

IMPACT VAN HET TEKEZESTUWMEER (ETHIOPIË) OP HET REGIONALE KLIMAAT

Aantal woorden: 25 859

Steve Van Bastelaere

Stamnummer: 01710870

Promotor: Prof. dr. Jan Nyssen, vakgroep Geografie

Copromotor: dr. Sofie Annys, vakgroep Geografie

Masterproef ingediend tot het behalen van de graad van Master of Science in de Geografie
en de Geomatica

Academiejaar: 2022 - 2023

VOORWOORD

Met deze masterproef komt een einde aan een tijdperk, het tijdperk van studeren. Een tijdperk met leuke, maar ook minder leuke momenten. Zo vormden de examenperiodes steeds een uitdaging en was het telkens een opluchting wanneer deze achter de rug waren. De interessante lessen, met in het bijzonder deze rond meteorologie en hydrologie, en de leuke excursies gaven mij echter de moed om verder te blijven doorzetten. Enerzijds ben ik opgelucht en blij dat ik dit werk tot een goed einde heb gebracht. Het schrijven van deze masterproef was namelijk een intensief en tijdrovend proces. Anderzijds vind ik het jammer dat de tijd van studeren en student zijn nu voorbij is. Wat er nu komt is voor mij nog een groot vraagteken en alleen de tijd zal het uitwijzen.

Graag zou ik hierbij ook enkele mensen bedanken die mee gezorgd hebben tot het resultaat dat nu voor je ligt. Ten eerste zou ik graag Prof. Jan Nyssen willen bedanken voor het gedetailleerd nalezen van deze masterproef en het geven van feedback. Daarnaast zou ik dr. Sofie Annys willen bedanken voor het beantwoorden van de talloze vragen, het geven van tips, het nalezen van dit werk en het geven van feedback. Ook zou ik Lars de Sloover willen bedanken voor het beantwoorden van enkele technische vragen.

Verder zou ik graag mijn ouders willen bedanken voor de vele steun tijdens de afgelopen jaren en om steeds in mij te blijven geloven. Daarnaast zou ik mijn mede-geografen Gilles, Lucas en Robbe, waarmee ik een goede band heb en hopelijk vrienden voor het leven zijn, willen bedanken voor de leuke babbels en uitstapjes.

Steve Van Bastelaere

21 augustus 2023

SAMENVATTING

Stuwmeren kunnen een sterke invloed uitoefenen op het regionale klimaat. Deze impact is echter niet bij elk stuwmeer gelijk en nog niet voor elk stuwmeer onderzocht. Zo is ook bij het Tekezestuwmeer in Ethiopië de impact op het regionale klimaat nog niet onderzocht. Daarom biedt deze masterproef een antwoord op volgende onderzoeksvraag: 'Wat is de impact van het Tekezestuwmeer in Ethiopië op het regionale klimaat (binnen een invloedzone van 100 km)?'. De impact wordt voor verschillende temperatuurvariabelen (gemiddelde temperatuur, maximumtemperatuur en minimumtemperatuur) en neerslagvariabelen (neerslaghoeveelheid, aantal neerslagdagen, 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen) onderzocht. Deze variabelen worden bestudeerd op jaarlijkse- en seizoenale tijdschaal (grote regenseizoen, droge seizoen en kort regenseizoen) en op verschillende ruimtelijke schalen (volledig studiegebied, stuwmeer, invloedzone 0 tot 10 km, invloedzone 10 tot 50 km, invloedzone 50 tot 100 km). Door een gebrek aan grondobservaties wordt gebruik gemaakt van satellietgegevens. Na uitgebreid literatuuronderzoek wordt gekozen voor de gegevensset '*Land Surface Temperature Dataset from Meteosat First and Second Generation - Edition 1*' en voor de gegevensset '*Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station data*' (CHIRPS). Uit deze gegevens worden de gewenste temperatuur- en neerslaggegevens geëxtraheerd. Om de impact van het Tekezestuwmeer te bestuderen wordt op de temperatuur- en neerslagvariabelen de Mann-Whitney test en de Mann-Kendall test (inclusief Sen's slope) uitgevoerd. De resultaten tonen dat het Tekezestuwmeer zorgt voor een verandering van bepaalde gemiddelde waarden van de temperatuur- en neerslagvariabelen tussen de pre- en post-dam periode. Bij de jaarlijkse gemiddelde temperatuur en de gemiddelde temperatuur van het droge seizoen en kort regenseizoen treedt over het stuwmeer een afname op tussen de pre- en post-dam periode. Ook bij de jaarlijkse maximumtemperatuur en de maximumtemperatuur in alle seizoenen treedt een afname op. Dit is het geval over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km. Daarnaast zorgt het stuwmeer in alle onderzochte gebieden voor een toename van de jaarlijkse minimumtemperatuur en de minimumtemperatuur in alle seizoenen. De neerslaghoeveelheid en het aantal neerslagdagen nemen in het droge seizoen af tussen de pre- en post-dam periode. Bij de neerslaghoeveelheid beperkt deze impact zich tot het stuwmeer zelf, terwijl bij het aantal neerslagdagen het stuwmeer en de invloedzone van 0 tot 10 km beïnvloed wordt. Het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden neemt over het stuwmeer, binnen de invloedzone van 0 tot 10 km en binnen de invloedzone van 10 tot 50 km af tussen de pre- en post-dam periode. Het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen neemt af over het stuwmeer en binnen de invloedzone van 0 tot 10 km. De resultaten tonen ook dat het Tekezestuwmeer bij de temperatuur- en neerslagvariabelen in de meeste gevallen ook zorgt voor een verandering in de heersende trend. Deze verandering in de heersende trend houdt in dat de absolute grootte van de trend toeneemt tussen de pre- en post-dam periode of dat de richting van de trend wijzigt tussen de pre- en post-dam periode. Uit het onderzoek blijkt dus dat het Tekezestuwmeer een invloed uitoefent op het regionale klimaat.

ABSTRACT

Reservoirs can have a strong influence on the regional climate. However, this impact is not the same for every reservoir and has not yet been studied for every reservoir. For example, the impact on the regional climate of the Tekeze reservoir in Ethiopia has not yet been studied. Therefore, this master thesis offers an answer to the following research question: "What is the impact of the Tekeze reservoir in Ethiopia on the regional climate (within an influence zone of 100 km)?" The impact is investigated for various temperature variables (average temperature, maximum temperature and minimum temperature) and precipitation variables (precipitation amount, number of precipitation days, 99th percentile of the daily precipitation amounts and the annual number of extreme precipitation days). These variables are studied on an annual and seasonal time scale (long rainy season, dry season and short rainy season) and on different spatial scales (entire study area, reservoir, influence zone 0 to 10 km, influence zone 10 to 50 km, influence zone 50 to 100 km). Due to a lack of ground observations, satellite data is used. After extensive literature research, the data set 'Land Surface Temperature Dataset from Meteosat First and Second Generation - Edition 1' and the data set 'Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station data' (CHIRPS) are selected. The desired temperature and precipitation data are extracted from this data. To study the impact of the Tekeze reservoir, the Mann-Whitney test and the Mann-Kendall test (including Sen's slope) are performed on the temperature and precipitation variables. The results show that the Tekeze reservoir causes a change of certain average values of the temperature and precipitation variables between the pre- and post-dam period. The annual average temperature and the average temperature of the dry season and short rainy season show a decrease over the reservoir between the pre- and post-dam period. There is also a decrease in the annual maximum temperature and the maximum temperature in all seasons. This is the case over the reservoir and in the influence zone from 0 to 10 km. In addition, the reservoir causes in all investigated areas an increase in the annual minimum temperature and the minimum temperature in all seasons. The precipitation amount and the number of precipitation days decrease in the dry season between the pre- and post-dam period. With regard to the amount of precipitation, this impact is limited to the reservoir itself, while at the number of precipitation days, the reservoir and the zone of influence from 0 to 10 km are affected. The 99th percentile of daily precipitation amounts decreases over the reservoir, within the influence zone from 0 to 10 km and within the influence zone from 10 to 50 km between the pre- and post-dam period. The annual number of extreme precipitation days decreases over the reservoir and within the influence zone from 0 to 10 km. The results also show that the Tekeze reservoir in most cases also causes a change in the prevailing trend for the temperature and precipitation variables. This change in the prevailing trend means that the absolute size of the trend increases between the pre- and post-dam period or that the direction of the trend changes between the pre- and post-dam period. The research therefore shows that the Tekeze reservoir has an influence on the regional climate.

