

Het klimaat en de vegetatie van Groenland zonder ijskap

Bachelor Onderzoek; Børjen Cijs, begeleider: Willem Jan van de Berg, IMAU



In dit onderzoek is met behulp van een regionaal atmosferisch klimaatmodel het klimaat van Groenland zonder ijskap gesimuleerd en onderzocht. Het blijkt dat zonder ijskap het klimaat van Groenland warmer is en er toendra en taiga vegetatie zal groeien.

INTRODUCTIE	3
DOEL VAN HET ONDERZOEK	3
ACHTERGRONDINFORMATIE	4
HUIDIGE KLIMAAT GROENLAND.....	4
GROENLAND ZONDER IJSKAP.....	4
BIOMEN.....	6
<i>Taiga</i>	6
<i>Toendra</i>	6
METHODEN EN TECHNIEKEN	8
HET MODEL RACMO2 EN DE RUNS	8
MODEL OPBOUW	9
DATA ANALYSE EN FIGUREN	10
RESULTATEN	12
GROENLAND MET IJSKAP (CLRUN)	12
GROENLAND ZONDER IJSKAP (RUN1).....	12
VERGELIJKEN MET ECMWF DATA	18
GROENLAND MET FRACTIONELE BEDEKKING MET TAIGA (RUN 2).....	26
DISCUSSIE	30
CONCLUSIE	30
REFERENTIES	31

Introductie

Het weer en het klimaat zijn in ons dagelijks leven belangrijk en wetenschappelijk erg interessant. Er is al veel bekend, maar toch is het niet mogelijk om te voorspellen wat het weer over een maand zal zijn of hoe het klimaat zich precies zal veranderen. Op de korte termijn is het wel mogelijk om goede voorspellingen te maken, men kan namelijk elke dag het weer bekijken om te controleren of het model klopt, maar voor klimaatverandering is dat dus niet mogelijk. Het weer is alleen over een korte periode voorspelbaar vanwege het chaotische gedrag. Voor klimaatprojecties is dit samen met effecten van externe invloeden en onzekerheden die een terugkoppeling in het klimaatsysteem geven een probleem. De technologische vooruitgang biedt hier echter een oplossing, het is namelijk mogelijk om met computers modellen te maken en klimaten te simuleren. En zo kan het weer of klimaat berekend worden. Om realistisch te simuleren is het belangrijk dat het model het weer goed simuleert, het klimaat is namelijk het gemiddelde weer over een bepaalde periode. Het moet dus zo zijn dat op het gebied waarover gemodelleerd wordt, het weer overeen zal komen met de werkelijkheid. Daarnaast moet het model er dus voor zorgen dat deze data van het weer gebruikt wordt om het klimaat te bepalen, hiervoor moeten de fysische processen op een juiste manier in het model verwerkt zijn. Als deze modellen dat op een goede manier doen, is het mogelijk om op deze manier naar een klimaat te kijken en voorspelling te doen over dit klimaat.

Doel van het Onderzoek

Het doel van dit onderzoek is met een regionaal atmosferisch klimaatmodel (RACMO2) het klimaat van Groenland bestuderen. Hierbij wordt Groenland echter veranderd in het model: de ijskap wordt weggehaald en de orografie wordt aangepast voor de verwachte bodemstijging na het verwijderen van deze ijsmassa. Nu wordt er dus eigenlijk een nieuw land gecreëerd waarvan het klimaat dus niet bekend is. Het is nu de taak om dit klimaat te analyseren en te vergelijken. De onderzoeksvraag luidt: "Hoe ziet het klimaat van Groenland zonder ijskap eruit?".

Naast dit onderzoeksdoel is er nog een leerdoel dat misschien wel belangrijker is. Het leren omgaan met het model en de data is een doel op zichzelf. Aangezien veel (zo niet alle) onderzoeken met modellen werken, is het uiteraard wenselijk dat ik ermee om leer gaan.

Achtergrondinformatie

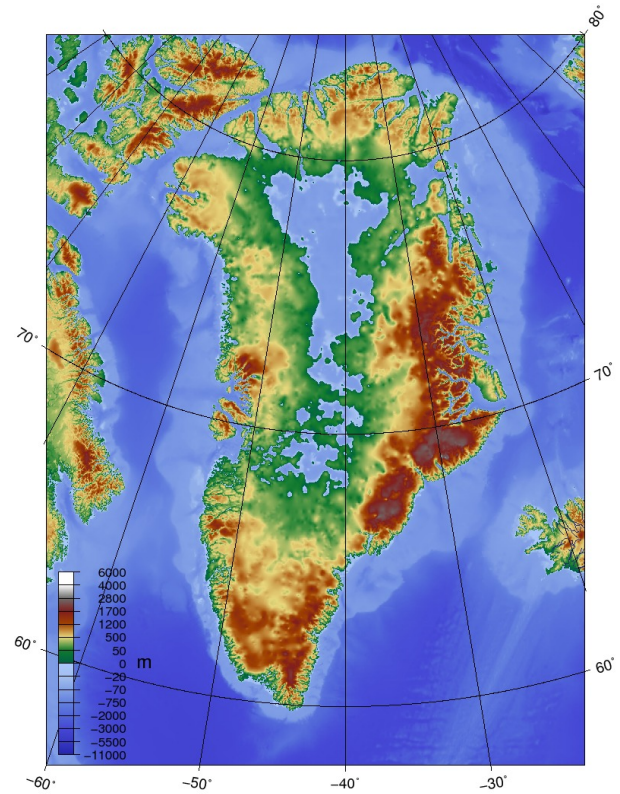
Huidige klimaat Groenland

Groenland is een groot eiland dat noordelijk gelegen zich bevindt tussen Europa en Noord-Amerika. Het noordelijkste punt van Groenland (83°40'N) is zelfs het noordelijkste permanente land op Aarde. Door deze ligging heeft Groenland zijn bekende ijskap die ongeveer 80% van heel het land bestrijkt. De totale oppervlakte van Groenland is 2.18 miljoen vierkante kilometer: de ijskap heeft een oppervlakte van 1.71 miljoen vierkante kilometer, maar natuurlijk heeft de ijskap ook een hoogte waardoor deze een volume heeft van 2.85 miljoen kubieke kilometer. Op het hoogste punt heeft de ijskap een dikte van 3 kilometer, en gemiddeld is de dikte iets meer dan 2 kilometer gemiddeld. Dit zorgt ervoor dat mocht de ijskap van Groenland gaan smelten, wat met de huidige klimaatverandering ook gebeurt, er veel water in de oceanen komt wat leidt tot een zeeniveaustijging. Voor het meest ongunstige klimaatscenario geven modelschattingen aan dat de ijskap over 2000 jaar voor 90% gesmolten is waardoor de zeespiegel wereldwijd ongeveer 6 tot 7 meter zal stijgen (Robinson en anderen, 2010).

Het huidige klimaat van Groenland is zeer koud (arctisch) wat komt door het gecombineerde effect van de noordelijke ligging en de aanwezigheid van de ijskap. Naast de ijskap is er vooral in het zuidwesten van Groenland toendra en de temperatuurgemiddeldes variëren door het jaar heen tussen - 8 en + 7 °C. Op de ijskap is het een stuk kouder met in het zuiden van de ijskap een jaargemiddelde van - 20 °C en in het noorden zelfs - 31 °C.

Groenland zonder ijskap

De enorme massa van de ijskap drukt het onderliggende land naar beneden, waardoor dit land ongeveer op zeeniveau ligt. Dit geldt niet voor heel Groenland, want aan de kust waar er zich in het huidige Groenland over het algemeen geen ijskap bevindt zijn bergen. Deze zullen er uiteraard ook zijn als de ijskap verdwenen is. Maar in het centrum van Groenland is de ijskap zo zwaar dat het land lager ligt dan zeeniveau. Hierdoor zal zich in het midden van Groenland een groot watergebied bevinden, maar of dit een binnenzee of een meer dat iets boven zeeniveau ligt zal zijn is niet bekend. Dit is in de modelsimulaties ook niet van belang, door postglaciale opheffing zal het land zich omhoog werken. Topografische kaarten van Groenland, met en zonder ijskap, zijn te zien in de figuren 1, 2 en 3.

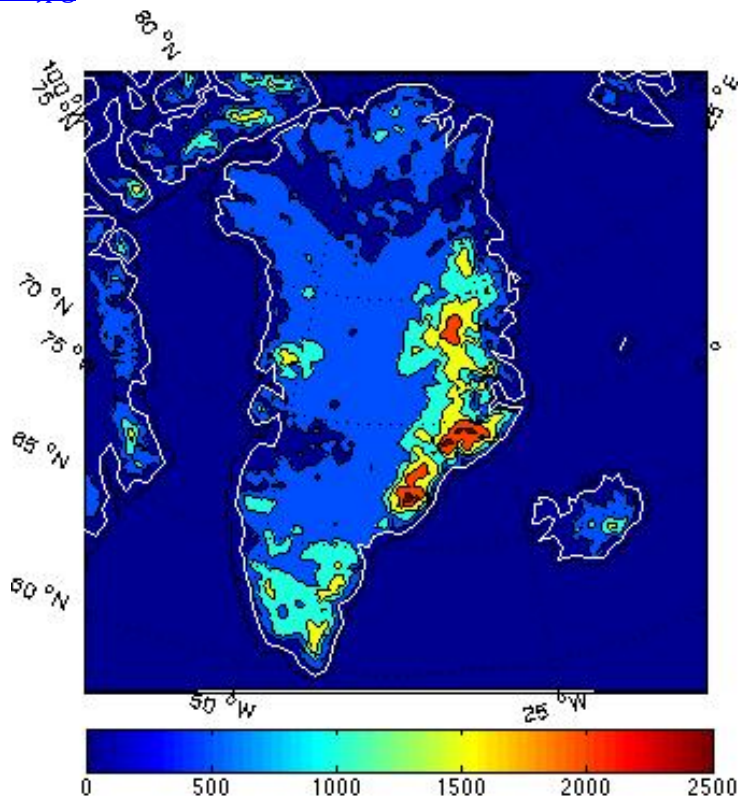


Figuur 1 (links): In de figuur is de geografie van Groenland met ijskap te zien, dit is de huidige topografie van Groenland.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/98/Greenland_ice_sheet_AMSL_thickness_map-en.png

Figuur 2 (rechts): Topografische kaart van de bodem van Groenland met ijskap, dit is dus de hoogte van de bodem. De massa van de ijskap zorgt er voor dat deze bodem gedeeltelijk onder zeeniveau ligt.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8b/Topographic_map_of_Greenland_bedrock.jpg



Figuur 3: De hoogte van het land (elevation) in meter boven zeeniveau, zoals gebruikt in dit onderzoek. De topografie is gecorrigeerd voor postglaciale opheffing.

Biomen

Een bioom is een aaneengesloten gebied op Aarde met gelijke klimatologische omstandigheden. Twee van de biomen zijn toendra en taiga, deze komen onder andere voor op het werkelijke Groenland en daarom zijn ze hieronder verder uitgelegd.

Taiga

Taiga is de bioom is de grootste op Aarde en strekt zich uit over het gehele noordelijk halfrond tussen de 55 en 70 graden noord (al zijn er grote variaties). Het is de meest noordelijke ondergrond waar bomen (hoge vegetatie) kunnen groeien en is na de toendra en de ijskap de koudste bioom op Aarde. De zomers zijn er kort met hooguit vier maanden, de rest van het jaar heerst de strenge winter. De temperaturen variëren enorm tussen de seizoenen, met extreme waarden die liggen tussen de -50 en +30 graden Celsius. Echter zijn dagtemperaturen van -20 °C in de winter en +18 °C in de zomer gebruikelijk. Omdat de taiga zo groot is kent het veel verschillen in temperatuur en neerslag. Er valt weinig neerslag in een jaar, de hoeveelheden variëren tussen de 200 en 750 millimeter per jaar, dit valt door de lage temperaturen voornamelijk als sneeuw. De taiga bevindt zich in het gebied waar de gemiddelde temperatuur in juli (juli isotherm) boven de 10 graden Celsius komt maar niet hoger is dan 18 graden. Het is wel afhankelijk van de neerslag, valt er weinig neerslag (niet meer dan 400 millimeter) dan gaat de taiga over in loofbos bij een juli gemiddelde van 15 °C, valt er veel neerslag dan kan de taiga zelfs voorkomen in gebieden met juli temperaturen tot 20 °C.

Toendra

Ten noorden van de taiga ligt de vegetatiezone van toendra, deze begint op de grens waar de gemiddelde temperatuur in juli lager dan 10 °C wordt. Het is er dus nog kouder dan op de taiga, te koud voor bomen om te groeien. Alleen lage vegetatie kan er groeien op de bijna het hele jaar bevroren ondergrond (permafrost). Er valt zeer weinig neerslag, maar 150 tot 250 millimeter per jaar.



Figuur 4: Foto van de taiga in Siberië.

Figuur 5: Foto van de toendra in Siberië.



Methoden en technieken

Het model RACMO2 en de runs

In dit onderzoek is het klimaat van Groenland bestudeerd, hiervoor is een klimaatmodel gebruikt om het klimaat op Groenland te simuleren. Het model is het 'Regional Atmospheric Climate Model 2' (RACMO2), versie 2.3, ontwikkeld op het KNMI en IMAU. Dit model probeert een klimaat zo realistisch mogelijk nabootsen zodat analyse van de data die uit het model komt een betrouwbare weergave zal geven van het betreffende gebied. Het model is al gebruikt in meerdere onderzoeken naar met name het klimaat van Antarctica en Groenland. Maar een model kan ook op niet bestaande topografieën worden toegepast. Dus het model kan realistische data geven van een situatie ook als deze situatie niet in werkelijkheid op Groenland voorkomt. Het model kan namelijk worden aangepast zodat er een run kan worden gedaan voor een Groenland dat andere eigenschappen heeft, zoals bijvoorbeeld Groenland zonder ijskap. Vooral deze aanpassing is in dit onderzoek dus het belangrijkste.

