van der Wel	Analyses of water isotope diffusion in firn: contributions to a better paleoclimatic interpretation of ice cores	H.A.J. Meijer	RUG
2013	Joke Schuit	Signs of the Arctic. Typological aspects of Inuit Sign language	A.E. Baker	UvA
2013	Steven van Heuven	Determination of the rate of oceanic storage of antropogenic CO2 from measurements in the ocean interior: The South Atlantic Ocean	H.J.W. de Baar	RUG
2013	Bert Buizer	Climate change affecting dwarf shrubs from temperate and Arctic ecosystems: an experimental approach	J. Rozema	VU
2013	Frigga Kruse	Frozen Assets. British mining, exploration, and geopolitics on Spitsbergen, 1904-53	L. Hacquebord	RUG
2013	Jan Lenaerts	Drifting snow climate of the Antarctic and Greenland ice sheets	M.R. van den Broeke	UU
2013	Jan van Angelen	The Greenland ice sheet in a warming climate	M.R. van den Broeke	UU
2014	Ward van Pelt	Modelling the dynamics and boundary processes of Svalbard glaciers	J. Oerlemans	UU
2014	Stefan Ligtenberg	The present and future state of the Antarctic firn layer	M.R. van den Broeke	UU
2014	Ika Neven	Carbon costs and compromises. Inorganic carbon uptake of Southern Ocean phytoplankton in a high CO^2 world	J.T.M. Elzenga	RUG
2014	Malou Maris	The evolution of the Antarctic Ice Sheet from the Last Glacial Maximum to 2100	J. Oerlemans	UU
2015	Tekke Terpstra	Inuit outside the Arctic. Migration, Identity and Perceptions	L. Hacquebord	RUG
2015	Cindy de Jong	Sources and sinks of branched tetraether lipids and bacterio-hopanepolyols in a major river system (Yenisei River – Kara Sea)	Jaap S. Sinninghe Damsté	UU





Contactgegevens redactie en auteurs

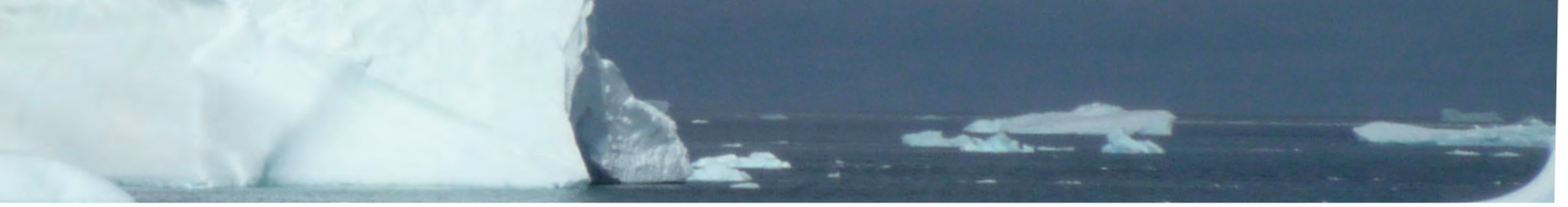
Auteurs	Adres	Telefoon	E-mail	Website/Facebook etc.
Baar, Hein de	Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ), Landsdiep 4, 1797 SZ 't Horntje (Texel)	0222-369300	hein.de.baar@nioz.nl	www.nioz.nl
Bastmeijer, Kees	Tilburg University, Warandelaan, 5037 AB Tilburg	013-4668033 (secretariaat)	c.j.bastmeijer@tilburguniversity.edu	www.tilburguniversity.edu/webwijs/show/?uid=c.j.bastmeijer
Berg, Willem Jan van de	Ice and Climate, Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek, Universiteit Utrecht (UU/IMAU), Princetonplein 5, 3584 CC Utrecht	030-2533275 (secretariaat)	w.j.vandeberg@uu.nl	Website: www.projects.science.uu.nl/iceclimate Facebook: www.facebook.com/uuimau Twitter: twitter.com/uuimau
Bijl, Peter	Laboratory of Palaeobotany and Palynology, Departement Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht, Heidelberglaan 2, 3584 CS Utrecht	030-2539318	p.k.bijl@uu.nl	www.uu.nl/staff/pkbijl
Bintanja, Richard	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), Utrechtseweg 297, 3731 GA De Bilt	030-2206499	bintanja@gmail.com	www.bintanja.nl
Blok, Daan	Center for Permafrost (CENPERM), Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen, Øster Voldgade 10, Copenhagen, 1350	0045-50104476	daanblok@gmail.com	cenperm.ku.dk
Boot, Wim	Ice and Climate, Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek, Universiteit Utrecht (UU/IMAU), Princetonplein 5, 3584 CC Utrecht	030-2533275 (secretariaat)	w.boot@uu.nl	Website: www.projects.science.uu.nl/iceclimate Facebook: www.facebook.com/uuimau Twitter: twitter.com/uuimau
Brinkhuis, Henk	Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ), Landsdiep 4, 1797 SZ 't Horntje (Texel) en Laboratory of Palaeobotany and Palynology, Departement Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht, Heidelberglaan 2, 3584 CS Utrecht	0222-369366	henk.brinkhuis@nioz.nl	www.nioz.nl
Broeke, Michiel van den	Ice and Climate, Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek, Universiteit Utrecht (UU/IMAU), Princetonplein 5, 3584 CC Utrecht	030-2533275 (secretariaat)	m.r.vandenbroeke@uu.nl	Website: www.projects.science.uu.nl/iceclimate Facebook: www.facebook.com/uuimau Twitter: twitter.com/uuimau



