Smeltende gletsjers in Oost-Afrika

Global warming als oorzaak?

Smeltende gletsjers in Oost-Afrika

Global warming als oorzaak?

Coco Smits

Milieu-Maatschappijwetenschappen

Faculteit der Managementwetenschappen

Radboud Universiteit Nijmegen

Juli 2010

Begeleider: Marcel Rutten

0607398

Voorwoord

Deze bachelorthesis vormt de afronding van de bacheloropleiding Milieu-Maatschappijwetenschappen. Sinds een aantal jaren zijn het milieu en het klimaat weer belangrijke onderwerpen op de politieke - en wetenschappelijke agenda. Mijn interesse ligt al van jongs af aan bij het water: de zee, zwemmen, zeilen, meren, rivieren en wolken, het interesseert me allemaal! Ook binnen mijn studie heb ik gemerkt dat mijn voorkeur bij het water ligt. Het onderwerp van mijn bachelorthesis past dan ook goed binnen deze context: het behandelt een vraagstuk rondom zoetwatervoorziening waarbij neerslag een cruciale factor is. Het is een actueel onderwerp, waarbij nog veel te ontdekken is en waar ik bij aanvang nog niet het fijne van wist.

Dit voorwoord wil ik tevens gebruiken om aan een aantal mensen mijn dank te betuigen. Allereerst wil ik Dr. Marcel Rutten bedanken voor zijn begeleiding en altijd motiverende besprekingen. Ook wil ik Dr. Thomas Mölg van de University of Innsbruck bedanken voor zijn snelle en heldere reactie op mijn vragen. Tevens wil ik Prof. Dr. Lonnie Thompson bedanken voor zijn antwoorden op mijn vragen. Daarnaast wil ik mijn vriend Drs. Thijs Eijsvogels bedanken voor zijn steun (ook met betrekking tot Excel) tijdens deze periode. Ten slotte wil ik mijn familie en vrienden bedanken voor hun niet aflatende steun en interesse.

Coco Smits

Nijmegen, juli 2010

Samenvatting

De laatste jaren staat global warming hoog op de politieke, wetenschappelijke en publieke agenda. Veranderingen in het klimaat worden op veel locaties in de wereld waargenomen en hebben lang niet altijd een positieve impact. Veel gevolgen van klimaatverandering pakken negatief uit voor de plaatselijke bevolking, veelal in de vorm van droogte, schaarste of juist een overvloed aan bijvoorbeeld water. Centraal in de discussie over klimaatverandering en global warming staan de wereldwijd terugtrekkende gletsjers. Gletsjers zijn speciale indicatoren van het klimaat omdat hun omvang exact te vangen is in formules en er geen onbekende variabelen zijn die dit proces beïnvloeden. Gletsjers reageren bovendien relatief snel op klimaatveranderingen en zij bevatten waardevolle informatie over het klimaat van het verleden. Een andere belangrijke functie van gletsjers is hun functie als zoetwaterbuffer. In de winter groeit de buffer en in de zomer zorgt zij voor voldoende water in de rivieren. Een combinatie van deze eigenschappen maakt gletsjers zo belangrijk in de discussie over klimaatverandering.

De oorzaak van de terugtrekkende gletsjers wordt echter bediscussieerd. Voorstanders van de theorie over global warming zijn van mening dat een wereldwijde temperatuurstijging, veroorzaakt door de mens, de oorzaak is van het smelten. Klimaatskeptici zijn ofwel van mening dat het klimaat helemaal niet verandert, ofwel dat de veranderingen niet door de mens veroorzaakt zijn maar door natuurlijke fenomenen. Zij bestrijden de grafieken van onder andere het Intergouvernmental Panel on Climate Change (IPCC) met hun eigen grafieken en onderzoek dat uitwijst dat de temperaturen al jaren niet meer stijgen. Klimaatskeptici proberen tevens voorbeelden die door de andere partij ter illustratie van global warming worden gegeven, onderuit te halen.

Eén van de beroemdste voorbeelden die door voorstanders van klimaatverandering ter illustratie van de global warming theorie wordt aangehaald, maar die door klimaatskeptici juist uitgelicht wordt als voorbeeld van het falen van de global warming theorie, zijn de terugtrekkende gletsjers op de Kilimanjaro (Tanzania). Deze gletsjers zijn gelegen in de tropen op de hoogste berg van Afrika (5892 meter) en trekken zich al sinds het einde van de 19^{e} eeuw terug. In Oost-Afrika liggen nog twee andere gebergtes met gletsjers namelijk Mount Kenya (Kenia) en het Rwenzori gebergte (Democratische republiek Congo, Uganda) en ook deze gletsjers trekken zich terug. De discussie focust zich echter vooral op de terugtrekkende gletsjers op de Kilimanjaro. Van de gletsjers op de andere twee locaties is men er over eens dat deze smelten door een temperatuurstijging.

Al Gore presenteert in zijn film *An inconvenient truth* de terugtrekking van de gletsjers op de Kilimanjaro als een direct gevolg van global warming, terwijl daar in de wetenschap nog geen concensus over bestaat. De wetenschappelijke discussie over deze gletsjers is namelijk verdeeld in

twee partijen: de Amerikanen onder leiding van L. Thompson en de Oostenrijkers onder leiding van G. Kaser. De Amerikanen zijn van mening dat de gletsjers op de Kilimanjaro smelten door een temperatuurstijging en dus als direct gevolg van global warming. De Oostenrijkers steunen het IPCC en de theorie over global warming, maar zijn er van overtuigd dat de terugtrekkende gletsjers op de Kilimanjaro een uitzondering zijn op die theorie en dat er in dit geval een andere oorzaak is. Volgens hun visie trekken de gletsjers zich terug door een verdroging van het Oost-Afrikaanse klimaat aan het einde van de 19^{e} eeuw waardoor er in de 20^{e} eeuw minder neerslag viel, minder bewolking aanwezig was en er meer zonnestraling het ijsoppervlak kon bereiken. Daarnaast is de lucht op bijna 6000 meter zo droog dat het ijs direct omgezet wordt in waterdamp met behulp van de energie die door zonnestraling wordt aangevoerd. Deze argumenten zijn niet alleen gebaseerd op bewijsmateriaal van de laatste 10 jaar, maar stammen al uit het begin van de 20^{e} eeuw.

De verdroging van het Oost-Afrikaanse klimaat aan het einde van de 19^{e} eeuw is niet alleen vastgesteld door waarnemingen op de gletsjers, maar ook aan de hand van waterstanden van meren in de regio. De afgenomen neerslaghoeveelheden worden gewijd aan veranderingen in de oppervlaktetemperatuur van de Indische Oceaan (IOZM) en de activiteit van de El Niño Southern Oscillation (ENSO). Het eerste fenomeen heeft vooral betrekking op de frequentie en duur van extreme regenval tijdens het korte regenseizoen in oktober, november en december. Als het een positieve IOZM is dan valt er gedurende die periode meer regen dan normaal. Tijdens de 20^{e} eeuw is het aantal positieve IOZM gebeurtenissen sterk gedaald ten opzichte van de 19^{e} eeuw, dat zou een oorzaak kunnen zijn van de verdroging van het klimaat. De ENSO heeft meer invloed op het lange regenseizoen in maart, april en mei.

Voor de toekomst voorspelt het IPCC weer een vernatting van het Oost-Afrikaanse klimaat. Zij verwachten dat er door global warming meer neerslag zal vallen in deze regio. De afgelopen jaren is voor de laaglanden die de Kilimanjaro omringen al een lichte stijging in neerslaghoeveelheden waargenomen. Het hoogteverschil tussen de laaglanden en de top van de berg waar de gletsjers zich bevinden is echter zo groot dat niet automatisch verwacht mag worden dat boven op de berg ook meer neerslag zal gaan vallen. Dit onderzoek omvat ook een analyse van de waterstanden van riviertjes die hun oorsprong hebben aan de voet van de Kilimanjaro. Smeltwater dat van de gletsjers afkomt, draagt vrijwel niets bij aan deze waterstanden maar de riviertjes zijn net als de gletsjers afhankelijk van neerslag. De analyse wijst uit dat wanneer er een uitzonderlijk piek in de waterstanden van de riviertjes waargenomen is, dat ook boven op de berg een uitschieter in de hoeveelheid neerslag geregistreerd is. De patronen van neerslag komen aan de voet van de berg en op de top van de berg dus overeen. Als de voorspelling van het IPCC uitkomt en het klimaat in Oost-Afrika inderdaad natter wordt, zou dit een positief effect op de gletsjers van de Kilimanjaro kunnen hebben. Meer neerslag betekent namelijk meer netto winst voor omvang van de gletsjers.

Inhoudsopgave

1. Inleiding

1.1. Projectkader..... 1

1.2. Doelstelling..... 5

1.3. Vraagstelling..... 7

2. Theoretisch kader

2.1. Schaarste..... 9

2.2. Global warming..... 10

2.3. Conceptueel model..... 12

3. Methodologie

3.1. Onderzoeksstrategieën..... 13

3.2. Onderzoeksmateriaal..... 14

4. De smeltende gletsjers

4.1. Oorzaken van de smeltende gletsjers..... 16

4.2. Gevolgen van de smeltende gletsjers..... 20

4.3. Standpunten in de discussie rondom smeltende gletsjers..... 23

5. Gletsjers in Oost-Afrika

5.1. Tropische gletsjers en hun werking..... 26

5.2. De drie gebegtes..... 27

5.3. Global warming versus weerpatronen..... 33

5.4. Neerslag aan de voet en op de top van de Kilimanjaro..... 36

6. Conclusie..... 46

Literatuurlijst

Bijlage 1 E-mail correspondentie met Dr. T. Mölg, Innsbruck University

Bijlage 2 E-mail correspondentie met Prof. Dr. L. Thompson, Ohio State University

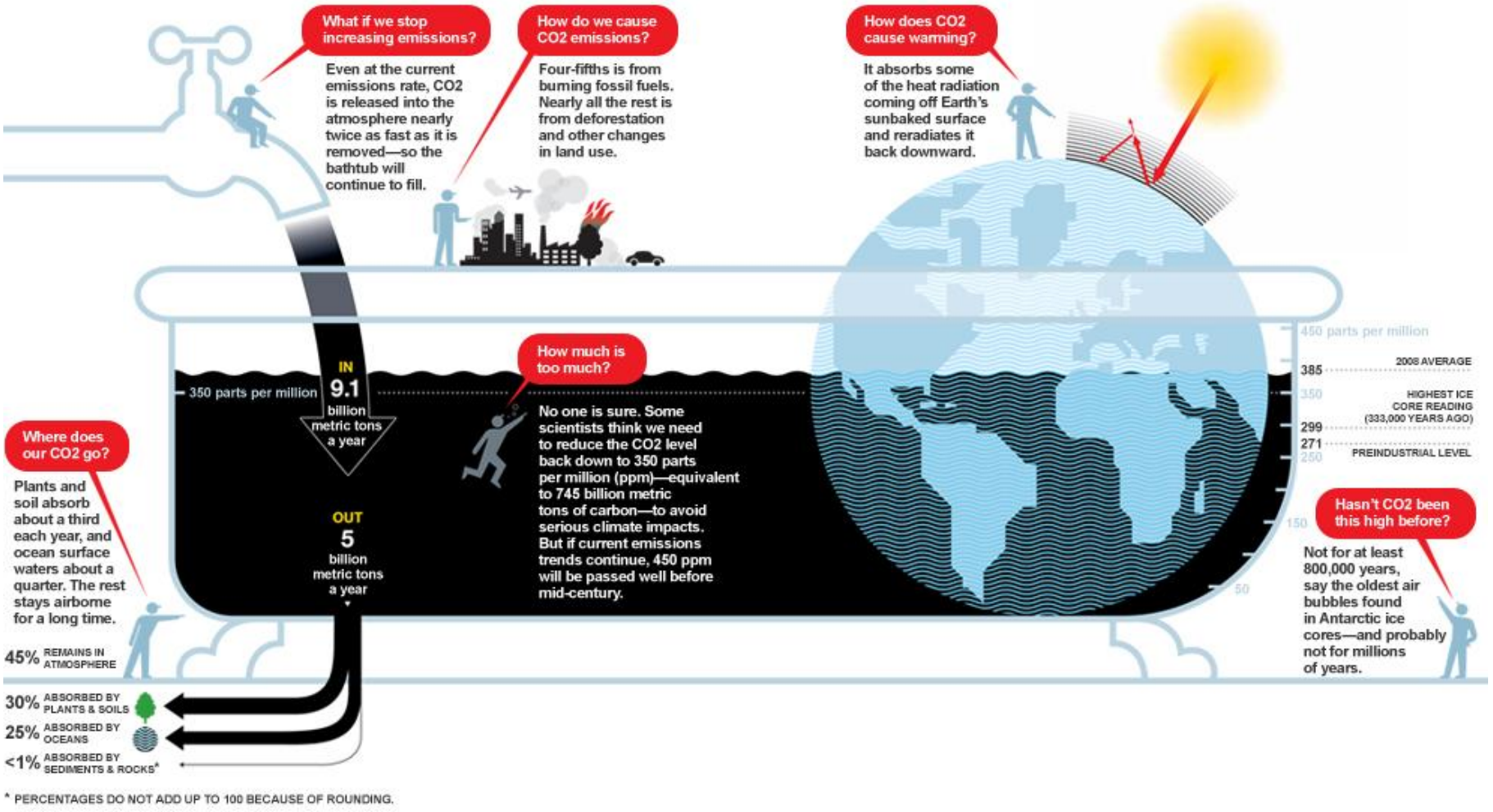
1. Inleiding

Klimaatverandering staat de laatste jaren hoog op de wetenschappelijke, politieke en publieke agenda. Een belangrijk onderwerp binnen de discussie over klimaatverandering zijn de wereldwijd smeltende gletsjers. Hoewel op veel plekken in de wereld de afgelopen decennia een terugtrekking van gletsjers is waargenomen, groeien de gletsjers op sommige andere plaatsen. In grote delen van de wereld zijn gletsjers onontbeerlijk voor de zoetwatervoorziening en vormt het smelten een ernstige bedreiging. Naast de functie als zoetwaterbuffer hebben gletsjers soms ook een toeristische en/of religieuze functie. Het smelten van deze ijsmassa's kan dus op meerdere terreinen grote gevolgen hebben. De oorzaak van het smelten is omstreden. Meestal wordt global warming als de belangrijkste oorzaak aangehaald, maar er zijn ook klimaatskeptici die het hier niet mee eens zijn. De verschillende standpunten in deze discussie zullen in dit onderzoek uiteengezet worden, waarbij de gletsjers in Oost-Afrika als casus worden genomen.

In dit inleidende hoofdstuk zal eerst een projectkader worden geschetst, waarin uiteengezet wordt binnen welke omstandigheden deze discussie zich afspeelt. Daarna volgt de doelstelling van het onderzoek en wordt de maatschappelijke- en wetenschappelijke relevantie besproken. In de derde en laatste paragraaf komt de vraagstelling aan bod.

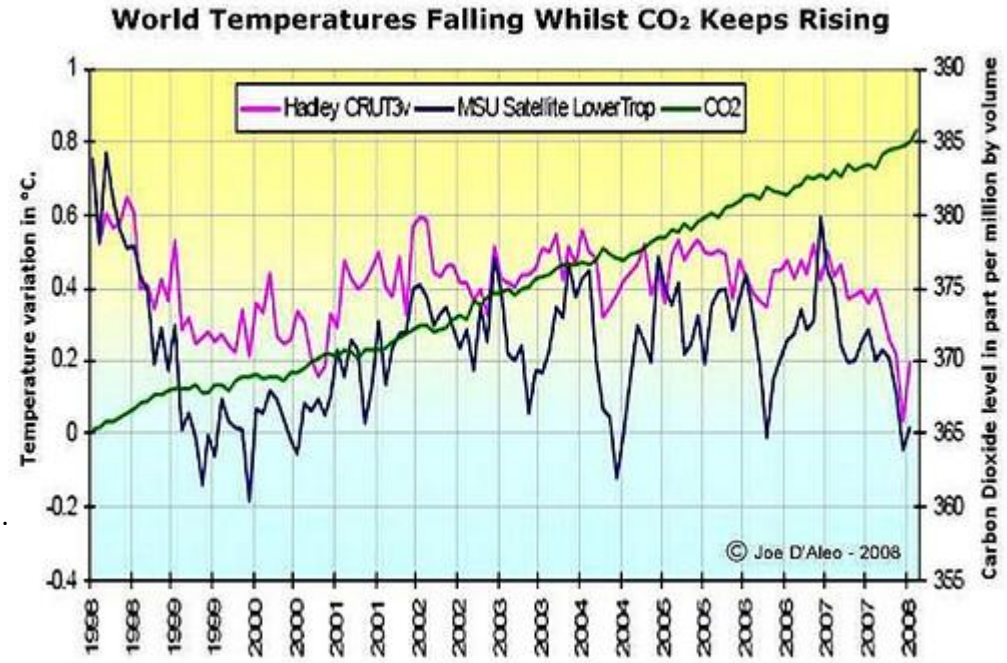
1.1. Projectkader

Globalisering heeft ervoor gezorgd dat verschillende landen over de hele wereld de afgelopen eeuw steeds meer geïntegreerd zijn (Nissanke & Thorbecke, 2005). Niet alleen op economisch gebied, maar ook op gebied van het klimaat ontstaat het besef dat landen van elkaar afhankelijk zijn en dat het noodzakelijk is overleg te voeren. Wereldwijde klimaatveranderingen spelen hierbij een rol omdat zij de bestaande situatie van bijvoorbeeld waterschaarste accentueren en verergeren (Bencala & Dabelko, 2008). Zoals eerder genoemd staat klimaatverandering staat sinds een aantal jaar hoog op de wetenschappelijke, politieke en publieke agenda. Skeptici zijn van mening dat dit natuurlijke veranderingen zijn die horen bij een natuurlijk fenomeen, maar de meeste wetenschappers zijn het erover eens dat de veranderingen die op dit moment worden waargenomen te wijten zijn aan menselijk handelen. De theorie die door de laatste groep wetenschappers wordt aangehangen, schrijft een temperatuurstijging op aarde grotendeels toe aan een verhoogde uitstoot van broeikasgassen door menselijke activiteiten naar de atmosfeer, die ervoor zorgt dat de aarde meer warmte vasthoudt. Ook binnen de groep wetenschappers die gelooft in global warming, wordt er gediscussieerd over hoeveel de temperatuur zal stijgen en wat voor gevolgen dat precies heeft.



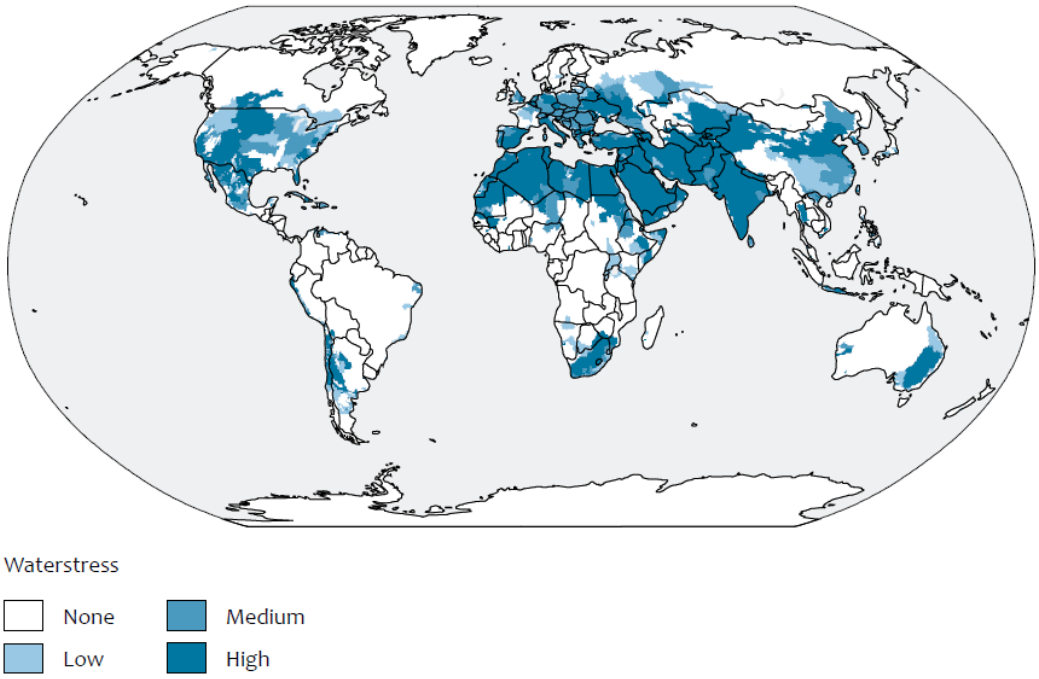
Figuur 1 Global Warming gevisualiseerd (Bron: Sterman & Archer, 2009)

Klimaatskeptici echter betwijfelen dat de aarde aan het opwarmen is en brengen grafieken naar buiten die laten zien dat de aarde helemaal niet opwarmt, maar juist weer aan het afkoelen is. Sommige klimaatskeptici trekken niet zozeer de opwarming van de aarde in twijfel, maar hebben een andere mening over de oorzaken van de opwarming. Zij vinden dat het niet aan de mens te wijten is, maar dat het een natuurlijke fluctuatie is waar we mee te maken hebben (Kerr, 2007, p.755).



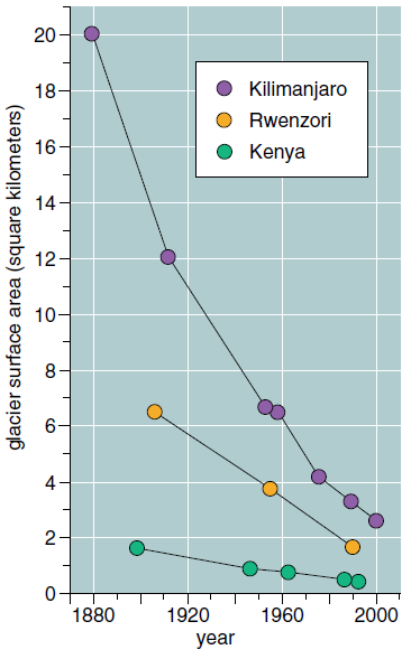
Figuur 2 (Bron: Joseph D'Aleo, www.icecap.us)

Een belangrijk onderwerp binnen de discussie over klimaatveranderingen zijn de wereldwijd smeltende gletsjers (Mote & Kaser, 2007). Gletsjers komen overal ter wereld voor en zijn vaak belangrijk voor de plaatselijke watervoorziening (IPCC, 2007b). Bevolkingsgroepen en ecosystemen zijn er afhankelijk van, maar de oorzaken en gevolgen van het feit dat ze smelten staan nog ter discussie. Wat betreft de oorzaken wordt global warming vaak genoemd, maar lokale/regionale verschijnselen worden ook aangehaald. En zal de terugtrekking voornamelijk zorgen voor verdroging van het afhankelijke achterland of zijn er ook economische gevolgen voor de toeristische sector die de gletsjers in sommige gevallen exploiteerd? Hoe dan ook zijn dit belangrijke vragen die opgelost moeten worden, zeker in een tijdperk waar waterschaarste een belangrijk probleem is en wordt.