Het klimaatmodel berekent de evolutie van het weer op een grid voor een gekozen modeldomein. Op een gridpunt binnen het modeldomein is de evolutie van het weer afhankelijk van de toestand van dit gridpunt en omliggende punten. Deze informatie gebruikt het model om de processen die in de atmosfeer plaats vinden, te berekenen en zo de dynamica van de atmosfeer en dus het klimaat te bepalen. Maar aan de randen van het modeldomein is er dus weerinformatie van buiten het modeldomein nodig. Voor deze informatie wordt data van de ERA-Interim dataset gebruikt. Deze dataset is een reconstructie van het weer van 1979 tot nu waarvoor het weermodel van het ECMWF en zo veel mogelijk weerobservaties is gebruikt. Dat we aan de randen van het modeldomein weerinformatie moeten aanleveren komt omdat het weer op elke plek op Aarde natuurlijk afhankelijk is van het weer op andere plekken, dit geldt ook voor Groenland. Daarom is het weer van de rest van de Aarde belangrijk. De rest is het gebied buiten het modeldomein en het weer buiten het modeldomein beïnvloed dus het weer op Groenland (binnen het modeldomein dus). In werkelijkheid is dit ook andersom het geval, maar dit effect kan niet berekend worden binnen de gekozen opzet. Veranderingen in weer op Groenland hebben geen invloed op het weer in de rest van de wereld. Weerinformatie komt er dus alleen maar het modeldomein in, maar gaat er niet uit. Voor het doel van deze modelruns, klimaat op Groenland bepalen, is dit voldoende. Er wordt dus niet bepaald welk effect het verdwijnen van de Groenlandse ijskap op het klimaat in de rest van de wereld heeft. Ook de terugkoppeling van die mondiale klimaatverandering op het nieuwe klimaat van Groenland wordt verwaarloosd. Gezien het relatief geringe domein van het regionale model, zal het gesimuleerde weer in RACMO2 in grote lijnen overeenkomen met het weer zoals gesimuleerd in het model waarvan de data aan de randen wordt aangeboden. Aangezien in deze experimenten aan de randen van het domein een weerreconstructie wordt aangeboden, zal het gesimuleerde weer in RACMO2 grote overeenkomsten vertonen met het werkelijk waargenomen weer. Dit gaat echter niet meer op zodra de topografie van Groenland significant wordt veranderd zoals gedaan is bij de experimenten van dit onderzoek.

De data waarbij Groenland eruit ziet als het werkelijke Groenland is berekend door het model niet aan te passen. Deze modelsimulatie (CLRUN) was al voor aanvang van dit onderzoek uitgevoerd. Deze data is dus van de run waar het klimaat van Groenland berekend en simuleert werd zoals het er nu uitziet, met ijskap dus en omvat de jaren 1960 tot en met 2011. Binnen dit project in een run gedaan waar er zich helemaal geen ijskap bevond op Groenland maar in plaats daarvan een toendra (RUN1), en een run waar er toendra, taiga en een stuk ijskap zijn geplaatst (RUN2). Waarbij in RUN1 het weghalen van de ijskap centraal stond en in RUN2 er nog kleine aanpassingen zijn gemaakt om het klimaat nog realistischer te maken. Beide simulaties omvatten de jaren 1979 tot en met 1989, deze jaren komen dus geheel overeen met een

gedeelte van de periode van CLRUN. Hierdoor was het mogelijk om deze data met elkaar te vergelijken waarmee er een beeld te schetsen was van hoe het klimaat in Groenland verschilt als er helemaal geen ijskap zou zijn. De simulatie van CLRUN is wel over een iets ander domein gedaan, met een andere gridresolutie. Elk gridpunt is in werkelijkheid 11 vierkante kilometer, terwijl dit in de runs die binnen dit project zijn gedaan 18 vierkante kilometer is. Echter zijn de twee laatstgenoemde runs wel met een nieuwere modelversie gedaan. De verschillen die hierdoor optreden kunnen gelukkig worden verwaarloosd.

De data van RUN1 is vergeleken met het klimaat van andere locaties op Aarde om te bepalen wat de vegetatie op Groenland zonder ijskap zou zijn. Want naast de gemeten waarden op Groenland, is er ook naar de gemeten waarden van de hele wereld gekeken. Er is een gebied gevonden dat een klimaat heeft dat sterk op dat van Groenland in RUN1 lijkt. Van dit gebied is de vegetatie bekeken en vergeleken met de toendra van Groenland in RUN1. Is de ondergrond van het gebied met nagenoeg hetzelfde klimaat namelijk anders dan toendra, dan is het nog realistischer om de juiste ondergrond te plaatsen in het model. Het gebied blijkt een overgangsgebied te zijn tussen toendra en taiga. Daarnaast blijkt er ook nog een aangroei te zijn van een (kleine) ijskap in het zuidoosten. Deze aanpassingen zijn in het model gezet in RUN2, zodat het land en het klimaat nog realistischer zijn.

Model opbouw

Het model moet worden aangepast als er een simulatie gemaakt wordt van Groenland zonder ijskap, de bodemtypeverdeling (tile fracties) moeten worden veranderd. Zo wordt er in RUN1 in plaats van de ijskap toendra geplaatst op Groenland. Toendra wordt vervolgens door het model vertaald naar een gelijke verdeling van lage vegetatie en onbegroeide grond plus een zogenoemde interceptiefractie voor regen. Door deze interceptiefractie zijn de fracties lage vegetatie en onbegroeide grond beide net iets minder dan 50%. In RUN2 is er naast toendra ook taiga in het model geplaatst en deze fracties zijn nu niet meer even groot en gelijkmatig verdeeld. Taiga is hoge vegetatie, dus een ander bodemtype, en met name bij sneeuwbedekking veranderen de karakteristieken van taiga heel anders dan dat toendra veranderd. Gedurende een modelsimulatie kunnen de gridboxfracties van de toendra en taiga niet veranderen. Echter, als er sneeuw valt en blijft liggen, zowel bij toendra en taiga, verandert het model zelf het bodemtype fracties. Als lage vegetatie of onbegroeide grond met sneeuw bedekt is, wordt het een ander bodemtype dan zonder sneeuw. Ditzelfde geldt voor hoge vegetatie, taiga dus, met of zonder sneeuw. Een belangrijke onderzoeksvraag is de sneeuw het hele jaar door blijft liggen, want dan zou er in werkelijkheid een ijskap ontstaan.

Data analyse en figuren

Van elke run kunnen er verschillende uitvoervelden bekeken worden, zoals maximale, minimale en gemiddelde temperatuur op 2 meter hoogte, oppervlakte temperatuur, albedo, neerslag, luchtvochtigheid, verdamping, wolkendek, sneeuwbedekking, sneeuwval en sneeuwsmelt, wind (snelheid en richting). Naast deze grootheden zijn er nog mee beschikbaar die niet gebruikt zijn gedurende dit onderzoek. Al deze uitvoer heeft een tijdsresolutie van een dag. Naast deze weeruitvoer kunnen ook de 'maskers' worden bekeken, dit zijn data die voor elke positie bepaalt of er bijvoorbeeld land of zee is of welk bodemtype er is. Ook is de 'elevation' te zien, deze dataset geeft weer hoe hoog elke positie is ten opzichte van het zeeoppervlak. Ook zijn de zogenaamde 'tile' fracties te zien, dit zijn de bodemtypes waar het model mee rekent. Het model moet namelijk weten wat voor ondergrond er op welke positie is. Hiervoor is meer informatie nodig dan waar zee en waar land is. Want met ijskap of zonder geeft een andere vegetatie en dus andere bodemtypefracties wat een andere invloed heeft op het klimaat. Deze vegetatietypes moeten ingevoerd worden in model voordat deze gaat runnen. vegetatie invoeren is dus ook de manier om het landschap van Groenland te veranderen en daarmee dus het klimaat. Tijdens het runnen kan de voorgeschreven vegetatie niet veranderen in een ander type vegetatie.

Sneeuwbedekking daarentegen, verandert wel het bodemtype, bijvoorbeeld bodemtype lage vegetatie verandert dan in lage vegetatie bedekt door sneeuw. Echter kan een bodemtype met vegetatie niet veranderen in een ijskap. Dit is in de werkelijkheid wel de manier om een ijskap te vormen, maar het model kent geen dynamische ijskap, waardoor een ijskap dus niet ergens kan ontstaan. Het model kent dus ook geen dynamische vegetatie. De bodemtypes die worden gegeven aan het model zijn dus niet vanzelfsprekend de juiste. Als er bijvoorbeeld lage vegetatie wordt geplaatst, maar er blijkt meer neerslag te vallen zodat er hogere vegetatie kan groeien dan moet dit in het model worden veranderd. Hetzelfde geldt voor een ijskap, mocht er op bepaalde locaties aangroei van sneeuw en ijs zijn, dan zal het model realistischer zijn als er op deze locaties vanaf het begin van de run een ijskap ligt. Het model reageert namelijk anders op een ander bodemtype, dus daardoor kunnen er verschillen optreden.

Met behulp van MatLab kan de data ingelezen worden. Het modeldomein heeft 206x234 gridpunten met een gridafstand van 18 kilometer en omvat uiteraard Groenland, maar ook IJsland en kleine delen van Canada. Voor elk punt in dit grid is voor elke dag een waarde gegeven van een variabele. Van RUN1 en RUN2 is de periode 1981 – 1989 bekeken, dit omvat dus 3287 dagen. De twee meest gebruikt figuren om de uitvoer te analyseren zijn de tijdserie en de contourplot. De tijdserie is een grafiek waarin de waardes van een willekeurige positie uit het grid, bijvoorbeeld op punt (100,100) wat midden op Groenland ligt, uitgezet wordt tegen de tijd. Hiermee is een goede indicatie te geven hoe de bepaalde variabele zich gedraagt over de tijd. De maximale en minimale waarde in een jaar kunnen gevonden worden, waarbij de seizoenen ook te zien zijn. Echter geeft de tijdserie maar een beperkt beeld aangezien het maar voor een willekeurige positie geldig is. En ook al zijn de posities rondom dit punt zeer gelijkwaardig, op grotere afstand zullen er verschillen optreden. Het punt is dan wel aan te passen in de code, om de tijdseries van alle gridpunten te analyseren is veel werk en onoverzichtelijk. Om ruimtelijke patronen te analyseren is de contourplot gebruikt. Voor elke positie wordt nu de gemiddelde waarde genomen over een periode, dit is meestal de gehele analyse periode 1 januari 1981 tot en met 31 december 1989. De waarde voor elke positie wordt nu weergegeven op een kaart van het gebied, waar er in kleuren wordt weergegeven wat de grootte van de waarde is. De eerste figuur is dus een plot tegen de tijd op een willekeurig punt die aangepast kan worden en de tweede is een plot tegen de positie met een tijdsperiode die gekozen moet worden. Voor de wind zijn deze weergaven echter niet erg nuttig, aangezien wind een snelheid maar ook een richting heeft. De wind is daarom in een vectorplot weergegeven.

Door middel van ncview is het eenvoudig om de data te bekijken, de data kan direct worden geploteerd en kan op elke dag bekeken worden via een contourplot. Dit is ook een handige manier om maximale of minimale waarden te bekijken voor het hele gebied. Maar de data kan niet worden veranderd of worden opgeslagen, vandaar dat ncview alleen geschikt is voor eerste analyse. Het is namelijk wel belangrijk dat de data aangepast kan worden. Zoals een verschil nemen tussen twee tijdstippen of een verhouding tussen data kan relevant zijn voor analyse of controle van de data. Want met deze data en figuren moeten conclusies getrokken worden over het klimaat van Groenland in verschillende gedaantes.

Resultaten

Groenland met ijskap (CLRUN)

In de werkelijkheid zijn het weer en klimaat op Groenland te meten en dus bekend. Nu kan er bekeken worden of het model waar Groenland een ijskap heeft realistisch en geschikt voor aanpassingen is. Dit omdat deze run met ijskap dus data zou moeten geven die overeen komt met het werkelijke klimaat. De onderstaande figuren geven hierover uitsluitel (figuren 6 – 9). Hier worden de temperatuur, het albedo en de neerslag (ook in vaste vorm) weergegeven. Dit zijn de variabelen waar in dit onderzoek het meest naar gekeken is. Voornamelijk omdat ze de meeste informatie geven over het klimaat, temperatuur en neerslag zijn namelijk de variabelen die het meest een klimaat karakteriseren. Het albedo is erg relevant om te bekijken of er sneeuw of ijs aanwezig is, dit komt natuurlijk omdat sneeuw en ijs een veel hoger albedo hebben dan vegetatie of onbegroeide grond.