POPULARISERENDE INHOUD

Stuwmeren kunnen een sterke invloed uitoefenen op het regionale klimaat. Deze impact is echter niet gelijk bij elk stuwmeer. Dit onderzoek wil inzicht krijgen welke impact het Tekezestuwmeer in Ethiopië uitoefent op het regionale klimaat. Hiervoor wordt er voor verschillende temperatuur- en neerslagvariabelen onderzocht of er tussen de periode voor en na de aanleg van het stuwmeer een verandering optreedt in het gemiddelde en in de heersende trend. Het Tekezestuwmeer blijkt op zowel het gemiddelde als de heersende trend een invloed te hebben. Bij de gemiddelde temperatuur en maximumtemperatuur treedt een afname op door de komst van het stuwmeer, terwijl de minimumtemperatuur toeneemt. De neerslaghoeveelheid en het aantal neerslagdagen nemen in het droge seizoen af. Ook de intensiteit van de extreme neerslag en het aantal extreme neerslagdagen nemen af. De sterkste impact door het stuwmeer situeert zich steeds over het stuwmeer zelf. Door deze regionale klimaatveranderingen heeft de plaatselijke bevolking misschien het landbouwsysteem aangepast en treden er mogelijks veranderingen op in de natuurlijke begroeiing. Dit dient in toekomstig onderzoek verder bestudeerd te worden.

INHOUDSOPGAVE

1. Inleiding	1
1.1 Probleemstelling.....	1
1.2 Onderzoeksvragen.....	2
1.3 Doelstellingen.....	3
1.4 Opbouw en structuur	4
2. Theoretisch kader	5
2.1 Algemene impact van een meer op het regionale klimaat.....	5
2.2 Veranderingen in neerslagpatronen door de aanleg van een stuwdam	5
2.3 Vergelijking per klimaatzone van de impact van een (stuw)meer op het regionale klimaat	6
2.3.1 Tropisch klimaat	6
2.3.2 Droog klimaat.....	8
2.3.3 Gematigde klimaat	12
2.4 Schaal waarop een stuwdam het klimaat beïnvloedt	14
3. Studiegebied.....	15
3.1 Algemene situering.....	15
3.2 Klimaat.....	19
3.2.1 Algemene omschrijving en drivers klimaat Ethiopië	19
3.2.2 Regionaal klimaat Tekezestuwmeer	22
3.2.2.1 Temperatuurpatronen	22
3.2.2.2 Temperatuurtrends	23
3.2.2.3 Neerslagpatronen	23
3.2.2.4 Neerslagtrends	25
3.2.3 Verwachte trends & klimaatverandering Ethiopië	26
4. Methode	27
4.1 Afbakenen Tekezestuwmeer, invloedzones en volledig studiegebied.....	27
4.2 Verkrijgen neerslag- en temperatuurgegevens	31
4.2.1 Neerslaggegevens	31
4.2.2 Temperatuurgegevens	33
4.3 Statistische analyses.....	34
4.3.1 Controleren assumpties	35
4.3.2 Eerste analyse: Mann-Whitney test	35
4.3.3 Tweede analyse: Mann-Kendall test en Sen's slope.....	36
5. Vergelijking temperatuur- en neerslaggegevens	38
5.1 Satellietgegevens of neerslagstations	38

5.2	Vergelijking neerslaggegevens.....	39
5.2.1	Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) of TMPA 3B42.....	39
5.2.2	Tropical Applications of Meteorology using Satellite data and ground-based observations (TAMSAT)	39
5.2.3	Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) ...	40
5.2.4	Algemene zwaktes in neerslagschattingen door satellieten	41
5.2.5	Bespreking en vergelijking prestaties	41
5.3	Vergelijking temperatuurgegevens	45
5.3.1	Overzicht satellieten	45
5.3.2	Meteosat landoppervlaktetemperatuur	48
5.3.3	Prestaties Meteosat landoppervlakte temperatuur.....	48
6.	Resultaten.....	52
6.1	Langetermijntrends in temperatuur- en neerslaggegevens.....	52
6.1.1	Langetermijntrends in temperatuurgegevens	52
6.1.2	Langetermijntrends in neerslaggegevens.....	54
6.2	Assumpties: Normaliteit en autocorrelatie	59
6.3	Vergelijking temperatuur tussen pre- en post-dam periode.....	60
6.3.1	Overzicht.....	60
6.3.2	Gemiddelde temperatuur.....	62
6.3.2.1	Vergelijking gemiddelde rang	62
6.3.2.2	Vergelijking trends	62
6.3.3	Maximumtemperatuur	63
6.3.3.1	Vergelijking gemiddelde rang	63
6.3.3.2	Vergelijking trends	64
6.3.4	Minimumtemperatuur	65
6.3.4.1	Vergelijking gemiddelde rang	65
6.3.4.2	Vergelijking trends	66
6.4	Vergelijking neerslag tussen pre- en post-dam periode.....	67
6.4.1	Overzicht.....	67
6.4.2	Neerslaghoeveelheid.....	69
6.4.2.1	Vergelijking gemiddelde rang	69
6.4.2.2	Vergelijking trends	69
6.4.3	Aantal neerslagdagen	70
6.4.3.1	Vergelijking gemiddelde rang	70
6.4.3.2	Vergelijking trends	71

6.4.4	99 ^{ste} percentiel dagelijkse neerslaghoeveelheden	72
6.4.4.1	Vergelijking gemiddelde rang	72
6.4.4.2	Vergelijking trends	73
6.4.5	Jaarlijks aantal extreme neerslagdagen	73
6.4.5.1	Vergelijking gemiddelde rang	73
6.4.5.2	Vergelijking trends	74
7.	Discussie	75
7.1	Interpretatie resultaten	75
7.1.1	Impact op pre- en post-dam gemiddelde	75
7.1.1.1	Temperatuur	75
7.1.1.2	Neerslag	77
7.1.2	Impact op pre- en post-dam trends.....	79
7.1.2.1	Temperatuur	79
7.1.2.2	Neerslag	80
7.2	Beperkingen van het onderzoek.....	81
7.3	Toekomstig onderzoek	84
8.	Conclusie.....	85
9.	Referentielijst	87
10.	Bijlagen.....	96

1. INLEIDING

Wereldwijd zijn er meer dan 800 000 dammen gebouwd, waarvan ongeveer 60 000 grote dammen (Adamo *et al.*, 2020). Deze dammen zorgen voor het ontstaan van een stuwmeer waarvan de belangrijkste functies het opwekken van elektriciteit via waterkracht of het aanleggen van een voorraad water voor het irrigeren van landbouwgewassen zijn (Degu *et al.*, 2011). Echter kunnen dergelijke stuwmere het lokale klimaat drastisch veranderen (Hossain *et al.*, 2009). Zo zorgt het Sobradinho reservoir in Brazilië voor een afname van de dagtemperatuur en een toename van de nachttemperatuur (Ekhtiari *et al.*, 2017). Verder kan de gemiddelde neerslaghoeveelheid, maar ook de extreme neerslaghoeveelheid toenemen (Hossain, 2010). In 2009 werd ook op de Tekeze rivier in Ethiopië een stuwmeer in gebruik genomen. Op dat moment was dit het grootste antropogene meer van Ethiopië (Annys *et al.*, 2020). De aanleg van dit groot stuwmeer roept dan ook de vraag op in welke mate het Tekezestuwmeer het regionale klimaat heeft beïnvloed.

1.1 Probleemstelling

In verschillende onderzoeken uit de laatste jaren (zie onder meer Wu *et al.*, 2006; Long *et al.*, 2007; Degu *et al.*, 2011; Thiery *et al.*, 2015; Wen *et al.*, 2015; Fathalli *et al.*, 2020; Su *et al.*, 2020) wordt aangegeven dat de impact van sommige (stuw)meren op het lokale klimaat onvoldoende gekend is of nog niet onderzocht is. Ook voor het Tekezestuwmeer is de impact ervan op het regionale klimaat nog niet onderzocht.

Uit het theoretisch kader van deze masterproef volgt ook dat studies die de impact van een stuwmeer op het regionale klimaat onderzoeken niet allemaal tot dezelfde vaststellingen komen en er dus nog niet tot een consensus is gekomen. Zo stelt Hossain (2010) dat een stuwmeer niet alleen de hoeveelheid neerslag wijzigt, maar ook de frequentie van de neerslag. Dat terwijl uit het onderzoek van Wu *et al.* (2006) volgt dat het Drieklovenstuwmeer de frequentie van de neerslag niet wijzigt.

Daarnaast blijkt eveneens uit het theoretisch kader dat het meeste onderzoek naar de impact van een (stuw)meer op het regionaal klimaat uitgevoerd wordt voor (stuw)meren in Noord-Amerika en China. Er gebeurt dus te weinig onderzoek naar de impact van (stuw)meren op het regionale klimaat voor andere delen van de wereld. Ook gebeurt er meer onderzoek op basis van simulaties die worden uitgevoerd door een klimaatmodel dan op basis van waarnemingen door meteorologische stations of satellietbeelden.