Figuur 3 Waterstress (Bron: Kronenburg & van der Vlist, 2010)

In Afrika, waar waterschaarste op sommige plekken nu al een groot probleem vormt, liggen rond de evenaar gletsjers op de bergen Kilimanjaro, Mount Kenia en Rwenzori. Het voortbestaan van deze historische ijsmassa's wordt echter ernstig bedreigd en er wordt verwacht dat ze binnen 10 tot 20 jaar verdwenen zullen zijn. De gletsjers op de Kilimanjaro hadden rond 1912 nog een grootte van 12,1 vierkante kilometer en in 2003 was dat nog maar 2,5 km2 (Cullen, Mölg, Kaser, Hussein, Steffen & Hardy, 2006). De gletsjers die in Afrika voorkomen vallen onder de categorie tropische gletsjers. Deze gletsjers bevinden zich in een zone op de wereld waar temperaturen niet veel verschillen door het jaar heen, maar dit maakt hen extra gevoelig voor luchtvochtigheid en neerslag. Daarmee samenhangend zijn zij extra gevoelig voor zonnestraling en de reflectie daarvan op het ijsoppervlak (Mölg, Hardy, Cullen & Kaser, 2008). De regio waar deze gletsjers zich in bevinden, wordt door klimaatmodellen als een gebied aangewezen dat in de toekomst meer neerslag gaat ontvangen (IPCC, 2007b). Maar uit onderzoeken die boven op de gletsjer van de Kilimanjaro worden gedaan blijkt juist dat de neerslaghoeveelheden terug aan het lopen zijn. Over de oorzaken en gevolgen van de terugtrekking van deze gletsjers is men het nog niet eens. Er zijn wetenschappers die claimen dat global warming de boosdoener is, net zoals bij het smelten van de gletsjers in de rest van de wereld. Maar er zijn ook



Figuur 4 Gletsjeromvang Oost-Afrikaanse gletsjers (Bron: Mote & Kaser, 2007)

wetenschappers die ervoor pleiten dat het eerder lokale/regionale verschijnselen zijn die de terugtrekking van de ijskappen veroorzaakt.

In de media wordt het beeld gevormd dat het smelten van alle gletsjers ter wereld door global warming komt en er wordt daarbij weinig aandacht besteed aan regionale verschillen of andere oorzaken die hierop van invloed zouden kunnen zijn. Op de website van de toonaangevende milieuorganisatie World Wildflife Fund (WWF: http://www.panda.org/about_our_earth/aboutcc/problems/impacts/glaciers/, 9 maart 2010) wordt geen woord gespendeerd aan eventuele andere oorzaken dan global warming. En ook in diverse krantenartikelen heeft men het alleen over global warming als oorzaak van de smeltende Afrikaanse gletsjers: “De beroemde Kilimanjaro verliest zijn eeuwig witte top. De laatste ijsvelden verdwijnen in steeds hoger tempo. Het broeikaseffect is de logische verklaring” (Knip, 2009) en “There is strong evidence from a variety of sources of significant melting of glaciers - from the area around Kilimanjaro in Africa to the Alps, the Andes, and the icefields of Antarctica because of a warming climate.” (Goldenberg, 2010). Bovendien neemt Al Gore in zijn film ‘An Inconvenient Truth’ de gletsjers op de Kilimanjaro als voorbeeld voor de impact van global warming. Klimaatskeptici kunnen door deze generalisering van oorzaken gemakkelijker hun argumenten kracht bijzetten als blijkt dat er in bepaalde situaties geen sprake blijkt te zijn van directe invloed door global warming. Dat terwijl de wetenschappers die aantonen dat in die specifieke situatie de opwarming van de aarde niet (alleen) de oorzaak is, zelf het fenomeen global warming niet in twijfel trekken maar slechts nuanceren.

1.2. Doelstelling

Zoals uit het projectkader duidelijk wordt, bestaat er een discussie rondom de oorzaken en gevolgen van de smeltende gletsjers over de hele wereld en meer specifiek die in Oost-Afrika. Deze discussie wordt grotendeels in wetenschappelijke artikelen gevoerd, maar in publieke bronnen wordt het probleem veelal afgedaan als een gevolg van global warming. Daarbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen verschillende geografische locaties in de wereld. Het is van belang dat de discussie helder op papier gezet wordt zodat meer mensen er bewust van worden dat global warming misschien niet voor alle veranderingen een passend antwoord is. Wat dan wel een passend antwoord is, verschilt van casus tot casus. In dit onderzoek zullen de terugtrekkende gletsjers in Oost-Afrika nader bestudeerd worden. Zoals in het projectkader genoemd, is temperatuur op dit moment voor tropische gletsjers niet een factor waar zij extreem gevoelig voor zijn. Voor hen geldt dat zij gevoeliger zijn voor veranderingen in luchtvochtigheid en neerslag. De neerslaghoeveelheden op de gletsjer zelf worden minder, terwijl de neerslag onder aan de berg meer wordt. Dat laatste wordt nog niet betrokken in het huidige onderzoek naar de smeltende gletsjers in Oost-Afrika en kan van belang

zijn om deze casus een plek te geven in de discussie rondom global warming. Hieruit voortkomend kunnen twee doelstellingen voor dit onderzoek geformuleerd worden:

1. *Een bijdrage leveren aan de discussie rondom de smeltende gletsjers en hun invloed op de lokale watervoorziening, daarbij specifiek ingaand op de casus in Oost-Afrika, door het analyseren en structureren van de verschillende standpunten t.a.v. deze kwestie.*

2. *Een bijdrage leveren aan het onderzoek naar de smeltende gletsjers in Oost-Afrika, door het verzamelen en bestuderen van neerslagdata.*

Ik heb voor twee doelstellingen gekozen omdat ik daarmee een duidelijk onderscheid maak tussen het theorie- en het praktijkgerichte deel in mijn onderzoek. Met doelstelling 1. zal ik voornamelijk theoriegericht bezig zijn en dit zal nuttig zijn voor degenen die snel een volledig overzicht willen hebben van de huidige stand van zaken in de discussie rondom de smeltende gletsjers en hoe de casus van Oost-Afrika daarbinnen een plaats krijgt. Doelstelling 2. zal met name praktijkgericht onderzoek zijn, dat een bijdrage kan leveren aan het daadwerkelijk begrijpen van het terugtrekkingsproces dat de gletsjers op dit moment meemaken. Dit deel van het onderzoek zal voornamelijk van belang zijn voor de wetenschappers die daar mee bezig zijn, maar ook voor de lokale bestuurders die de uitkomsten van het onderzoek wellicht kunnen gebruiken in het ontwikkelen van hun beleid. Naar mijn inzicht voldoen beide doelstellingen aan de criteria ‘nuttigheid, haalbaarheid, eenduidigheid en informatiegehalte’ van Verschuren en Doorewaard omdat ze zowel een nuttige bijdrage leveren aan het structureren van mijn onderzoek, als ook nuttig zijn in de huidge wetenschappelijke en maatschappelijke discussie. Daarnaast bevatten de doelstellingen de juiste hoeveelheid informatie zodat zij het onderzoek zodanig inperken dat het een haalbaar en eenduidig onderzoek wordt.

Maatschappelijke relevantie

Het is belangrijk dat er onderzoek verricht wordt naar de oorzaken en gevolgen van de smeltende gletsjers in Oost-Afrika aangezien er in dit gebied veel mensen wonen die direct of indirect afhankelijk zijn van deze ijskappen. Daarnaast kent het gebied een unieke ecologie waar het ook gevolgen voor zal hebben. Overal in de wereld trekken gletsjers zich terug, maar naar alle waarschijnlijkheid zijn die in Afrika als een van de eerste helemaal verdwenen. Omdat er in de hele wereld zoveel mensen afhankelijk zijn van het water en alle andere activiteiten rondom de gletsjers heen, is het van belang om zoveel mogelijk te weten te komen welke invloed gletsjers op hun leefomgeving hebben en welke invloed de leefomgeving heeft op hen. Bovendien kan met de

informatie over de ijskappen in Oost-Afrika wellicht meer inzicht verkregen worden over hoe andere gletsjers smelten en de gevolgen daarvan. Zowel voor de lokale bewoners en bestuurders als voor de internationale gemeenschap is het smelten van de gletsjers een belangrijke gebeurtenis, dus een onderzoek dat bijdraagt aan het inzicht verkrijgen in dit proces is absoluut maatschappelijk relevant te noemen.

Wetenschappelijke relevantie

Op dit moment bestaat er in de wetenschap nog geen overeenstemming over de precieze oorzaken en gevolgen van de smeltende gletsjers in Oost-Afrika. De discussie hierover is al een aantal jaren in volle gang en is verspreid over verschillende artikelen in verschillende wetenschappelijke tijdschriften. Er ontbreekt tot nu toe een gestructureerde en overzichtelijke uiteenzetting van de verschillende standpunten en hun onderbouwingen in één enkele tekst, waardoor mijn doelstelling dus wetenschappelijk relevant is. Daarnaast is er nog weinig bekend over luchtstroming rondom de Kilimanjaro. Die luchtstromen zijn van invloed op de hoeveelheid neerslag die er bovenop of aan de voet van de berg valt. In de toekomst zal er in de laaglanden rondom de berg meer neerslag gaan vallen, als dat ook geldt voor de top van de berg kan dit positieve invloed hebben op de omvang van de gletsjers op de Kilimanjaro. Met de analyse van neerslaggegevens aan de voet van de berg en de vergelijking hiervan met gegevens van de top van de berg, probeer ik een bijdrage te leveren die helpt dit wetenschappelijke gat te dichten.

1.3. Vraagstelling

In deze paragraaf worden de centrale vragen gepresenteerd en zullen zij aangevuld worden met enkele ondersteunende vragen. De centrale vragen komen voort uit de hierboven genoemde doelstellingen van het onderzoek en zij luiden als volgt:

1. *Welke standpunten bestaan er t.a.v. de oorzaken en gevolgen van het smelten van gletsjers wereldwijd en welke standpunten bestaan er over de Oost-Afrikaanse gletsjers en hoe kunnen deze standpunten tegen elkaar weggezet worden?*

2. *In hoeverre houden de veranderingen in lokale neerslagpatronen verband met de waargenomen terugtrekking van de gletsjers in Oost-Afrika sinds het midden van de vorige eeuw?En hoe past dit binnen de verwachtingen over klimaatverandering?*

Om het onderzoek te structureren en goed te laten verlopen horen er bij ieder van de bovenstaande centrale vragen ook enkele ondersteunende deelvragen. De ondersteunende vragen bij de eerste centrale vraag zijn:

- Welke standpunten zijn er t.a.v. de oorzaken van de smeltende gletsjers wereldwijd en waarin verschillen zij van elkaar?
- Welke standpunten zijn er t.a.v. de oorzaken van de smeltende gletsjers in Oost-Afrika en waarin verschillen zij van elkaar?
- Welke standpunten zijn er t.a.v. de gevolgen van de smeltende gletsjers wereldwijd en waarin verschillen zij van elkaar?
- Welke standpunten zijn er t.a.v. de gevolgen van de smeltende gletsjers in Oost-Afrika en waarin verschillen zij van elkaar?
- Hoe passen de standpunten over de smeltende gletsjers in Oost-Afrika binnen de algemene discussie rondom global warming?

De ondersteunende vragen bij de tweede centrale vraag zijn:

- Hoe verliep het neerslagpatroon sinds het midden van de vorige eeuw in de directe omgeving van de gletsjers in Oost-Afrika?
- Hoe verliep de terugtrekking van de gletsjers in Oost-Afrika sinds het midden van de vorige eeuw?
- In welke mate kunnen het neerslagpatroon en de terugtrekking van de Oost-Afrikaanse gletsjers met elkaar in verband worden gebracht?

2. Theoretisch kader

De theorieën over schaarste en global warming vormden de centrale concepten in mijn onderzoek. Al in de 18e eeuw werd er over schaarste geschreven door Malthus. In zijn theorie staat centraal dat meer welvaart leidt tot een hogere bevolkingsgroei en dat zal volgens hem leiden tot de uitputting van grondstoffen. Neo-Malthusianen voegen daar tegenwoordig het gebruik van technologie aan toe waardoor het moment van uitputting uitgesteld wordt. Een andere belangrijke theorie in mijn onderzoek is die over global warming. Er zijn meerdere theorieën over de opwarming van de aarde, maar in eerste instantie ga ik uit van de theorie die het IPCC hanteert. Over de gevolgen van global warming bestaat nog geen concensus, maar volgens deze theorie zullen er veranderingen optreden waardoor hulpbronnen in bepaalde gebieden van de wereld schaarser kunnen worden.

In paragraaf 1 en 2 worden respectievelijk de theorieën over schaarste en global warming uiteengezet. In paragraaf 3 komt het conceptueel model aan bod, dat visualiseert hoe beide theorieën met elkaar en met het onderwerp van het onderzoek samenhangen.

2.1. Schaarste

Schaarste is een veel besproken onderwerp. Een bekende 18e eeuwse theorie die de schaarste van natuurlijke hulpbronnen probeert te verklaren is die van Malthus. Zijn theorie is nogal pessimistisch van aard en ziet de wereld eindigen in misère. In de theorie van Malthus is bevolkingsgroei de oorzaak van alle ellende. Hij was er van overtuigd dat een toenemende welvaart leidt tot een hogere bevolkingsgroei doordat mensen op latere leeftijd pas sterven, hun vruchtbaarheid toeneemt of er meer migratie plaatsvindt (Bavel, 2004, p. 7). Een combinatie van deze factoren leidt tot een steeds maar toenemende bevolkingsgroei die op zijn beurt ertoe zal leiden dat de natuurlijke hulpbronnen in dat gebied overexploiteerd gaan worden en dat er uitgeweken zal worden naar slechtere gronden die minder opleveren. De opbrengst extra opbrengst die hierdoor zal worden gewonnen, is onvoldoende om de toegenomen bevolking te voorzien en zo valt welvaartsstijging weg tegen de toegenomen problemen. Het systeem kan weer in evenwicht komen door de bevolkingsgroei in te perken. Als dat niet gebeurt, zal het zichzelf uiteindelijk weer in evenwicht brengen doordat het sterftecijfer omhoog schiet als gevolg van ziekte, oorlog en schaarste (Bavel, 2004, p. 7).

Het neo-malthusianisme houdt vast aan de bovengenoemde theorie, maar houdt daarnaast rekening met de ontwikkeling van technologie (Bavel, 2004, p. 8). Door technologische innovatie kan er namelijk meer uit de hulpbronnen worden gehaald dan voorheen gedacht. Hierdoor gaan de

opbrengsten per eenheid omhoog waardoor de voorspelde schaarste pas later optreedt. Maar ook bij deze theorie is men ervan overtuigd dat ook met de ontwikkeling van nieuwe technologieën de wereld op lange termijn ten onder zal gaan aan ziekte, oorlog en schaarste. In het algemeen is men het er over eens dat de bevolking op aarde niet onbeperkt kan groeien, maar de discussies ontstaan over waar de limiet dan ligt en in hoeverre technologie die limiet steeds een beetje kan oprekken.

Een belangrijk rapport waarvan het gedachtegoed in lijn ligt met de theorie van Malthus is 'Grenzen aan de groei' van de Club van Rome uit 1972. In dit rapport worden de doemscenario's voor de aarde beschreven en wordt voorspeld dat de wereldwijde industrie in 2015 instort door uitputting van de natuurlijke hulpbronnen (de Beer, 2007, p. 12). Deze uitputting is het gevolg van de voortgaande industrialisering en groei van de wereldbevolking. Daarbij wordt rekening gehouden met de capaciteiten van de natuur om de verhoogde druk op te vangen (van de Ven, 2003, p. 2). Dit rapport heeft ervoor gezorgd dat ook het grote publiek doorkreeg dat de wereld niet ongelimiteerd gebruikt kon worden maar dat er grenzen zijn. Dit statement werd extra kracht bijgezet door de oliecrisis een jaar later.

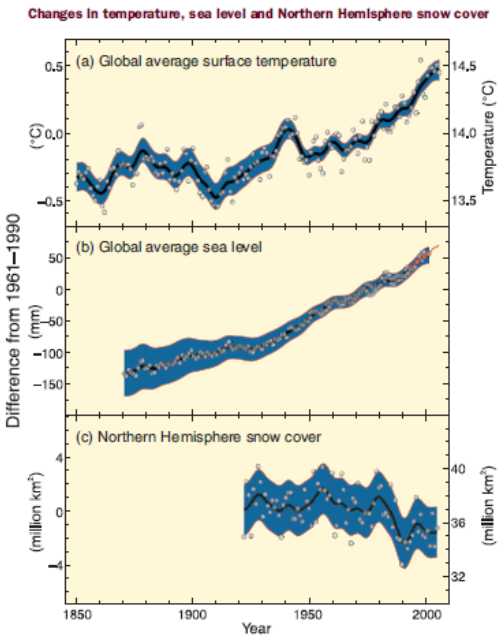
Sinds 1972 zijn er vele nieuwe bronnen en technoligieën ontdekt en is de bevolking en welvaart in de wereld verder toegenomen. Dat de industrie in 2015 in zal storten, zoals in 1972 voorspeld werd, lijkt onwaarschijnlijk. Toch is schaarste ook vandaag de dag nog een belangrijk onderwerp waar veel onderzoek naar wordt gedaan. De politieke verhoudingen in de wereld veranderen en landen zijn meer afhankelijk van elkaar geworden door globalisering. Daarnaast is er niet alleen sprake van absolute schaarste, maar is het vaak ook een kwestie over de toegankelijkheid van hulpbronnen (Kronenburg & van der Vlist, 2010, p. 13). Een definitie van schaarste wordt gegeven in het rapport van Kronenburg & van der Vlist (2010, p. 17): "Scarcity means not only an observed shortage of natural resources, but also a perceived dependency on natural resources and fear of their global depletion. There are concerns about the future availability, accessibility, utility value and distribution of resources". Schaarste kan op veel verschillende terreinen optreden. Mijn onderzoek zal het meest gerelateerd zijn aan de waterschaarste. Het watertekort in de wereld zal verder toenemen en het smelten van gletsjers zal hier op de lange termijn aan bijdragen. Op de korte termijn zal het smelten van deze watervoorraden juist bijdragen aan een toenemende beschikbaarheid van water (Kronenburg & van der Vlist, 2010, p. 23).

2.2. Global warming

Het klimaat verandert en de aarde wordt warmer. Volgens het IPCC wordt er onder het begrip klimaatverandering verstaan "a change of state of the climate that can be identified by changes in the mean and/or the variability of its properties, and that persists for an extended period, typically

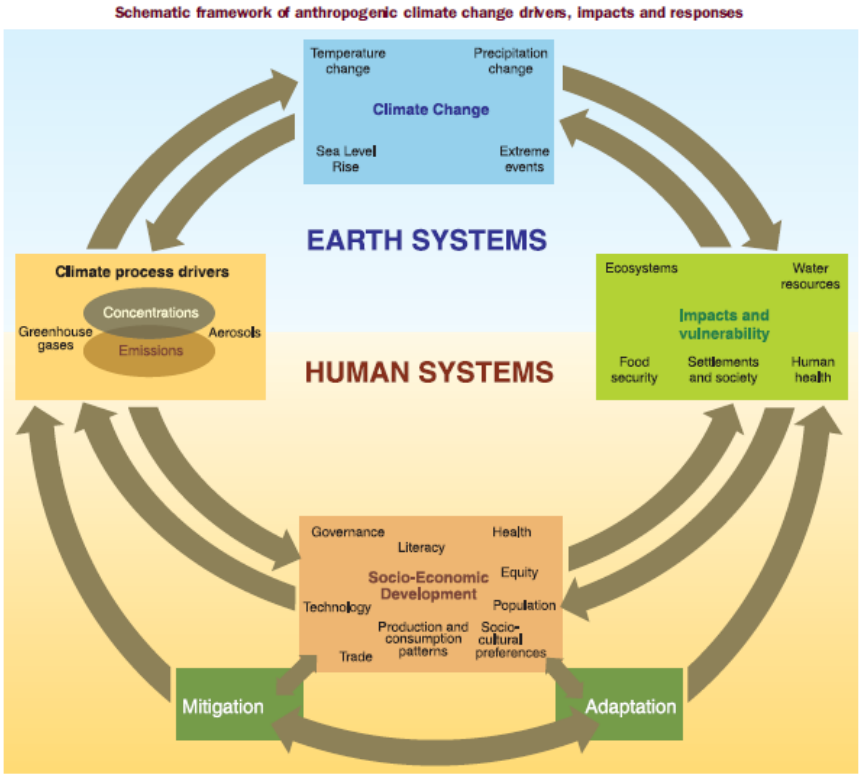
decades or longer. It refers to any change in climate over time, whether due to natural variability or as a result of human activity." (IPCC, 2007a, p. 30). Global warming is onderdeel van dit begrip.

Een veelgebruikte metafoor voor het proces dat de klimaatveranderingen veroorzaakt, is die van een broeikas. De zon straalt energie naar de aarde en door de atmosfeer rondom onze wereldbol wordt deze warmte (deels) vastgehouden. Dat de atmosfeer deze warmte kan vasthouden komt doordat er broeikasgassen in de lucht zitten en deze maar langzaam daaruit verdwijnen. De toename van broeikasgassen in de atmosfeer heeft als gevolg dat de capaciteit van de aarde om die warmte vast te houden toeneemt, waardoor het aardoppervlak steeds verder opwarmt (IPCC, 2001).



Figuur 5 Temperatuur, zeespiegel en sneeuwbedekking van 1850 – 2000 (Bron: IPCC, 2007)

De afgelopen honderd jaar is de gemiddelde temperatuur van de lucht en oceanen op aarde gestegen, zoals te zien in op de figuur hiernaast. Samen met de temperatuurstijging komt ook de verhoging van de zeespiegel en vaak ook het smelten van gletsjers en ijskappen (IPCC, 2007a, p. 30) hoewel men daar met betrekking tot Afrika het niet over eens is, zoals we later zullen zien in dit onderzoek. De emissie van broeikasgassen en in het bijzonder koolstofdioxide (CO2) wordt als hoofdoorzaak voor de temperatuursteiging gezien. De wereldwijde emissie van broeikasgassen door de mens is tussen 1970 en 2004 met 70% toegenomen (IPCC, 2007a, p. 36). Daarnaast kunnen veranderingen in begroeiing en zonnestraling als



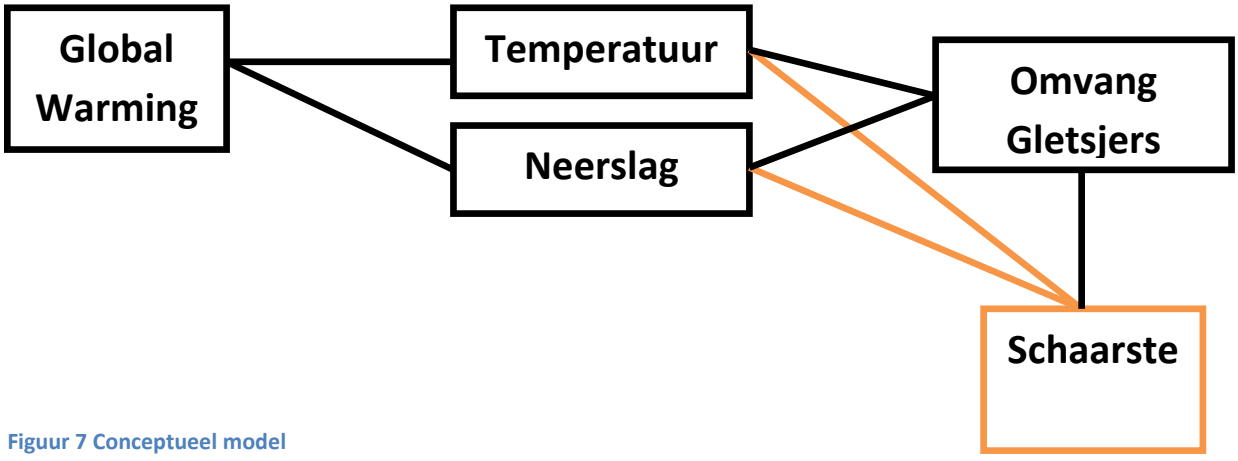
Figuur 6 (bron: IPCC, 2007)

oorzaken gezien worden voor de werelwijde klimaatveranderingen en temperatuursteigingen (IPCC, 2007a, p. 37). Hieronder staat een schematische weergave van de belangrijkste variabelen die klimaatverandering veroorzaken en hoe die op hun beurt weer invloed hebben op het menselijke systeem.