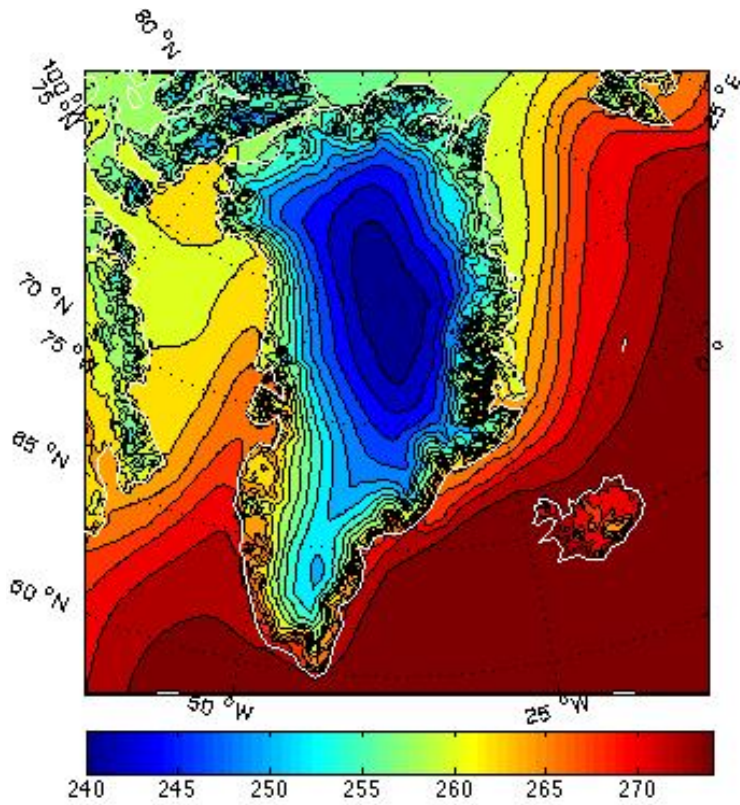
De waarden van CLRUN zijn berekend voor het jaar 1981. Er is ook naar de andere jaren van CLRUN gekeken, in de periode 1979 – 1989, maar omdat de data grotendeels dezelfde resultaten geven als de data van 1981 zijn de resultaten en figuren niet vermeld en weergegeven.

In deze figuren is duidelijk te zien dat Groenland hier een ijskap heeft, het albedo is zeer hoog en dat is ook logisch voor ijs. Verder zijn de temperaturen te vergelijken met de in werkelijkheid gemeten gemiddelden op de ijskap (240 – 250K). Er is niet veel neerslag op het land (100 – 300 millimeter per jaar), alleen aan de zuidoost kust valt meer neerslag, daar valt op sommige plekken meer dan 1000 millimeter per jaar. Door de lage temperaturen zal de neerslag die er valt, vallen in de vorm van sneeuw.

Groenland zonder ijskap (RUN1)

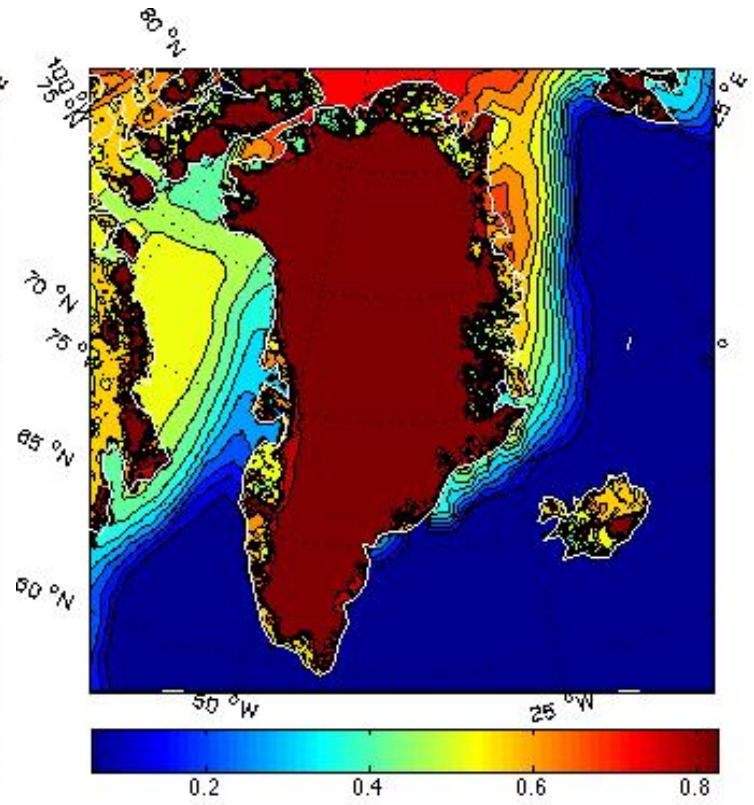
Nu is het interessant om de resultaten van de modelsimulatie van Groenland zonder ijskap te bekijken, zeker nu gebleken is dat het model voor de run met ijskap realistische data geleverd heeft. Er wordt namelijk een warmer Groenland verwacht, maar het is de vraag of dat overal zo is of dat er op een bepaalde plek weer aangroei is van ijs. Hiervoor moet dus ook naar de neerslag gekeken worden, dit kan in alle vormen zijn maar het belangrijkste zal de neerslag in sneeuwvorm zijn. Wanneer er het hele jaar een sneeuwdek blijft liggen zorgt dit namelijk voor een ijskap. Zoals eerder vermeld ziet het model de ondergrond echter niet als ijskap, maar als toendra met sneeuw erop.

De gemiddelden zijn berekend voor de periode 1981 – 1989, dit is gedaan omdat deze jaren als één dataset uit het model komen. De resultaten voor CLRUN zijn berekend over één jaar, maar dit geeft geen verschillen in de vergelijking tussen de twee runs. Hieronder zijn de figuren weergegeven (figuren 10 – 13) die bij Groenland zonder ijskap horen.



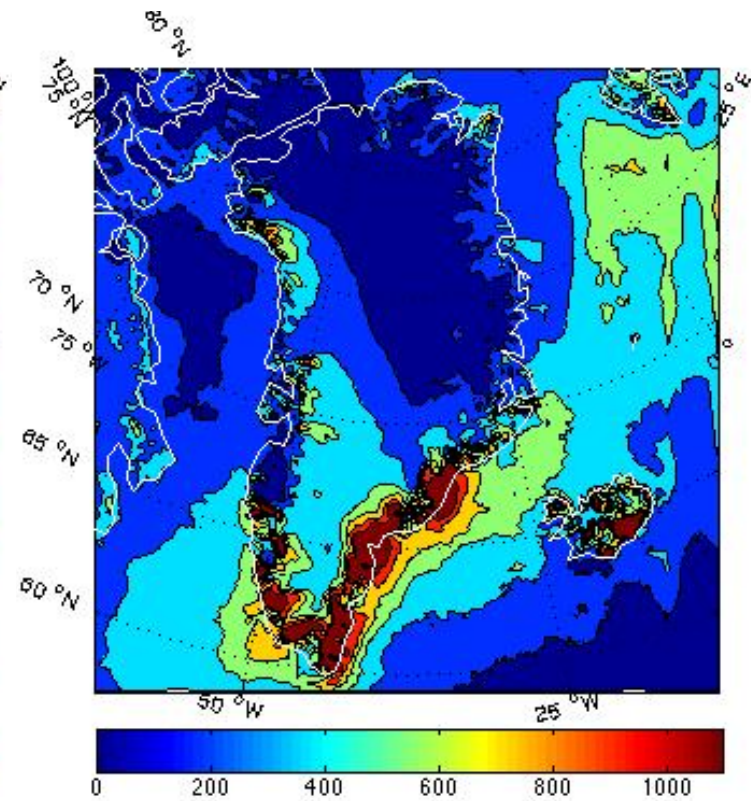
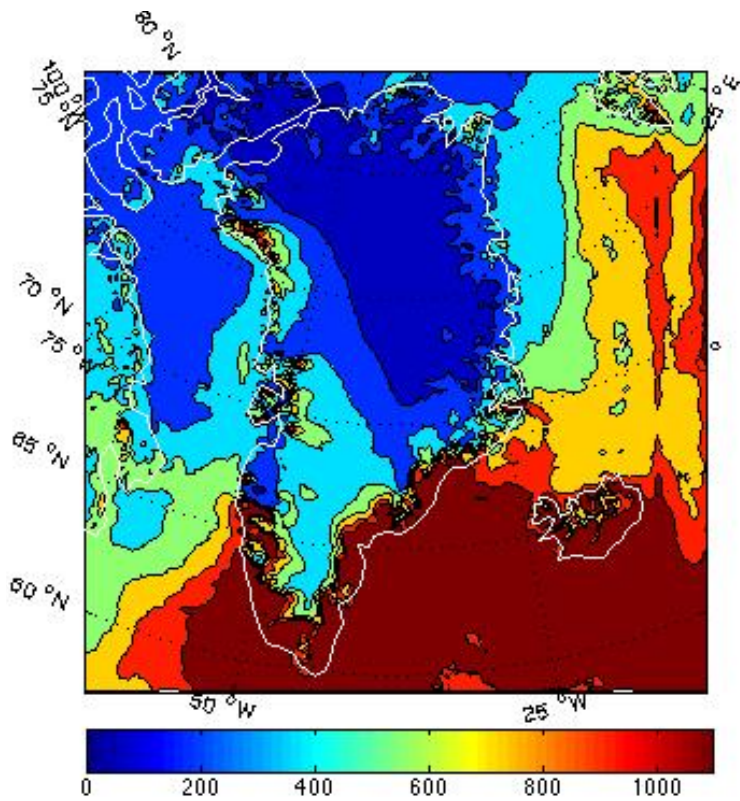
Figuur 6: De temperatuur op de ijskap gegeven in Kelvin.

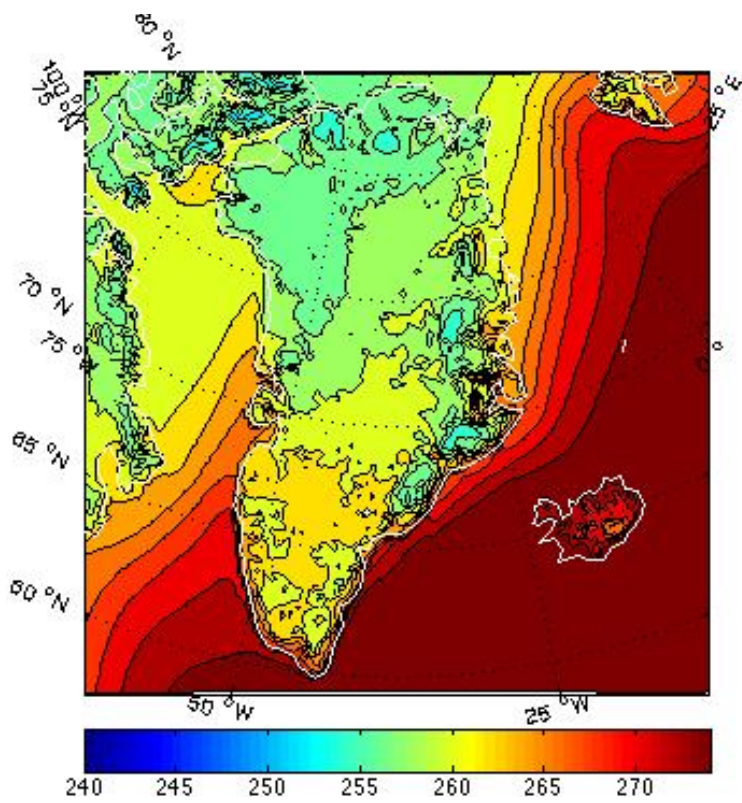
Figuur 8: De totale neerslag in millimeter per jaar.



Figuur 7: Het albedo ligt tussen 0 en 1.

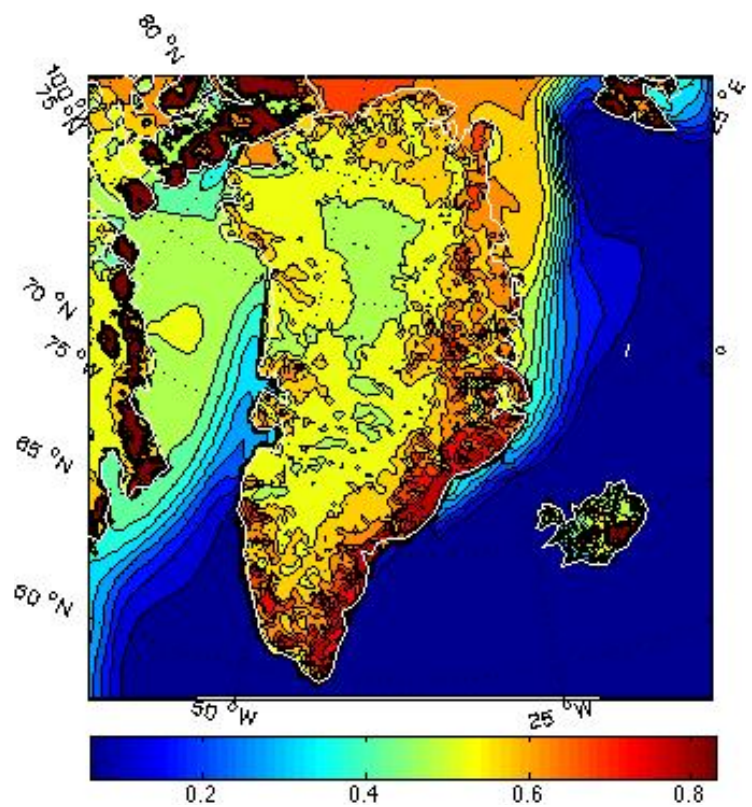
Figuur 9: De neerslag in vaste vorm, de sneeuwval dus. In millimeter per jaar.