Verschillende factoren lijken een invloed te hebben op welke impact een (stuw)meer op het regionale klimaat heeft:

- Een eerste factor is het type klimaat zelf. Zo volgt uit het onderzoek van Hossain (2010) dat grote dammen in aride en semi-aride klimaten extreme neerslagpatronen meer wijzigen dan in andere

gebieden. Ook Degu *et al.* (2011) stellen dat het type klimaat de invloed van een (stuw)meer op het regionale klimaat mee beïnvloedt: grote dammen hebben de sterkste invloed op het klimaat nabij de oever van het reservoir in mediterrane klimaten t.o.v. andere klimaten in Noord-Amerika.

- Een tweede factor, die gerelateerd is met het type klimaat, is de hoeveelheid vegetatie. Zo zal volgens Degu *et al.* (2011) in semi-aride en mediterrane streken een stuwmeer meer vocht toevoegen dan de schaars begroeide omgeving. Dit terwijl in vochtige streken die vaak bebost zijn de vochtfluxen door transpiratie vergelijkbaar zijn met deze door evaporatie uit open wateroppervlakken (Degu *et al.*, 2011).
- Een derde en vierde factor die een rol spelen zijn de dominante windrichting en de topografie. Zo verandert in de studie van Sun *et al.* (2019) de neerslag enkel in het meteorologisch station dat ten westen van het Ertan-stuwmeer gelegen is, waarbij de oostenwind de tweede belangrijkste windrichting is. Eveneens blijkt dat de luchtstroom van boven het stuwmeer het station kan bereiken via een gat in de noord-zuidgeoriënteerde bergketen (L. Sun *et al.*, 2019).
- Een vijfde en zesde factor volgt uit het onderzoek van Thiery *et al.* (2015). Die aantoonde dat naast topografie ook de afstand tot een meer en de atmosferische circulatie een rol spelen bij de invloed van een meer op de temperatuur.

Uit bovenstaande volgt dat verschillende factoren een invloed kunnen hebben op de impact die een (stuw)meer heeft op het regionale klimaat. Dit zorgt ervoor dat de impact van een (stuw)meer op het regionale klimaat niet voor elk (stuw)meer gelijk is. Er zou dus eigenlijk voor elk (stuw)meer afzonderlijk gekeken worden wat de impact ervan is op het regionale klimaat.

Naast de verschillende factoren die ervoor zorgen dat de eventuele impact van een (stuw)meer op het regionale klimaat moeilijk in te schatten is, zorgt de aanwezigheid van verschillende klimaatzones in de nabijheid van het Tekezestuwmeer er mogelijk voor dat de impact ervan op het regionale klimaat nog moeilijker in te schatten is. Het Tekezestuwmeer is gelegen in een droog klimaat, maar in de dichte nabijheid van het stuwmeer zijn eveneens de tropische, gematigde en zelfs toendra klimaatzones terug te vinden (Beck *et al.*, 2018).

1.2 Onderzoeksvragen

Deze masterproef probeert een antwoord te bieden op de volgende hoofdvraag:

- Wat is de impact van het Tekezestuwmeer in Ethiopië op het regionale klimaat (binnen een invloedzone van 100 km)?

Om een antwoord te kunnen bieden op deze hoofdvraag zullen volgende onderzoeksvragen onderzocht worden:

- Wat is de regionale impact van het Tekezestuwmeer in Ethiopië op de:
 - Neerslag (hoeveelheid en frequentie)?
 - Extreme neerslag (hoeveelheid en frequentie)?
 - Temperatuur van de lucht (minimum, maximum en gemiddelde)?

- Welke impact heeft het Tekezestuwmeer op de neerslag, neerslagextremen en temperatuur
 - Boven het stuwmeer?
 - In een zone van 0 tot 10 km van de oever van het stuwmeer?
 - In een zone van 10 tot 50 km van de oever van het stuwmeer?
 - In een zone van 50 tot 100 km van de oever van het stuwmeer?

1.3 Doelstellingen

Het onderzoek dat uitgevoerd zal worden heeft als doelstelling:

- Beschrijven van de algemene neerslag- en temperatuurtrend in de regio van het Tekezestuwmeer
- Beschrijven van de impact (op de gemiddeldes en/of op de trends) van het Tekezestuwmeer in Ethiopië op het regionale klimaat (0-100 km)

Dit onderzoek wordt uitgevoerd om te kunnen beschrijven wat de impact van de Tekezedam en het daardoor in 2009 ontstane Tekezestuwmeer is op het regionale klimaat. Het resultaat van het onderzoek zal aangeven of het stuwmeer een impact (op de gemiddeldes en/of op de trends) heeft op het regionale klimaat. Indien dit het geval is, zal het resultaat eveneens aangeven:

- Hoeveel de neerslaghoeveelheid en de extreme neerslaghoeveelheid toe- of afneemt;
- Hoeveel de frequentie van de neerslag en de extreme neerslag toe- of afneemt;
- Hoeveel de minimum, maximum en gemiddelde temperatuur toe- of afneemt;
- Hoeveel de bovenstaande variabelen toe- of afnemen in de verschillende ruimtelijke banden m.a.w. aangeven of de waarnemingen een ruimtelijk patroon vertonen, en of de verschillen significant zijn

Deze nieuwe kennis kan op verschillende vlakken belangrijk zijn:

- Indien het stuwmeer een impact heeft op het regionale klimaat kan dit ook een invloed hebben op de gewassen die in de regio geteeld worden. Door die klimaatverandering heeft de plaatselijke bevolking misschien het landbouwsysteem aangepast, en treden er mogelijks veranderingen op in de natuurlijke begroeiing. Met een goede kennis van zulke plaatselijke klimaatverandering, kan ook beter het landbouwsysteem begrepen worden, hetgeen cruciaal is aangezien 80% van de bevolking in Noord-Ethiopië betrokken is bij landbouw voor eigen gebruik (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). Daarnaast is het grootste deel van het bruto binnenlandse product in Ethiopië afhankelijk van de weinig productieve regenlandbouw (Kiros *et al.*, 2016; Shang *et al.*, 2010)
- De nieuwe kennis kan ervoor zorgen dat het effect van toekomstige stuwmeren op het regionale klimaat beter ingeschat kan worden.

1.4 Opbouw en structuur

Het eerste deel van deze masterproef (sectie 2) bestaat uit een literatuurstudie. Hierin wordt nagegaan welke impact een (stuw)meer kan hebben op het regionale klimaat en wordt de impact voor enkele klimaatzones bekeken. In sectie 3 wordt het studiegebied toegelicht, het klimaat in Ethiopië en het regionaal klimaat van het Tekezestuwmeer besproken. Sectie 4 beschrijft de methode die in deze masterproef toegepast werd. Vervolgens vergelijkt sectie 5 de beschikbare temperatuur- en neerslaggegevens voor het studiegebied en worden de best geschikte gegevens gekozen. Sectie 6 toont de resultaten van dit onderzoek. Hierin wordt enerzijds de langetermijntrends van de temperatuur- en neerslagvariabelen besproken. Anderzijds wordt een vergelijking gemaakt van de temperatuur- en neerslagvariabelen tussen de pre- en post-dam periode. Sectie 7 geeft een discussie van de resultaten. Hierin worden de resultaten geïnterpreteerd, worden beperkingen van het onderzoek gegeven en worden suggesties gegeven voor toekomstig onderzoek. De bevindingen van het onderzoek worden samengevat in sectie 8.

2. THEORETISCH KADER

2.1 Algemene impact van een meer op het regionale klimaat

Water en dus ook meren hebben een hoge warmtecapaciteit (Long *et al.*, 2007). Door de grote thermische inertie van meren kunnen ze de variabiliteit in luchttemperatuur verminderen (Samuelsson *et al.*, 2010). Meren worden in de lente en de zomer opgewarmd en fungeren dan als opslagplaatsen voor energie, terwijl ze in de herfst en winter warmte vrijgeven en dus fungeren als energiebronnen (Long *et al.*, 2007). Meren worden, door de verdamping van water, ook gezien als een bron van vocht (Tomassetti *et al.*, 2003).

2.2 Veranderingen in neerslagpatronen door de aanleg van een stuwdam

Volgens de studie van Hossain (2010) (Tabel 1) zijn extreme neerslagpatronen gevoeliger voor verandering in de tijd dan de gemiddelde neerslag. Bovendien is deze gevoeligheid meer uitgesproken voor stations die in de buurt van een grote dam liggen in de post-dam periode. Na de aanleg van een grote dam is de neerslag in het 99^{ste} percentiel gemiddeld tot 5% toegenomen (Hossain, 2010). Dit is volgens Hossain (2010) te wijten aan het 'recycleren' van neerslag door lokale verdamping. Wanneer dit gebeurt, zal de meeste van deze gerecycleerde neerslag tot uiting komen als convectieve neerslag (Hossain, 2010). Degu *et al.* (2011) merken ook op dat dammen enerzijds een systematische verandering in neerslagtrend kunnen veroorzaken, maar anderzijds ook een trend uit de periode van voor de aanleg van de dam kunnen versnellen.