Auteurs	Adres	Telefoon	E-mail	Website/Facebook etc.
Brussaard, Corina	Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ), Landsdiep 4, 1797 SZ 't Horntje (Texel)	0222-369478	corina.brussaard@nioz.nl	www.nioz.nl
Buijs, Cunera	Museum voor Volkenkunde, Steenstraat 1, 2300 AE Leiden	088-0042993	aartjan.cunera@net.hcc.nl	www.volkenkunde.nl
Buma, Anita	Basiseenheid Ocean Ecosystems, Energy and Sustainability Research Institute Groningen (ESRIG), Rijksuniversiteit Groningen, Nijenborgh 7, 9747 AG Groningen	050-3632259 (secretariaat)	a.g.j.buma@rug.nl	Website: www.rug.nl/research/ocean-ecosystems Facebook: www.facebook.com/oceanecosystems
Conrads, Louk	Ice and Climate, Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek, Universiteit Utrecht (UU/IMAU), Princetonplein 5, 3584 CC Utrecht	030-2533275 (secretariaat)	louk@conrads.nl	
Creuwels, Jeroen	Naturalis, Darwinweg 2, 2333 CR Leiden	071-7519336	jeroen@creuwels.nl	www.creuwels.nl
Flores, Hauke	Alfred Wegener Institut, Am Handelshafen 12, D-27570 Bremerhaven	0049-47148311444	hauke.flores@awi.de	www.awi.de/ueber-uns/organisation/mitarbeiter/hauke-flores.html
Groeneweg, Wim	Jane Addamslaan 163, 1187 DA Amstelveen		wgroeneweg@ziggo.nl	
Hacquebord, Louwrens	Arctisch Centrum, Rijksuniversiteit Groningen, A-weg 30, 9718 CW Groningen	050-3636834 (secretariaat)	l.hacquebord@rug.nl	www.rug.nl/arcticcentre
Heijmans, Monique	Plantenecologie en Natuurbeheer, Wageningen University, Droevendaalsesteeg 4, 6708 PB Wageningen	0317-484167	monique.heijmans@wur.nl	www.wageningenur.nl/nl/personen/dr.ir.-mmpd-monique-heijmans.htm
Huiskes, Ad	Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ), Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke	0222-369300	ad.huiskes@nioz.nl	www.nioz.nl
Huissteden, Ko van	Cluster Earth and Climate, Afdeling Aardwetenschappen, Faculteit Aard- en Levenswetenschappen, Vrije Universiteit, De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam	020-5987354	j.van.huissteden@vu.nl	www.falw.vu.nl/en/research/earth-sciences/earth-and-climate-cluster/staff/j-ko-van-huissteden-gis-quaternary-geology.asp
Können, Günther	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), Utrechtseweg 297, 3731 GA De Bilt	030-2206911	konnen@planet.nl	www.guntherkonnen.nl
Koster, Eduard (emeritus)	Faculteit Geowetenschappen, Universiteit Utrecht, Heidelberglaan 2, 3584 CS Utrecht	035-5252428	ward-koster@planet.nl	