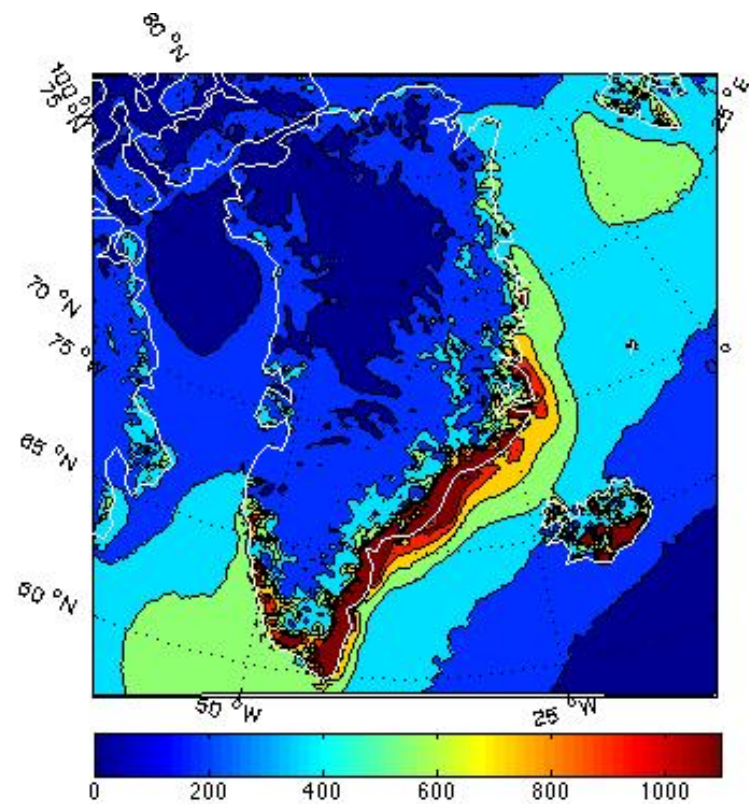
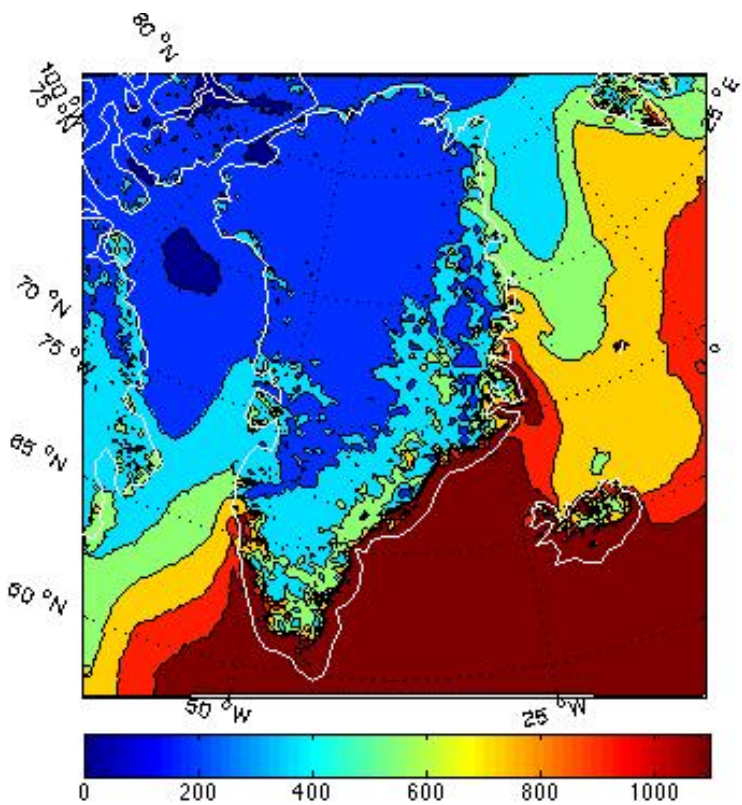
Figuur 10: Temperatuur in Kelvin zonder ijskap.

Figuur 12: Neerslag gegeven in millimeter per



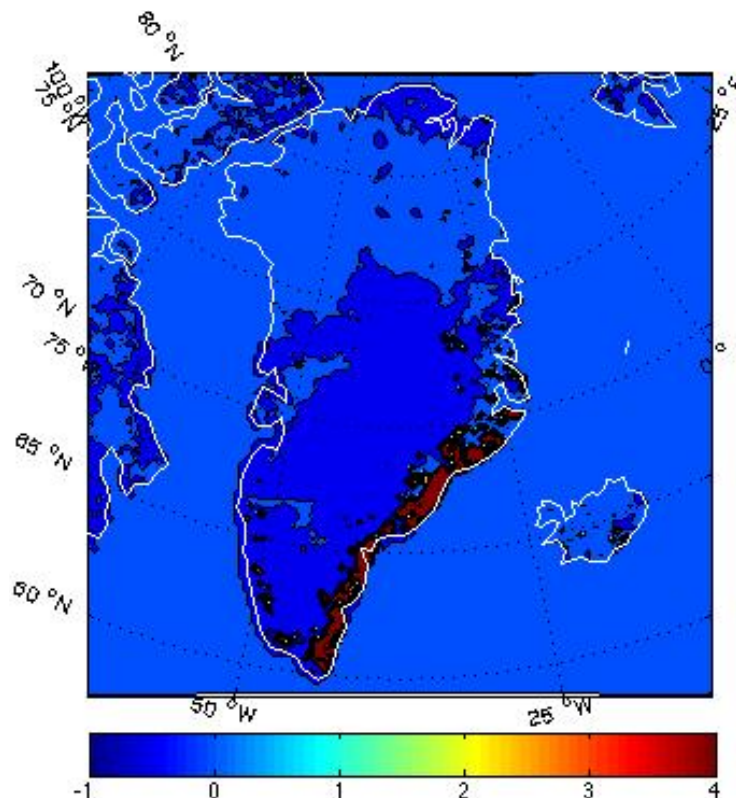
Figuur 11: Het gemiddelde albedo.

Figuur 13: Neerslag gegeven in millimeter per jaar.

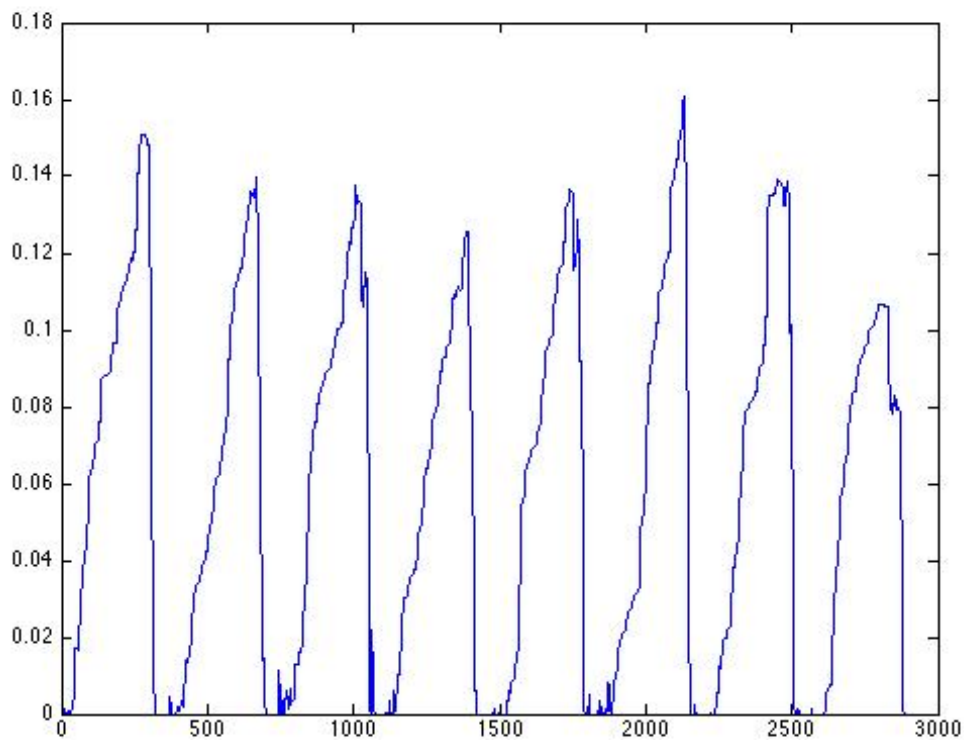


In de figuren 10 – 13 is het goed te zien dat het klimaat van Groenland zonder ijskap veranderd is ten opzichte van Groenland met ijskap. De gemiddelde temperatuur is hoger in de situatie zonder ijskap (250 – 260K), wat ook logisch is aangezien een ijskap voor veel afkoeling zorgt. In de contourplot van het albedo is te zien dat er zich geen ijskap bevindt op Groenland, het albedo is namelijk lager dan dat van ijs. Het albedo is gemiddeld over de 9 jaar, dus in het figuur is te zien dat er niet het hele jaar door een ijslaag de bodem bedekt, maar dat wil niet zeggen dat zich er geen sneeuwlaag bevindt een bepaald gedeelte van het jaar, want dit is in de winter namelijk wel het geval. Samen met de verhoogde temperatuur is dit lagere albedo dus ook de reden om aan te nemen dat er geen aangroei is van een nieuwe ijskap. Dit geldt niet voor het zuidoosten van Groenland, daar zijn er bergen, en omdat daar het land hoger boven de zeespiegel ligt is het er dus kouder en door de aanvoer van vochtige lucht vanaf de oceaan ook veel natter. De neerslag valt in deze run zonder ijskap dus voornamelijk ook daar in het zuidoosten, dit is ook zo in de run met ijskap. Maar in het binnenland van Groenland valt meer neerslag dan dat het geval is met ijskap. Dit geldt voor de totale neerslag als voor de sneeuwval. Echter voor de sneeuwval is er een mindere stijging van de hoeveelheid wat betekent dat er op Groenland zonder ijskap ook regen valt. Dit zal dan uiteraard in de zomer gebeuren, want in de winter valt de neerslag door de lage temperaturen in sneeuwvorm. Het grote verschil is dus dat de temperaturen in het binnenland van Groenland in de zomer boven 0 °C uitkomen. Op de ijskap gebeurt dit zelden, maar in de nieuwe situatie is het dus meer regel dan uitzondering. De zomertemperaturen liggen tussen de 0 en +20 °C.

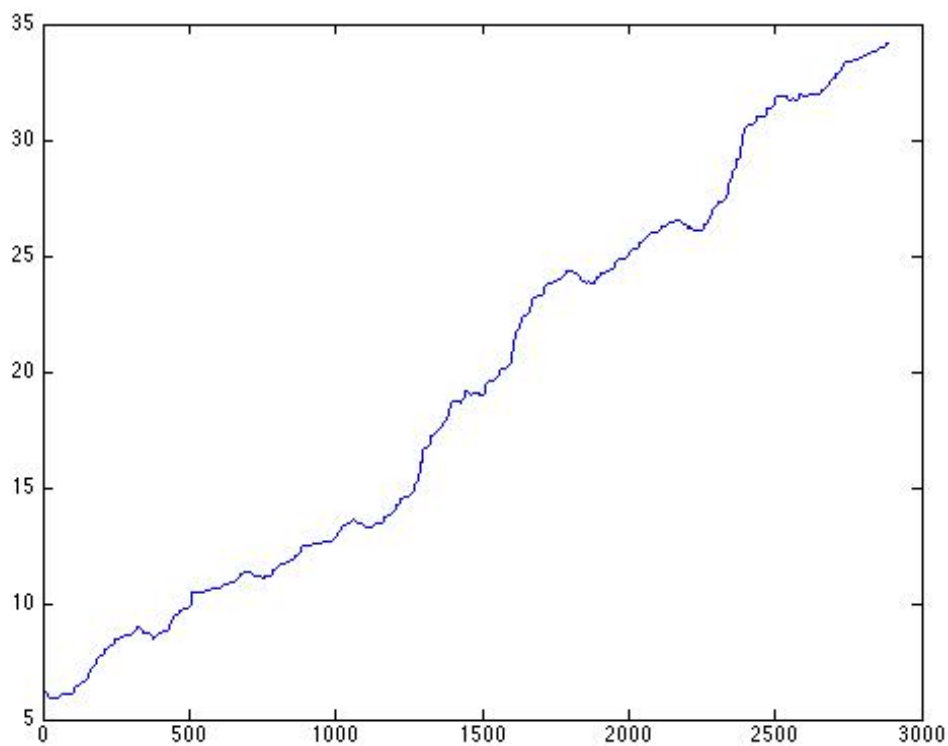
De figuren van de sneeuwhoogte (14, 15 en 16) bevestigen dat er geen aangroei is van een ijskap, behalve dan in de bergen. Dit is te zien aan het feit dat voor het binnenland van Groenland de sneeuwhoogte in de zomer weer daalt tot nul.



Figuur 14: Sneeuwhoogte per jaar in meter. Blauw is geen aangroei en rood wel, daar blijft de sneeuw dus liggen.



Figuur 15: Sneeuwhoogte over 9 jaar (met 1^e dag begin van de winter) in meter op een positie midden in Groenland. Hier smelt de sneeuw weer weg in de zomer en dus is er geen aangroei van een ijskap.



Figuur 16: Sneeuwhoogte over 9 jaar in meter voor het zuidoosten van Groenland, in de bergen. Hier blijft er ongeveer 4 meter per jaar liggen en groeit en dus een ijskap.

Het klimaat van dit Groenland is dus een koud landklimaat (subarctisch) met koele zomers en zeer koude winters met temperaturen tussen de -40 en -20 °C. Dit is wel warmer dan in de situatie met ijskap waar er koude zomers zijn en waar de temperatuur in de winter nog lager is. De neerslag is zoals gezegd wel toegenomen, maar nog steeds valt er weinig (100 – 300 millimeter per jaar), waarvan niet alles in vaste vorm valt (50 – 200 millimeter per jaar). Het klimaat in de bergen in het zuidoosten verandert echter niet, dit is ook logisch: de grote ijskap die Groenland in de werkelijkheid en in CLRUN bedekt ligt niet op de bergen. De kleine ijskappen in de bergen zullen er dus in alle drie de situaties (werkelijkheid, CLRUN en RUN1) zijn.