Tabel 1:

Overzicht van het gemiddelde en de standaardafwijking van de gemiddelde jaarlijkse verandering (in percent) in percentiel neerslag voor 92 neerslagstations.

		P50 (%)	P90 (%)	P95 (%)	P99 (%)
All stations	Mean	0.153	0.199	0.234	0.326
	Standard deviation	1.11	1.216	1.645	1.774
No dam	Mean	0.124	0.087	0.095	0.188
	Standard deviation	0.511	0.249	0.296	0.647
Predam	Mean	0.000	-0.023	-0.011	0.0049
	Standard deviation	0.0148	0.111	0.093	0.0896
Postdam	Mean	0.252	0.286	0.426	0.488
	Standard deviation	1.855	2.014	2.749	2.841

Noot. 'No dam' verwijst naar neerslagstations die verder liggen dan 500 mijl van een grote dam.

Overgenomen uit "Empirical Relationship between Large Dams and the Alteration in Extreme Precipitation", door F. Hossain, (2010), *Natural Hazards Review*, 11(3), p.3 ([ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29NH.1527-6996.0000013](https://doi.org/10.1061/%28ASCE%29NH.1527-6996.0000013)).

Verder stelt Hossain (2010) dat dammen in Zuid-Afrika en Zuid-Europa gezorgd hebben voor een toename van het 99^{ste} percentiel neerslag met 20% in de afgelopen eeuw. Bij stations in Zuid-India was deze stijging beperkt. In de Verenigde Staten worden vooral de midwestelijke en westelijke regio's meer beïnvloed door de aanwezigheid van dammen. In deze gebieden nam het 99^{ste} percentiel neerslag toe met jaarlijks gemiddeld 1-5% in de afgelopen eeuw (Hossain, 2010). In aride en semi-aride klimaten gaan volgens Hossain (2010) grote dammen extreme neerslagpatronen meer wijzigen dan in andere gebieden.

Doordat een dam de hoeveelheid neerslag wijzigt, wordt ook een verandering in de frequentie van neerslag verwacht (Hossain, 2010). Het onderzoek van Pielke en Zeng (1989) toont aan dat boven geïrrigeerde regio's onweersbuien waarschijnlijker en intenser zijn. Dit komt doordat er in de lage troposfeer boven het geïrrigeerde land een grotere beschikbare opwaartse energie (of beschikbare potentiële convectieve energie of CAPE) bestaat. Deze grotere beschikbare opwaartse energie is het resultaat van verdamping van gewassen (Pielke & Zeng, 1989). Ook het onderzoek van Hossain (2010) bevestigt dat een dam de frequentie van neerslag wijzigt. Zo is het aantal dammen binnen een straal van 500 mijl van een neerslagstation twee keer zo sterk gecorreleerd met de frequentie van regen als de neerslagstations zonder dammen binnen een straal van 500 mijl (Hossain, 2010).

2.3 Vergelijking per klimaatzone van de impact van een (stuw)meer op het regionale klimaat

Deze sectie behandelt de impact van (stuw)meren op het regionale klimaat op basis van de klimaatzone waarin het (stuw)meer en de ruimere omgeving gelegen zijn. De indeling volgens klimaatzone gebeurt op basis van de Köppen-Geiger klimaatclassificatie van Peel *et al.* (2007), daarna overgenomen door Beck *et al.* (2018), en op basis van de meest recente wereldkaarten van de Köppen-Geiger klimaatclassificatie. Deze kaarten werden ontwikkeld door Beck *et al.* (2018) voor de periode 1980-2016 met een resolutie van 1 km.

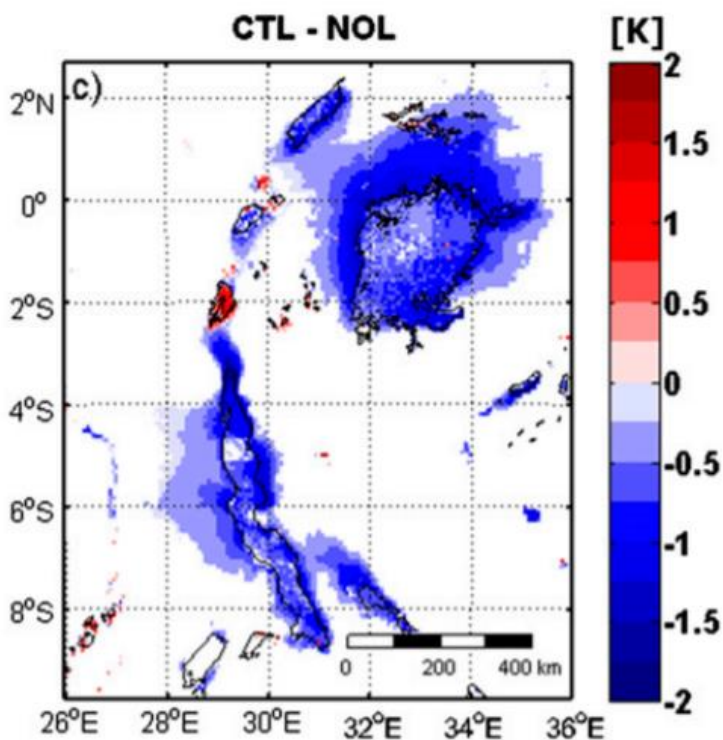
2.3.1 Tropisch klimaat

Het onderzoek van Thiery *et al.* (2015) gaat de impact van het Grote Merengebied in Afrika op het regionale klimaat na. De belangrijkste klimaatzones in de omgeving van het Grote Merengebied zijn Af, Am en Aw. In de buurt van de Grote Meren komen eveneens de Csb, Cwb, Cfb klimaten voor, maar op kleinere schaal. Uit de studie van Thiery *et al.* (2015) blijkt dat de Grote Meren voor een afkoeling van de lucht boven de meren zorgt (Figuur 1). Ook de temperatuur windafwaarts van het meer wordt afgekoeld. Dit is het gevolg van een meerbries die overdag het omliggende land binnenstroomt. Bij het Kivumeer vindt echter een opwarming van de temperatuur boven het meer

plaats (Thiery *et al.*, 2015). Verder blijkt uit de studie van Thiery *et al.* (2015) dat op dagelijkse basis de sterkste daling van de temperatuur overdag plaats vindt, terwijl de meren 's nachts voor een opwarmend effect zorgen. Op seizoenale basis vindt de sterkste daling in temperatuur plaats in de maanden volgend op het droge seizoen (Thiery *et al.*, 2015). Verder stellen Thiery *et al.* (2015) dat niet alleen de afstand tot het meer, maar ook de topografie en de atmosferische circulatie een belangrijke rol spelen bij de invloed van het meer op de temperatuur.

Figuur 1:

Statistisch significante (5% significantieniveau) veranderingen in 2 m luchttemperatuur (in Kelvin) tussen de simulatie met meren en de simulatie zonder meren in de periode 1999-2008.

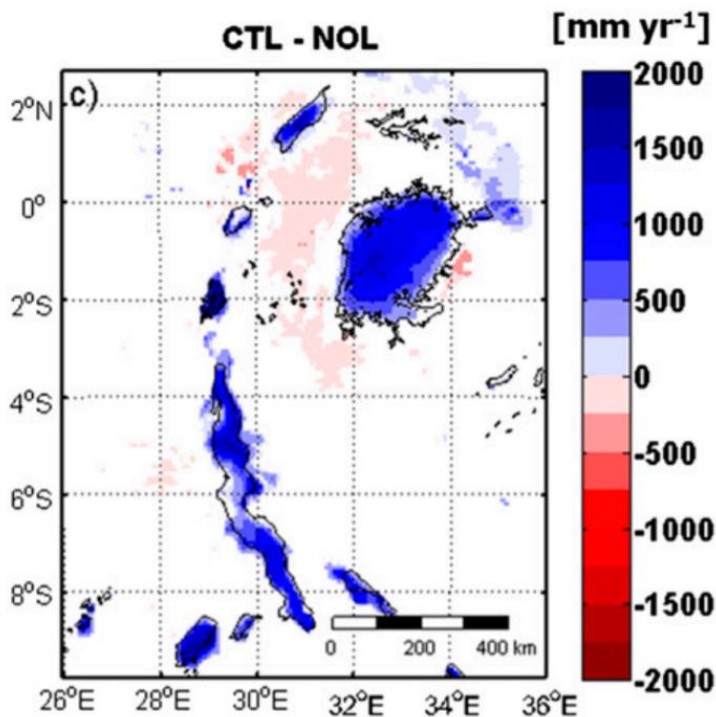


Noot. Overgenomen uit “The Impact of the African Great Lakes on the Regional Climate”, door W. Thiery, E.L. Davin, H. Panitz, M. Demuzere, S. Lhermitte, & N. van Lipzig, (2015), *Journal of Climate*, 28(10), p. 4074 (journals.ametsoc.org/view/journals/clim/28/10/jcli-d-14-00565.1.xml).