Smeltende gletsjers worden vaak gebruikt als iconen van klimaatverandering en opwarming van de aarde. Het smelten van deze vaak immense ijsmassa's is goed te vangen op 'voor' en 'na' foto's, die bij een groot publiek de ernst van het probleem onder de aandacht brengen (Mote & Kaser, 2007). Tegelijkertijd zijn er ook veel discussies rond het smelten van deze ijskappen. Enkele centrale vragen die zich in deze discussie voordoen zijn: Is global warming de hoofdoorzaak bij alle smeltende gletsjers? Hoe snel smelten de ijskappen? en Wat zullen de gevolgen van de terugtrekkende gletsjers zijn? In dit onderzoek zal één casus onder de loep genomen worden aan de hand waarvan de discussie in beeld wordt gebracht.

2.3. Conceptueel model

In deze paragraaf presenteer ik mijn conceptueel model. Dit model laat zien hoe de hierboven uiteengezette theorieën met elkaar en met mijn onderwerp in relatie staan. Global warming beïnvloedt de temperatuur en neerslaghoeveelheden in mijn onderzoeksregio Oost-Afrika. De temperatuur zal waarschijnlijk omhoog gaan en de hoeveelheid neerslag zal omhoog gaan. Deze twee factoren vormen tegelijkertijd belangrijke onderwerpen in de discussie rondom de smeltende gletsjers in dit gebied. Deze twee variabelen worden door verschillende wetenschappers aangehaald als mogelijke factoren die de terugtrekking van de gletsjers beïnvloeden. Daarnaast hebben deze twee variabelen ook invloed op de natuurlijke hulpbronnen die op aarde aanwezig zijn en ze zijn in die zin dus ook gerelateerd aan de theorieën over schaarste. De omvang van de gletsjers zelf heeft wellicht ook invloed op de mate van schaarste in de regio. Hierbij denk ik bijvoorbeeld aan de watervoorziening waar de gletsjer in voorziet.



Figuur 7 Conceptueel model

3. Methodologie

In dit hoofdstuk zullen als eerste de mogelijke onderzoeksstrategieën uiteengezet worden die bij een onderzoek gebruikt kunnen worden. Deze onderzoeksstrategieën zijn gebaseerd op het boek “Het ontwerpen van een onderzoek” van Verschuren en Doorewaard (2007). Daarna zal een voor dit onderzoek relevante keuze worden gemaakt uit deze strategieën en zal besproken worden hoe het onderzoeksmateriaal verkregen zal worden.

3.1. Onderzoeksstrategieën

De vijf onderzoeksstrategieën die in deze paragraaf gepresenteerd zullen worden, zijn geselecteerd door Verschuren en Doorewaard in het boek “Het ontwerpen van een onderzoek”. De vijf strategieën zullen ieder kort behandeld worden, waarna de relevantie voor mijn onderzoek kort aangestipt wordt. In de volgende paragraaf zal mijn uiteindelijke keuze uiteengezet worden.

1. *Gefundeerde theoriebenadering*

Deze onderzoeksstrategie werkt niet vanuit een algemene theorie maar werkt er juist naartoe. Bij deze benadering begin je bij een specifiek onderzoeksveld en aan de hand van de resultaten uit je onderzoek probeer je een theorie te vormen. De uitkomsten van je onderzoek moeten dus continu geïnterpreteerd en omgevormd worden tot nieuwe theorieën die vervolgens weer door nieuw onderzoek getoetst moeten worden.

2. *Bureauonderzoek*

Bij het verrichten van bureauonderzoek komt men vaak niet achter zijn/haar bureau uit. Deze manier van onderzoek doen wordt ook wel literatuurstudie genoemd. Men verzamelt allerlei gegevens en literatuur en probeert hier conclusies uit te trekken. Mijn onderzoek bestaat voor een groot gedeelte uit bureauonderzoek. De casus die ik bestudeerd heb ligt ver weg waardoor ik de locatie zelf niet heb kunnen bezoeken. Het contact leggen met betrokkenen en het verzamelen van gegevens gebeurde dan ook grotendeels vanachter mijn bureau.

3. *Case study*

Bij een case study verricht men onderzoek naar één unieke situatie. Er wordt dus niet gekeken naar grote getalen onderzoeksobjecten, maar er wordt ingezoomed op één object. De uitkomsten van dit onderzoek worden vervolgens gebruikt om te vergelijken met de standaard of de standaard te

illustreren. Mijn onderzoek is ook een case study, want het spitst zich toe op het smelten van de tropische gletsjers in Oost-Afrika. Het gaat dus niet over smeltende gletsjers in het algemeen, want er is een specifieke categorie en locatie die ik ga onderzoeken. Deze unieke situatie is niet gemakkelijk te vergelijken met andere smeltende gletsjer omdat daar ook allerlei andere factoren van invloed zijn die niet of juist wel in mijn case spelen.

4. *Experiment*

Het experiment als onderzoeksstrategie heeft als doel het toetsen van een hypothese. Met een experiment kun je verschillende aspecten van je onderzoek testen in een model situatie in een laboratorium, maar ook in de werkelijkheid. Voor mijn onderzoek is deze manier van onderzoek niet van toepassing. Het is niet relevant en niet haalbaar om het smelten van gletsjers te testen in een werkelijke dan wel gemodificeerde omgeving.

5. *Survey*

Een survey heeft men in twee soorten, namelijk een kwalitatief survey waarbij men een klein aantal onderzoeksobjecten heeft en de diepte in gaat door bijvoorbeeld observatie en interviews. En een kwantitatief survey, waarbij men juist een grootschalig onderzoek doet met veel onderzoeksobjecten. Mijn onderzoek is gedeeltelijk een survey zijn aangezien ik interviews heb gehouden. Het wordt echter geen kwantitatieve survey, maar juist een kwalitatieve survey omdat ik dan de diepte in ga met enkele onderzoeksobjecten en ik van mening ben dat deze onderzoeksstrategie goed bij mijn case study zal passen.

3.2. Onderzoeksmateriaal

Op mijn onderzoek zijn de volgende onderzoeksstrategieën van toepassing: een bureauonderzoek, een kwalitatief survey en een case study. In deze paragraaf zal deze keuze nader toegelicht worden.

Mijn onderzoek was voornamelijk een bureauonderzoek, aangezien ik voornamelijk literatuur en gegevens verzameld heb via de computer en het internet. Ook de contacten die ik gelegd heb met gletsjerwetenschappers kwamen op deze manier tot stand. Het was voor mij niet haalbaar om het veld in te gaan en zelf waarnemingen te verrichten. Het materiaal dat ik verzameld heb bestaat uit wetenschappelijke artikelen, krantenartikelen, beleidsstukken van nationale en internationale organisaties met betrekking tot schaarste, klimaatverandering en gletsjers en data over neerslaghoeveelheden.

Als tweede onderzoeksstrategie heb ik gebruik gemaakt van een kwalitatief survey. Ik heb gekozen voor een kwalitatief survey omdat ik graag verdieping wil door middel van interviews en het me daarbij niet gaat om een grote hoeveelheid mensen te interviewen. Ik kies een aantal personen

uit die me waardevolle, aanvullende informatie kunnen verschaffen voor mijn onderzoek en hen zal ik ook confronteren met mijn eigen bevindingen. Ik heb geprobeerd op deze manier mijn onderzoek nog beter te kunnen onderbouwen. Deze personen zijn vooral mensen zijn die zich al langer bezig houden met de smeltende gletsjers in Oost-Afrika.

Als laatste onderzoeksstrategie is de case study ook op mijn onderzoek van toepassing. Ik onderzoek één speciale situatie, namelijk die van de tropische gletsjers in Oost-Afrika, en daarvan wil ik heel gedetailleerd beschrijven hoe dat systeem in elkaar zit en welke processen er gaande zijn. Deze uitkomsten zijn niet per definitie van toepassing op andere (tropische) gletsjers in de wereld. Ook hier gaat het mij weer om de diepgang en niet de breedte van het onderzoek. Hierbij zullen de diepte interviews die bij een kwalitatief survey horen goed van pas komen.

Zoals hierboven wellicht al in de tekst naar voren kwam, maak ik voor mijn onderzoek gebruik van informatie die ik verkregen heb via personen, documenten en literatuur. De informatie van personen heb ik verkregen door interviews te houden. Deze interviews zijn pas aan het einde van mijn onderzoek gehouden. De reden hiervoor is dat ik eerst zo veel mogelijk informatie bij elkaar heb gezocht via andere kanalen en dat ik de gaten in mijn onderzoek op heb gevuld met gegevens die ik uit de interviews kreeg. De interviews heb ik via de e-mail moeten houden omdat de afstanden tot de wetenschappers die ik wilde interviewen te groot was.

De documenten en literatuur waar ik informatie uit heb gehaald, heb ik onderworpen aan een inhoudsanalyse. De documenten waar data in staat, over bijvoorbeeld de neerslaghoeveelheden in de regio, heb ik geanalyseerd en gebruikt om trends uit te halen die relevant kunnen zijn qua invloed op de terugtrekkende gletsjers.

4. De smeltende gletsjers

Wereldwijd zijn de smeltende gletsjers een centraal punt in de discussie rondom klimaatverandering. Tijdens het Holoceen, dat een periode beslaat van de laatste 10.000 jaar, hebben de gletsjers wereldwijd hun maximale omvang bereikt in de Kleine IJstijd. Deze ijstijd kwam niet voor alle werelddelen tegelijk, maar deze vond grofweg plaats van de 17e eeuw tot en met de eerste helft van de 19e eeuw. Sinds het einde van de 19e eeuw worden er metingen gedaan naar de lengte en dikte van gletsjers. Deze metingen laten zien dat de omvang van de gletsjers wereldwijd sinds de Kleine IJstijd afneemt (UNEP & WGMS, 2008, p. 25). In de periode van 1920 tot 1940 was er sprake van een sterke terugtrekking van de gletsjers, terwijl de omvang van de ijskappen tijdens de jaren '70 van de vorige eeuw weer stabiel was of juist groeide (UNEP & WGMS, 2008, p. 28, IPCC, 2007b, h. 4.5.2). Vanaf halverwege de jaren '80 smelten de ijskappen weer in een versneld tempo. De bovengenoemde trends zijn op basis van een tijdmeting in decennia. Gaat men met andere tijdeenheden werken, dan zullen er op lokaal niveau uitzonderingen naar voren komen ten opzichte van de mondiale trend (UNEP & WGMS, 2008, p. 25).

De meest belangrijke vraag binnen deze discussie is of het smelten van de gletsjers veroorzaakt wordt door de stijging van temperaturen op aarde en daarmee samenhangend of deze stijging te wijten is aan de uitstoot van broeikasgassen door de mens. Deze discussie wordt niet alleen op wetenschappelijk niveau gevoerd maar komt ook terug in publieke en politieke debatten. De verschillende standpunten zullen in dit hoofdstuk uiteengezet worden. Daarnaast zullen de mogelijke oorzaken en effecten van de smeltende gletsjers ook aan bod komen en wordt ingegaan op de vraag hoe de maatschappij met al deze veranderingen omgaat.

4.1. Oorzaken van de smeltende gletsjers

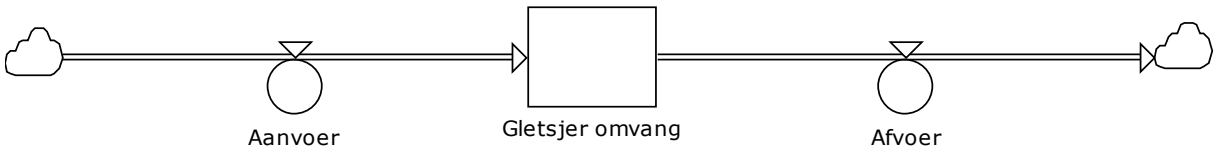
Wereldwijd hebben gletsjers zich de afgelopen eeuw teruggetrokken en er is een brede discussie gaande over de oorzaken die hieraan ten grondslag kunnen liggen. De verschillende oorzaken die in deze discussie aangedragen worden zullen in deze paragraaf uiteengezet worden. Voordat er echter naar de specifieke oorzaken gekeken wordt, is het van belang te begrijpen welke processen de omvang van een gletsjer beïnvloeden. Daarom zal in deze paragraaf eerst behandeld worden hoe een gletsjer kan groeien en krimpen en welke factoren daarop van invloed zijn.

Een gletsjer is nooit stabiel in omvang, maar fluctueert vaak om een equilibrium heen. Een klimaatverandering zorgt ervoor dat de gletsjer uit zijn balans raakt en een nieuw equilibrium moet zoeken (Mote & Kaser, 2007, p. 318). Het bereiken van dat nieuwe equilibrium kan tientallen jaren

duren. Om de invloed van het klimaat op de gletsjeromvang te kunnen bepalen moet er onderzoek gedaan worden bij gletsjers die niet beïnvloed worden door 'thick debris covers, calving or surge instabilities' (UNEP & WGMS, 2008, p. 14). De omvang van een gletsjer kan op twee manieren veranderen, namelijk zowel in de dikte als in de lengte. De dikte van een gletsjer wordt bepaald door de 'mass balance', dit is het resultaat van de toegevoegde massa, door bijvoorbeeld sneeuwval, en de verloren massa, door bijvoorbeeld smelten of verdamping (Mote & Kaser, 2007, p. 318). De mass balance van een gletsjer geeft bovendien een direct, niet vertraagd beeld van de jaarlijkse condities in de atmosfeer, zoals de luchtvochtigheid en temperatuur. De lengte van een gletsjer daarentegen is een gefilterde, indirecte en vertraagde indicator die een uitvergroot signaal afgeeft van de klimaatverandering die de gletsjer uit zijn balans heeft gehaald.

De groei en krimp van een gletsjer

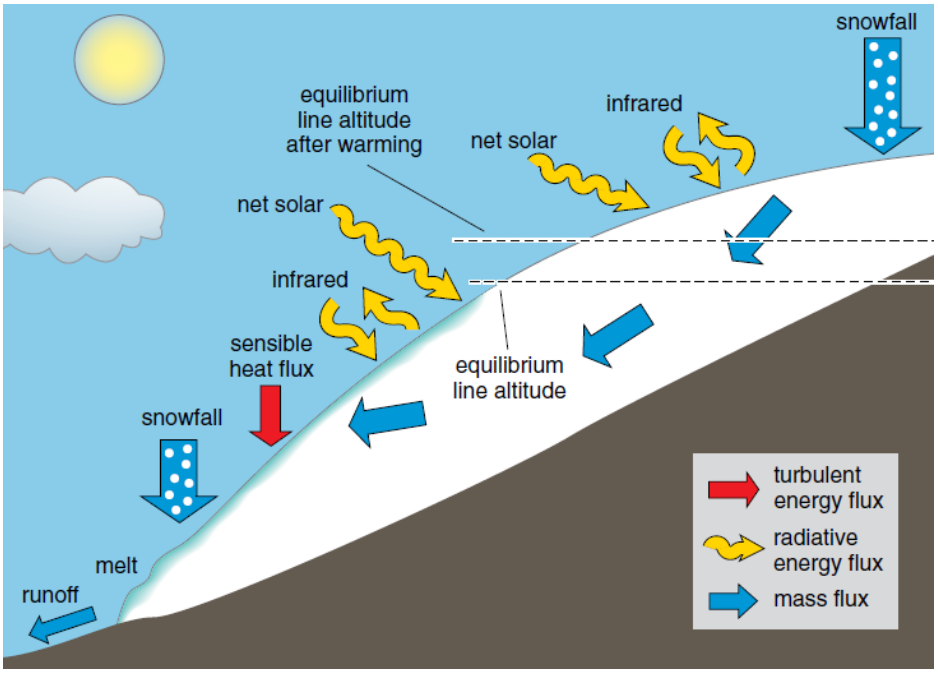
Elke gletsjer heeft een toevoer en een afvoer, waarbij de balans tussen die twee bepaalt of de gletsjer groeit of krimpt. Een gletsjer kan in omvang toenemen doordat sneeuwval zich accumuleert op het gletsjeroppervlak. Als de totale sneeuwval groter is dan de totale afvoer zal de gletsjer groeien.



Figuur 8 Groei en krimp van een gletsjer

De afname van een gletsjer kan op verschillende manieren geschieden. De meest bekende en voor de hand liggende manier is het smelten van het ijs. Een andere manier waarop ijs kan verdwijnen, is de directe omzetting van ijs naar waterdamp, ook wel 'sublimation' genoemd (Mote & Kaser, 2007, p. 319). Sublimation kan alleen plaatsvinden als de luchtvochtigheid van de atmosfeer rondom de gletsjer lager is dan de hoeveelheid vocht dat afgegeven wordt door het ijsoppervlak. Al deze processen, zoals smelten en verdampen, kosten energie. De belangrijkste bron van de benodigde energie is de zon (Mote & Kaser, 2007, p. 319). Deze bron is echter gelimiteerd tot overdag en wordt beperkt door schaduw en de eigenschap van sneeuw om zonlicht te weerkaatsen. Een manier waarop de energie toch het ijs kan bereiken, is door de uitwisseling van warmte tussen de lucht die direct in contact is met het ijs. Dit wordt ook wel de 'sensible-heat-flux' genoemd (Mote & Kaser, 2007, p. 319). Als het ijs warmer is dan de lucht er direct omheen, werkt dit proces ook de andere kant op. Dat is één van de manieren waarop een gletsjer de energie weer kwijt raakt. Een

andere manier waarop dit kan is de emissie van infrarood door sneeuw en ijs. In Figuur 9 staat een weergave van alle energiestromen en hoe die interacteren met het ijsoppervlak.

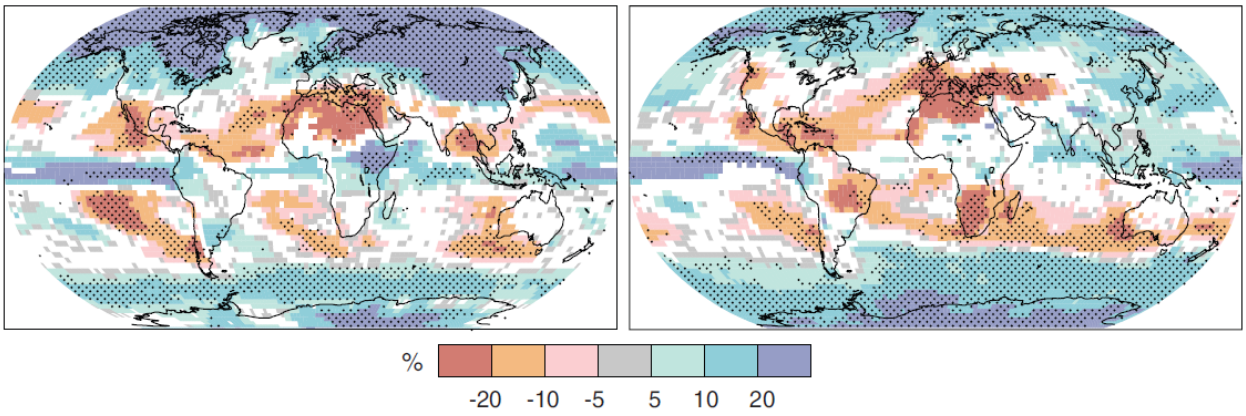


Figuur 9: Een weergave van de sensible heat flux (Bron: Mote & Kaser, 2007, p. 320)

Invloed van klimaatverandering op de toe- en afvoer

In bovenstaande tekst is beschreven hoe de processen in een gletsjer verlopen en hoe ze kunnen groeien en krimpen. In het kader van dit onderzoek is het van belang te bespreken hoe een fenomeen zoals klimaatverandering hierop van invloed kan zijn. Zowel de toevoer als de afvoer kunnen door klimaatverandering beïnvloedt worden en veranderingen aan beide kanten kunnen de omvang van de gletsjer doen veranderen.

Eerst zal gekeken worden naar de kant van de toevoer. Het IPCC voorspelt dat in delen van de wereld de hoeveelheid neerslag zal toenemen en in andere delen de neerslag juist in hoeveelheid zal afnemen. Deze toename of afname in neerslag kan gevolgen hebben voor de hoeveelheid sneeuw die gemiddeld per jaar op een gletsjer terecht komt. Er vanuit gaande dat de afvoer van de gletsjer gelijk blijft, zal een toename in sneeuwval betekenen dat de gletsjer zal groeien en een afname in sneeuwval impliceert dat de gletsjer op den duur zal krimpen. Figuur 2 illustreert de procentuele veranderingen in neerslag die voor het eind van deze eeuw voorspeld worden. Over de witte gedeelten was te weinig concensus (minder dan 66%) tussen de modellen om een voorspelling te kunnen maken. Veranderingen in het klimaat kunnen dus een positieve invloed hebben op de toevoer van gletsjers, en dus ook hun omvang, maar het kan ook negatief zijn, afhankelijk van de geografische locatie op de wereld.



Figuur 10: Procentuele veranderingen in neerslag voor de jaren 2090-2099 ten opzichte van 1980-1999 gebaseerd op het SRES A1B scenario. Links: maanden december tot en met februari. Rechts: maanden juni tot en met augustus. (Bron: IPCC, 2007a, p. 47)

Klimaatverandering heeft ook invloed op de afvoer van een gletsjer. Verschillende oorzaken kunnen ten grondslag liggen aan het smelten van de gletsjers op de aarde, maar vaak wordt global warming als de meest belangrijke oorzaak genoemd (IPCC, 2001, h. 4.3.11, Singh, Arora & Goel, 2006). Door de toenemende uitstoot van broeikasgassen zoals Koolstofdioxide (CO2), Methaan (CH4), Stikstofoxide (N2O) en Ozon (O3), wordt het broeikaseffect van de atmosfeer rondom de aarde volgens deze theorie versterkt en warmt de aarde op. Temperatuur is van invloed op de afvoer van een gletsjer via de Equilibrium Line Altitude (ELA). De ELA ligt ergens op een gletsjer en markeert het omslagpunt tussen het gebied waar accumulatie overheerst en het gebied waar de afvoer overheerst (Mote & Kaser, 2007, p. 320). Een stijging in temperatuur laat de ELA naar boven verschuiven. In delen van de wereld waar seizoenen bestaan, betekent dit dat een groter deel van de gletsjer in de zomer zal smelten. Het gebied waar afvoer overheerst wordt immers groter. Bovendien kan het gebied waar zich in de winter sneeuw accumuleert ook kleiner worden (Mote & Kaser, 2007, p. 320). Beide ontwikkelingen zijn nadelig voor de omvang van een gletsjer. De temperatuurstijgingen van de afgelopen decennia leiden ook volgens het IPCC tot het smelten van de gletsjers (IPCC, 2001, h. 2.2.6). Over de afgelopen eeuw gezien loopt het smeltpatroon van de gletsjers vrijwel gelijk aan de opwarming van de aarde (UNEP & WGMS, 2008, p. 28, IPCC, 2007b, h. 4.5.3) die volgens het IPCC de afgelopen eeuw 0.75 °C was (IPCC, 2007b). Een verdere stijging van de temperatuur in de toekomst bedreigt volgens deze redenering het voortbestaan van gletsjers op deze wereld.