Vergelijken met ECMWF data

Het klimaat van Groenland zonder ijskap is nu bepaald uit het model. De volgende taak is om dit klimaat te vergelijken met het klimaat van andere regio's op Aarde. De informatie hiervoor is gehaald van de 'European Centre for Medium Range Weather Forecast' (ECMWF) data server. Van deze server zijn de datasets van ERA-Interim te downloaden, de waarden in deze datasets zijn berekend door een combinatie van het weermodel van het ECMWF en zoveel mogelijk observaties. Alle variabelen die uit het model komen, kunnen ook van de server gehaald worden waardoor een goede vergelijking te maken is. De resultaten die uit de modelsimulatie komen waarbij Groenland zoals in de werkelijkheid is, zouden hierdoor goed overeen moeten komen met de waarden gegeven door de dataset van het ECMWF. Uit de vergelijking van de temperatuur en de neerslag komt dat dit ook het geval blijkt te zijn. Maar het is natuurlijk veel interessanter om het klimaat van Groenland zonder ijskap uit het model te vergelijken met een al bestaand klimaat elders op Aarde. Op de server is data te vinden van de jaren die ook in het model gebruikt worden, van 1979 tot 1989 dus. Voor deze periode zijn de data van de temperatuur, albedo, neerslag en sneeuwval gedownload en gebruikt voor de analyse van het klimaat van Groenland zonder ijskap. Hieronder zijn de figuren (17 – 20) weergegeven van de data van het ECMWF.

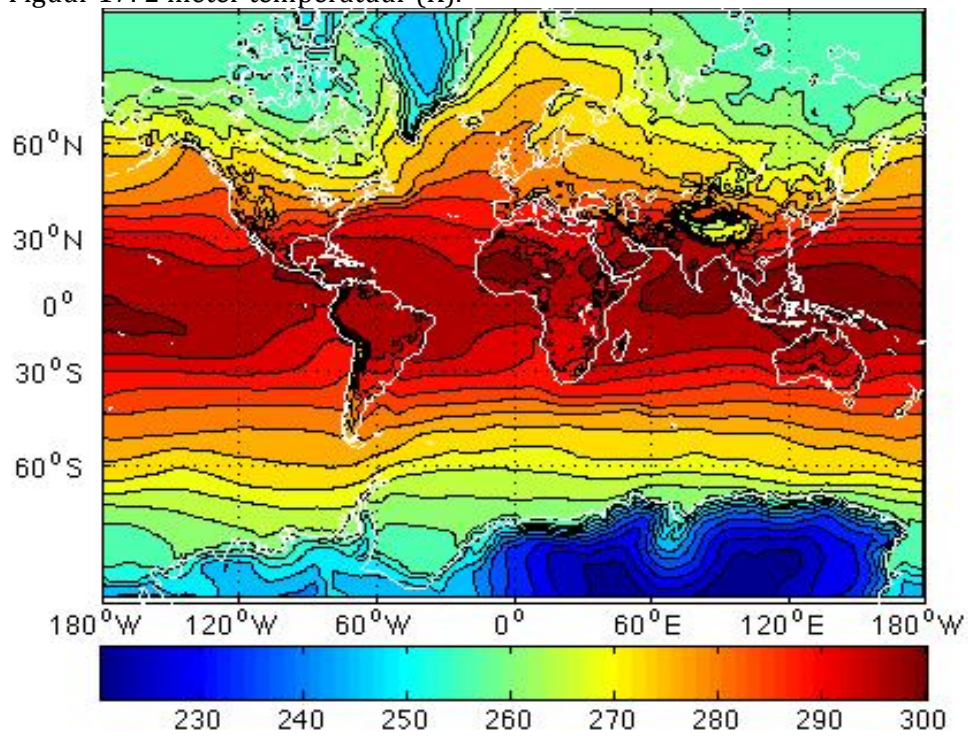
De temperatuur, neerslag en sneeuwval van Groenland zonder ijskap zijn vergeleken met de rest van de wereld. Ook het albedo is bekeken, maar deze is niet zo belangrijk, klimaten die compleet verschillend zijn van het klimaat van dit Groenland kunnen een gelijk albedo hebben. De waarden per dag zijn bekeken, en voor de neerslag en sneeuwval waar de cumulatieve waarde relevant is, zijn er maandelijkse cumulatieve waarden bekeken. Op deze manier is er een goede voorstelling gemaakt over waar het klimaat van dit Groenland op lijkt. Zoals al vermeld heeft Groenland een koud landklimaat en daarmee zou het logisch zijn dat het klimaat sterke gelijkenissen bevat met klimaten van landen op dezelfde breedtegraad. En uit de gegevens van het ECMWF blijkt dit ook zo te zijn. Het klimaat van Groenland zonder ijskap is een klimaat zoals dat in Siberië en Noord-Canada. Het gebied met het klimaat dat er het meest op lijkt is een stuk in Siberië. Om beter te vergelijken is dit gebied verder geanalyseerd en is van de data alleen gekeken naar dit stuk dat zich bevindt zich tussen 100 en 130 graden oost en 60 en 70 graden noord. Want het is nu de taak om te controleren of de ondergrond die in het model is gebruikt de juiste is. In het model is dus toendra geplaatst, wanneer naar de vegetatie in het stuk Siberië wordt gekeken dan is te zien dat er naast toendra ook taiga ondergrond te vinden is. Dit is in het model dus niet volledig weergegeven en het is realistischer om ook taiga ondergrond in het model te plaatsen. Zoals eerder vermeld is hierbij de gemiddelde temperatuur in juli van belang. Door de juli temperatuur van dit stuk te vergelijken met de vegetatie, is er een onderscheid te maken bij welke temperatuur er welke vegetatie groeit. In figuur 21 is de vegetatie te zien die er (werkelijk) groeit in het gebied in Siberië en in figuur 22 is de gemeten gemiddelde temperatuur van juli van het ECMWF te zien van hetzelfde stuk. Hieruit zijn de grenzen tussen de ondergronden bepaald. Zo is te zien dat bij een temperatuur van 15 °C of hoger er taiga zal zijn en de toendra bevindt zich in het gebied waar de temperatuur 12 °C of lager is. Bij de tussenliggende temperaturen is er een overgangszone waar beide ondergronden zich zullen bevinden. Deze grens is echter anders dan de gemiddelde grens op Aarde tussen toendra en taiga, maar omdat dit gebied het meest lijkt op dat van Groenland zonder ijskap, zijn toch deze waarden gebruikt. In figuur 23 is de gemiddelde temperatuur in juli te zien van Groenland, hiervoor is dezelfde schaal gebruikt als die in figuur 22, vandaar de niet ingekleurde stukken in de kaart. Nu de vegetatie gekoppeld is aan de gemiddelde juli temperatuur kan dit in het model gezet worden. Hoe het land eruit zal zien is te zien in figuur 24. In deze figuur zijn ook rode lijntjes te zien, deze geven de plekken aan waar er sneeuw het hele jaar blijft liggen. In figuur 25 is dit ook te zien.

De figuren 21 en 24 bevatten beide zes figuren, waarvan de eerste vier een bepaalde fractie weergeven. De twee andere figuren geven het type vegetatie weer, waarbij in de schaal de getallen horen bij een vegetatie soort (Masson en anderen, 2003). Voor de lage vegetatie is alleen type 9 te zien, deze komt overeen met toendra. Er zijn drie types vegetatie die voorkomen in de hoge vegetatie figuur. Type 5 zijn groenblijvende loofbomen, type 3 zijn groenblijvende naaldbomen en type 2 zijn bladverliezende naaldbomen.

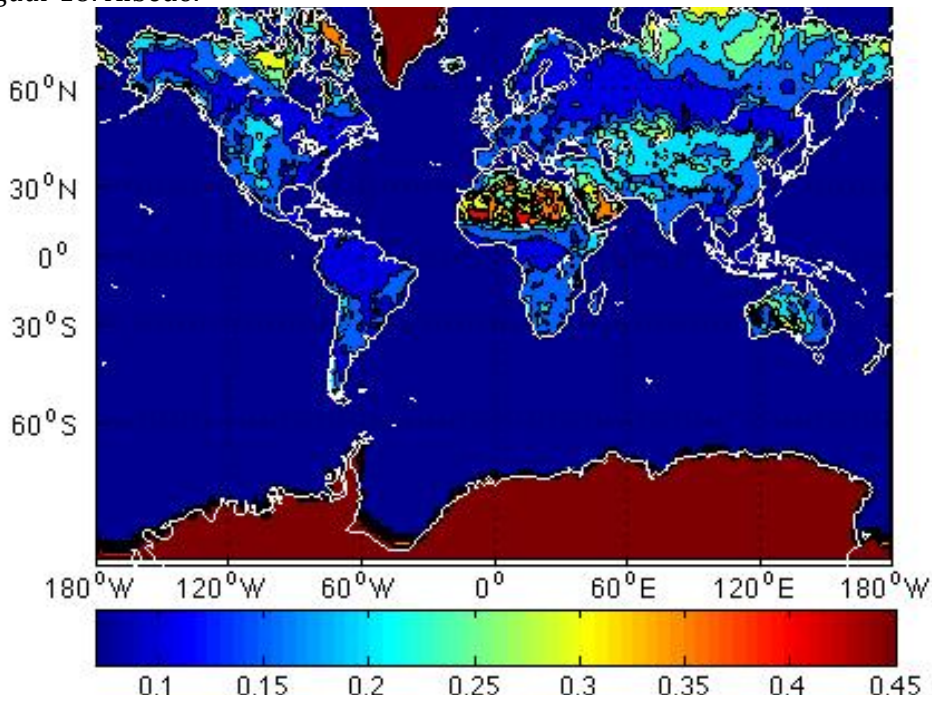
Het blijkt dus zo te zijn dat de vegetatietypes gebruikt in RUN1 niet overeenkomen met de vegetatie die er zal groeien op Groenland zonder ijskap. Ook is het zo dat de sneeuw die blijft liggen het bodemtype toendra met sneeuw zijn in plaats van land ijs. Door deze twee 'tile' fracties te veranderen in het model zullen de resultaten realistischer zijn.

ECMWF data

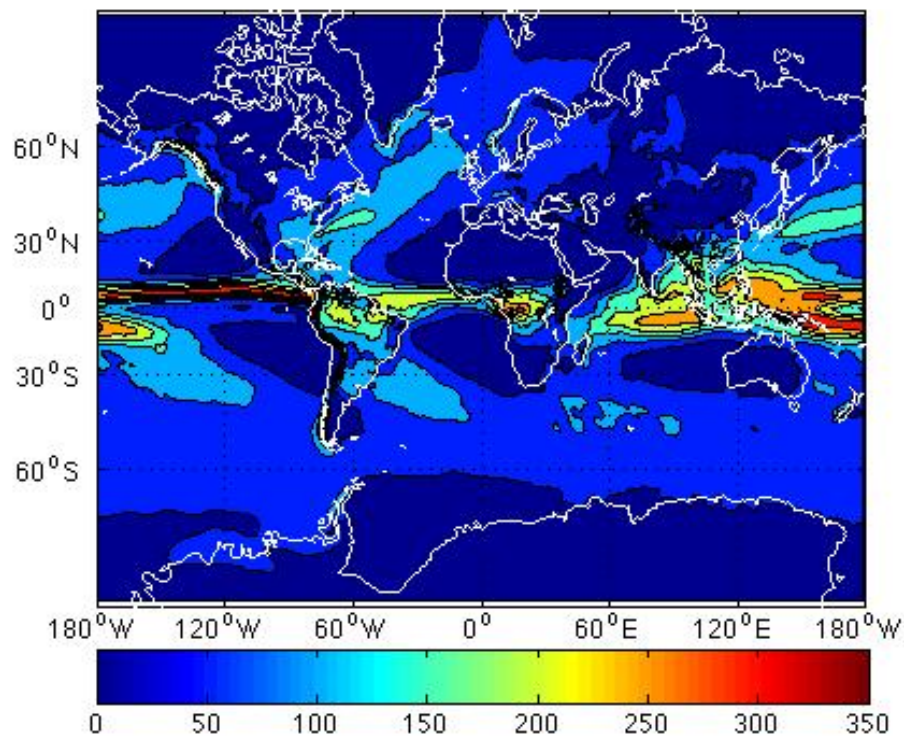
Figuur 17: 2 meter temperatuur (K).



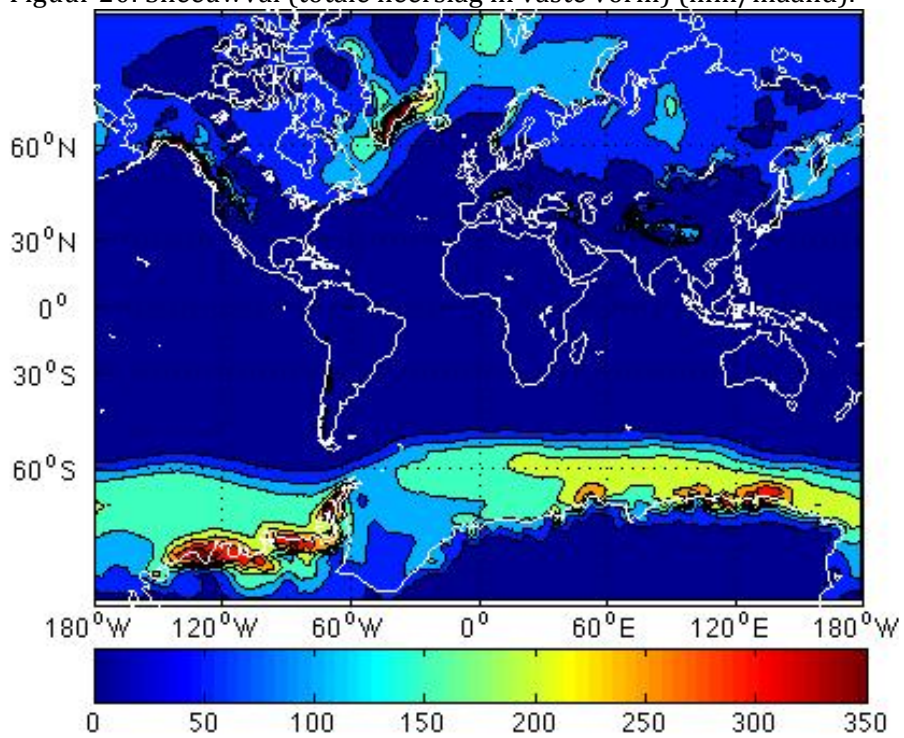
Figuur 18: Albedo.