Auteurs	Adres	Telefoon	E-mail	Website/Facebook etc.
Krijgsman, Nelleke	Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ), Landsdiep 4, 1797 SZ 't Horntje (Texel)	0222-369300	nelleke.krijgsman@nioz.nl	www.nioz.nl
Loonen, Maarten	Arctisch Centrum, Rijksuniversiteit Groningen, A-weg 30, 9718 CW Groningen	050-3635056	m.j.j.e.loonen@rug.nl	www.rug.nl/arcticcentre
Meijer, Harro	Centrum voor Isotopen Onderzoek, Energy and Sustainability Research Institute Groningen (ESRIG), Rijksuniversiteit Groningen, Nijenborgh 4, 9747 AG Groningen	050-3634760 (secretariaat)	h.a.j.meijer@rug.nl	www.rug.nl/research/isotope-research
Miller, Barbara	Trompenbergerweg 6-14, 1217 BE Hilversum	035-6421286 (privé)	millerbh@telfort.nl	
Oerlemans, Hans	Ice and Climate, Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek, Universiteit Utrecht (UU/IMAU), Princetonplein 5, 3584 CC Utrecht	030-2533275 (secretariaat)	j.oerlemans@uu.nl	Website: www.projects.science.uu.nl/iceclimate Facebook: www.facebook.com/uuimau Twitter: twitter.com/uuimau
Portanger, Marcel	Ice and Climate, Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek, Universiteit Utrecht (UU/IMAU), Princetonplein 5, 3584 CC Utrecht	030-2533275 (secretariaat)	m.portanger@uu.nl	Website: www.projects.science.uu.nl/iceclimate Facebook: www.facebook.com/uuimau Twitter: twitter.com/uuimau
Roura, Ricardo	Arctisch Centrum, Rijksuniversiteit Groningen, A-weg 30, 9718 CW Groningen	020-6838133 (privé)	ricardo.roura@worldonline.nl	www.rug.nl/arcticcentre
Rozema, Jelte	Systeemecology, Afdeling Ecologische Wetenschappen, Faculteit Aard- en Levenswetenschappen, Vrije Universiteit, De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam	020-5987055	j.rozema@vu.nl	www.falw.vu.nl/en/research/ecological-sciences/systems-ecology/staff/prof-dr-jelte-rozema.aspx
Scheepstra, Annette	WBPI, p.a. Arctisch Centrum, Rijksuniversiteit Groningen, A-weg 30, 9718 CW Groningen	050-3635826	a.j.m.scheepstra@rug.nl	www.facebook.com/wbpolar
Schoemann, Veronique	Laboratoire de Glaciologie, Université Libre de Bruxelles, 50 Avenue F.D. Roosevelt, B-1050 Bruxelles	0032-26502227 (secretariaat)	vschoem@ulb.ac.be	dev.ulb.ac.be/glaciol/veronique.html
Smeets, Paul	Ice and Climate, Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek, Universiteit Utrecht (UU/IMAU), Princetonplein 5, 3584 CC Utrecht	030-2533275 (secretariaat)	c.j.p.p.smeets@uu.nl	Website: www.projects.science.uu.nl/iceclimate Facebook: www.facebook.com/uuimau Twitter: twitter.com/uuimau

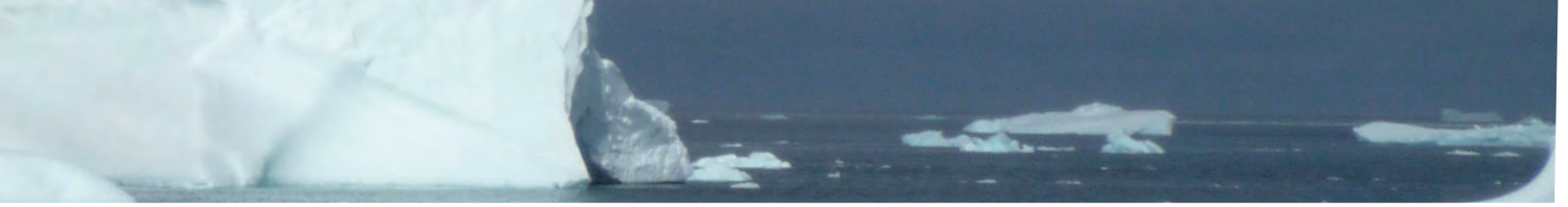


Auteurs	Adres	Telefoon	E-mail	Website/Facebook etc.
Stefels, Jacqueline	Basiseenheid Plantenfysiologie, GELIFES, Rijksuniversiteit Groningen, Nijenborgh 7, 9747 AG Groningen	050-3636137	j.stefels@rug.nl	www.rug.nl/research/institute-evolutionary-life-sciences
Tijm-Reijmer, Carleen	Ice and Climate, Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek, Universiteit Utrecht (UU/IMAU), Princetonplein 5, 3584 CC Utrecht	030-2533275 (secretariaat)	c.h.tijm-reijmer@uu.nl	Website: www.projects.science.uu.nl/iceclimate Facebook: www.facebook.com/uuimau Twitter: twitter.com/uuimau
Troelstra, Simon	Cluster Earth and Climate, Afdeling Aardwetenschappen, Faculteit Aard- en Levenswetenschappen, Vrije Universiteit, De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam	020-5987292	s.r.troelstra@vu.nl	www.falw.vu.nl/en/research/earth-sciences/earth-and-climate-cluster/staff/troelstra.asp
Vonk, Jorien	VU University Faculty of Earth and Life Sciences de Boelelaan 1085 1081 HV Amsterdam		j.e.vonk@vu.nl	www.uu.nl/staff/jevonk www.flickr.com/photos/poolvonk/sets
Wal, Roderik van de	Ice and Climate, Institute for Marine and Atmospheric Research, Utrecht University (UU/IMAU), Princetonplein 5, 3584 CC Utrecht	030-2533275 (secretariaat)	r.s.w.vandewal@uu.nl	Website: www.projects.science.uu.nl/iceclimate Facebook: www.facebook.com/uuimau Twitter: twitter.com/uuimau