Andere oorzaken die verantwoordelijk worden gehouden voor de veranderingen in gletsjersomvang zijn luchtvochtigheid, zonnestraling en bewolking. Daarnaast hebben veranderingen in circulatiepatronen in de atmosfeer, zoals El Niño, waarschijnlijk ook invloed op de gletsjers (UNEP & WGMS, 2008, p. 28). El Niño is een fenomeen dat zich voordoet in de tropen waarbij de interactie tussen oceaan en atmosfeer veranderd. Deze veranderingen treden ongeveer elke drie à 7 jaar op en

brengen veranderingen in circulatiepatronen, in neerslag en in luchttemperatuur met zich mee. De perioden van El Niño wisselen af met perioden van La Niña, wanneer de temperaturen in het tropische oosten van de Pacific juist beneden gemiddeld zijn (IPCC, 2007b, h. 3.6.2.1.). Deze factoren spelen bij elk soort gletsjer een rol, maar zijn voornamelijk belangrijk bij tropische gletsjers. Een lagere luchtvochtigheid zal het, in deze paragraaf eerder beschreven, proces van sublimation meer doen voorkomen, waardoor meer gletsjeroppervlak verloren gaat in waterdamp. Dit proces kost veel energie, iets dat geleverd kan worden door een toename in zonnestraling dat het ijsoppervlak bereikt. Eén manier waarop meer zonnestraling het aardoppervlak kan bereiken is een afname in bewolking. Hierover bestaat nog veel onzekerheid, maar er bestaat het vermoeden dat de mate van bewolking in verband staat met lokale temperatuur en circulatie op grote schaal (Clement, Burgman & Norris, 2009, p. 460). Als het klimaat veranderd zou dit kunnen betekenen dat ook de mate van bewolking veranderd en op dit moment denkt men dat bewolking een positive feedback geeft op het klimaat. Dat wil zeggen dat als de temperatuur stijgt, de hoeveelheid bewolking zal afnemen, waardoor de temperatuur verder zou kunnen stijgen door een toename in zonnestraling die het aardoppervlak bereikt (Clement et al., 2009, p. 460). Een voorbeeld waarbij de omvang van gletsjers in verband wordt gebracht met de hoeveelheid bewolking, speelt zich af in de jaren ’70 van de vorige eeuw. De stabiliteit of zelfs groei van de gletsjeromvang in die jaren kan verklaard worden door de sterk toegenomen vervuiling in de atmosfeer. Deze vervuiling zorgde ervoor dat minder zonnestraling de aarde kan bereiken en de gletsjers dus minder smelten. Toen halverwege de jaren ’80 de vervuiling door allerlei maatregelen sterk was teruggedrongen, werd de atmosfeer schoner en bereikte meer zonnestraling het aardoppervlak (UNEP & WGMS, 2008, p. 28).

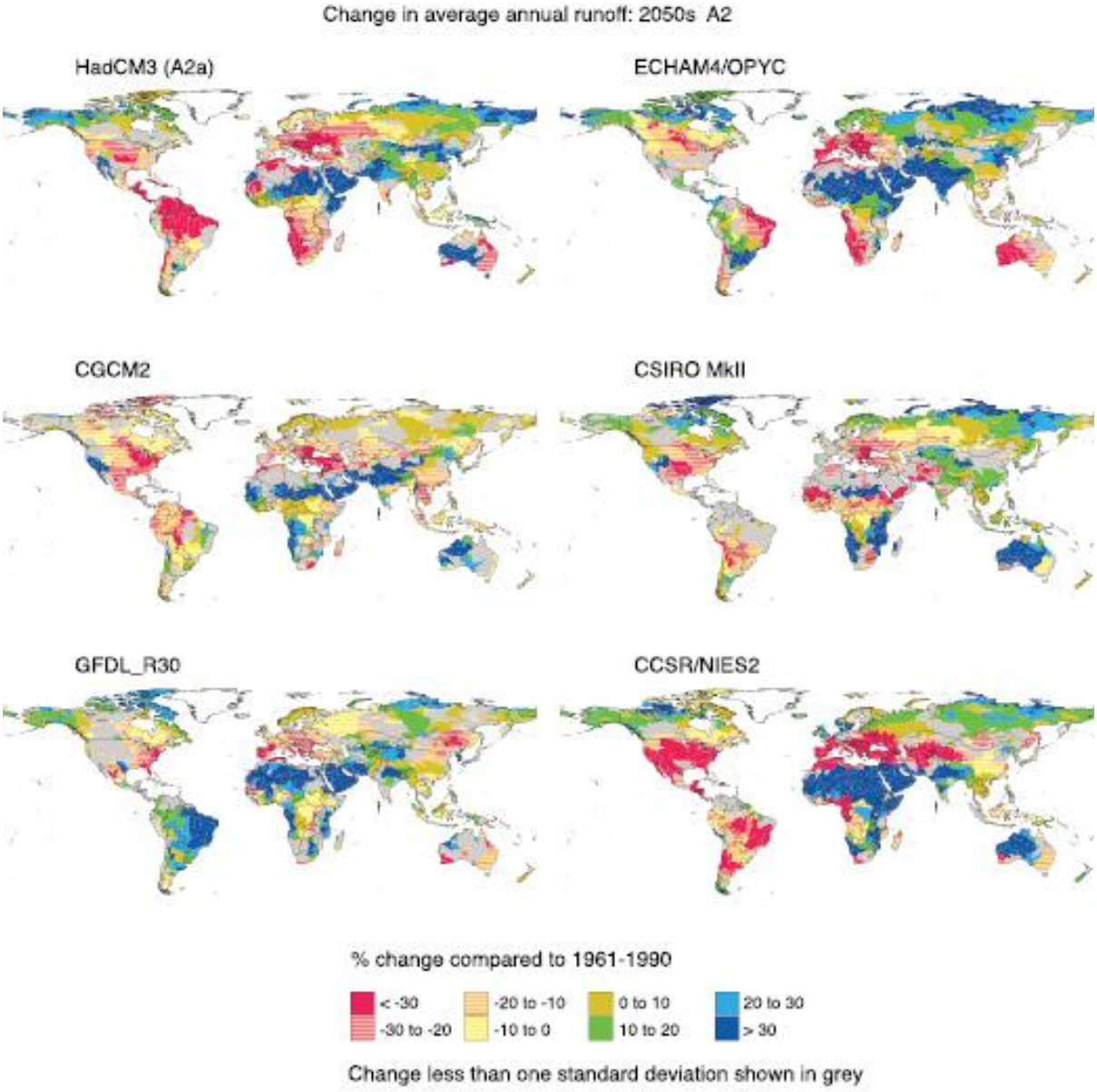
4.2. Gevolgen van de smeltende gletsjers

Wereldwijd zijn gletsjers de afgelopen eeuw onderzocht en op enkele uitzonderingen na smelten ze. Het smelten van gletsjers kan, afhankelijk van de geografische locatie, verschillende gevolgen hebben voor mens en ecosysteem. In deze paragraaf zullen de belangrijkste gevolgen uiteengezet worden, echter wordt over de precieze omvang van die gevolgen nog gediscussieerd. De meest belangrijke gevolgen die hier besproken worden, hebben betrekking tot de zoetwatervoorzienig, de oceanen en de directe fysieke omgeving.

Gevolgen voor de zoetwatervoorziening

Gletsjers vormen een buffer als het gaat om zoet water. In veel delen van de wereld, zoals de Andes en de Himalaya, accumuleert de sneeuw in de winter en smelt het in de zomer, wanneer het er warmer en droger is. Zo blijven de rivieren ook in de zomerperiode gevuld met water (Mölg, Hardy, Cullen & Kaser, 2008, p. 177, IPCC, 2007b). Het smeltwater dat van gletsjers afkomstig is, vormt

wereldwijd een belangrijke bron van zoet water. Geschat wordt dat ongeveer 1/6^{e} van de wereldbevolking afhankelijk is van smeltwater afkomstig van sneeuw of ijs voor zijn/haar zoetwatervoorziening (Hock & Rees, 2006, p. 2089, IPCC, 2007b), andere artikelen noemen alleen dat het een grote proportie is van de wereldbevoking (Kronenburg & van der Vlist, 2010, p. 23). Wanneer gletsjers smelten zal de stroom smeltwater in eerste instantie toenemen, maar op de lange termijn zal de waterstroom juist afnemen en zullen zich meer droogtes voordoen (Kronenburg & van der Vlist, 2010, p. 23, Mölg et al., 2008, p. 177, IPCC, 2007b, h. 3.4.1.). Het IPCC (2007) heeft op basis van een aantal klimaatmodellen voorspellingen gedaan over de hoeveelheid water die rivieren in vergelijking met de periode 1961 – 1990, zullen vervoeren in de toekomst. De uitkomsten hiervan zijn hieronder weergegeven in Figuur 3.



Figuur 11: gemiddelde jaarlijkse waterdoorvoer van rivieren (Bron: IPCC, 2007b, h.3.4.1.)

Niet voor alle gletsjers geldt echter dat er meer water in de rivieren terecht komt als zij smelten. Sommige gletsjers, zoals de Kilimanjaro in Oost-Afrika, smelten wel maar slechts een kleine hoeveelheid ijs wordt omgezet in water. Bovendien verdampt het kleine beetje water dat er vanaf loopt vrijwel direct op de zwarte vulkaangrond. Het grootste gedeelte van de gletsjer verdwijnt echter doordat het ijs omgezet wordt in waterdamp, dat dus niet in de rivieren beneden aan de berg terecht komt. Hierover in het volgende hoofdstuk meer. Over het algemeen zal de smeltwaterstroom van gletjsers dus op lange termijn afnemen. Deze verminderde toevoer zal op zichzelf al zorgen voor meer droogtes, maar door de bevolkingsgroei die de komende eeuw verwacht wordt zal dit tekort alleen nog maar nijpender worden (Bencala & Dabelko, 2008, Lall, Heikkila, Brown & Siegfried, 2008). Het toenemende watertekort, dat globaal gezien meer oorzaken heeft dan alleen de smeltende gletsjers, kan in de toekomst leiden tot een verergering van al bestaande conflicten en het opkomen van nieuwe conflicten. Toch hoeft een watertekort niet altijd negatieve gevolgen met zich mee te brengen, het kan ook leiden tot de opstarting van een dialoog tussen landen die al jaren niet meer met elkaar in contact waren (Bencala & Dabelko, 2008, p. 22).

Gevolgen voor de oceanen

De wereldwijd smeltende gletsjers hebben grofweg twee gevolgen voor oceanen, namelijk een stijging van de zeespiegel en het zoeter worden van het oceaanwater. Het smelten van gletsjers en ijskappen op het land wordt gezien als één van de oorzaken voor het stijgen van de zeespiegel. Het water dat door alle gletsjers, behalve die op Antartica en Groenland, wordt vastgehouden staat gelijk aan 0.5 meter van de mondiale zeespiegel (IPCC, 2001, p. 647). Omdat gletsjers en ijskappen relatief gevoelig zijn voor veranderingen in het klimaat, kunnen zich snelle veranderingen in hun mass balance voordoen, waardoor ze een belangrijke factor zijn die de snelheid van de zeespiegelstijging bepaalt (IPCC, 2001, p.647). De zeespiegel kan door stijgen door de opwarming van het oceaanwater waardoor het water uitzet en een groter oppervlak nodig heeft, en door het smelten van gletsjers en ijskappen op het land. De recente zeespiegelstijging die niet te wijten valt aan de opwarming van de oceanen, wordt veroorzaakt door het smelten van gletsjers. Gletsjers die niet op Antartica en Groenland liggen, zijn hier voor 60% verantwoordelijk voor (Meier, Dyurgerov, Rick, O'Neel, Pfeffer, Anderson, Anderson & Glazovsky, 2007, p. 1064). Op dit moment draagt het smelten van gletsjers en ijskappen volgens het IPCC (2007, h. TS.3.3.3) voor 1.2 ±0.4 millimeter per jaar en volgens Meier et al. (2007, p. 1065) voor 1.8 millimeter per jaar bij aan de totale zeespiegelstijging. En beide bronnen verwachten dat de bijdrage van de smeltende gletsjers aan de zeespiegelstijging groter zal worden.

Een ander gevolg dat de smeltende gletsjer op de oceanen kunnen hebben is het zoeter worden van het water. Hiervoor bestaat volgens het IPCC (2007, h. 1.3.1.1.) bewijs voor uit onder andere de Noord Atlantische Oceaan. Door het smelten van de gletsjers bereikt een grotere

hoeveelheid zoet water de oceanen en wordt het water zoeter. Over de invloed die dit kan hebben op de circulaties binnen de oceanen is nog geen significant bewijs, maar er zijn wel veranderingen waargenomen in algenpopulaties en vissoorten.

Gevolgen voor de directe omgeving van de gletsjers

Het smelten van gletsjers heeft niet alleen directe gevolgen op de zoetwatervoorziening en de zeespiegelstijging in de oceanen, maar er is ook een scala aan directe gevolgen op lokaal niveau en daarnaast heeft het ook verschillende indirecte gevolgen. Voorbeelden van de directe gevolgen op lokaal niveau is de vorming van gletsjermeren in de directe omgeving van of op de gletsjer zelf. Deze meren vormen zich doordat smeltwater zich ophoopt achter onstabiel ijs of morene dammen, waarbij de kans bestaat dat deze het op een bepaald moment begeven en het achterland overstroomt (Agrawala, 2005, p. 88). Door de toenemende hoeveelheid smeltwater die er bijvoorbeeld van de gletsjers in de Himalaya afkomt, zijn deze meren in omvang toegenomen. Hierdoor is de kans dat de gletsjermeren het begeven niet alleen groter geworden, maar de gevolgen van een dergelijke ramp zullen nu ook groter zijn.

Daarnaast zijn er nog gevolgen op historisch en economisch vlak. Het smelten van de gletsjers heeft namelijk negatieve gevolgen voor de datawinning uit ijskernen die geboord worden uit het gletsjeroppervlak. De kostbare historische informatie die in het ijs opgeslagen ligt, gaat met het smelten van de gletsjer verloren. Een ander gevolg, maar dan op economisch gebied, is het verlies aan toerisme. Op een aantal plaatsen in de wereld, bijvoorbeeld in Oost-Afrika (Kilimanjaro, vormen de gletsjers een toeristische attractie waar de lokale bevolking haar geld aan verdiend (Mölg et al., 2008, p. 178). Het smelten van de toeristische trekpleisters zou kunnen betekenen dat er minder toeristen naar de regio zullen komen, waardoor een deel van de inkomsten wordt misgelopen.

4.3. Standpunten in de discussie rondom smeltende gletsjers

Nu de oorzaken en gevolgen van de wereldwijd smeltende gletsjers uiteengezet zijn, kan de mondiale discussie in kaart worden gebracht. Deze discussie kan opgedeeld worden in voor- en tegenstanders van de theorie over global warming die de mens grotendeels verantwoordelijk houdt. Deze paragraaf zal die indeling aanhouden. Aangezien het IPCC de grootste wetenschappelijke organisatie is die de voorstanders van deze theorie bundelt, zal hun visie nader toegelicht worden. De argumenten van de klimaatskeptici lopen uiteen, maar er wordt geprobeerd om een zo compleet mogelijk beeld te schetsen van hun standpunt. Als voorbeeld zal Bjørn Lomborg voorgedragen worden, omdat hij voor de klimaatskeptici is wat Al Gore voor het IPCC is.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Het Intergovernmental Panel on Climate Change is een belangrijk onderzoeksorgaan op het gebied van klimaatverandering. De organisatie is in 1988 opgericht door de United Nations Environmental Programme (UNEP) en de World Meteorological Organisation (WMO) om kennis over klimaatveranderingen en hun impact op de maatschappij en het milieu te bundelen en op een heldere manier aan de wereld te presenteren. Het IPCC doet zelf geen onderzoek en is afhankelijk van de door wetenschappers vrijwillig ingediende artikelen over allerlei onderwerpen met betrekking tot klimaatverandering. Nationale overheden kunnen lid worden van dit panel en helpen reviewen van de wetenschappelijke artikelen en ze kunnen deelnemen aan de plenaire vergaderingen van het IPCC.

De visie van het IPCC ten aanzien van de smeltende gletsjers is in de voorgaande paragrafen al uiteengezet. Vanuit hun visie is de global warming aan het einde van de 20^{e} eeuw te wijten aan de menselijke uitstoot van broeikasgassen. De temperatuurstijgingen zijn in hun ogen ook de hoofdoorzaak van de smeltende gletsjers. Deze visie maakten zij pas echt hard in het vierde assessment report in 2007. In de voorgaande rapporten werd het vermoeden steeds sterker, maar was er nog niet genoeg zekerheid om het zo stellig uit te drukken. Dergelijke stellige uitspraken hebben in de afgelopen jaren een aantal keer tot ophef geleid. Zo stond er in het rapport van werkgroep 2 dat een groot deel van de gletsjers in het Himalaya gebergte zouden verdwijnen voor 2035. Dit jaartal bleek volgens de organisatie zelf gebaseerd te zijn op “poorly substantiated estimates of rate of recession and date for the disappearance of Himalayan glaciers” (IPCC, 2010). Voordat dit echter erkend werd, was het nieuws al de hele wereld over en ontstond er commotie in de media. Van deze commotie probeerden klimaatskeptici gebruik te maken om hun visie te promoten.

Klimaatskeptici

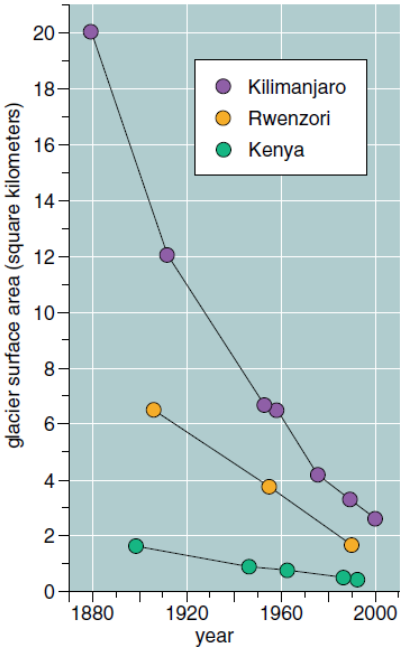
Waar de wetenschappers die de theoriën over global warming en smeltende gletsjers ondersteunen, verenigd zijn in (mondiale) organisaties zoals het IPCC en hun visie eensgezind uitdragen, zijn de klimaatskeptici verdeeld in hun kritiek en niet verenigd in een groot samenwerkingsverband. Dit maakt het moeilijk om een eenduidig beeld te scheppen van de kritiek die klimaatskeptici leveren. Sommige klimaatskeptici zeggen dat global warming niet bestaat, anderen zeggen dat het niet komt door de mens, maar door veranderingen in zonneactiviteit (bijv. Phillip Stott, Schmitt, 2009) en weer anderen zijn het eens met de theorie dat global warming door de mens veroorzaakt wordt, maar vinden dat er andere manieren zijn waarop dit opgelost kan worden. Een wetenschapper die in de laatste categorie valt is de Deen Bjørn Lomborg. Hij vormt de tegenhanger van Al Gore op het gebied van klimaat en zijn doel is om een andere visie dan die van Al Gore bij de maatschappij onder de

aandacht te brengen. Hij publiceerde een aantal boeken, zoals *The skeptical environmentalist* en *Cool it!*, waarin hij zijn theorieën uiteenzet en net als Al Gore gaat hij een bioscoopfilm uitbrengen over het klimaat, maar dan met een andere boodschap. Lomborg accepteert de theorie van het IPCC dat de mens de grootste bijdrage levert aan de opwarming van de aarde, maar is daarbij wel van mening dat dit in de komende jaren kan veranderen en dat de zon een grotere rol krijgt toebedeeld (Rozendaal, 2009a). Zijn kritiek gaat vooral uit naar het, volgens hem, falende klimaatbeleid. De hoeveelheid geld en moeite die gestopt wordt in de reductie van CO2-uitstoot vindt hij buiten proportioneel. Hij is van mening dat het geld beter geïnvesteerd kan worden in onderzoek en ontwikkeling, zodat er betere en goedkopere alternatieven op de markt komen dan fossiele brandstoffen. Daarnaast ziet hij global warming en klimaatverandering niet per definitie als een negatief fenomeen. Hij benadrukt de positieve kanten, zo zegt hij dat de smeltende gletsjers niet persé slecht hoeven te zijn, want de komende decennia zou dat betekenen dat er meer smeltwater door de rivieren stroomt (Lomborg, 2009).

Andere skeptische geluiden in de discussie rondom het smelten van de gletsjers richten zich op het feit dat er nog veel onbekend is over gletsjers en hoe zij interacteren met het klimaat. Sommige gletsjerwetenschappers, zoals L.G. Thompson, zijn er van overtuigd dat de huidige gletsjerterugtrekking de afgelopen 5200 jaar niet is voorgekomen (Thompson et al., 2006, p.10536) en hij wijt de terugtrekking dan ook aan de door de mens veroorzaakte klimaatverandering. Daarnaast is er vooral sinds de film van Al Gore kritiek geweest op het gebruik van de gletsjers op de Kilimanjaro als voorbeeld van global warming. Ook gletsjerwetenschappers die geen klimaatskeptici zijn maar in het gebied actief zijn, zoals Kaser en Mölg, schrijven dat global warming in dit geval een ondergeschikte rol speelt. Veel klimaatskeptici struikelen over de ongenuanceerdheid waarmee alarmisten tewerk gaan en de maatschappij angst proberen in te boezemen. De kritiek is bijvoorbeeld dat er veel bekend is over het broeikaseffect en maar weinig over bijvoorbeeld de zonnecyclus, terwijl toch gezegd wordt dat de zonnecyclus een ondergeschikte rol speelt als het gaat om klimaatverandering en temperatuurstijging (Rozendaal, 2009b).

5. Gletsjers in Oost-Afrika

In Oost-Afrika bevinden zich drie gebergtes waarop gletsjers voorkomen: de Kilimanjaro (Tanzania), Mount Kenya (Kenia) en Rwenzori (Democratische Republiek Congo, Uganda). De gletsjers behoren tot de categorie tropische gletsjers en hadden in 1990 een totale grootte van 5,4 km² (Mölg, Hardy & Kaser, 2003). Tropische gletsjers worden gezien als een bijzondere indicator van het klimaat aangezien ze zich in een homogene atmosfeer bevinden als het gaat om de temperatuur (Mölg et al., 2003). Sinds het einde van de 19e eeuw worden er in dit gebied metingen verricht en constateert men dat de totale omvang van de gletsjers alleen maar verder afneemt. Deze drastische afname in omvang spreekt tot de verbeelding op foto's en wordt door veel klimaatalarmisten gebruikt als voorbeeld van de wereldwijd smeltende gletsjers en de noodzaak om vandaag nog te beginnen met maatregelen te nemen tegen global warming. Er zijn echter ook wetenschappers en skeptici die zeggen dat deze gletsjers juist geen voorbeeld zijn van global warming en dat er andere factoren van invloed zijn op het smeltproces. In dit hoofdstuk zal eerst uiteengezet worden welke factoren belangrijk zijn voor het smelten van tropische gletsjers, aangezien dit iets verschilt van de in het vorige hoofdstuk besproken factoren. Daarna zal kort de discussie rondom tropische gletsjers behandeld worden en zal ingegaan worden op ieder gebergte afzonderlijk. Als laatste volgt een casestudy van het gebied rondom de Kilimanjaro. Bij deze casestudy zal een analyse gemaakt worden van neerslaggegevens uit de omliggende laaglanden en van de top van de bergen. Deze analyse moet leiden tot een aantal conclusies over de smeltende gletsjers in Oost-Afrika en de implicaties die dit met zich meebrengt voor de plaatselijke en regionale watervoorziening.