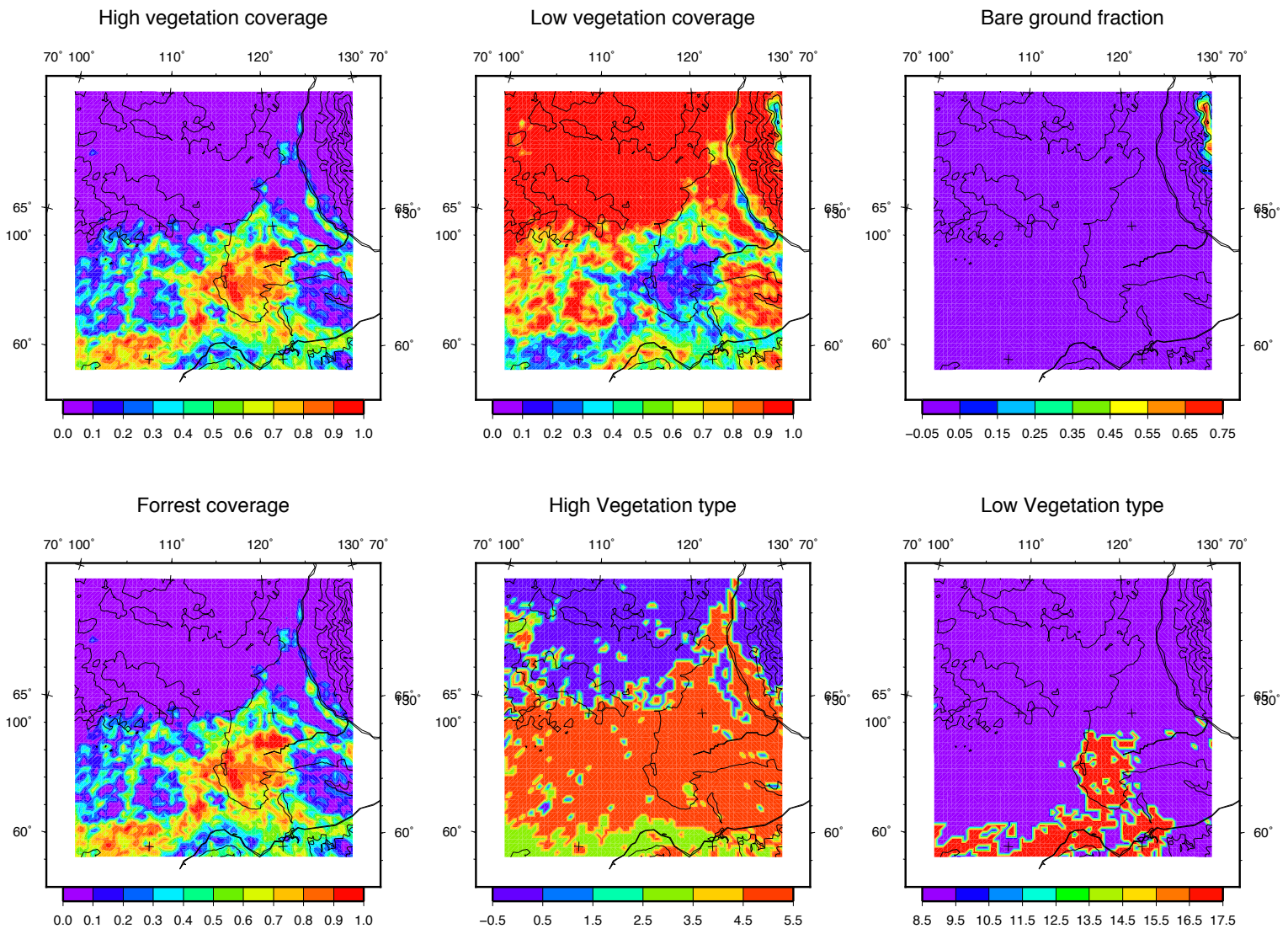


Figuur 19: Regenval (totale neerslag in vloeibare vorm) (mm/maand).

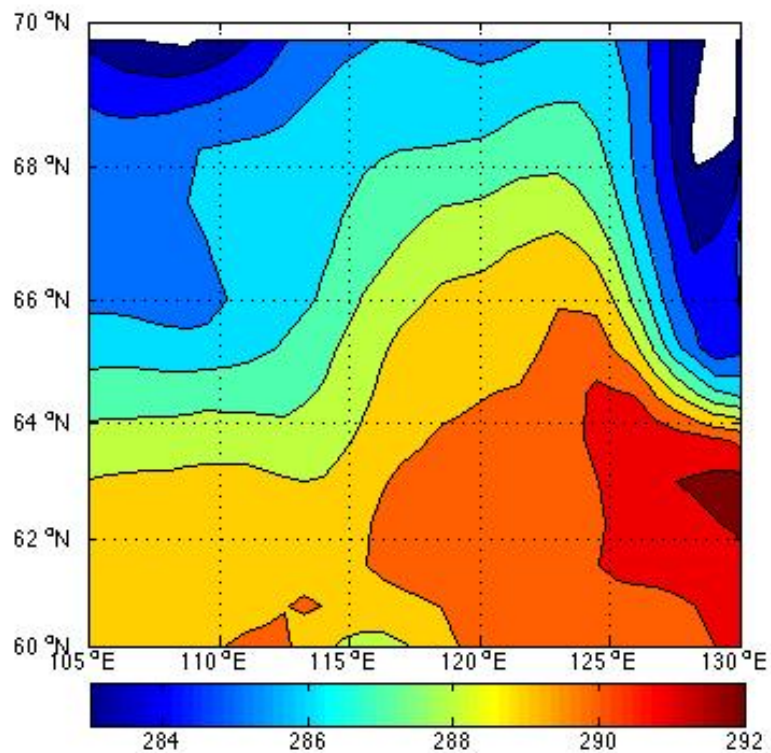


Figuur 20: Sneeuwval (totale neerslag in vaste vorm) (mm/maand).

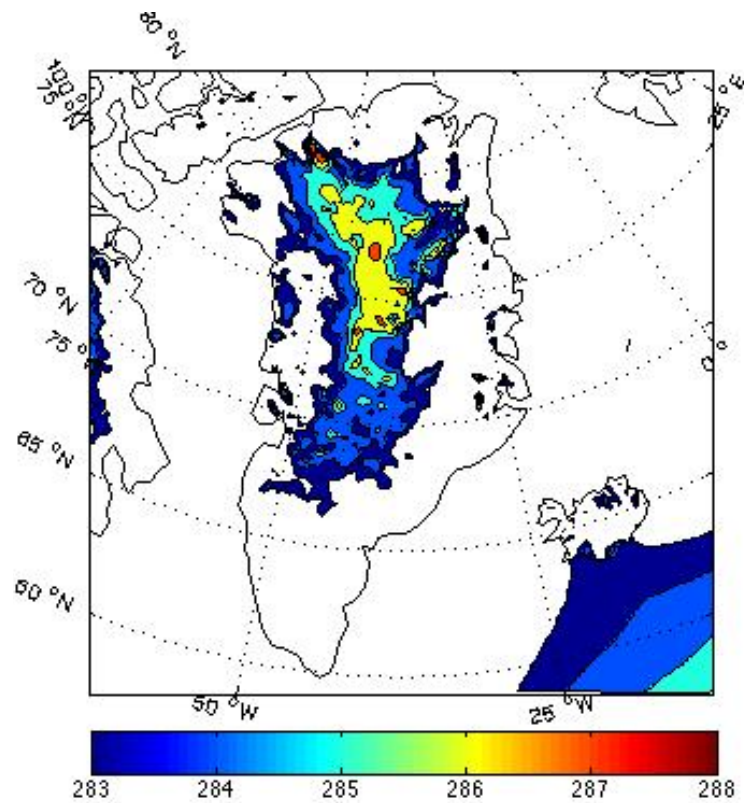




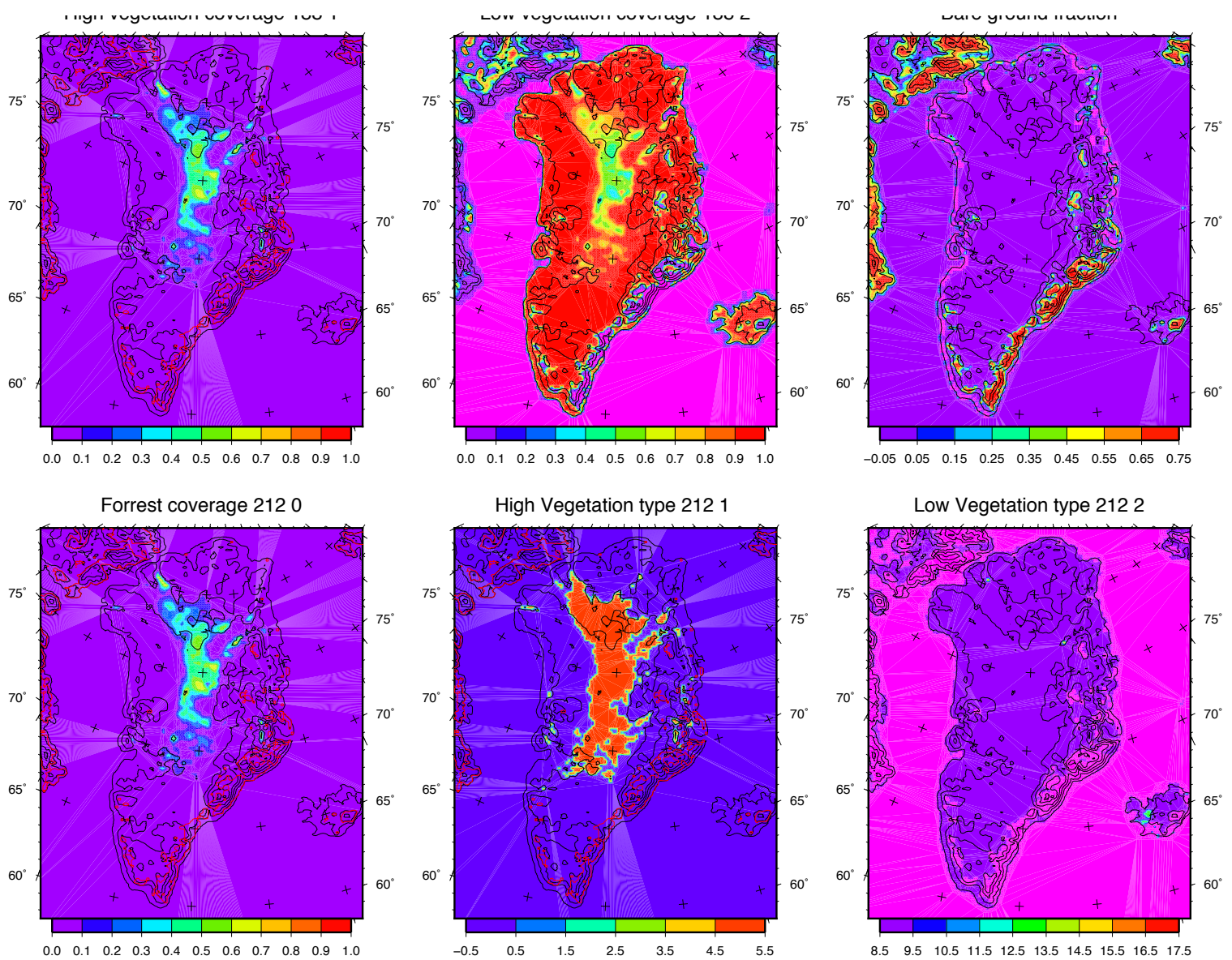
Figuur 21: Vegetatie van het gebied in Siberië, de scheiding tussen toendra en taiga is goed te zien.



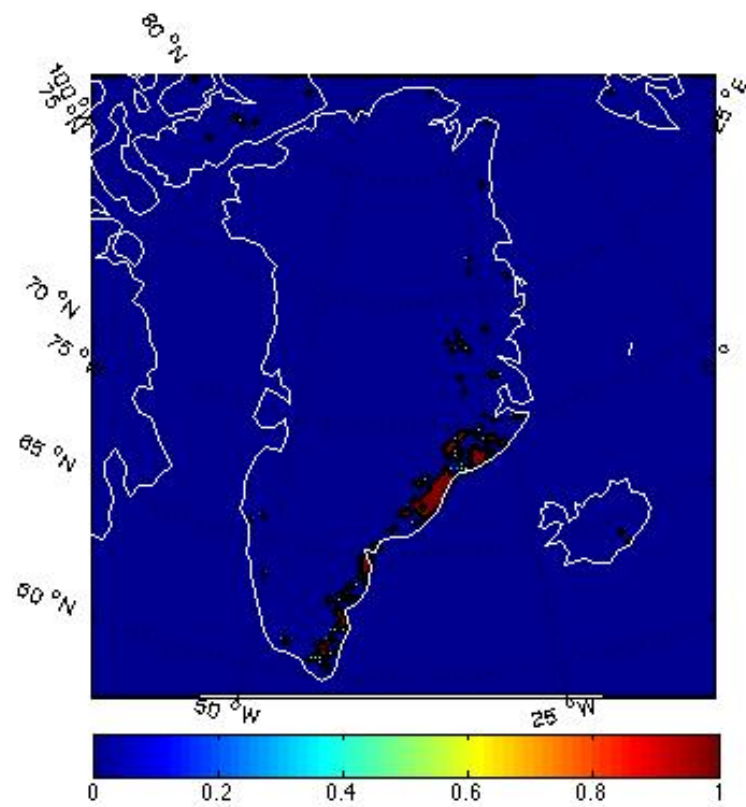
Figuur 22: Gemiddelde temperatuur in juli (Kelvin) van het gebied in Siberië.