Uit het onderzoek van Thiery *et al.* (2015) blijkt dat de meren voor een toename van de neerslag zorgen (gemiddelde toename van 79% boven alle meren) (Figuur 2). De toename van de neerslag vindt meestal enkel boven het meer zelf plaats en deze toename is het laagst tijdens het droge hoofdseizoen. De neerslag boven de meren vindt voornamelijk 's nachts en 's ochtends plaats en de toename van neerslag als gevolg van de aanwezigheid van de meren vindt dan ook op dit moment plaats. Dit terwijl boven het omliggende land de meeste neerslag rond de middag valt. Dit wordt veroorzaakt doordat verdamping uit de meren gedurende de volledige dag blijft doorgaan, terwijl de evapotranspiratie op het land een maximum bereikt tijdens de middag (Thiery *et al.*, 2015). Verder stellen Thiery *et al.* (2015) dat zowel veranderingen in evapotranspiratie als patronen en veranderingen in circulatie een rol spelen in de neerslagverdeling.

Figuur 2:

Statistisch significante (5% significantieniveau) veranderingen in neerslag (in mm/jaar) tussen de simulatie met meren en de simulatie zonder meren in de periode 1999-2008.



Noot. Overgenomen uit "The Impact of the African Great Lakes on the Regional Climate", door W. Thiery, E.L. Davin, H. Panitz, M. Demuzere, S. Lhermitte, & N. van Lipzig, (2015), *Journal of Climate*, 28(10), p. 4074 (journals.ametsoc.org/view/journals/clim/28/10/jcli-d-14-00565.1.xml).

2.3.2 Droog klimaat

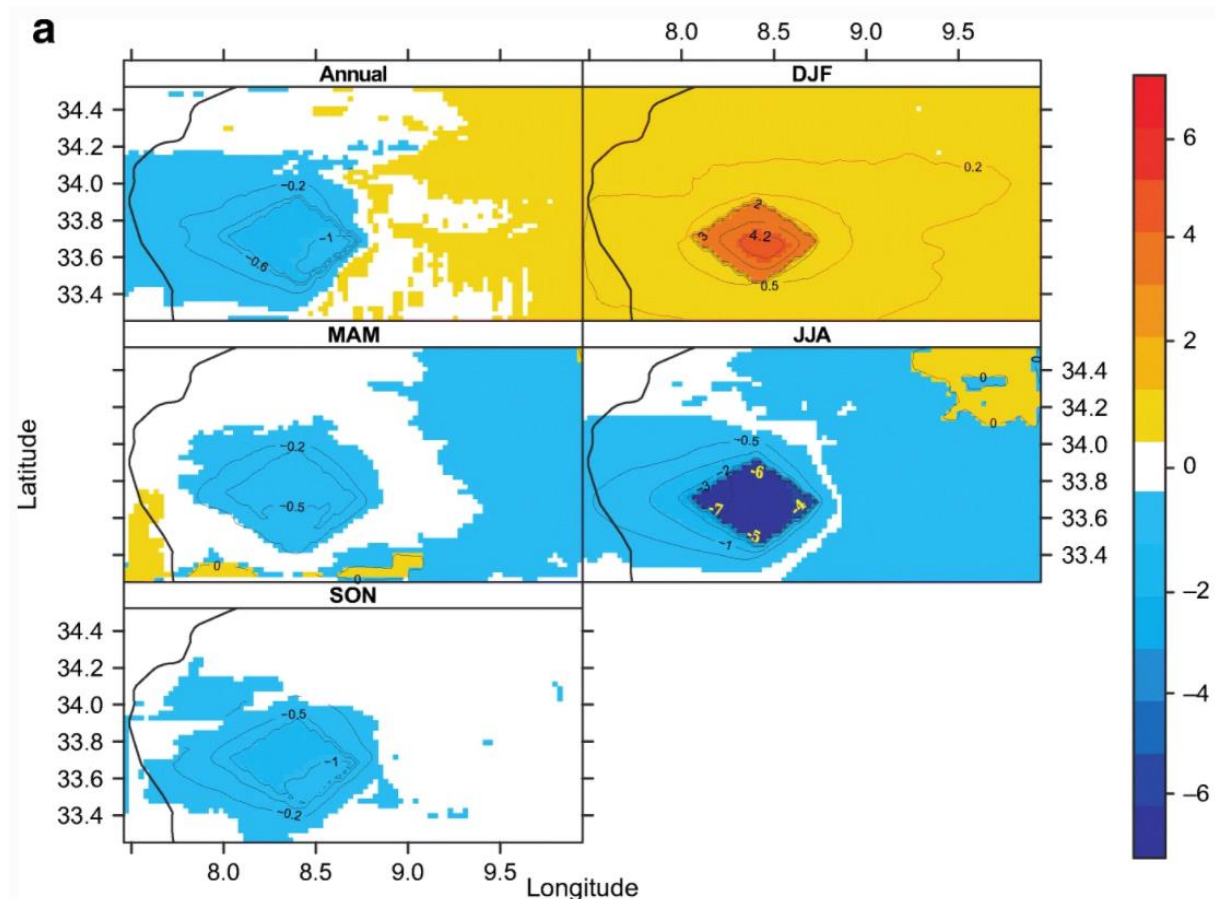
Fathalli *et al.* (2020) onderzoeken de impact op het regionale klimaat van het gedeeltelijk onder water zetten van de zoutvlakte van Chott el-Jerid in Tunesië. Chott el-Jerid is gelegen in de BWk-klimaatzone. Het onderzoek is uitgevoerd door simulaties onder het huidige landgebruik en landbedekking te vergelijken met simulaties uitgevoerd na introductie van een virtueel groot (oppervlakte ongeveer 1600 m²) en ondiep meer in Chott el-Jerid (Fathalli *et al.*, 2020). Uit de studie van Fathalli *et al.* (2020) volgt dat het meer op de luchttemperaturen aan het oppervlak een matigend effect heeft (Figuur 3). Het matigend effect van een meer wordt bevestigd voor de studie van Bischoff-Gauß *et al.* (2006). Bischoff-Gauß *et al.* (2006) vinden dat de dagelijkse amplitude van de oppervlaktetemperatuur ongeveer 2 °C bedraagt boven het Embalse Puclaro meer (gesitueerd in de BWk klimaatzone), terwijl de amplitude boven het omringend land ongeveer 25 °C bedraagt.

In de studie van Fathalli *et al.* (2020) zorgt het meer voor een daling van de jaarlijkse gemiddelde temperaturen en vooral voor een afkoeling van de temperaturen, hoofdzakelijk de dagtemperaturen, in de zomer (boven het meer afname tot 7°C, over volledige domein afname 0,53 °C). Daarnaast zorgt het meer voor hogere temperaturen, hoofdzakelijk de nachttemperaturen, in de winter (boven het meer toename tot 4°C, over het volledige domein toename 0,41 °C). Deze effecten situeren zich

vooral boven het meer. Benedenwinds van het meer zijn de effecten veel zwakker, maar wel nog steeds significant (Fathalli *et al.*, 2020). Ook het Sobradinho reservoir (gelegen in de BSh klimaatzone) zorgt voor een afname van de dagelijkse gemiddelde luchttemperaturen boven het meer, maar ook in de omgeving door de ontwikkeling van een meerbries (Ekhtiari *et al.*, 2017).

Figuur 3:

Gemiddelde verschillen tussen simulatie met meer en simulatie zonder meer in jaarlijkse en seizoenale dagelijkse gemiddelde luchttemperatuur nabij het oppervlak (in °C).