Figuur 12: Gletsjeromvang Oost-Afrikaanse gletsjers (Bron: Mote & Kaser, 2007)

5.1. Tropische gletsjers en hun werking

Tropische gletsjers zijn een aparte categorie gletsjers en hebben ook een aantal kenmerkende eigenschappen. Het belangrijkste verschil met andere gletsjers in de wereld heeft te maken met het tropische klimaat waarin ze gelegen zijn. De tropen kennen weinig temperatuurveranderingen door het jaar heen en hebben dus geen seizoenen zoals wij ze kennen. Er bestaan wel

temperatuurverschillen, maar die spelen zich af tussen dag en nacht. Seizoenen worden bepaald op basis van de hoeveelheid neerslag (Mölg & Hardy, 2004, p.3). In de perioden maart tot mei en oktober tot december valt ongeveer 70 tot 80% van de totale neerslag in Oost-Afrika, deze seizoenen worden respectievelijk de 'long rains' en de 'short rains' genoemd (Mölg et al., 2003, p. 2, Kaser, Hardy, Mölg, Bradley & Hyera, 2004, p. 331). Deze klimatologische verschillen met andere delen van de wereld hebben ook gevolgen voor de gletsjers. Tegenwoordig wordt het smelten van de gletsjers op de Kilimanjaro ook wel gewijd aan global warming, door bijvoorbeeld Al Gore in zijn film *An inconvenient truth*, maar diverse wetenschappers zijn er van overtuigd dat temperatuur niet de hoofdfactor is die de tropische gletsjers in omvang laat afnemen. Veranderingen in neerslagpatronen worden belangrijker geacht. Door het IPCC zijn neerslagpatronen voor de toekomst berekend (zie pagina 21, hoofdstuk 4). Daaruit blijkt dat in Oost-Afrika van december tot februari waarschijnlijk meer neerslag zal vallen dan in de jaren 1980-1999 het geval was, maar dat tijdens de maanden juni tot augustus de hoeveelheid neerslag juist zal afnemen.

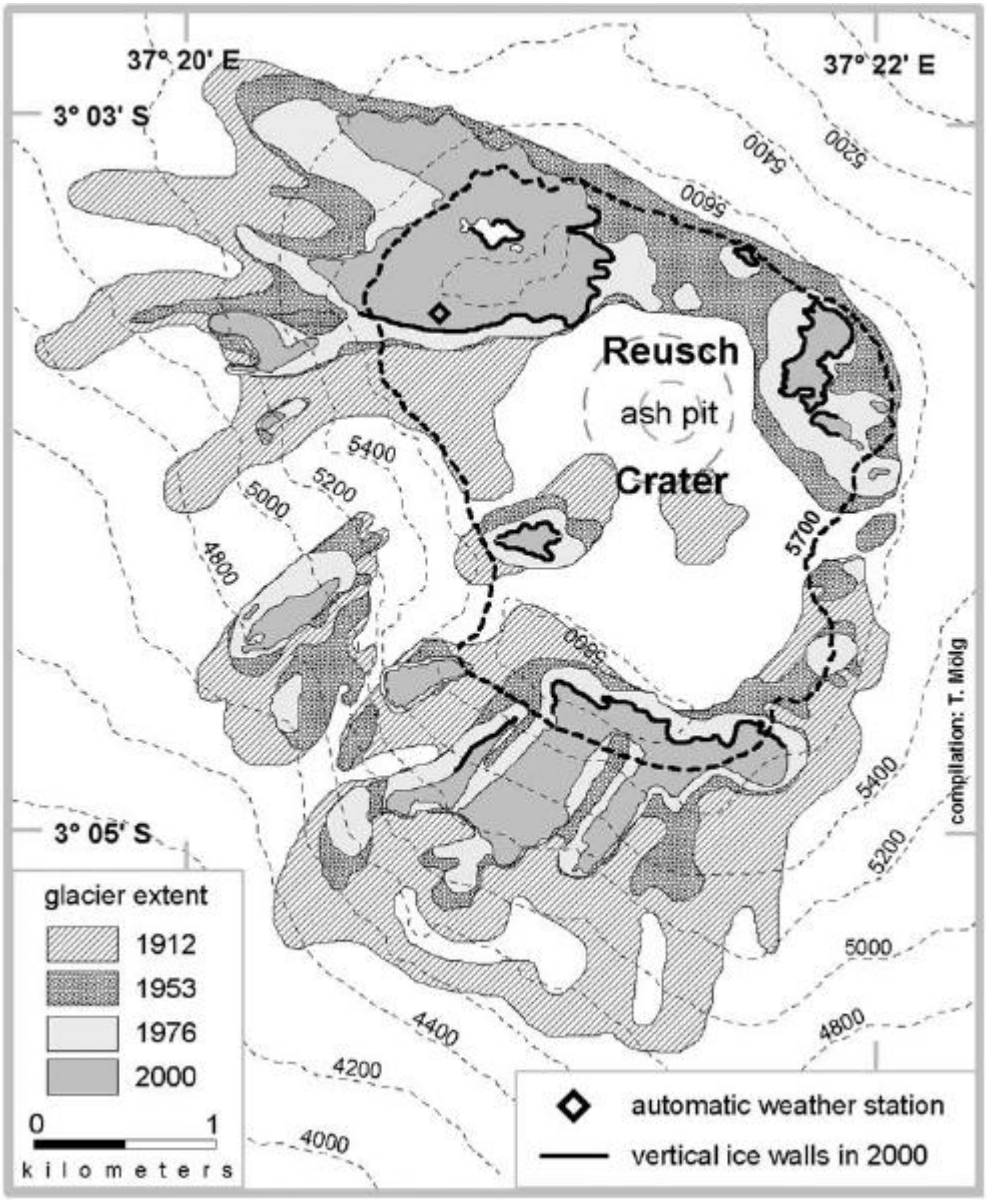
Naast de veranderingen in neerslaghoeveelheden wordt de inkomende zonnestraling ook verantwoordelijk gehouden voor het verder terugtrekken van de ijskappen in Oost-Afrika. De hoeveelheid neerslag hangt namelijk samen met de hoeveelheid bewolking. Wanneer de hoeveelheid bewolking afneemt kan meer zonnestraling het aardoppervlak bereiken en zorgen voor de energie die nodig is om ijs direct om te zetten in waterdamp, zoals beschreven in hoofdstuk 4.

5.2. De drie gebergtes

Mount Kilimanjaro

De Kilimanjaro is een grote stratovulkaan die de hoogste berg van Afrika is. De berg ligt op ongeveer 370 kilometer ten zuiden van de evenaar en op ongeveer dezelfde afstand van de Indische Oceaan. De Kilimanjaro heeft drie toppen, namelijk de Shira (4,005 meter), Mawenzi (5,140 meter) en de Kibo (5,892 meter) en ligt op de grens van Tanzania en Kenia (Mölg et al., 2003, p. 2). De gletsjers van de Kilimanjaro bevinden zich alleen op de hoogste top, Kibo. Net zoals andere gletsjers over de hele wereld bereikten de gletsjers op de Kilimanjaro hun maximale omvang in het Holoceen tijdens de Kleine IJstijd. Kaser (1999, p. 95) schetst het verloop van het smeltproces op de Kilimanjaro alsvolgt: De Kleine IJstijd loopt op zijn eind rond het midden/einde van de 19e eeuw. In de tweede helft van die eeuw beginnen de gletsjers in Oost-Afrika zich terug te trekken, maar rond de eeuwwisseling stabiliseren ze en nemen ze zelfs een beetje in omvang toe. Tot ongeveer 1920 blijven de gletsjers stabiel qua grootte, maar vooral tussen de jaren '40 en '50 van de vorige eeuw zijn ze weer in omvang afgenomen. Vanaf de jaren '50 tot en met de jaren '70 vinden er slechts kleine veranderingen in de grootte plaats. Daarna trekken de gletsjers zich in toenemende snelheid steeds verder terug. Binnen deze algemene omschrijving kan men nog onderscheid maken tussen

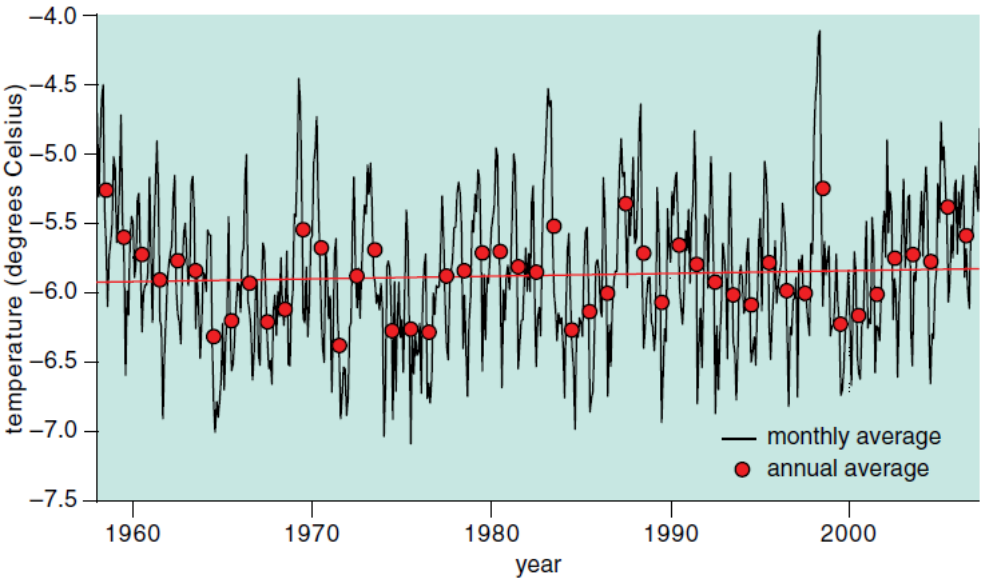
verschillende typen gletsjers: namelijk hellinggletsjers en plateaugletsjers. De gletsjers op de helling van de Kilimanjaro hebben zich de laatste jaren minder hard teruggetrokken dan aan het begin van de 20e eeuw. Terwijl de plateaugletsjers op de Kilimanjaro een vrijwel constante terugtrekking laten zien over de afgelopen eeuw (Mölg, Cullen, Hardy, Kaser & Klok, 2008, p. 882).



Figuur 13: Gletsjeromvang van de gletsjer op de Kilimanjaro over de afgelopen eeuw (Bron: Mölg et al., 2003, p. 3).

De omvang van de gletsjer op de Kilimanjaro is weergegeven in Figuur 2. In deze afbeelding zijn de verschillende groottes van de gletsjers door de afgelopen eeuw heen te zien. Geschat wordt dat de gletsjers in 1880 een grootte hadden van ongeveer 20 km² (Mölg et al., 2008, p. 170). In 1912 was daar nog 12,1 km² van over (Mote & Kaser, 2007, p. 322), in het jaar 2000 was de omvang nog slechts 2,6 km² (Thompson, 2002) en in 2003 was er nog maar 2,51 km² van over (Cullen et al., 2006, p. 1). De factoren luchttemperatuur, luchtvochtigheid/neerslag en zonnestraling hebben de meeste

invloed op de omvang van een gletsjer (Kaser, 1999, Cullen et al., 2006). De Kilimanjaro en zijn gletsjers worden vaak opgevoerd als schoolvoorbeeld van de eerstgenoemde factor, de wereldwijde temperatuurstijgingen. Het voorbeeld is echter omstreden aangezien niet alleen klimaatsceptici, maar ook gletsjerwetenschappers die de theorie over global warming steunen, vinden dat temperatuur niet de hoofdfactor is die het smeltproces veroorzaakt (Kaser et al., 2004, p. 329). Over deze discussie later in dit hoofdstuk meer. Uit onderzoeksgegevens van Doug Hardy blijkt dat de temperatuur op de top van de Kilimanjaro sinds 1958 fluctueert tussen de -4 en -7 graden Celsius (Mote & Kaser, 2007, p. 322). Waarbij de gemiddelde jaartemperatuur -7,1 °C is en de temperatuur nooit boven het vriespunt uitkomt (Mölg et al, 2003, p. 2). Op basis van die temperatuurgegevens kan men concluderen dat een opwarming van de luchttemperatuur niet de hoofdoorzaak kan zijn geweest voor de drastische terugtrekking van de gletsjers op de Kilimanjaro.



Figuur 14: Temperatuur op de top van de Kilimanjaro (Mote & Kaser, 2007, p. 322)

De andere oorzaken, die volgens klimaatskeptici en een groep gletsjerwetenschappers zoals T. Mölg, D. Hardy en G. Kaser een grote rol spelen bij de terugtrekking van de gletsjers op de Kilimanjaro, zijn de hoeveelheid neerslag en de hoeveelheid 'shortwave radiaton'. De hoeveelheid neerslag die op de gletsjer valt is in de loop der tijd afgenomen en door de afnemende hoeveelheid bewolking is de inkomende zonnestraling juist toegenomen (Kaser et al., 2004, p. 330). Deze beide fenomenen zorgen ervoor dat de gletsjer zich in versneld tempo terugtrekt, aangezien er minder aanvoer is en juist meer afvoer door de toegenomen beschikbare energie. Waarnemingen op de gletsjers van de hoogste berg van Afrika bevestigen dit beeld aldus Kaser et al. (2004): aan de randen van de plateaugletsjer hebben zich verticale wanden gevormd die nauwelijks in hoogte zijn afgenomen. Deze wanden kunnen niet ontstaan door een verhoogde luchttemperatuur, aangezien ze

dan niet verticaal zouden zijn, maar langzaam aflopend. De verticale wanden zullen zich steeds verder terugtrekken totdat er niets meer van de gletsjer over is, omdat dit proces wordt voortgestuwd door energie van de continue zonnestraling (Kaser et al., 2004, p. 336).

Neerslag speelt een grote rol voor de gletsjers van de Kilimanjaro. Wetenschappers zijn er echter nog niet uit welke oorzaken ten grondslag liggen aan de vermindering. Er is onderzoek gedaan naar de El Niño Southern Oscillation (ENSO) (Mölg et al., 2008, p. 174) en naar de Indische Oceaan en haar oppervlaktetemperatuur. Vaak is El Niño in de tropen verantwoordelijk voor jaarlijkse verschillen in neerslaghoeveelheden, maar voor Oost-Afrika denkt men dat de Indische Oceaan een grotere invloed heeft op de neerslag dan El Niño (Chan, Vuille, Hardy & Bradley, 2008). Een mogelijke oorzaak van verschillen in neerslaghoeveelheden is de Indian Ocean Zonal Mode (IOZM). Dit is een graduele verandering in zeeoppervlaktemperatuur die loopt van oost naar west en zich om kan keren. Bij een positieve IOZM is de zeeoppervlaktetemperatuur warmer dan normaal en bij een negatieve IOZM is die temperatuur lager dan normaal. Het verloop van een positieve IOZM gebeurtenis wordt door Mölg, Renold, Vuille, Cullen, Stocker en Kaser (2006) bondig beschreven: een dergelijke gebeurtenis begint rond mei/juni met een uitzondelijke verkoeling van het oostelijke gedeelte van de Indische Oceaan. Deze verkoeling gaat samen met veranderingen in de zuid-westen wind en deze uitzonderingen op de normale omstandigheden gaan zich gedurende de maanden die daarop volgenen steeds vaker voordoen. Daarnaast warmt het westelijke gedeelte van de Indische Oceaan juist op, waardoor de temperatuur gradient in de Indische Oceaan zich omkeerd ten opzichte van daarvoor. Tegelijkertijd verhoogt de convectie boven het westelijke gedeelte van de oceaan. Al deze processen komen tot een hoogtepunt rond de maand oktober en keren daarna terug naar de oorspronkelijke staat. Deze temperatuurverschillen in de oceaan zorgen voor veranderingen in de grote windstromingen en de evaporatie die leiden tot een verandering in de vochttoevoer. De positieve IOZM zorgt vooral tijdens het korte regenseizoen voor een toename van neerslag in Oost-Afrika (Chan et al., 2008). De verdroging van het Oost-Afrikaanse klimaat sinds 1880 wordt in verband gebracht met een vermindering van positieve IOZM gebeurtenissen. Tussen 1820 en 1880 hebben zich veel sterke IOZM gebeurtenissen voorgedaan, terwijl dergelijke gebeurtenissen zich maar 9 keer in de 20ste eeuw hebben voorgedaan. Er is echter geen relatie tussen de negatieve IOZM gebeurtenissen en de droogte in de 20ste eeuw. Dit is dan ook de reden dat de verdroging van het klimaat volgens Mölg et al. (2006) gezien moet worden als een vermindering in de frequentie van positieve IOZM gebeurtenissen die extreme regenval tot gevolg hebben tijdens het korte regenseizoen. De negatieve IOZM gebeurtenissen zijn de laaste decennia ook verminderd, maar de gletsjers op de Kilimanjaro trekken zich nog steeds terug. Momenteel wordt er onderzoek gedaan naar veranderingen in vegetatie op de Kilimanjaro en of deze veranderingen een effect hebben op hoeveelheid neeslag op de top van de berg (Mölg, persoonlijke communicatie). Daarnaast wordt ook

door de gletsjerwetenschappers verwacht dat global warming uiteindelijk ook leidt tot veranderingen in neerslag in de Tropen (Mölg, Cullen, Hardy, Winkler & Kaser, 2009, p. 4178). Sommige locaties zullen meer neerslag ontvangen, terwijl andere locaties het juist met minder neerslag moeten stellen in de toekomst.

Naast de IOZM wordt ook gedacht dat windsnelheid van invloed is op de mate van sneeuwval op de top van de Kilimanjaro. Bij een lage windsnelheid kan de oppervlakte opwarmen en zo een opwaartse luchtstroming veroorzaken die het vocht mee omhoog voert en om kan zetten in neerslag. Belangrijk hierbij is de luchtvochtigheid vlakbij de oppervlakte, want die moet hoog genoeg zijn om grote sneeuwval te kunnen veroorzaken (Chan et al., 2008, p. 163). De windsnelheid speelt een grote rol tijdens het lange regenseizoen, maar speelt slechts een geringe rol tijdens het korte regenseizoen. De invloed van de IOZM wordt tijdens het korte regenseizoen groter geacht.

Mount Kenya

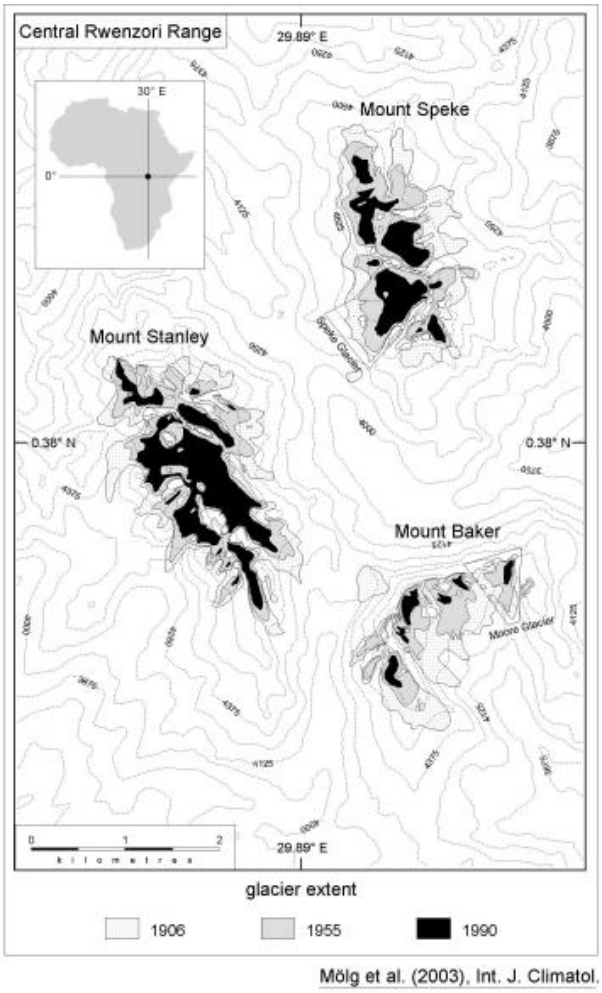
Mount Kenya ligt vlakbij de evenaar aan de oostflank van de Great African Rift Valley. Ook deze berg is een stratovulkaan en heeft twee afzonderlijke pieken: Batian (5199 meter) en Nelion (5188 meter) (Grab, 1996, p. 382). Aan de voet van Mount Kenya ontspringen een aantal beekjes en rivieren zoals de rivier de Tana. Deze rivier is van groot belang voor de Keniaanse opwekking van hydropower en zorgt daarnaast voor voldoende water voor de agrarische sector in de buurt van het Tana Basin. Vele ander stroompjes vinden ook hun oorsprong op de Mount Kenya en zijn van belang voor diverse agrarische activiteiten rondom de berg (World Bank, 2006, p. 9).

Ook bij Mount Kenya heeft verdroging van het klimaat een belangrijkere invloed dan de luchttemperatuur. De verdroging heeft zich sinds 1880 in heel Oost-Afrika voorgedaan en speelt in de eerste helft van de 20^{e} eeuw nog een grote rol op de Mount Kenya (Mölg et al., 2003, p. 300, Hastenrath, 2010, p. 149). In de tweede helft van de 20^{e} eeuw echter denkt men dat een temperatuurstijging grotere invloed heeft gehad op het smelten van de Mount Kenya gletsjers (Mölg et al., 2003, p. 300, Hastenrath, 2010, p. 149).

Rwenzori

Het Rwenzori gebergte ligt op de evenaar op de grens tussen de Democratische Republiek Congo (DRC) en Uganda en heeft in totaal zes bergen die bedekt zijn met gletsjers: Mount Stanley (5111 m), Speke (4891 m), Baker (4873 m), Emin (4802 m) en Gessi (4769 m), Luigi di Savoia (4665 m). De hoogste piek is de Margherita peak (5109 m) (Kaser & Noggler, 1996). Van een aantal bergen is geen of te weinig data om conclusies te kunnen trekken over de gletsjerterugtrekking. Van Mount Stanley, Mount Speke en Mount Baker zijn wel gegevens beschikbaar en uit onderzoek blijkt dat Mount Stanley nog 35% van de omvang in 1906 heeft, dat Mount Speke 25% over heeft en dat Mount Baker

slechts 8% over heeft weten te houden (Mölg, Georges & Kaser, 2003, p. 293). De totale omvang van de gletsjers in het Rwenzori gebergte was in 1906 ongeveer 7,5 km², maar is geslonken naar minder dan 1 km² in 2003 (Russell, Eggermont, Taylor & Verschuren, 2009, p. 254).



Figuur 15 Bergen in de Rwenzori Range met hun gletsjers.

Het Rwenzori gebergte ligt net als de Kilimanjaro en Mount Kenya in de tropen en kent op basis van neerslag seizoenen. De twee regenseizoenen in dit gebied duren van maart tot mei en van augustus tot december (Mölg et al., 2003, p. 292). Het weer in dit gebergte wordt voornamelijk bepaald door de dagelijkse circulatiepatronen in de atmosfeer. Dit dagelijkse patroon loopt volgens Mölg et al. (2003) als volgt: ’s Nachts en in de vroege ochtend worden de bergen omringd door dalende lucht en dat veroorzaakt heldere luchten rondom de toppen van de bergen. Gedurende de ochtend draait deze luchtstroming zich om doordat de zon de oppervlakte opwarmt. De omhoog stromende lucht zorgt voor het ontstaan van bewolking en regen boven de bergen. Dit proces start boven de oostelijke hellingen en verspreid zich gedurende de dag over het hele gebergte.