Figuur 23: Gemiddelde temperatuur in juli (Kelvin) voor Groenland. Hier is dezelfde schaal gebruikt als in figuur 20, in het witte gebied is het dus kouder dan 10 graden Celsius.



Figuur 24: Groenland uit RUN1 bestaat volledig uit toendra, maar als naar de temperaturen wordt gekeken en de daarbij behorende ondergrond is dit de juiste weergave van de vegetatie. De rode lijntjes geven een gebied weer waar de ondergrond bedekt is met sneeuw en ijs.

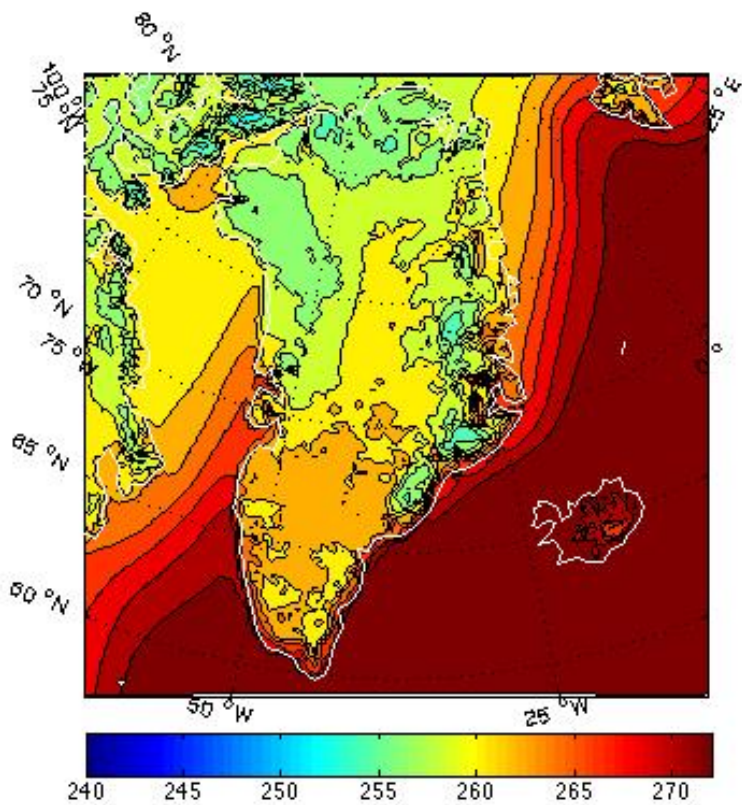


Figuur 25: De roodgekleurde gebieden in deze figuur geven de plekken aan waar er sneeuw blijft liggen, deze komen overeen met de gebieden binnen rode lijntjes uit figuur 22.

Groenland met fractionele bedekking met taiga (RUN 2)

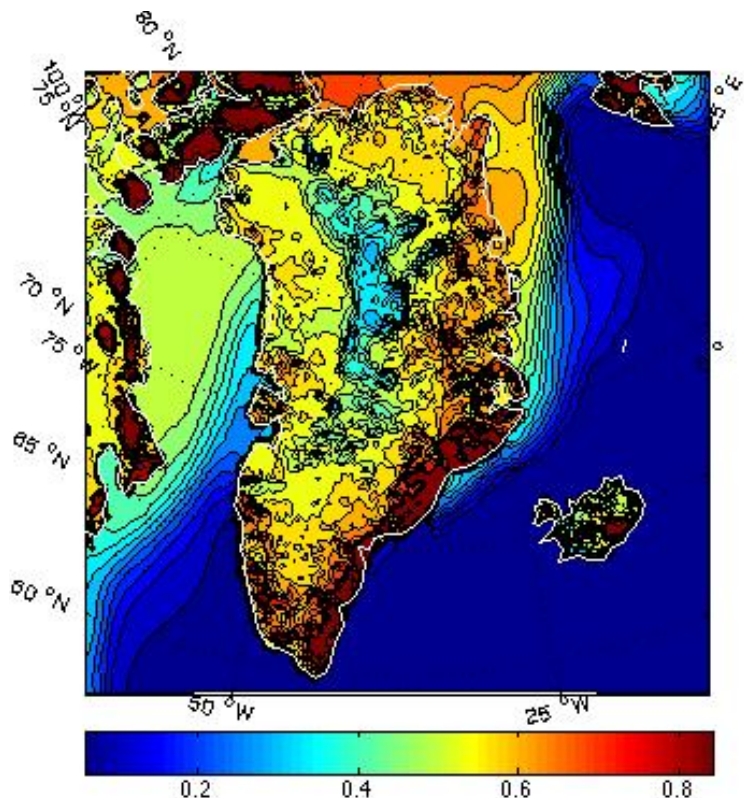
Nu de aanpassing aan het model zijn gedaan, kan het nieuwe klimaat bekeken en vergeleken worden. Er zijn kleine verschillen tussen de klimaten van RUN1 en RUN2, maar deze zijn goed te verklaren. Aan het albedo is goed te zien dat de bodemtypes veranderd zijn. In de bergen zijn kleine ijskappen geplaatst en daar is het albedo dus hoger, en waar er taiga is geplaatst is te zien aan het lagere albedo, hoge vegetatie zorgt namelijk voor een lager albedo. De ijskappen zorgen voor een lagere temperatuur, terwijl het model op de taiga een hogere temperatuur berekend. In de figuren 26 en 27 zijn de temperatuur en albedo van RUN2 te zien, in de figuren 30 en 31 zijn de verschillen in de temperatuur en het albedo tussen RUN2 en RUN1 te zien.

Met uitzondering van de bergen is in de rest van Groenland de hoeveelheid neerslag nauwelijks veranderd, daar zou ook geen goede reden voor geweest zijn aangezien bos neerslag niet tegenhoudt zoals bergen of een grote ijskap dat wel doen. Dit is te zien in figuren 28, 29, 32 en 33. Wat ook te zien is in figuren 32 en 33, is dat in het zuidoosten van Groenland veel meer neerslag valt en boven de zee juist minder. Dit heeft echter niets te maken met de aanpassingen aan de bodemtypes, maar met een verandering in de fysica van het model. In het model zit namelijk een parameterizatie die zorgt dat wanneer lucht over steile bergen stroomt, deze lucht wordt afgeremd. Dit heeft als gevolg dat windsnelheden zeer laag worden. Het probleem is echter dat de windsnelheden zo laag worden dat ze onrealistisch worden, en dit negatieve effect weegt zwaarder dan het realistisch afremmen van de lucht boven ruwe orografie. In RUN1 stond de parameterizatie aan, maar in RUN2 is deze uitgeschakeld. Dit verklaart de verschillen, die dus te zien zijn in figuren 32 en 33. De verhouding tussen de hoeveelheden is weergegeven in de figuren 34 en 35. Deze fout is geldt alleen niet voor de rest van Groenland, daar zijn ook geen steile bergen dus is de parameterizatie niet van invloed.



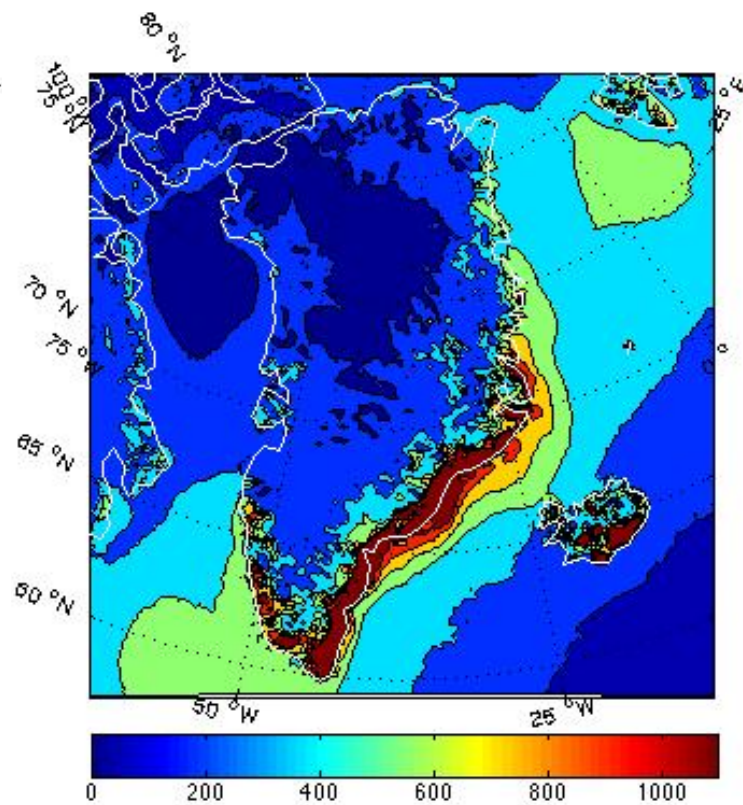
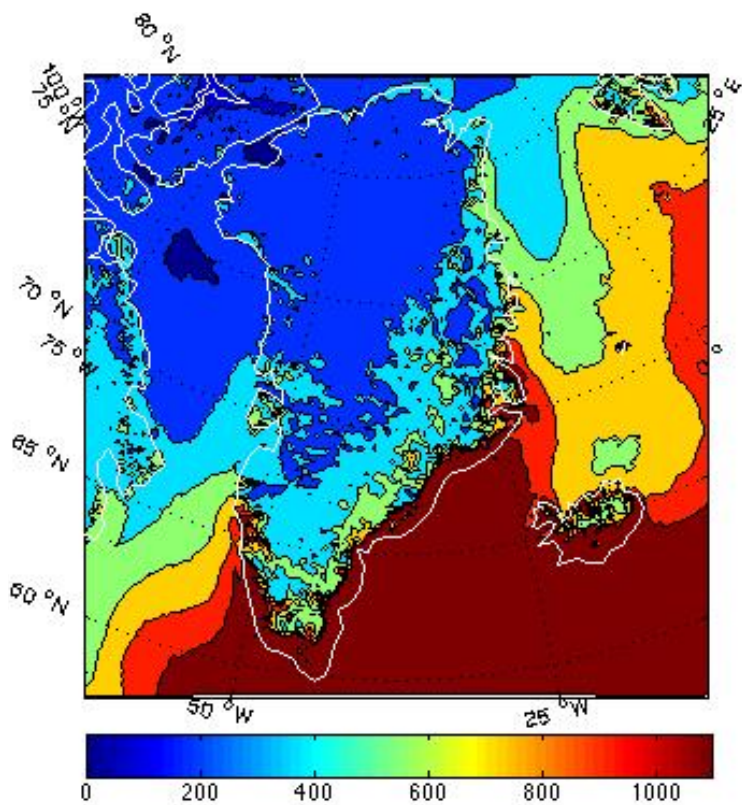
Figuur 26: De temperatuur in Kelvin.

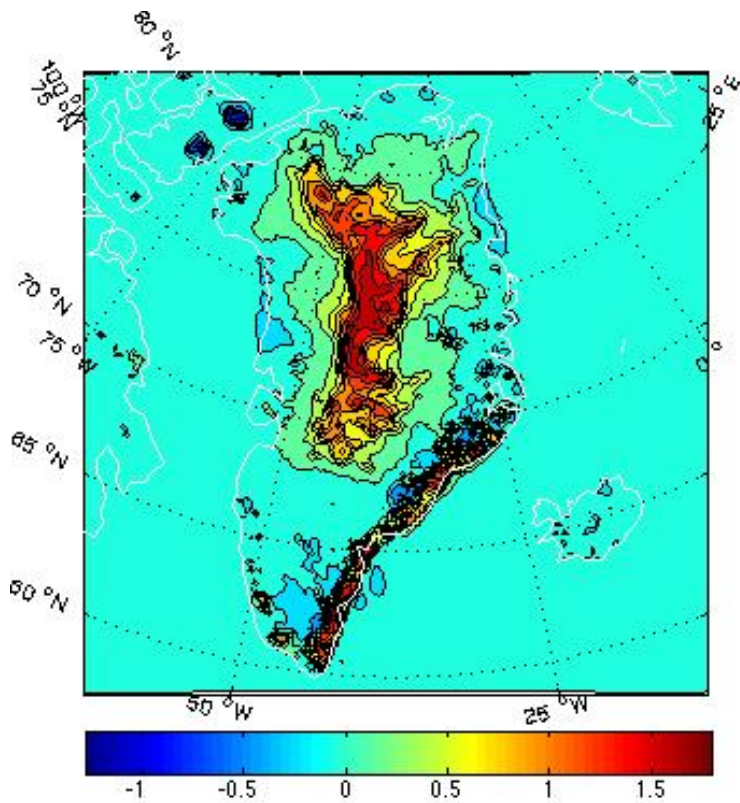
Figuur 28: De neerslag in millimeter per jaar.



Figuur 27: Het albedo.