Fotoverantwoording

Pagina	Fotograaf	Omschrijving
Omslag en pag. 5	Ronald J.W. Visser	Onderzoekers voor het front van de Kronebreen, Spitsbergen
8 en 9	Corina Brussaard	Ryder Bay, Antarctica
10 en 11	Gemma Kulk	Het internationale onderzoeksdorp Ny Ålesund Spitsbergen
12 t/m 18	Ronald J.W. Visser	IJsbeer op Spitsbergen
20 en 21	Ronald J.W. Visser	IJsbeer bij uitkijktoren van Nederlands fabrikaat
22 t/m 33	Annette J.M. Scheepstra	Pootafdrukken van een ijsbeer
34 en 35	Ronald J.W. Visser	Riviertje met ijzerafzetting, Reindalen, Spitsbergen
36 t/m 38	Simon R. Troelstra	Luchtfoto van Spitsbergen
40 t/m 49	Serg Zastavkin	Shutterstock.com
50 t/m 56	Dan Bach Kristensen.	Shutterstock.com
58 t/m 61	Wim Groeneweg	Pools marineschip ORP Arctowski
62 t/m 67	IODP Expedition 318 scientists and crew	Oost-Antarctische ijskap bij de Adelie coast
68 en 69	Corina Brussaard	Ryder Bay, Antarctica
70	IMAU	British Antarctic Survey Twin Otter op de Larsen C ijsplaat, Antarctisch Schiereiland
72 t/m 80	IMAU	Ecology Glacier met Louk Conrads, Marcel Portanger en Richard Bintanja
82 t/m 89	Jason Box	Smeltwatermoulin in West-Groenland
90 t/m 95	IMAU	Handmatig boren van ijs in West-Groenland
96 t/m 101	IMAU	Paul Smeets en Mark Eijkelboom op locatie S10 in West Groenland
102 en 103	Ronald J.W. Visser	Open pakijs, Groenland
104 t/m 106	Anita G.J. Buma	Ryder Bay, Antarctica
108 t/m 115	Anita G.J. Buma	Ryder Bay, Antarctica
116 t/m 131	Corina Brussard	Ryder Bay, Antarctica
132 t/m 139	Anthony Worby	De Polarstern vanuit de lucht tijdens de ISPOL expeditie
140 t/m 150	Jeroen Creuwels	Het eiland Ardery
152 en 153	Ronald J.W. Visser	Brandganzen nabij Ny Ålesund
154 t/m 158	Ad Huiskes	*Deschampsia antarctica* (Antarctische smele) op Galindez Island (Argentine Islands)
160 t/m 166	Ad Huiskes	Open Top Chambers op de Falkland Eilanden (Brenton Loch, Oost Falkland)
168 t/m 177	Incredible Arctic	Brandganzen met kuikens, Spitsbergen, Svalbard
178 t/m 181	Ronald J.W. Visser	Poolvegetatie, Spitsbergen
182 t/m 185	Ronald J.W. Visser	Geringde brandgans, Spitsbergen
186 en 187	Louwrens Hacquebord	Antarctica
188 t/m 193	Louwrens Hacquebord	Wervel van de Groenlandse walvis op Amsterdam Eiland



Pagina	Fotograaf	Omschrijving
194 t/m 203	Louwrens Hacquebord	Resten traanoven op Amsterdam Eiland, Spitsbergen
204 t/m 211	Vermoedelijk Noortje Nooter, collectie Museon/Rijksmuseum Volkenkunde	Massenti Akipe leert Gerti Nooter het gebruik van een mondboor
212 t/m 221	Louwrens Hacquebord	Toeristen op Antarctica
222 en 223	Frits Steenhuisen	Koningspinguïns
229	Wim van Passel	Frans Joseph Fjord, aan de oostkust van Groenland
Kleine foto's achterkant omslag		
	Wim Groeneweg	Geologisch onderzoek op King George Island
	Wim Rasing	Mike en Emil Imaruittuq houden theepauze tijdens de zeehondenjacht
	Anouk M.-T. Piquet	RUG onderzoekers in de Kongsfjord, Spitsbergen
	IMAU	Glaciologisch onderzoek nabij Arctowski, Antarctica
	Paul Wenzel Geissler	Maarten Loonen met brandgans, Spitsbergen
	Ad Huiskes	Melon hut op Leonie Island, Antarctica