Bij de terugtrekking van de gletsjers in het Rwenzori gebergte speelt een droger klimaat met minder neerslag eveneens een grote rol. Net zoals bij de Kilimanjaro bereikten de gletsjers ook hier hun maximale omvang tijdens de Kleine IJstijd en begon de terugtrekking rond 1880. Rond dat jaartal vond in Oost-Afrika een klimaatverandering plaats die ervoor zorgde dat het droger werd en er minder neerslag viel. Niet alleen de gletsjers reageerden hierop, deze verdroging werd ook waargenomen aan de hand van de waterstanden in de nabijgelegen meren (Mölg et al., 2003, p. 293). De verdroging van het klimaat wordt toegewezen aan een verhoogde inkomende zonnestraling die veroorzaakt werd doordat de bewolking, voortkomend uit de opstijgende lucht zoals hierboven beschreven, zich pas later op de dag voor ging doen. Daarnaast worden de kortere regenseizoenen als oorzaak genoemd (Mölg et al., 2003, p. 297). De hoofdoorzaken van de gletsjerterugtrekking worden dus vooral gezocht in een verandering in neerslag en luchtvochtigheid en niet in de opwarming van de luchttemperatuur. Dat de luchttemperatuur in dit geval een ondergeschikte rol speelt wordt mede bevestigd door het feit dat er rond 1880 geen abrupte omslag in luchttemperatuur is waargenomen, in tegenstelling tot de abrupte veranderingen in vochtigheid (Mölg et al., 2003, p. 302).

Om de terugtrekking van de gletsjers in het Rwenzori gebergte beter te begrijpen is het belangrijk om te weten op welke hoogte de 0°C lijn in dit gebergte ligt. Hoger dan deze lijn is het kouder dan 0°C en beneden deze lijn is het warmer dan 0°C. Voor het Rwenzori gebergte is deze lijn geschat op een hoogte tussen de 4600 en 4700 meter (Kaser & Ostmason, 2002, p. 66). Dit is niet zo hoog in vergelijking met de hoogte van de bergen zelf die voornamelijk tussen de 4600 en 4900 meter zijn.

5.3. Global warming versus weerpatronen

Zoals al eerder aangehaald bestaat er een discussie over de oorzaken die ten grondslag liggen aan de smeltende gletsjers in Oost-Afrika. Deze discussie kan men grofweg opdelen in twee kampen: degenen die global warming als hoofdoorzaak noemen (de Amerikanen met als aanvoerder L. Thompson) en degenen die veranderingen in neerslag, bewolking en zonnestraling verantwoordelijk houden (de Oostenrijkers met als aanvoerder G. Kaser). Het hoofdonderwerp van deze discussie zijn de gletsjers op de Kilimanjaro, omdat vooral bij deze gletsjers onduidelijk bestaat over de hoofdoorzaak van het smelten. Voor de gletsjers op Mount Kenya en in de Rwenzori Range is men het er over het algemeen over eens dat een stijgende temperatuur de gletsjers doet smelten. Om deze reden zal ook in deze paragraaf de focus liggen op de discussie over de gletsjers op de Kilimanjaro. Een ander belangrijke aantekening die hier gemaakt moet worden, is dat de Oostenrijkse groep gletsjerwetenschappers onder aanvoering van G. Kaser de theorie van het IPCC over klimaatverandering en global warming niet ontkennen. Zij steunen het IPCC maar zijn van mening dat

in het geval van de Kilimanjaro andere, minder directe gevolgen van global warming, als oorzaak ten grondslag liggen aan het smelten van de gletsjers.

De standpunten van de Oostenrijkse groep wetenschappers zijn in de voorgaande paragraaf uiteengezet. Zij vinden global warming geen hoofdoorzaak omdat de temperaturen op de top van de Kilimanjaro door het jaar heen beneden het vriespunt blijven. Volgens hen is de voornaamste reden waarom de gletsjers verdwijnen is dat de lucht op die hoogte zo droog is dat het ijs direct omgezet wordt in waterdamp (sublimation). Dit in combinatie met een veranderend weerpatroon dat zorgt voor minder aanvoer in de vorm van neerslag, zorgt voor een netto verlies van ijsmassa. Neerslag, bewolking en inkomende zonnestraling spelen een centrale rol in hun argumenten. Deze factoren kunnen een indirect gevolg zijn van klimaatverandering, maar kunnen ook lokale of regionale oorzaken hebben. Zo is veel grond rondom de Kilimanjaro in de laatste decennia veranderd in landbouwgrond en wordt er volop onderzoek gedaan om de relatie tussen de Indische Oceaan en het Oost-Afrikaanse weer nog beter te begrijpen. Daarnaast zijn de Oostenrijkse gletsjerwetenschappers van mening dat de Amerikaan L. Thompson van de 'tegenpartij' zijn argumenten vooral onderbouwt in populaire media in plaats van wetenschappelijke, gereviewde artikelen. Bovendien is verwijten zij hem dat hij zijn argumenten nooit onderbouwt met fysische processen of natuurkunde (Mölg, persoonlijke communicatie).

De Amerikaan L. Thompson leidt, zoals gezegd, de tegenpartij die van mening is dat het smelten van de gletsjers op de Kilimanjaro het directe gevolg is van global warming. Een geleidelijke opwarming van de gemiddelde luchttemperatuur over de afgelopen eeuw, zorgt er nu voor dat het smeltproces zich in een versnelt tempo voortzet. Hij erkent dat het smelten van de gletsjers tijdens het einde van de 19^{e} eeuw en het begin van de 20^{e} eeuw waarschijnlijk het gevolg is geweest van een abrupte afname in de hoeveelheid neerslag en een toename van de hoeveelheid zonnestraling. Het smelten tijdens de laatste decennia wijt hij echter aan een verhoogde luchttemperatuur en dit standpunt onderbouwt hij met waarnemingen van water dat meertjes op het gletsjeroppervlak vormt. Deze meertjes van water kunnen zich alleen vormen als de luchttemperatuur warm genoeg zijn om water te laten voorkomen. Als het te koud zou zijn, dan zou het water weer bevriezen. Daarnaast blijkt bij ijsboringen dat zich in de bovenste ijslaag ook water bevindt (Thompson, Brecher, Mosley-Thompson, Hardy & Mark, 2009; Thompson, persoonlijke communicatie). Een ander argument waarmee hij zijn standpunt onderbouwt is dat overal in de tropen gletsjers zich terugtrekken en dat de Kilimanjaro daar geen uitzondering op is. Deze constatering duidt op een algemene drijver achter alle terugtrekkingen en deze drijver is global warming (Thompson, persoonlijke communicatie). Neerslag en veranderingen in grondgebruik kunnen volgens Thompson die drijver niet zijn, omdat die variabelen zich heel anders manifesteren op de verschillende plaatsen in de tropen (Thompson, persoonlijke communicatie).

Deze discussie wordt vooral gevoerd in wetenschappelijke artikelen die in verschillende tijdschriften verschijnen. Dit zijn factoren die het krijgen van overzicht in deze discussie bemoeilijken. De gewone burger krijgt de nuances die wetenschappers bij global warming maken daardoor niet mee. Dit wordt nog versterkt door het feit dat organisaties zoals het WWF in documenten op hun website, die makkelijk toegankelijk zijn voor het grote publiek, geen onderscheid maken in smeltende gletsjers over de hele wereld. Er wordt gesproken over global warming als oorzaak, terwijl dit in enkele gevallen nog niet zeker is en bovendien wordt er geschreven dat overal waar gletsjers smelten dit grote gevolgen zal hebben voor de zoetwatervoorziening (WWF, 2005), terwijl het smeltwater van de Kilimanjaro nauwelijks bijdraagt aan deze voorziening. Dit is ook niet altijd nodig omdat er anders een te ingewikkeld beeld ontstaat van global warming en het er zo niet gemakkelijker op wordt. Het aanbrengen van enkele nuances zou echter niet misstaan al was het maar om te voorkomen dat de betreffende casussen, zoals de Kilimanjaro, gebruikt worden door tegenstanders van de global warming theorie om deze te ontkrachten. Gletsjerwetenschappers van beide partijen, zowel de Amerikanen als de Oostenrijkers, steunen de theorie over global warming, maar als alleen klimaatskeptici met andere oorzaken dan global warming in het nieuws komen, kan dit een ander beeld creeëren dan de wetenschappers in eerste instantie voor ogen hadden.

Daarnaast is het opvallend dat de Amerikanen, die het smelten van de gletsjers op de Kilimanjaro uitleggen als een direct gevolg van global warming, in veel meer krantenartikelen hun standpunt kenbaar maken aan het grote publiek. Zo werd op 3 november 2009 in zowel Time, TheTimes, The Guardian als de New York Times een artikel geplaatst naar aanleiding van een nieuw wetenschappelijk artikel dat L. Thompson in het tijdschrift Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) geplaatst had over de gletsjers op de Kilimanjaro. In slechts twee van de vier krantenartikelen wordt de alternatieve mening, namelijk die van de Oostenrijkers, ook genoemd.

5.4. Neerslag aan de voet en op de top van de Kilimanjaro

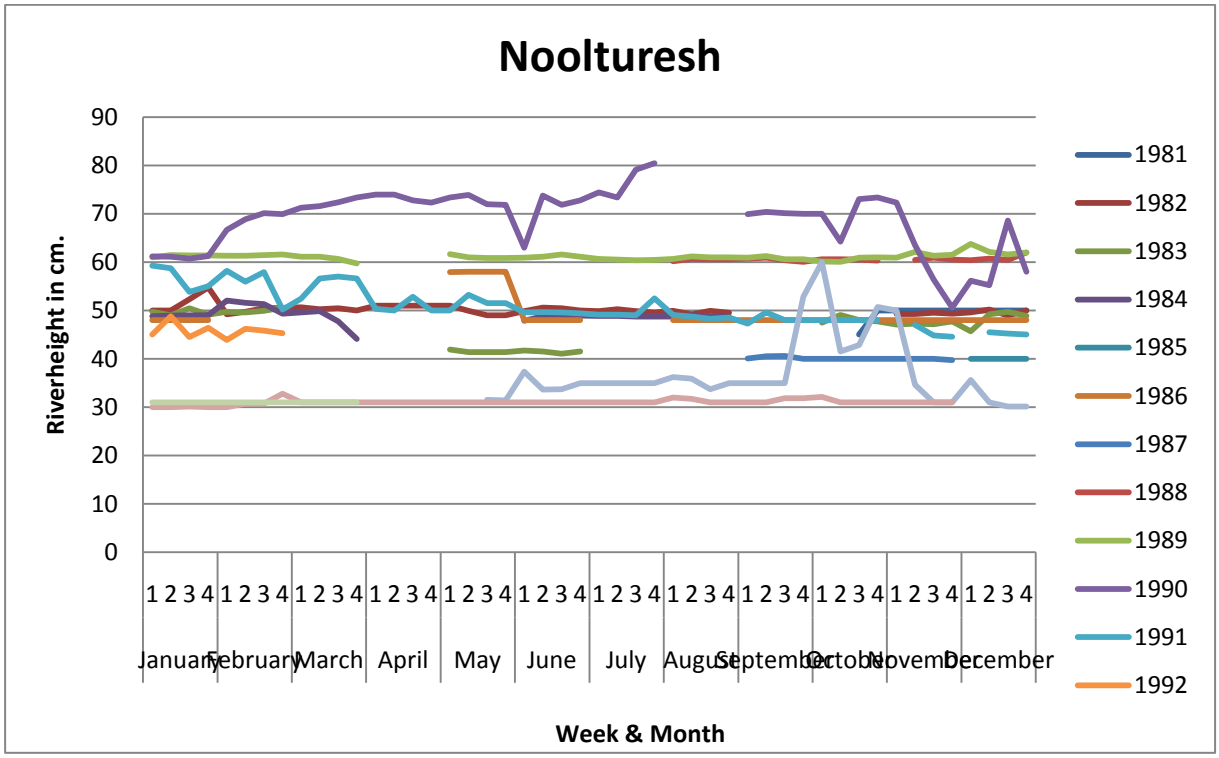
Bij de terugtrekking van de gletsjers op de Kilimanjaro speelt de hoeveelheid neerslag een grote rol. De afgelopen eeuw is het klimaat in Oost-Afrika droger geworden dan daarvoor het geval was. Deze verdroging is één van de oorzaken dat de gletsjers zich steeds verder terugtrekken. Beneden aan de voet van de berg ontspringen verschillende rivieren en stroompjes. De waterstanden in deze riviertjes fluctueren vooral naargelang de hoeveelheid neerslag die er op de berg valt. De hoogte van de waterstanden kan ons dus iets zeggen over de hoeveelheid neerslag die in het gebied valt. De gegevens over de waterstanden uit verschillende riviertjes in het gebied rondom de Kilimanjaro heb ik gebruikt om een analyse te maken van de verdroging of vernatting van het klimaat. De riviertjes waar ik gegevens van heb liggen aan de Keniaanse kant van de Kilimanjaro. De gegevens zijn bijgehouden door het Water Department – Hydrology Section van Kenia. De waterstanden van de rivieren zijn per dag genoteerd en voor de meeste rivieren geldt dat er zowel ’s ochtends als ’s middags gemeten is. Deze beide meetgegevens heb ik verwerkt tot een daggemiddelde. Als er slechts één meetgelegenheid per dag genoteerd stond, heb ik deze als daggemiddelde opgenomen in mijn dataset. Nadat alle daggemiddeldes ingevoerd waren, heb ik iedere maand opgedeeld in vier weken. Van elke week is een weekgemiddelde berekend. Ik heb in dit geval voor weekgemiddelden gekozen omdat een maand een te grote tijdseenheid is om de Oost-Afrikaanse neerslagpatronen te kunnen analyseren. Een dag als tijdseenheid daarentegen is een te kleine eenheid om te bekijken hoe de neerslagpatronen zich gedragen over bijvoorbeeld 10 jaar tijd. Voor de rivieren en bronnen met lange reeksen waterstandgegevens heb ik de grafiek gebaseerd op maanden, omdat het anders erg onoverzichtelijk zou worden om over 10 jaar van elke week een datapunt te maken in de grafiek.

In deze paragraaf zullen eerst de resultaten van de waterstandanalyse beschreven worden met bijbehorende grafieken. Daarna zullen de conclusies uit deze analyse gekoppeld worden aan het gletsjeronderzoek boven op de Kilimanjaro.

Noolturesh River

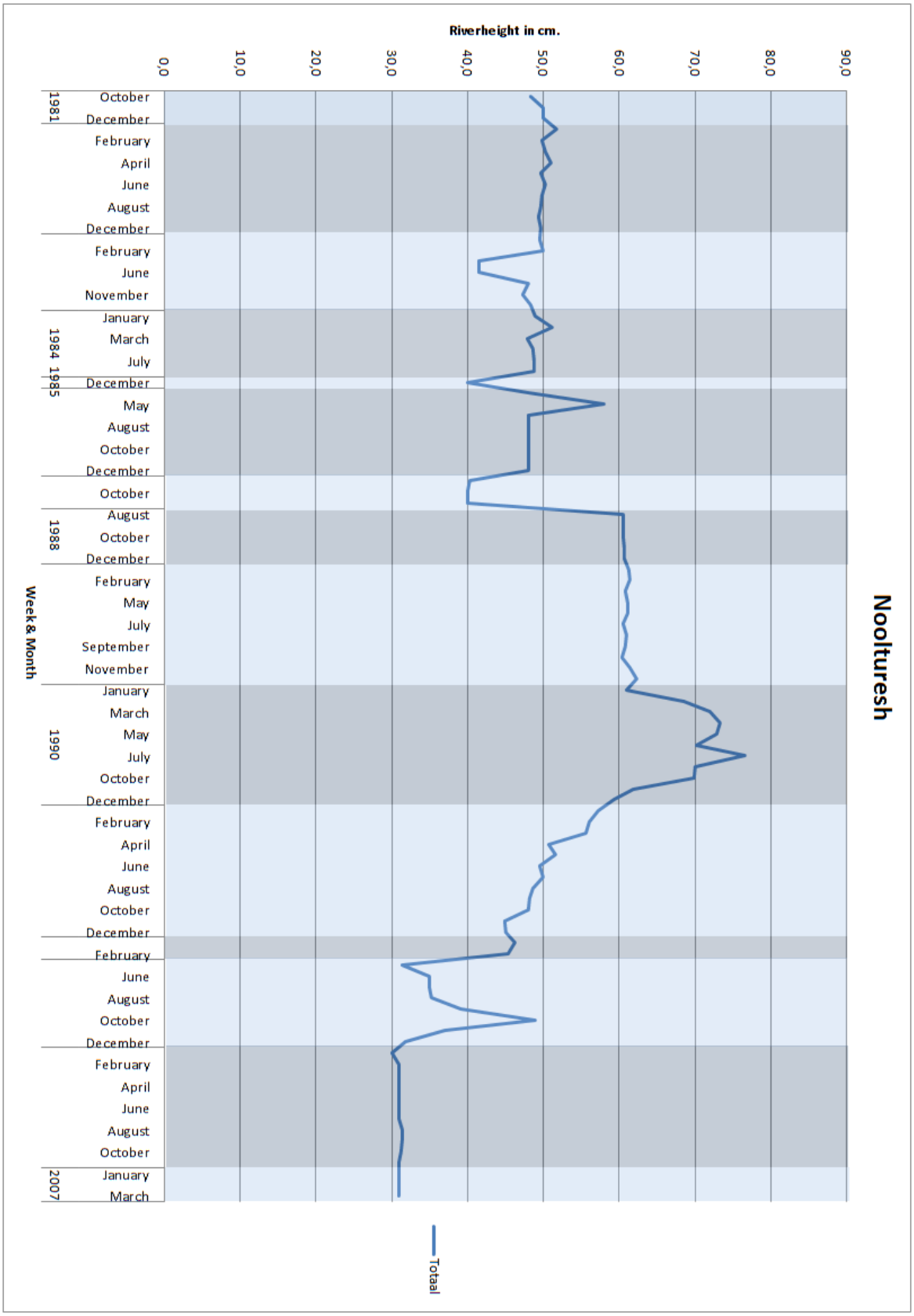
Van de rivier de Noolturesh waren er gegevens uit de jaren 1981 tot en met 1992 en 2005 tot en met 2007. Deze gegevens waren echter niet compleet, soms misten een aantal dagen, soms zelfs een aantal maanden. Figuur 16 is een grafiek die de data van Noolturesh per jaar weergeeft. Hierin is goed te zien dat er veel missende gegevens zijn, deze zijn weergegeven als gaten. Als alle bekende gegevens achter elkaar gezet worden ziet men het verloop door de jaren heen. Het verloop van de Noolturesh door de jaren heen wordt weergegeven in Figuur 17. Deze grafiek is gebaseerd op maandgemiddeldes. Bovendien zijn de jaren in deze grafiek ook door middel van kleurbanen weergegeven, zodat men duidelijk kan zien van welke jaren meer gegevens beschikbaar zijn dan van andere. Hoe breder de baan, hoe meer maanden met gegevens.

Uit de grafiek in Figuur 17 kan men aflezen dat de rivierstanden tussen 1981 en 1987 fluctueerden rondom een hoogte van 50 cm. Van 1988 tot en met 1990 werden de rivierstanden hoger, rond de 60 cm., met als hoogtepunt een rivierstand van 76 cm in 1990. In 1991 zette de daling in en eindigden de rivierstanden net onder de 50 cm. Vanaf 1992 missen de gegevens tot mei 2005.



Figuur 16 Grafiek Noolturesh River. Gegevens per jaar weergegeven in maanden en weken.

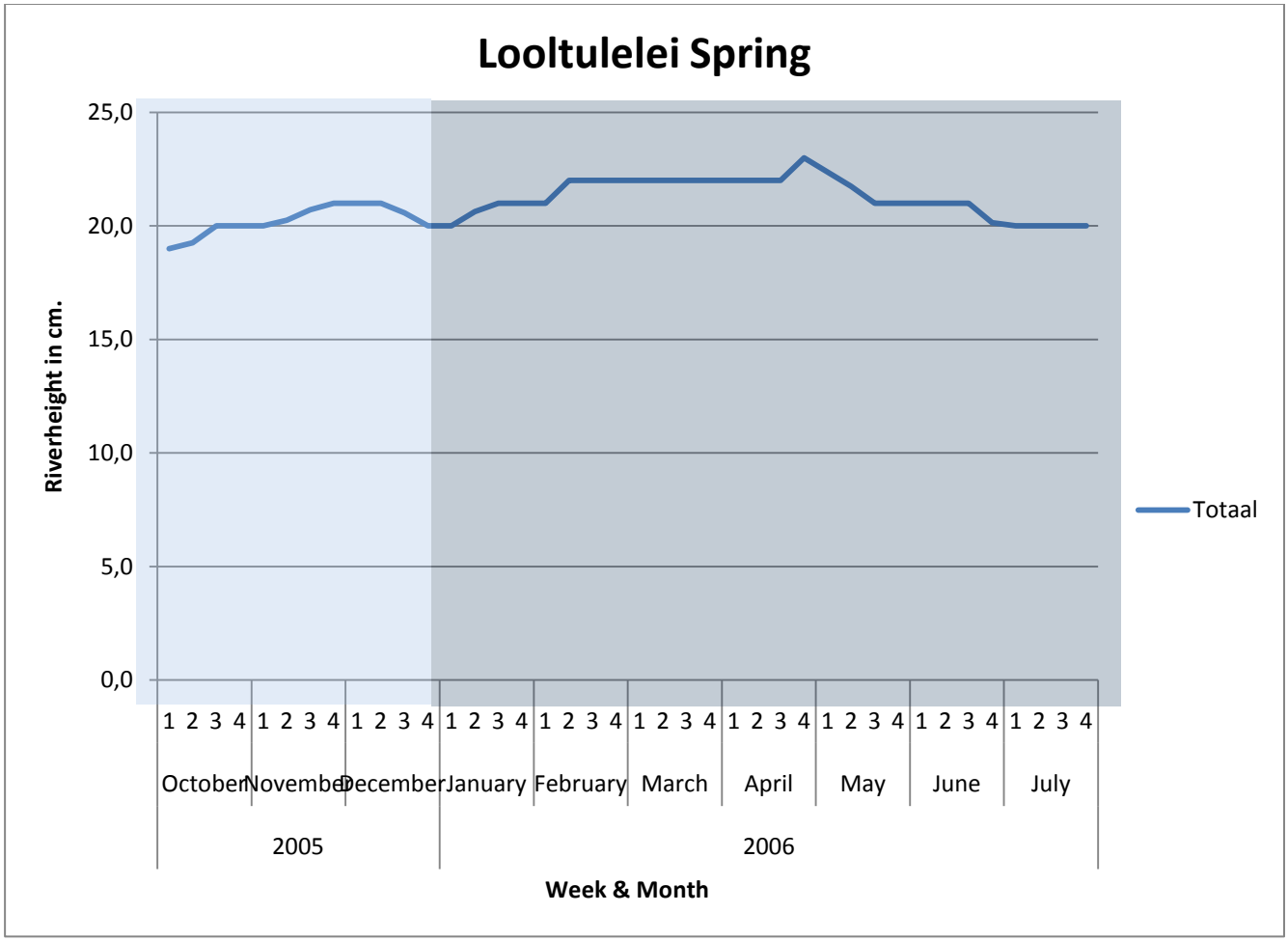
In 2005 liggen de rivierstanden met 30 cm beduidend lager dan in de jaren '90. In het najaar van 2005 is er wel een uitschieter naar boven waargenomen, maar deze haalt de 50 cm niet. Daarna lijkt de rivier een nieuw equilibrium gevonden te hebben met een waterstand van rond de 30 cm. Een verklaring voor de pieken in 1990 is dat al het water door de rivier stroomt en er niets de pijplijnen ingaat. In dit gebied wordt het water van de rivieren deels door pijpleidingen naar andere gebieden vervoerd. Als de pijplijn om wat voor redenen dan ook dicht is, stroomt al het water door de rivier en wordt er stroomafwaarts van de ingang van de pijpleiding ineens hogere waterstanden gemeten. Dat daar ook hier sprake van lijkt te zijn, blijkt uit aantekeningen die bij de gegevens gemaakt zijn. Bij de hoge waterstanden in 1990 van meer dan 70 cm staat zowel in februari als in juli genoteerd "all water is directed in the river" en "all water flowing in the river, no water in big pipe" respectievelijk. In oktober en december 1990 staat er als aantekening dat de grote pijpleidingen niet opereren.