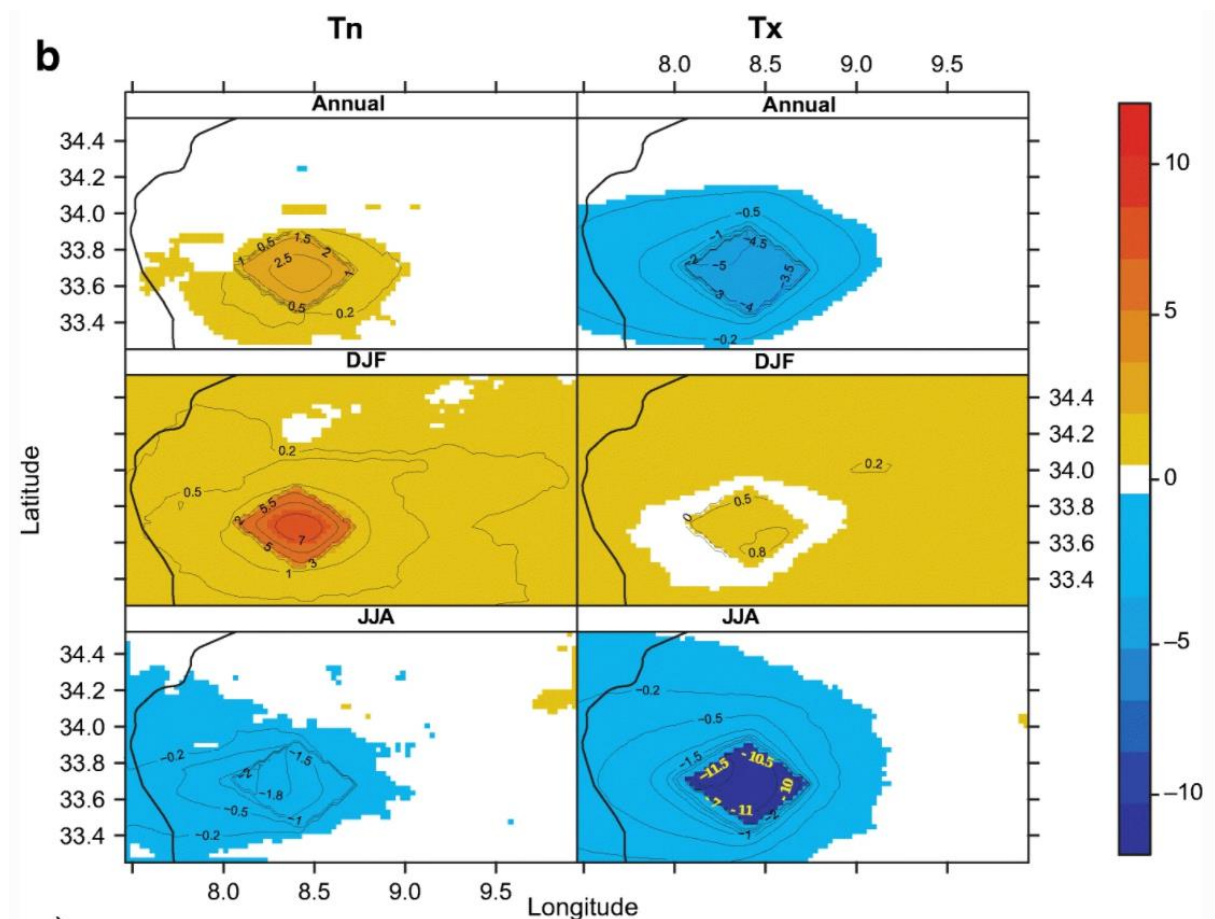
Noot. Overgenomen uit “Simulated effects of land immersion on regional arid climate: a case study of the pre-Saharan playa of Chott el-Jerid (south of Tunisia)”, door B. Fathalli, T. Castel, & B. Pohl, (2020), *Theoretical and Applied Climatology*, 140, p.236 (link.springer.com/article/10.1007/s00704-019-03083-5).

Naast de jaarlijkse en seizoenale impact van het meer op de temperatuur, heeft het meer ook een impact op de dagelijkse schaal. Zo blijkt de impact van een (stuw)meer verschillend te zijn tussen dag en nacht (Fathalli *et al.*, 2020). Uit het onderzoek van Fathalli *et al.* (2020) volgt dat de gemiddelde jaarlijkse dagtemperatuur afneemt (boven het meer afname tot 5°C, over volledige domein afname 0,3 °C) en de gemiddelde jaarlijkse nachttemperatuur toeneemt (boven het meer toename tot ongeveer 3°C) door de aanwezigheid van het meer (Figuur 4). Ook het Sobradinho reservoir zorgt voor een afname van de temperatuur overdag en een toename van de temperatuur in de nacht (Ekhtiari *et al.*, 2017). Het Embalse Puclaro meer zorgt overdag in de zomer tot ongeveer vier kilometer benedenwinds van het meer voor een afname van de temperatuur. 's Nachts heeft het meer minder

invloed op de omgeving. Tijdens de winter is het net omgekeerd en wordt tijdens de nacht warme en vochtige lucht enkele kilometers getransporteerd (Bischoff-Gauß *et al.*, 2006).

Figuur 4:

Gemiddelde verschillen tussen simulatie met meer en simulatie zonder meer in jaarlijkse, DJF en JJA dagelijkse minimum (T_n) en maximum (T_x) luchttemperatuur nabij het oppervlak (in °C).



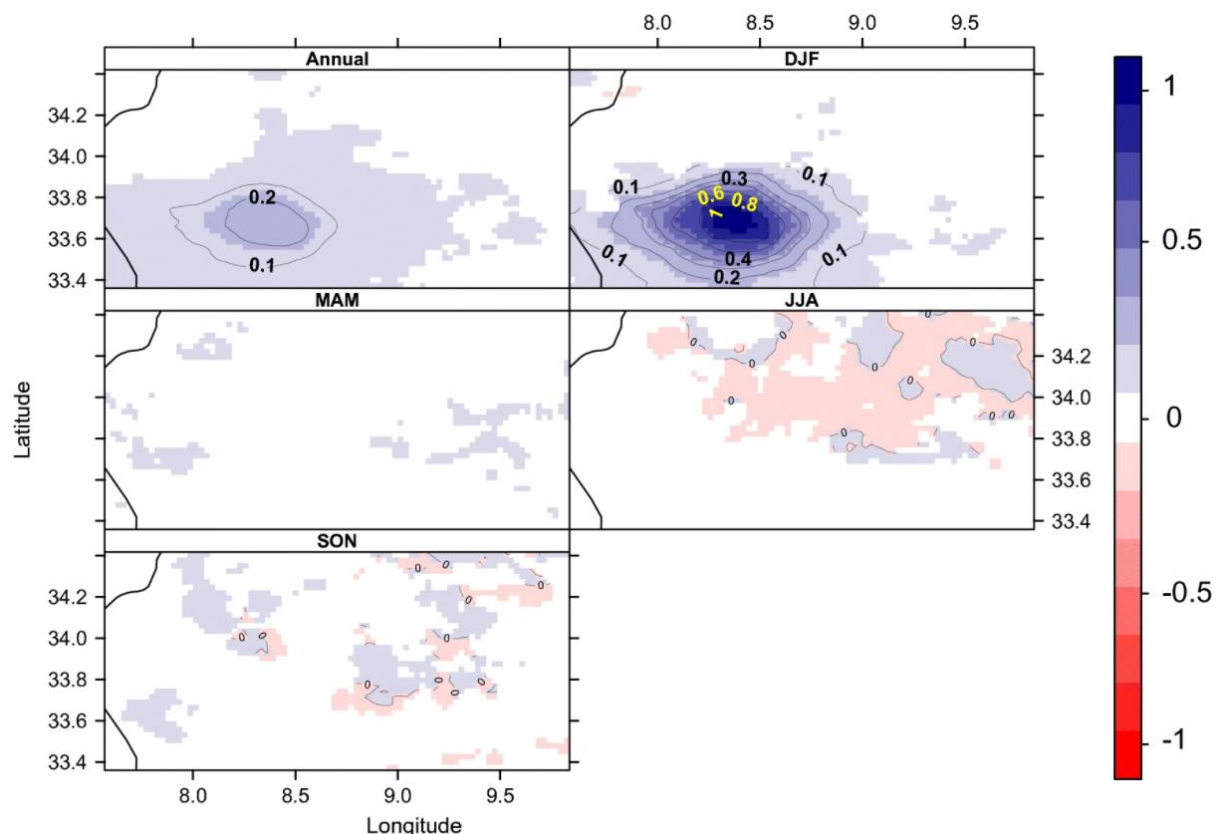
Noot. Overgenomen uit "Simulated effects of land immersion on regional arid climate: a case study of the pre-Saharan playa of Chott el-Jerid (south of Tunisia)", door B. Fathalli, T. Castel, & B. Pohl, (2020), *Theoretical and Applied Climatology*, 140, p.236 (link.springer.com/article/10.1007/s00704-019-03083-5).

Het meer heeft ook een effect op de vochtigheid en neerslag. Uit de studie van Fathalli *et al.* (2020) volgt dat de vochtflux boven het meer in alle seizoenen, maar hoofdzakelijk in de winter, is toegenomen. Ook het Embalse Puclaro meer zorgt voor een hogere verdamping (Bischoff-Gauß *et al.*, 2006). Daarnaast neemt boven het meer ook de mengverhouding van oppervlaktewaterdamp toe, met opnieuw de sterkste stijging in de winter (Fathalli *et al.*, 2020). Boven en benedenwinds van het Embalse Puclaro meer komen, in hetzelfde gebied waar lagere temperaturen werden waargenomen, in de zomer overdag hogere waarden van relatieve vochtigheid voor (Bischoff-Gauß *et al.*, 2006). Ook boven het Sobradinho reservoir (en in de omgeving ervan) wordt de specifieke luchtvochtigheid verhoogd gedurende de volledige dag, waarbij deze toename het sterkst is tijdens de nacht (Ekhtiari *et al.*, 2017).