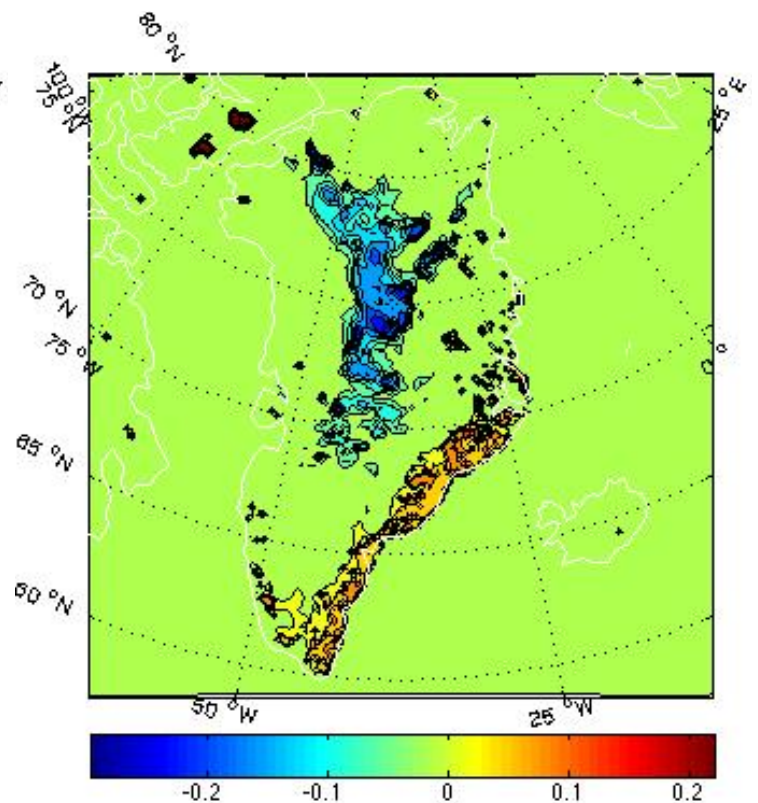
Figuur 29: De sneeuwval in millimeter per jaar.





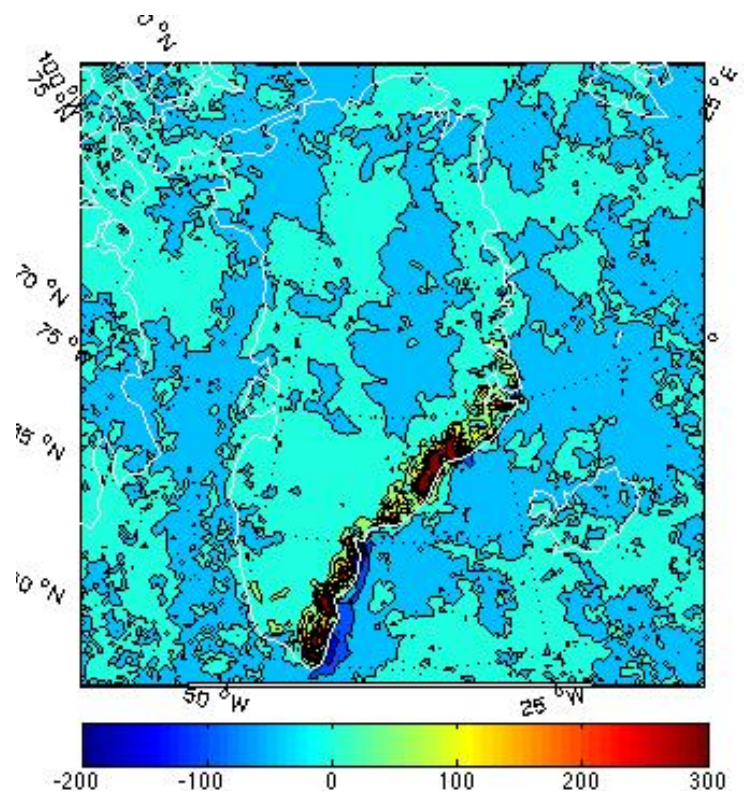
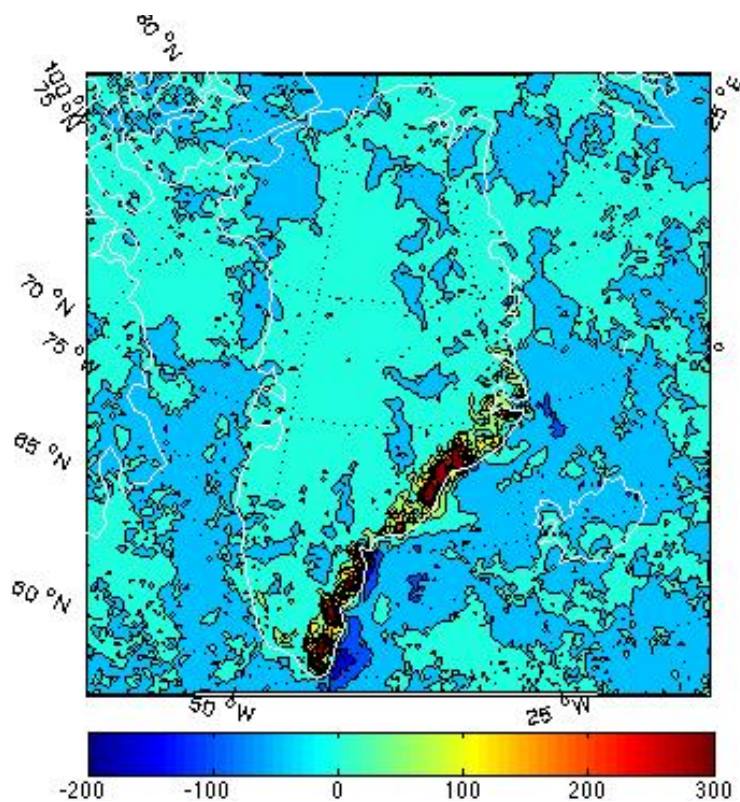
Figuur 30: Het temperatuurverschil in Kelvin.

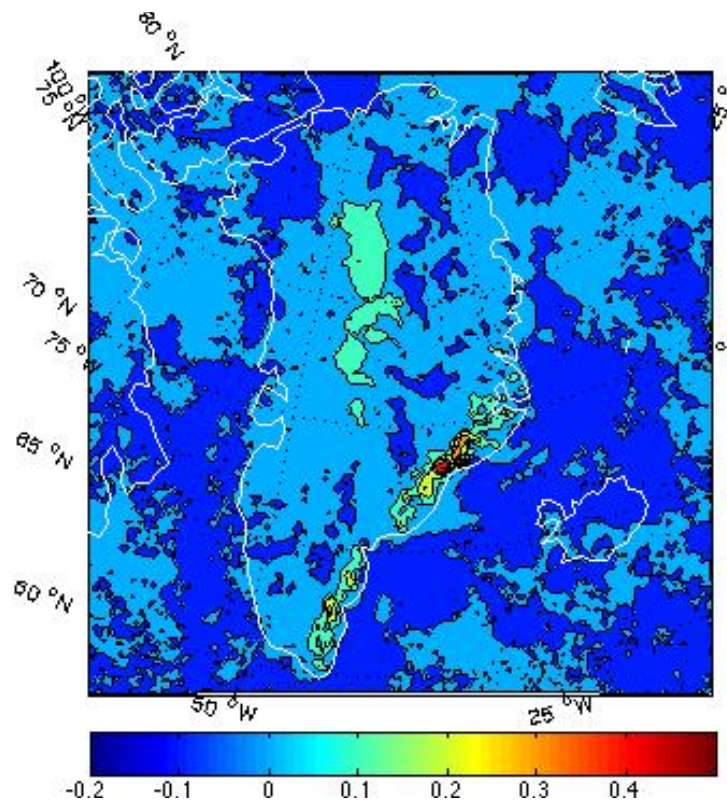
Figuur 32: Het verschil in neerslag in millimeter per jaar.



Figuur 31: Het verschil in albedo.

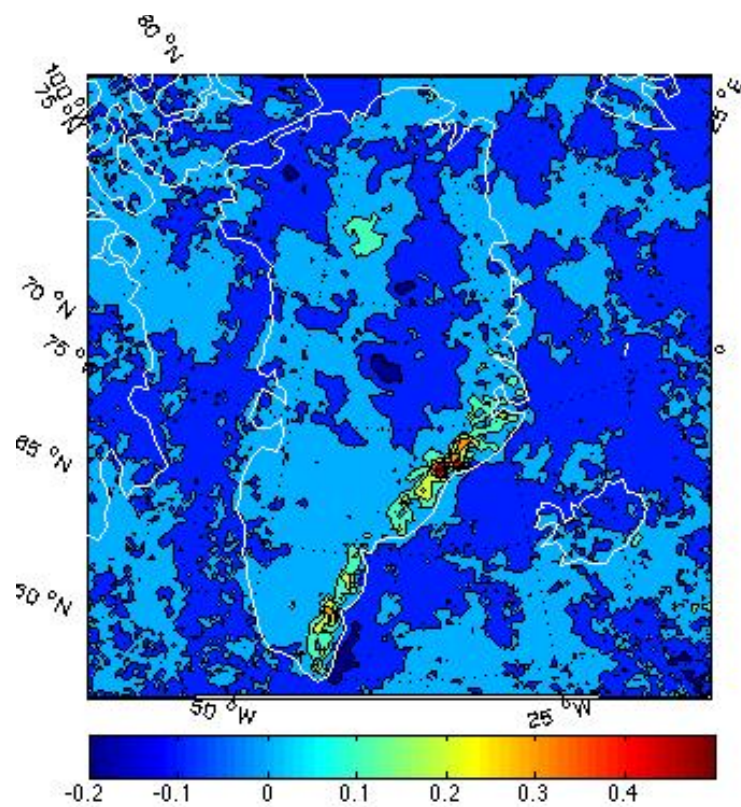
Figuur 33: Het verschil in sneeuwval in millimeter per jaar.





Figuur 34: De verhouding van de neerslag.

Figuur 35: De verhouding van de sneeuwval.



Discussie

Het model is dus in staat gebleken om het klimaat op dit nieuwe Groenland realistisch te voorspellen. Het heeft zoals al eerder vermeld echter geen invloed op de rest van de Wereld. De weer- en klimaatgegevens worden niet teruggekoppeld zodat deze invloed kunnen hebben op klimaten elders. Dit is ook veel gecompliceerder en het zal afleiden van het doel van dit onderzoek om puur het klimaat van Groenland te bestuderen. Groenland is wel een groot onderwerp, omdat de ijskap aan het smelten is en dit grote gevolgen kan hebben op met name de zeespiegelstijging. Als dat een doel is van een onderzoek is het zeker nuttig (of noodzakelijk) om dit model te gebruiken voor de simulatie van het klimaat en de verandering hiervan. Na de verwerking van de data is er een interpretatie gemaakt van de vegetatie op Groenland. Uit het model komt namelijk geen data die weergeeft welke vegetatie waar zal groeien. Hiervoor is naar de temperatuur en de hoeveelheid neerslag gekeken en met behulp van deze waarden, algemene gegevens over de verschillende soorten vegetatie en de vegetatie van een gebied in Siberië is bepaald waar er welke vegetatie groeit op Groenland. Deze bepaling is echter wel een eigen interpretatie en de grenzen tussen vegetatiesoorten, die bepaald worden door de gemiddelde temperatuur in juli, kunnen ook anders bepaald worden. Daarmee zou het landschap van Groenland er iets anders uit kunnen zien.

De twee modelsimulaties die zijn gedaan, zijn helaas niet helemaal op dezelfde manier gedaan. De eerder benoemde parameterizatie zorgt voor een verschil in de data, omdat deze aan stond in RUN1 en uitgeschakeld was in RUN2. Hierdoor is de vergelijking tussen de twee run moeilijk te maken. De parameterizatie is alleen van invloed op ruwe orografie en omdat alleen in het zuidoosten van Groenland bergen voorkomen is de afwijking die hierdoor veroorzaakt wordt alleen daar te zien. Voor de rest van Groenland is de vergelijking nog steeds goed te maken en levert deze nuttige informatie over de verschillen die optreden in het klimaat als er in plaats van alleen toendra er een combinatie van toendra en taiga ondergrond is.

Conclusie

Het klimaat van Groenland zonder ijskap is een koud landklimaat met weinig neerslag. De ondergrond zal bestaan uit toendra en taiga, waar het bos van de taiga zich midden in Groenland zal bevinden. In de bergen in het zuidoosten zullen er kleine ijskappen zijn. In RUN2 is de aanpassing gemaakt omdat de ondergrond die in RUN1 in het model geplaatst was niet helemaal paste bij het klimaat. De aanpassing moest zorgen voor een realistischere weergave van het klimaat, en dit was uiteindelijk ook het geval. Maar deze verschillen tussen RUN1 en RUN2 zijn niet groot en het klimaat van RUN1 was al redelijk realistisch. Dit betekent dat de aanname dat Groenland een toendra zou hebben al in de goede richting zat. Uit de vergelijking tussen Groenland met ijskap (CLRUN) en de werkelijkheid blijkt dat het model erg realistisch is. Dit is ook zo als de topografie van het gebied anders is dan de werkelijke situatie op Aarde.

Referenties

<http://apps.ecmwf.int/datasets/>

D. P. Dee, S. M. Uppala, A. J. Simmons, P. Berrisford, P. Poli, S. Kobayashi, U. Andrae, M. A. Balmaseda, G. Balsamo, P. Bauer, P. Bechtold, A. C. M. Beljaars, L. van de Berg, J. Bidlot, N. Bormann, C. Delsol, R. Dragani, M. Fuentes, A. J. Geer, L. Haimberger, S. B. Healy, H. Hersbach, E. V. Holm, L. Isaksen, P. Kallberg, M. Kohler, M. Matricardi, A. P. McNally, B. M. Monge-Sanz, J.-J. Morcrette, B.-K. Park, C. Peubey, P. de Rosnay, C. Tavalato, J.-N. Thepaut and F. Vitart, 2011 : *The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system*, Q. J. R. Meteorology Society, 137, 553-597.

ECMWF, 2006 : *IFS Documentation Part IV: Physical Processes*, Cy31r1.

V. Masson, J.-L. Champeaux, F. Chauvin, C. Meriguet and R. Lacaze, 2003 : *A global database of land surface parameters at 1km resolution in meteorological and climate models*, J. Climate, 16, 1261-1282.

A. Robinson, R. Calov and A. Ganopolski, 2012 : *Multistability and critical thresholds of the Greenland ice sheet*, Nature Climate Change, 2, 429-432.