Figuur 17 Grafiek Noolturesh River. Nu zijn de gegevens achter elkaar weergegeven en is het verloop in tijd goed te zien.

Looltulelei Spring

Van deze bron zijn gegevens beschikbaar over de periode oktober 2005 tot en met juli 2006. Dit is een niet al te lange tijdreeks, maar wel één met weinig missende data. Van alle maanden kan een weekgemiddelde geformuleerd worden. De rivierstanden schommelen net boven of net onder de 20 cm. Vanwege de korte tijdreeks kan ik niets zeggen over de lange termijn veranderingen die eventueel hebben plaatsgevonden. Deze gegevens kunnen daarom niet bijdragen aan de analyse van de verdroging of vernatting van het Oost-Afrikaanse klimaat en zullen verder niet gebruikt worden.

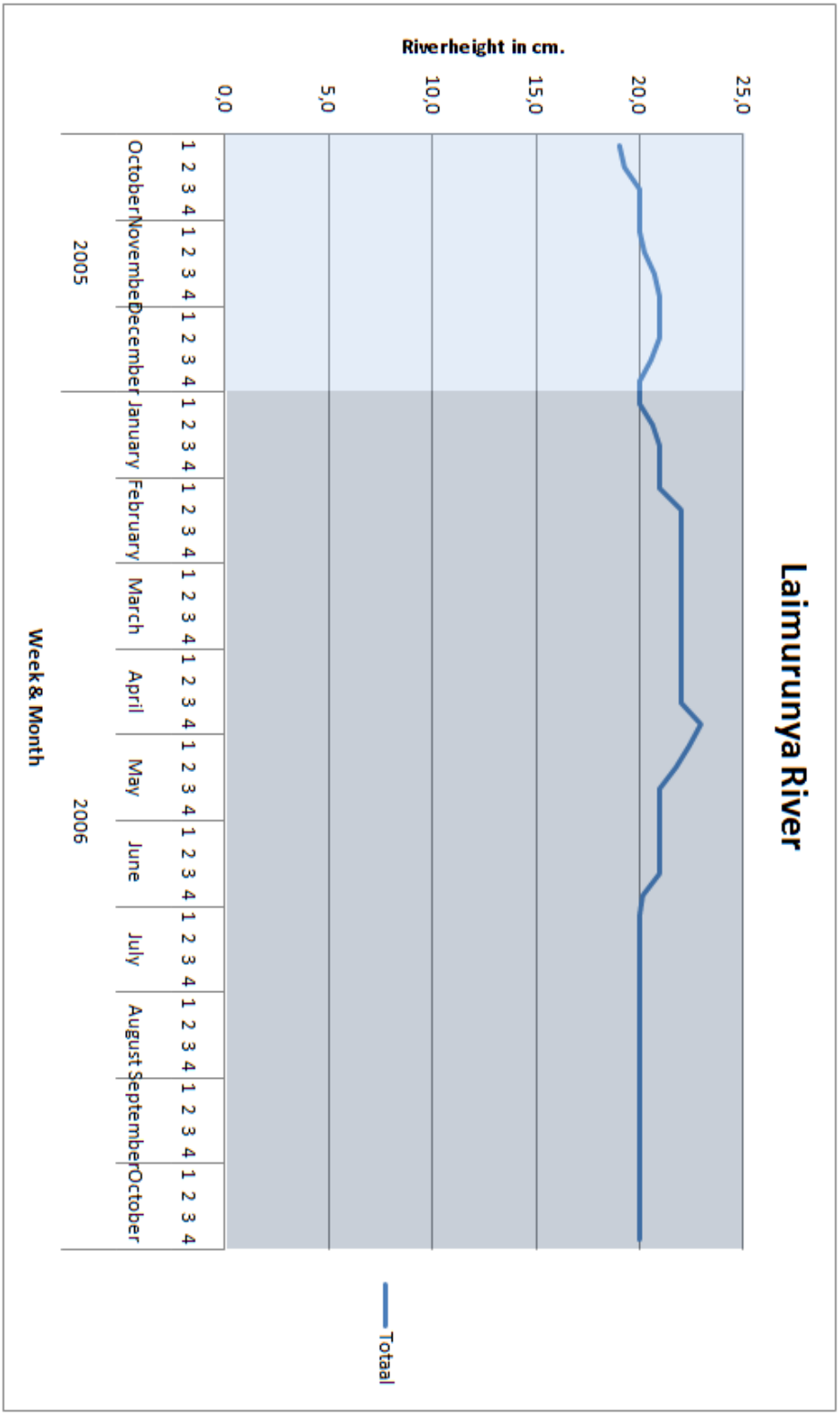


Figuur 18 Grafiek Looltulelei Spring. Gegevens per maand en per week.

Laimurunya River

De Laimurunya River heeft zijn oorsprong in de Looltulelei Spring en de gegevens zijn dan ook bijna hetzelfde. De tijdreeks van deze rivier loopt ook vanaf oktober 2005, maar gaat iets langer door namelijk tot en met oktober 2006. Naast dat de tijdreeks waarover gegevens bekend zijn relatief kort is, valt ook te twijfelen aan de betrouwbaarheid van de metingen tijdens de laatste maanden. De maanden juli tot en met oktober hebben in 2006 precies dezelfde rivierstanden, terwijl het daarvoor

wel fluctueert. Figuur 19 geeft een weergave van de tijdreeks uitgedrukt in maanden en weken. Om dezelfde reden als bij de Looltulelei River kunnen ook deze gegevens niet bijdragen aan de analyse van de verdroging of vernatting van het Oost-Afrikaanse klimaat. Deze gegevens zullen daarom verder niet gebruikt worden in een verdere analyse.



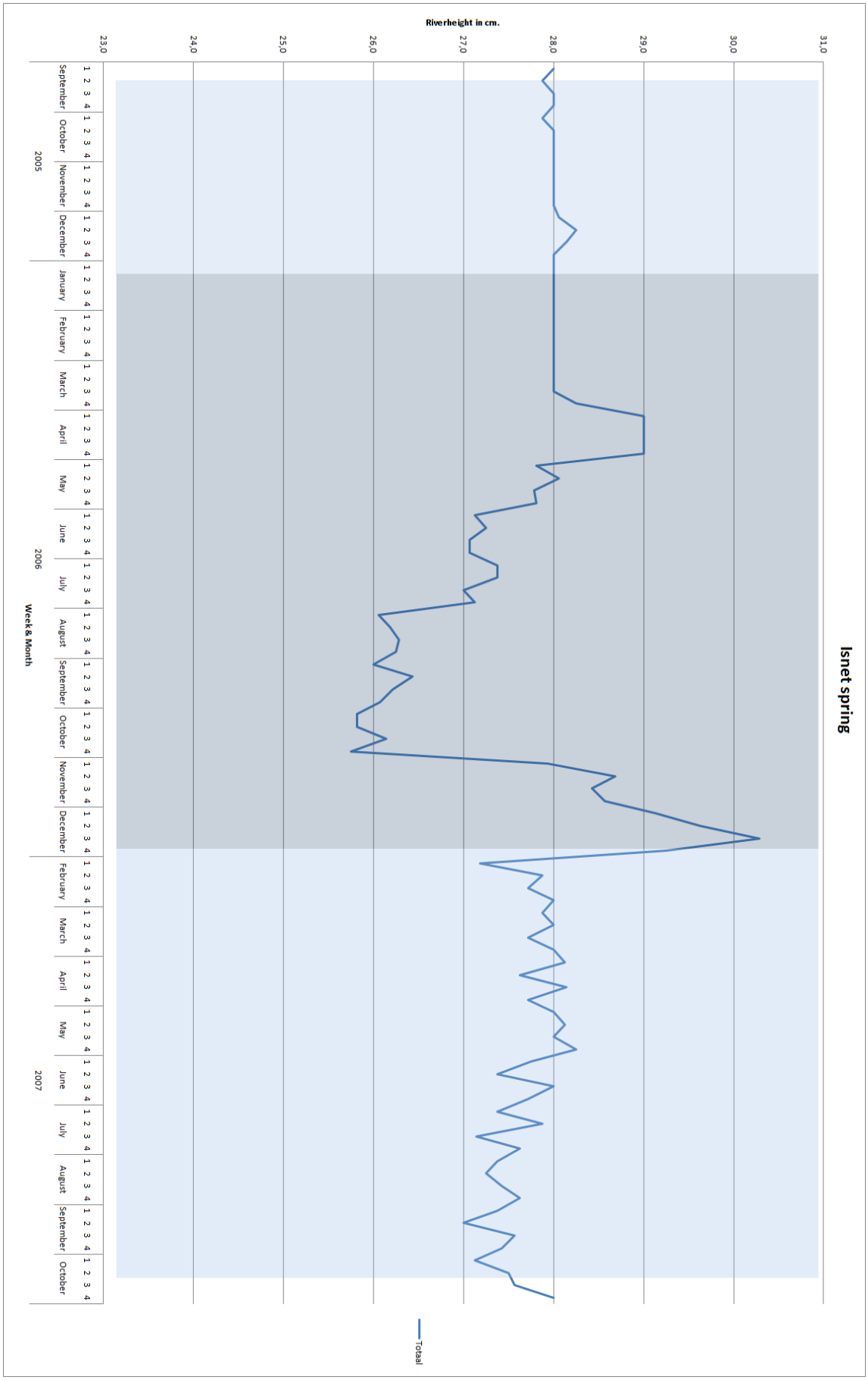
Figuur 19 Grafiek Laimurunya River. Weergegeven in weken en maanden.

Isinet Spring

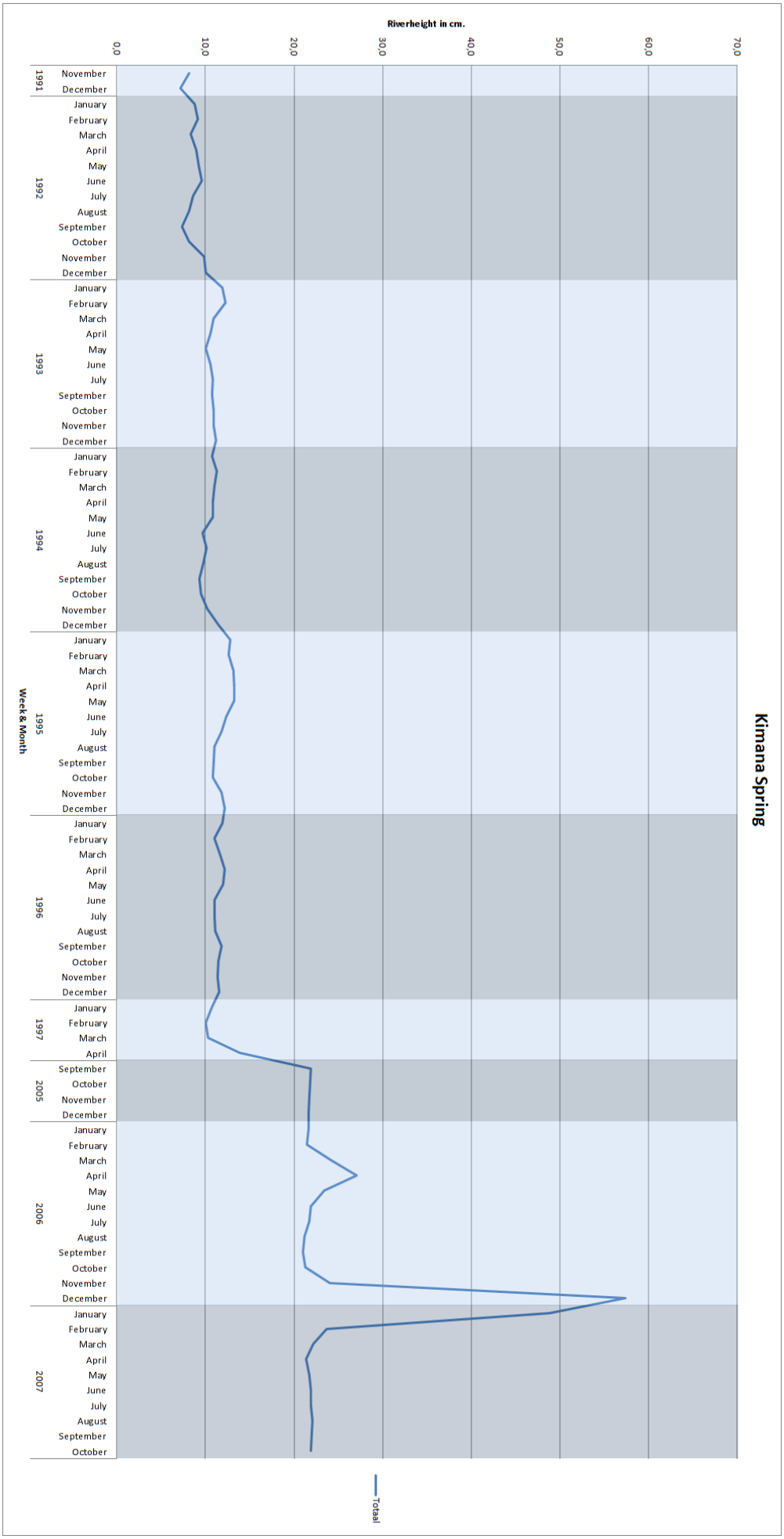
Van de Isinet Spring zijn gegevens beschikbaar van de periode september 2005 tot en met october 2007. Tijdens deze periode schommelen de waterstanden vooral tussen de 26 en 30 centimeter, waarbij 28 cm de gemiddelde waarde is waar de standen omheen schommelen. Uit Figuur 20 blijkt dat 2006 het jaar is met de grootste uitschieters, zowel naar beneden (25.8 cm) als naar boven (30.3 cm). In 2006 zijn de regenseizoenen ook goed te herkennen: in maart en april is er een hogere waterstand dan de gemiddelde 28 cm, in mei begint dat al wat te dalen en in het droge seizoen van juni tot en met september daalt de waterstand alleen nog maar verder. Het droge seizoen loopt iets langer door het nieuwe regenseizoen in, want in oktober wordt het dieptepunt bereikt. Direct daarna begint echter het regenseizoen, want in november en december zijn de waterstanden weer hoger dan gemiddeld en bereiken ze midden december zelfs een recordhoogte. In 2007 zijn de seizoenen minder uitgesproken, maar toch valt in april/mei uit alle schommelingen een stijgende trend waar te nemen. In juni tot en met september daalt de waterstand licht, waarna het in oktober weer lijkt te gaan stijgen. Voor een lange termijn analyse is dit een te korte tijdreeks, maar bij de Isinet Spring zijn de regenseizoenen die rondom de Kilimanjaro zouden moeten gelden wel duidelijk te onderscheiden.

Kimana Spring

Van de Kimana Spring hebben we een relatief lange tijdreeks aan gegevens beschikbaar in vergelijking met de andere rivieren en bronnen, die bovendien ook bijna helemaal compleet is. De tijdreeks is ook hier opgedeeld in twee delen, namelijk van november 1991 tot en met april 1997 en van september 2005 tot en met october 2007 (zie Figuur 21). In de eerste periode tijdens de jaren ’90 fluctueert de waterstand rondom de 10 centimeter. Waar de waterstand in 1991 en 1992 onder de 10 cm blijft, stijgt deze geleidelijk naar een waterstand die van 1993 tot en met 1997 altijd boven de 10 cm uit komt, op een kleine uitzondering in 1994 na. Van wat er tussen 1997 en 2005 plaatsvindt hebben we geen gegevens. We kunnen alleen concluderen dat in de tussenliggende 8,5 jaar de gemiddelde waterstand met meer dan 10 cm is gestegen. Een ander fenomeen dat af te lezen is uit Figuur 21 en dat overeen komt met de conclusies op basis van Figuur 20, is dat de pieken tijdens de regenseizoenen in het jaar 2006 bijzonder uitgesproken zijn in vergelijking met andere jaren.



Figuur 20 Grafiek Isinet Spring. Gegevens weergegeven in weken en maanden.



Figuur 3 Grafiek Kimana Spring. Gegevens weergegeven in maanden.

Nu de gegevens van alle rivieren en bronnen geanalyseerd zijn, kunnen ze gekoppeld worden aan de ervaringen en gegevens van gletsjerswetenschappers die actief zijn op de Kilimanjaro. De Kilimanjaro is een hoge berg van bijna 6000 meter en wetenschappers doen nu volop onderzoek naar de stromingen in de atmosfeer en de toe- en afvoer van vocht rondom deze berg. Men weet dat de noordelijke hellingen van de berg minder neerslag ontvangen dan de zuidelijke hellingen. Daarnaast valt de meeste neerslag op jaarbasis op een hoogte van 1800 tot 2400 meter. Hoger dan 2400 meter neemt de neerslag af, tot wel 20% van het maximum op een hoogte van 4000 meter (Hemp, 2005, p. 1014). Waar men veel minder duidelijkheid over heeft zijn de luchtstromingen rondom de berg en hoe dit zich verhoudt tot de hoeveelheid neerslag. Door de waterstanden van rivieren en bronnen aan de voet van de berg te vergelijken met neerslaggegevens op de top van de berg, hoop ik een bijdrage te kunnen leveren aan het verduidelijken van een mogelijke relatie tussen de hoeveelheid neerslag in de laaglanden en de neerslaghoeveelheden op de top van de Kilimanjaro.

Allereerst zal ik kijken naar de waterstanden van de Isinet Spring en de Kimana Spring. In beide tijdreeksen is het opmerkelijk dat de waterstanden in 2006 tijdens zowel het korte als het lange regenseizoen relatief hoge pieken vertonen. Dit zou betekenen dat er in die seizoenen veel regen is gevallen waardoor de waterstand kan stijgen. Deze waarneming komt overeen met waarnemingen op de top van de Kilimanjaro. In het artikel van Mote & Kaser uit 2007 wordt al gesproken van “exceptional heavy and extended rains” (p. 324) aan het einde van 2006. Dat deze grote hoeveelheden neerslag ook terecht kwamen op de top van de berg blijkt uit waarnemingen die in 2006 de grootste netto groei van de gletsjer sinds het jaar 2000 registreerden. In hetzelfde artikel wordt deze grote hoeveelheid neerslag gewijt aan veranderingen in de oppervlaktetemperaturen van de Indische Oceaan. Een ondersteuning van deze theorie komt uit het artikel van Chan et al. uit 2008 dat eerder in dit hoofdstuk al is aangehaald. In dit artikel wordt beschreven dat de Indian Ocean Zonal Mode (IOZM) een sterke invloed uitoefent op met name het korte regenseizoen en dat een positieve IOZM tijdens dat seizoen voor meer neerslag in Oost-Afrika zorgt. Dit komt overeen met de waarnemingen van zowel op de top als aan de voet van de Kilimanjaro, waar tijdens het korte regenseizoen in 2006 een bijzonder hoge piek in neerslag waar te nemen is.

De neerslag die op de top en aan de voet van de Kilimanjaro valt volgt dus vrijwel hetzelfde patroon. Wanneer de voorspellingen van het IPCC uitkomen en er in de toekomst meer neerslag zal vallen in deze regio, kan men op basis van onze analyse concluderen dat er in dat geval ook meer neerslag zal gaan vallen op de top van de Kilimanjaro. Deze conclusie wordt ondersteund door Dr. T. Mölg, gletsjerwetenschapper van de University of Innsbruck (persoonlijke communicatie). Als er in de toekomst daadwerkelijk meer neerslag zal gaan vallen, zal dit een positief effect hebben op de gletsjers van de Kilimanjaro. Er zal meer aanvoer komen en als de afvoer gelijk blijft of wellicht minder wordt door een toename in bewolking, zullen de gletsjer zich kunnen stabiliseren of zelfs

groeien. Wellicht dat een klimaatverandering dus de redding zal zijn van de tropische gletsjers in Oost-Afrika.

6. Conclusie

De mondiale discussie rondom smeltende gletsjers concentreert zich rond de oorzaken en gevolgen die het verdwijnen van deze ijsmassa's zullen hebben. Een grote groep wetenschappers verenigd in het IPCC stelt dat het smeltproces een gevolg is van global warming. Een wereldwijde temperatuurstijging die door de mens is veroorzaakt ligt volgens hen ten grondslag aan het wegsmelten van de gletsjers. De tegenstanders van deze theorie stellen dat de temperatuur helemaal niet stijgt, ofwel dat de mens niet de drijfveer is achter deze opwarming, maar dat natuurlijke verschijnselen de oorzaak zijn van de ijsmassa afname. De discussie die zich focust op de terugtrekking van de tropische gletsjers in Oost-Afrika vertoont een aantal overeenkomsten met de mondiale discussie. Ze bestaan beide uit grofweg twee partijen, waarvan de ene partij de terugtrekking volledig toeschrijft aan global warming. In het geval van de tropische gletsjers in Oost-Afrika zijn dat de Amerikaanse wetenschappers onder leiding van L. Thompson. De tegenpartij is er van overtuigd dat voor de gletsjers op de Kilimanjaro (Tanzania) andere oorzaken gelden. Verdroging van het klimaat is volgens hen de hoofdoorzaak van de terugtrekkende gletsjers. Door een al sinds 1880 geconstateerde vermindering in neerslag en bewolking, die een verhoging van de inkomende zonnestraling als gevolg heeft, wordt het ijs direct omgezet in waterdamp waardoor de gletsjer in omvang afneemt. Deze theorie bestaat al sinds begin 20^{e} eeuw en wordt vandaag de dag verder onderzocht en uitgewerkt door een groep Oostenrijkse wetenschappers onder leiding van G. Kaser. Doordat het ijs direct omgezet wordt in waterdamp is er (bijna) geen smeltwater dat van de gletsjers naar de voet van de berg stroomt. In het geval van de Kilimanjaro is de plaatselijke bevolking dan ook niet afhankelijk van het gletsjerwater voor hun zoetwatervoorziening. Waterschaarste als gevolg van terugtrekkende gletsjers is in dit gebied dan ook niet aan de orde.

De verdroging van het Oost-Afrikaanse klimaat vond aan het einde van de 19^{e} eeuw plaats. Deze omslag van het klimaat wordt gewijt aan veranderingen in de frequentie van positieve Indian Ocean Zonal Mode (IOZM) gebeurtenissen. In de 20^{e} eeuw zijn er beduidend minder positieve gebeurtenissen dan in de 19^{e} eeuw, wat als gevolg heeft dat er minder extreme neerslaghoeveelheden vallen gedurende het korte regenseizoen in Oost-Afrika. Tevens zouden veranderingen in de activiteit van El Niño Southern Oscillation (ENSO) gevolgen kunnen hebben voor de neerslaghoeveelheden in Oost-Afrika. Het IPCC voorspelt echter dat er in de toekomst meer neeslag zal gaan vallen in Oost-Afrika. Het afgelopen decennia is al een lichte stijging waargenomen in de laaglanden rondom de Kilimanjaro in Kenia. Als deze toename zich ook voordoet op de top van de berg waar de gletsjers zich bevinden, zou dit een positief effect kunnen hebben op hun omvang.