Verder tonen Fathalli *et al.* (2020) aan dat de hoeveelheid neerslag hoofdzakelijk toeneemt boven het meer in de winter (Figuur 5). De gemiddelde jaarlijkse neerslaghoeveelheden over het volledige domein zijn verhoogd met 0,03 mm/dag of 14% in aanwezigheid van het meer. Dit terwijl de gemiddelde neerslaghoeveelheid in de winter is toegenomen met 280% (0,7 mm/dag) en 35% (0,11 mm/dag) boven respectievelijk het meer en het volledige studiedomein (Fathalli *et al.*, 2020). Deze sterke toename in de winter kan volgens Fathalli *et al.* (2020) verklaard worden door de aanwezigheid van het warme meer in de winter en de toename boven het meer van turbulente latente warmte fluxen en verdampingssnelheden. Dit zorgt voor atmosferische instabiliteit en convectieve regenval. In de zomer neemt de neerslag over het volledige studiedomein af met 5%. Deze afgenomen neerslag wordt veroorzaakt door de koudere temperaturen van het meeroppervlak, wat leidt tot een verbeterde atmosferische stabiliteit (Fathalli *et al.*, 2020). Het matigend effect van een meer zorgt volgens Bischoff-Gauß *et al.* (2006) ervoor dat de atmosfeer boven het meer overdag stabiel is en 's nachts onstabiel.

Figuur 5:

Gemiddelde verschillen tussen simulatie met meer en simulatie zonder meer in jaarlijkse en seizoenale neerslag (mm/dag).



Noot. Overgenomen uit "Simulated effects of land immersion on regional arid climate: a case study of the pre-Saharan playa of Chott el-Jerid (south of Tunisia)", door B. Fathalli, T. Castel, & B. Pohl, (2020), *Theoretical and Applied Climatology*, 140, p.244 (link.springer.com/article/10.1007/s00704-019-03083-5).

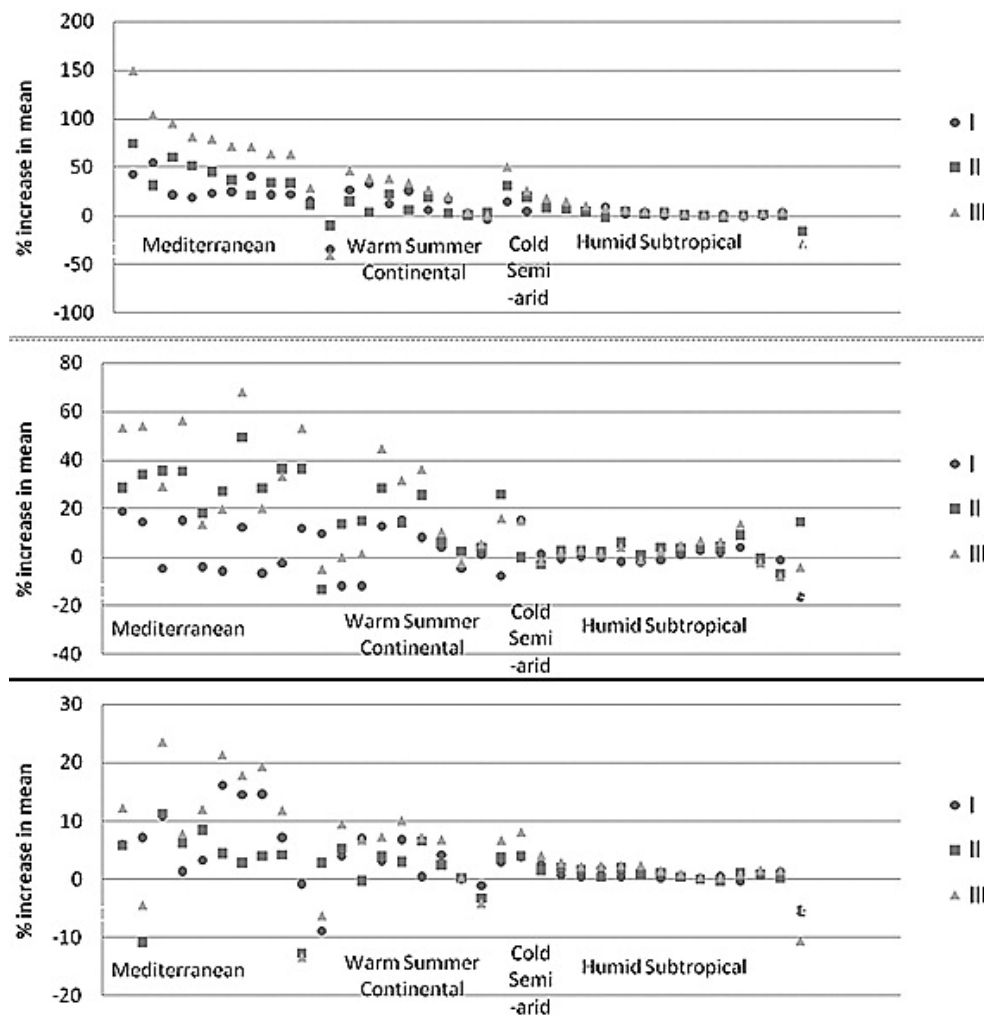
De meteorologische variabelen worden volgens Ekhtiari *et al.* (2017) in een drogere situatie meer beïnvloed door het Sobradinho reservoir (gelegen in de BSh klimaatzone) dan in de normale gemiddelde klimatologie.

2.3.3 Gematigde klimaat

Volgens het onderzoek van Degu *et al.* (2011) oefenen grote dammen in mediterrane klimaten (klimaten Csa en Csb) t.o.v. andere klimaten in Noord-Amerika de sterkste invloed uit op het klimaat in nabijheid van het reservoir. Verder volgt dat in vochtige subtropische klimaten (klimaatzone Cfa) grote dammen weinig invloed hebben op het lokale klimaat (Degu *et al.*, 2011) (Figuur 6). Dit verschil tussen vochtige streken en semi-aride en mediterrane streken kan worden verklaard door te kijken naar de vochtfluxen. Vochtige streken zijn bebost, hierbij zijn de vochtfluxen door transpiratie vergelijkbaar met deze door evaporatie uit open wateroppervlakken. In semi-aride en mediterrane streken voegt een reservoir meer vocht toe dan de schaars begroeide omgeving (Degu *et al.*, 2011). Dit resulteert volgens Degu *et al.* (2011) in duidelijke ruimtelijke gradiënten van waterdampflux rond een reservoir in deze klimaten.

Figuur 6:

Ruimtelijke gradiënten uitgeoefend door dammen in de Verenigde Staten gedurende het hele seizoen in verschillende klimaatzones (percentage toename van het klimatologisch gemiddelde over 30 jaar van de ene ruimtelijke band naar de andere).



Noot. Percentage toename in gemiddelde voor CAPE (boven), verdamping van het oppervlak (midden) en specifieke vochtigheid (onder).

$$\text{Scenario I: \% toename} = \frac{(\text{Band over het reservoir} - \text{Band nabij de kustlijn})}{\text{Band nabij de kustlijn}} * 100;$$

$$\text{Scenario II: \% toename} = \frac{(\text{Band nabij de kustlijn} - \text{Band weg van de kustlijn})}{\text{Band weg van de kustlijn}} * 100;$$

$$\text{Scenario III: \% toename} = \frac{(\text{Band over het reservoir} - \text{Band weg van de kustlijn})}{\text{Band weg van de kustlijn}} * 100$$

Overgenomen uit “The influence of large dams on surrounding climate and precipitation patterns”, door A.M. Degu, F. Hossain, D. Niyogi, R. Pielke Sr., J.M. Shepherd, N. Voisin, & T. Chronis, (2011), *Geophysical Research Letters*, 38(4), p.3 (agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2010GL046482).

De studie van Sun *et al.* (2019) onderzoekt de impact van het Ertan stuwmeer in China op het regionaal klimaat. Het Ertan reservoir is gelegen in een droog-warme vallei (L. Sun *et al.*, 2019) die zich situeert in de Cwa en Cwb klimaten (Beck *et al.*, 2018). Uit de studie van Sun *et al.* (2019) blijkt dat 48% van de meteorologische factoren significant veranderde na de vulling van het stuwmeer. De minimum luchttemperatuur, gemiddelde luchttemperatuur en de potentiële evapotranspiratie wijzigde

in de meeste stations significant. Slechts op één station (station YY) is een verandering in neerslag vastgesteld. Bij station YY is de oostenwind de tweede belangrijkste windrichting en in de zomer zelfs de dominante windrichting. Het reservoir ligt eveneens ten oosten van het station YY, waardoor via een gat in de noord-zuidgeoriënteerde bergketen de luchtstroom van boven het stuwmeer het station zou kunnen bereiken. Bij de andere stations is er geen dergelijke overeenkomst. Dit kan verklaren waarom er enkel bij station YY een significante impact is van het stuwmeer op de neerslag (L. Sun et al., 2019).