De Kilimanjaro is een grote, vrijstaande berg van bijna 6000 meter hoog. De luchtstromen die tegen deze berg botsen, zullen moeten uitwijken. Welke weg ze hierbij afleggen is nog grotendeels onbekend. De verandering in luchtstromen rondom de Kilimanjaro maakt het moeilijk te voorspellen of een stijging van neerslag in de laaglanden ook een stijging tot gevolg zal hebben op de top van de berg. Mijn onderzoek naar de waterstanden van riviertjes die hun oorsprong vinden aan de voet van de Kilimanjaro probeert een bijdrage te leveren aan het inzicht dat men nu heeft over de luchtstromen rondom de berg. De riviertjes zijn afhankelijk van neerslag, waardoor de waterstanden daar een afspiegeling van zijn. Van twee van de vier rivieren komt het patroon in waterstanden overeen met het neerslagpatroon boven op de Kilimanjaro. Met name het jaar 2006, wanneer zich zowel aan de voet als op de top van de berg extreme neerslaghoeveelheden worden waargenomen, is hier een goed voorbeeld van. Mijn analyse van de waterstanden komt in dat opzicht overeen met waarnemingen die gedaan zijn boven op de gletsjers. Op basis hiervan kan men concluderen dat een stijging in neerslaghoeveelheden in de laaglanden van Oost-Afrika, ook een stijging van neerslag tot gevolgd kan hebben ter hoogte van de gletsjers. Dit zal een positief effect hebben op de omvang van de tropische gletsjers in Oost-Afrika, aangezien hun aanvoer in de vorm van neerslag wordt verhoogd en de afvoer in de zin van inkomende zonnestraling wordt verlaagd. Dit proces kan een netto groei van de gletsjer opleveren, waardoor de witte toppen van Afrika behouden blijven.

Mijn onderzoek is vooral een bureauonderzoek geweest. Binnen het bacheloronderzoek was het niet mogelijk om de gletsjers in Oost-Afrika te bezoeken. Ondanks deze beperking heb ik het beste proberen te halen uit het onderzoek. Ik heb alle mogelijke documenten, artikelen en data verzameld die er beschikbaar was over het onderwerp. Bij een vervolgonderzoek zou veldwerk absoluut een meerwaarde opleveren. Een kritische noot kan ook gemaakt worden over de betrouwbaarheid van de waterstanddata. Zoals in de betreffende paragraaf aangegeven missen er gegevens in meer of mindere mate. Bovendien is gebleken dat de locatie van de metingen niet exact te bepalen is. Desalniettemin is deze data toch waardevol en van belang, aangezien dit de eerste studie is die dergelijke gegevens analyseerd en combineert met de neerslaggegevens van de top van de Kilimanjaro. Bij een vervolgstudie zouden de verbanden die in deze studie gesuggereerd worden, nader onderzocht kunnen worden. Veldwerk zou hier wezenlijk aandeel aan kunnen leveren.

Literatuurlijst

Agrawala, S. (2005). *Bridge over troubled water. Linking climate change and development.* Paris: OECD publishing.

Bavel, J. van (2004). *De wereldbevolkingsexplosie en duurzame ontwikkeling: een veldoverzicht.* KU Leuven, departement Sociologie. Gevonden op 8 maart 2010, op: https://perswww.kuleuven.be/~u0002662/De%20wereldbevolkingsexplosie%20en%20duurzame%20ontwikkeling%20v4.pdf

Beer, P. de (2007). Minder groei, minder welzijn? *Socialisme & Democratie, 64*, 9, 10 – 19.

Bencala, K.R., & Dabelko, G.D. (2008). Water wars: obscuring opportunities. *Journal of international affairs, 61,* 2, 21 – 33.

Chan, R.Y., Vuille, M., Hardy, D.R., & Bradley, R.S. (2008). Intraseasonal precipitation variability on Kilimanjaro and the East African region and its relationship to the large-scale circulation. *Theoretical and Applied Climatology, 93,* 149 – 165.

Clement, A.C., Burgman, R., & Norris, J. R. (2009). Observational and model evidence for positive low-level cloud feedback. *Science, 325,* 5939, 460 – 464.

Cullen, N.J., Mölg, T., Kaser, G., Hussein, K., Steffen, K., Hardy, D.R. (2006). Kilimanjaro glaciers: recent areal extent from satellite data and new interpretation of observed 20th century retreat rates. *Geophysical research letters, 33*, L16502, 1 – 6.

Goldenberg, S. (2010, 20 januari). World's glaciers melting at accelerated pace, leading scientist say. *Guardian.* Gevonden op 12 maart 2010, op: http://www.guardian.co.uk/environment/2010/jan/20/climate-change-glaciers-melting.

Grab, S.F. (1996). The occurrence of a Holocene Rock Glacier on Mount Kenya: some observations and comments. *Permafrost and Periglacial Processes, 7,* 381 – 389.

Hastenrath, S. (2010). Climatic forcing of glacier thinning on the mountains of equatorial East Africa. *International Journal of Climatology, 30,* 146 – 152.

Hemp, A. (2005). Climate change-driven forest fires marginalize the impact of ice cap wasting on Kilimanjaro. *Global Change Biology, 11,* 1013 – 1023.

Hock, R., & Rees, G. (2006). Contribution from glaciers and snow cover to runoff from mountains in different climates. *Hydrological Processes, 20,* 2089 – 2090.

IPCC (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom.

IPCC (2007a). *Climate Change 2007: Synthesis report.* Gevonden op 10 maart 2010, op http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf.

IPCC (2007b). *Fourth Assessment Report: Climate change 2007.* Gevonden op 15 april 2010, op http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm

IPCC (2010). *IPCC statement on the melting of Himalayan glaciers*. Gevonden op 15 april 2010, op: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm

Kaser, G. (1999). A review of the modern fluctuations of tropical glaciers. *Global and Planetary Change,* 22, p. 93 – 103.

Kaser, G., & Noggler, B. (1996). Glacier fluctuations in the Rwenzori Range (East Africa) during the 20th century – a preliminary report. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 32,* 109 – 117.

Kaser, G., & Ostmason, H. (2002). *Tropical glaciers.* Cambridge: Cambridge University Press.

Kaser, G., Hardy, D.R., Mölg, T., Bradley, R.S., & Hyera, T.M. (2004). Modern glacier retreat on Kilimanjaro as evidence of climate change: observations and facts. *International journal of climatology, 24,* 329 – 339.

Kerr, R.A. (2007). Scientists tell policymakers we're all warming the world. *Science, 315,* 754 – 757.

Knip, K. (2009, 3 november). Het laatste ijs verdwijnt uit tropisch Afrika. *NRC Handelsblad.* Gevonden op 12 maart 2010, op: http://www.nrc.nl/wetenschap/article2403943.ece/Het_laatste_ijs_verdwijnt_uit_tropisch_Afrika.

Kronenburg, E., & Vlist, H. van der (2010). Scarcity and transition. Research questions for future policy.

Lall, U., Heikkila, T., Brown, C., & Siegfried, T. (2008). *Journal of international affairs, 61,* 2, 1 – 17.

Lomborg, B. (2009, 29 november). Climate change and melting glaciers. Nepal's poor have more pressing problems. *The Wall Street Journal,* gevonden op 15 april 2009, op http://online.wsj.com/article/SB10001424052748703499404574562123968802420.html

Meier, M.F., Dyurgerov, M.B., Rick, U.K., O'Neel, S., Pfeffer, W.T., Anderson, R.S., Anderson, S.P., & Glazovsky, A.F. (2007). Glaciers dominate eustatic sea-level rise in the 21th century. *Science, 317,* 24 august, 1064 – 1067.

Mote, P.W., & Kaser, G. (2007). The shrinking glaciers of Kilimanjaro: Can global warming be blamed? *American Scientist, 95,* 318 – 325.

Mölg, T., & Hardy, D.R. (2004). Ablation and associated energy balance of a horizontal glacier surface on Kilimanjaro. *Journal of Geophysical Research Atmosphere, 109,* D16104, 1 – 42.

Mölg, T., Georges, C., & Kaser, G. (2003). The contribution of increased incoming shortwave radiation to the retreat of the Rwenzori glaciers, East-Africa, During the 20th century. *International journal of Climatology, 23,* 291 – 303.

Mölg, T., Hardy, D.R., & Kaser, G. (2003). Solar-radiation-maintained glacier recession on Kilimanjaro drawn from combined ice-radiation geometry modeling. *Journal of geophysical research, 108,* D23, 1 – 10.

Mölg, T., Cullen, N.J., Hardy, D.R., Kaser, G., Klok, L., (2008). Mass balance of a slope glacier on Kilimanjaro and its sensitivity to climate. *International journal of climatology,* 28, p. 881 – 892.

Mölg, T., Cullen, N.J., Hardy, D.R., Winkler, M., & Kaser, G. (2009). Quantifying climate change in the tropical midtroposphere over East Africa from glacier shrinkage on Kilimanjaro. *Journal of Climate, 22,* 4162 – 4181.

Mölg, T., D.R. Hardy, N.J. Cullen, and G. Kaser (2008): T*ropical glaciers, climate change, and society: Focus on Kilimanjaro (East Africa)*. In: Orlove, B., E. Wiegandt, and B. Luckman (eds.): The Darkening Peaks: Glacial Retreat in Scientific and Social Context. University of California Press: Berkeley, London, 168-182.

Mölg, T., Renold, M., Vuille, M., Cullen, N.J., Stocker, T.F., & Kaser, G. (2006). Indian Ocean zonal mode activity in a multicentury integration of a coupled AOGCM consistent with climate proxy data. *Geophysical research letters, 33,* 1 – 5.

Nissanke, M., & Thorbecke, E. (2006). Channels and policy debate in the globalization – inequality – poverty nexus. *World Development, 34*, 8, 1338 – 1360.

Rozendaal, S. (2009a). 'Waarom durft Al Gore niet met mij in debat?' Dwarse Deense denker en wetenschapper Bjørn Lomborg rekent voor dat twintig jaar klimaatbeleid geheel nutteloos is geweest. *Elsevier speciale editie Klimaat,* 33 – 35.

Rozendaal, S. (2009b). Zin en onzin over het broeikaseffect. De gedachte dat de mens het klimaat kan veranderen, is al meer dan een eeuw oud. *Elsevier speciale editie Klimaat,* 9 – 15.

Russell, J., Eggermont, H., Taylor, R., & Verschuren, D. (2009). Paleolimnological records of recent glacier recession in the Rwenzori Mountains, Uganda – D.R. Congo. *Journal Paleolimnological, 41,* 253 – 271.

Schmitt, D.G. (2009). The truth about global warming. *The advocate, 67,* 6, 789 – 797.

Singh, P., Arora, M., & Goel, N.K. (2006). Effect of climate change on runoff of a glacierized Himalayan basin. *Hydrological Processes, 20,* 1979 – 1992.

Sterman, J., & Archer, D. (2009). The big idea. The carbon bathtub. *National Geographic,* 12. Gevonden op 11 maart 2010, op: http://ngm.nationalgeographic.com/big-idea/05/carbon-bath.

Thompson, L.G., Mosley-Thompson, E., Davis, M.E., Henderson, K.A., Brecher, H.H., Zagorodnov, V.S., Mashiotta, T.A., Lin, P.N., Mikhalenko, V.N., Hardy, D.R., & Beer, J. (2002). Kilimanjaro ice core records: evidence of Holocene climate change in tropical Africa. *Science, 298,* 589 – 593.

Thompson, L.G., Mosley-Thompson, E., Brecher, H., Davis, M., León, B., Lin, P-N., Mashiotta, T., & Mountain, K. (2006). Abrupt tropical climate change: Past and present. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 103,* 28, 10536 – 10543.

UNEP & WGMS (2008). *Global glacier changes: facts and figures.*

Ven, J. van de (2003). De opmars van het concept duurzaamheid. Een historische en theologische analyse. *Ethische perspectieven, 13*, 1 – 2, 1 – 15.

Verschuren, P., & Doorewaard, H. (2007). *Het ontwerpen van een onderzoek.*Den Haag: Uitgeverij Lemma.

World Bank. (2006). *Climate variability and water resources degradation in Kenya. Improving water resources development and management*. Washington, D.C.: Mogaka, H.

WWF (2005). *Going, Going, Gone! Climate Change & Global Glacier Decline*. Gevonden op 9 maart 2010, op: http://www.panda.org/about_our_earth/aboutcc/problems/impacts/glaciers/.

Bijlage 1

E-mail correspondentie met Dr. T. Mölg, Innsbruck University

Interview per e-mail met Dr. T. Mölg van Innsbruck University, gletsjerwetenschapper uit het onderzoeksteam van G. Kaser (juni 2010):

Dear Coco,

my colleague Georg asked me to answer your e-mail, as I am the responsible researcher and lead author of most of our publications. I did not have the time to go through your attachment in detail, but I think you nicely captured the key points when you say:

a) "Another important note to be made is that the group of Austrian glacier scientists [better say climate scientists"], led by G. Kaser, supports the theory [better say "findings"; thousands of stations worldwide have measured the warming] about global warming and climate change from the IPCC. In their opinion the glaciers on Mount Kilimanjaro have not melted directly because of global warming but as a result of indirect effects"

and

b) that L. Thompson is appearing in popular media more often than in peer-reviewed scientific journals.

@a: you may also check out our most recent publication, in particular section 6: <http://www.uibk.ac.at/geographie/tropical-glaciology/literatur/moelg_jclim(2009).pdf> Please note that there is also an updated map in this article. In the meantime we operate three automatic weather stations.

and here is one about the Indian Ocean Zonal Mode you mention: <http://www.uibk.ac.at/geographie/tropical-glaciology/literatur/moelg_grl33(2006).pdf>

and I should also say that "the melting glaciers of Kilimanjaro" is a bit unfortunately worded, as at least half of the ice loss is driven by sublimation. So it is better to say "shrinking" or "ablating" glaciers of Kili.

@b: did you note that we wrote a comment on L. Thompson's PNAS article? This and his response are attached.

My personal frustration with L. Thompson is that he never tries to explain his claims by physics or physical processes (which is the focus of our work). In the attached response he states that "glacier surface temperature nowadays rises more frequently above melting point". I was embarrassed to see this, as even a lay person should know that ice and snow cannot get warmer than melting point.... So now we know why he doesn't use physics to explain the Kili glaciers, and I have basically given up trying to explain it to him (which I attempted on a conference two years ago).

I answer below to your questions.

Best regards, Thomas

Dear Prof. Dr. Kaser,

Please allow me to introduce myself. My name is Coco Smits and I am a third year student of Social and Political Sciences of the Environment at the Radboud University Nijmegen, The Netherlands. Currently I am writing my bachelor thesis. The subject of my thesis is the melting glaciers on Mount Kilimanjaro.

My supervisor Dr. Marcel Rutten and his colleague Dr. Moses Mwangi have been researching the southern Kenyan regions of Kajiado/Loitokitok since the mid-1980s. The concentrate foremost on land and water issues, in particular the effects of subdivision of group ranches, and the development of improved shallow wells which Dr Mwangi initiated in the early 1990s. Lately they revisited some of these improved wells and found that these wells are drying for the first time ever since 2005. They mainly blame borehole groundwater extraction for flower industry, eucalyptus farming and sand harvesting from rivers. They have shown that rainfall figures have increased slightly in this region between 1 to 2% over the long term average. In the context of this water related research they are also interested in the influence of Mount Kilimanjaro and its melting glaciers on water supply and the streams that have their origin on the mountain.

The last months I have learned much about tropical glaciers and the glaciers in East-Africa in particular. I came to understand that (lack of) precipitation is one of the key variables in the glacier melting process on Mount Kilimanjaro and that there is still uncertainty about the air flows around the mountain and how the climate on top of the mountain relates to the climate in the low lands near the mountain. My supervisor Dr. Marcel Rutten provided me raw data about water levels of streams that originate on Mount Kilimanjaro. I analyzed this set of data and found similarities between periods of net gain of Kilimanjaro's glaciers and high water levels in the rivers below. A draft write up of one of the chapters is attached. I contacted you because I would like to ask some questions about the glaciers on Mount Kilimanjaro and how they behave. The questions are listed below. I would highly appreciate if you would be willing to spare some of your time in answering these questions.

1. In the literature I've read that the climate on top of Kilimanjaro has got dryer over time, but the IPCC predicts an increase in precipitation for the East African region in the future (confirmed by data available to my supervisor). Since my water level data provides evidence that pattern of precipitation at ground level is almost the same as on top of the mountain, would it be right to suggest that the precipitation will also increase on top of Kilimanjaro in the future? (Which in turn might have positive effects on the glaciers).
TM: Please note that IPCC models do not resolve the complex processes that occur when air flow collides with mountains (e.g., <http://www.uibk.ac.at/geographie/tropical-glaciology/literatur/moelg_qj(2009).pdf>). But in principle: yes! This should also increase precip at the peak of Kili and if that becomes true, it would certainly have a positive effect on glaciers.

2. In the area around Mount Kilimanjaro there have been major land use changes the last decades. Forest areas have been converted into agricultural land. Could it be that these changes in micro climate the last decennium are more important for the glacier melt than the influence of

global warming? And what would be the influence of bringing the forests back on Mount Kilimanjaro?
TM: A very smart idea of yours! Our ongoing study is exactly addressing this issue. We expect first results in about a month, and my notion is that these changes DO have an impact, yet the dominant impact remains with the large-scale atmospheric conditions (global warming in the very end).

3. Besides affecting the micro-climate (humidity) does the cutting of trees also affect downstream flows as witnessed in the major waterbasins in Kenya (e.g., Mau Forest?)
TM: I don't know these data in detail (if any exist), but this effect would be the major one to my understanding. There is a discussion about that in Hemp (2005) (which you cite) for Kilimanjaro. Reduction of forests decreases the water storage capacity on leaves of the trees and would change the timing of runoff (and probably decrease precipitation as well since less forest cover means less local evaporation).

4. I have read contradictory information about the melt water that comes from the glaciers on Mount Kilimanjaro. Some say that people living near the mountain are dependent on it, some say that it evaporates before it reaches the streams below. How many percentage of the melt water that comes from the glaciers itself, reaches the streams beneath the mountain?
TM: Very little. See the simple calculation example in Mölg et al. 2008 (Univ. of Calif. Press) on page 177 (right column). So, (1) the ice mass is very small, and (2) besides that, roughly 50% of the ice that is lost in the course of the year evaporates (or precisely speaking, sublimates: transition from solid to vapor phase) into the atmosphere. The ice that does melt also evaporates soon after melting, but we do not have a number of that (but you can see it when you are on Kilimanjaro).

5. One additional question is about the publicity of this topic. I have read about the discussion between your and Mr. Thompson's points of view about the causes of the melting glaciers on Mount Kilimanjaro. I noticed that when Mr. Thompson publishes an article in a scientific journal about Mount Kilimanjaro, he also appears in some of the world's leading newspapers. In some of those newspapers your point of view isn't even cited. My question is if you actively contact the media about your opinion on the causes of the glacier melt on Mount Kilimanjaro?
TM: Yes, we do. In 2007 we had a press conference at the General Assembly of the European Geosciences Union, which spread our results all over the world (e.g., NY Times, BBC, ...). Apart from that we often give interviews for newspapers or TV stations. I have put together some of these articles on my website (section "in the media"), but there are many more. Still I agree that L. Thompson is investing much more effort in that, in my opinion at the expense of doing good science (see comment above)....<http://homepage.uibk.ac.at/~c716166/>

If it would be more suitable for you to discuss these questions using Skype or by telephone, please contact me for an appointment. Thank you for answering these questions.

Yours faithfully,

Coco Smits

Bachstraat 1
6521 EH Nijmegen
The Netherlands

Bijlage 2

E-mail correspondentie met Prof. Dr. L. Thompson, Ohio State University

Interview per e-mail met gletsjerwetenschapper Prof. Dr. L.Thompson van Ohio State University (juli 2010):

Dear Coco: Sorry not to have responded earlier but just returned from two month ice core drilling program on remaining ice fields of Papua, Indonesia.Here is my take on your questions:

1. In the literature I've read that the climate on top of Kilimanjaro has got dryer over time, but the IPCC predicts an increase in precipitation for the East African region in the future (confirmed by data available to my supervisor). Since my water level data provides evidence that pattern of precipitation at ground level is almost the same as on top of the mountain, would it be right to suggest that the precipitation will also increase on top of Kilimanjaro in the future? (Which in turn might have positive effects on the glaciers).
In looking at the precipitation records over the last 100 years from Dar Es Salaam we could see no trends in the precipitation except that it is highly variable from year to year. Glaciers do respond in short term to changes in precipitation but on the long term they are driven by temperature. Should temperatures continue to rise as predicted by IPCC especially at high elevations in the tropics this will be the long term driver of what happens to the glaciers on the summit of Kilimanjaro. Given that over 50% of the thickness of the Furtwangler glacier was lost between 2000 and 2009 and the fact that the ice is melting would suggest that at the current rate of thinning that the Furtwangler glacier will disappear before 2018. I know of no evidence to suggest long term trends for increases in precipitation in this region at least up to the present.

2. In the area around Mount Kilimanjaro there have been major land use changes the last decades. Forest areas have been converted into agricultural land. Could it be that these changes in micro climate the last decennium are more important for the glacier melt than the influence of global warming? Some scholars (Ackermann, Burchard, Rosenfeld) claim that soot articles emitted by biomass burning reduces cloud cover over the tropics resulting in less rainfall. And what would be the influence of bringing the forests back on Mount Kilimanjaro?
Certainly the work of Altmann et all 2002 speak to land use changes and certainly increases in soot could contribute to the melting. However, there are not measures to demonstrate that this is in fact happening and since Kilimanjaro ice retreat is similar to what is measured on Mt. Kenya, on the glaciers in the Ruwenzori mountains (all in East Africa) as well as the glaciers of the tropical Andes and the glaciers of New Guinea (where we just returned from) the balance of evidence argues that Mt, Kilimanjaro is not unique and since the retreat is occurring on every glacier throughout the tropics this argues for a larger scale forcing which is consistent with global warming since the precipitation patterns are quite different in all these locations as are theland use changes, yet the glacier response is the same.

3. Besides affecting the micro-climate (humidity) does the cutting of trees also affect downstream flows as witnessed in the major waterbasins in Kenya (e.g., Mau Forest?)

Yes, I think that cutting trees will definitely impact downstream flows especially on Kilimanjaro where most of the stream discharge comes from rainfall in the rain forest on the lower slopes of the mountain.

4. I have read contradictory information about the melt water that comes from the glaciers on Mount Kilimanjaro and how dependent the local population is on it. In your article *Kilimanjaro ice core records: evidence of Holocene climate change in tropical Africa, Science, 2002*, you state that "local populations […] depend on water generated from the ice fields". Some others say that there is only a very small amount of water trickling down and most of it evaporates before it reaches the streams below. How many percentage of the melt water that comes from the glaciers itself, reaches the streams beneath the mountain?
Best estimate is that 4 to 5% of current water actually comes from the glaciers in todays world given they are so small, however that was much greater in the last century when the glaciers were much larger and there is the question of how much of the water consumed is coming from groundwater and what is the residence time of that water. We have actually published a paper on this issue which I will forward to you.

5. I also read your article *Glacier loss on Kilimanjaro continues unabated, PNAS, 2009,* in which you state that "adaptive actions […] should be developed quickly" (page 5) to prevent the disappearance of the glaciers on Kilimanjaro. What kind of adaptive actions should I think of in this case? And do these actions have an effect on Kilimanjaro's glaciers within the next 10 years? In the same sentence you mention that these actions should be taken "to minimize the potential impacts". What are these potential impacts and on what are the subjects of the impacts?
To reduce the impacts of the lost of 4 to 5% of current water supply ie better use of water, changing to drip agriculture techniques to make better use of what will likely be less water in the future. There is also the fact that Kilimanjaro is the number 1 foreign currency earner for the government of Tanzania. So important question is how many tourist will come to Kilimanjaro when the ice is gone. A response by the government might be to promote other tourist attractions in Tanzania to reduce impacts of possible future decrease in tourist coming to see the snows of Kilimanjaro.

Hope this is helpful.

Best wishes with your Bahelothesis!

Lonnie