Li *et al.* (2017) onderzoeken de invloed van de Drieklovendam op de neerslag in de omliggende gebieden. De belangrijkste klimaatzones in de omgeving van de Drieklovendam en het bijhorende reservoir zijn de Cwa, Cfa en Dwb klimaten, waarbij het Dwb klimaat voorkomt in het hogere gebergte (Beck *et al.*, 2018). Na de ingebruikname van de dam heeft het reservoir volgens Li *et al.* (2017) een zwakke invloed op de neerslag in de omgeving gehad. Mogelijk heeft de dam op lokale schaal voor verminderde neerslag gezorgd (Li *et al.*, 2017). Volgens Wu *et al.* (2006) zorgt het Drieklovenstuwmeer voor een stijging van de maandelijkse neerslaghoeveelheid ten noorden van de Yangtze-rivier in de vallei tussen de Daba- en Qinling-bergen en een daling van de maandelijkse neerslaghoeveelheid in de buurt van de Drieklovendam en ten zuiden van de Yangtze-rivier. Op dagelijkse basis bereikt de versterkte neerslag ten noorden van de Yangtze-rivier zijn hoogtepunt in de namiddag. De studie geeft ook aan dat de neerslagfrequentie echter niet verandert. De stijging van neerslaghoeveelheden ten noorden van de Yangtze-rivier kan volgens Wu *et al.* (2006) leiden tot veranderingen in landoppervlaktetemperatuur. De toegenomen convectie kan namelijk een invloed hebben op de zonnestraling die het landoppervlak bereikt. Dit heeft er volgens Wu *et al.* (2006) toe geleid dat de dam zorgt voor een afkoeling van de dagtemperatuur met 0,67°C ten noorden van de Yangtze-rivier. Volgens Li *et al.* (2017) heeft de reservoir van de Drieklovendam geleid tot een opwarming van de minimumtemperatuur, wat ervoor gezorgd heeft dat het reservoir een sterk effect op de gemiddelde temperatuur over het reservoir heeft.

2.4 Schaal waarop een stuwdam het klimaat beïnvloedt

Hossain (2010) stelt dat er een zone van minstens 500 mijl (800 km) rond een grote dam moet worden genomen om de impact van een grote dam op de neerslag correct te kunnen identificeren. De afstand van 800 km wordt gekozen omdat deze zo alle convectieve gebeurtenissen bevat, namelijk convectieve gebeurtenissen op lokale (10 mijl), meso (10-100 mijl) en synoptische (100-500 mijl) schaal (Hossain, 2010). Degu *et al.* (2011) beschouwen de zone nabij de oever van het reservoir (zone tussen de oever en 100 km afstand van de oever) als het gebied waar de reservoir een invloed zal hebben op het klimaat. De studie van Sun *et al.* (2019) maakte gebruik van meteorologische stations binnen 100 km van de oever van het Ertan stuwmeer. Dit doordat de invloed van een reservoir op het regionale klimaat vaak minder dan 100 km reikt (Vendrov & Malik, 1965; Shukui *et al.*, 2011). Uit het onderzoek van Li *et al.* (2017) volgt dat het reservoir van de Drieklovendam een effect heeft op de neerslag in de eerste 100 km. Ook uit de studie van Wu *et al.* (2006) volgt dat het effect

van een kunstmatige waterreservoir zoals de Drieklovendam het klimaat op regionale schaal (100 km) beïnvloed.

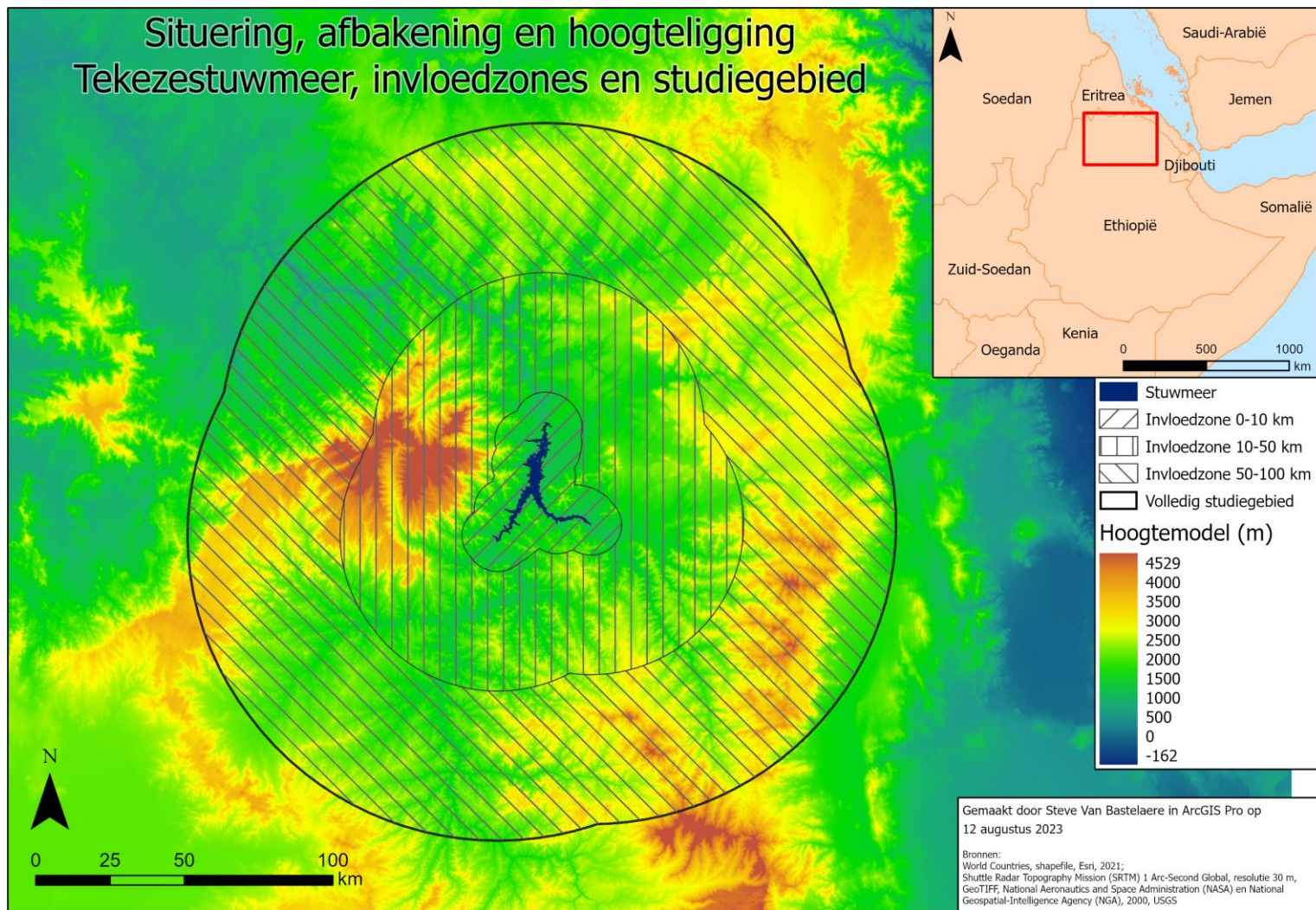
3. STUDIEGEBIED

3.1 Algemene situering

Dit onderzoek bestudeert de impact van het Tekezestuwmeer in Ethiopië op het regionale klimaat. Figuur 7 toont een situering van het stuwmeer. Het Tekezestuwmeer situeert zich op de Tekeze rivier in Ethiopië. De Tekeze rivier ontspringt aan de oostelijke rand van het Ethiopisch plateau en stroomt eerst naar het noorden om verder naar het noordwesten te stromen. De Tekeze rivier vormt meer dan 150 km de natuurlijke grens tussen Eritrea en Ethiopië. Daarna stroomt de Tekeze rivier het Soedanese laagland binnen (Annys *et al.*, 2020). In 2009 werd op de Tekeze-rivier in Ethiopië een betonnen boogdam met dubbele kromming van 188 m hoog in gebruik genomen voor het opwekken van elektriciteit via waterkracht (Stevenson & Debebe, 2009) (zie Figuur 8). De aanleg van deze dam gaf, op het moment van ingebruikname, aanleiding tot het grootste antropogene meer van Ethiopië. Het reservoir is 70 km lang en heeft een opslagvolume van 9293 miljoen kubieke meter (Annys *et al.*, 2020).

Figuur 7:

Situering, afbakening en hoogteligging Tekezestuwmeer, invloedzones en studiegebied



Figuur 8:

Tekezedam met daarachter het begin van het Tekezestuwmeer



Noot. Overgenomen van Was Ethiopia's Tekeze Dam and 300-MW hydro project destroyed in a bomb attack?, door hydroreviewcontentdirectors, (2021), HYDROREVIEW (www.hydroreview.com).

Figuur 9:

Landschap aan de rand van het Tekezestuwmeer



Noot. Overgenomen van Google Maps, door S. Zanoni, (2011), Google Maps (www.google.com/maps).

Figuur 10:

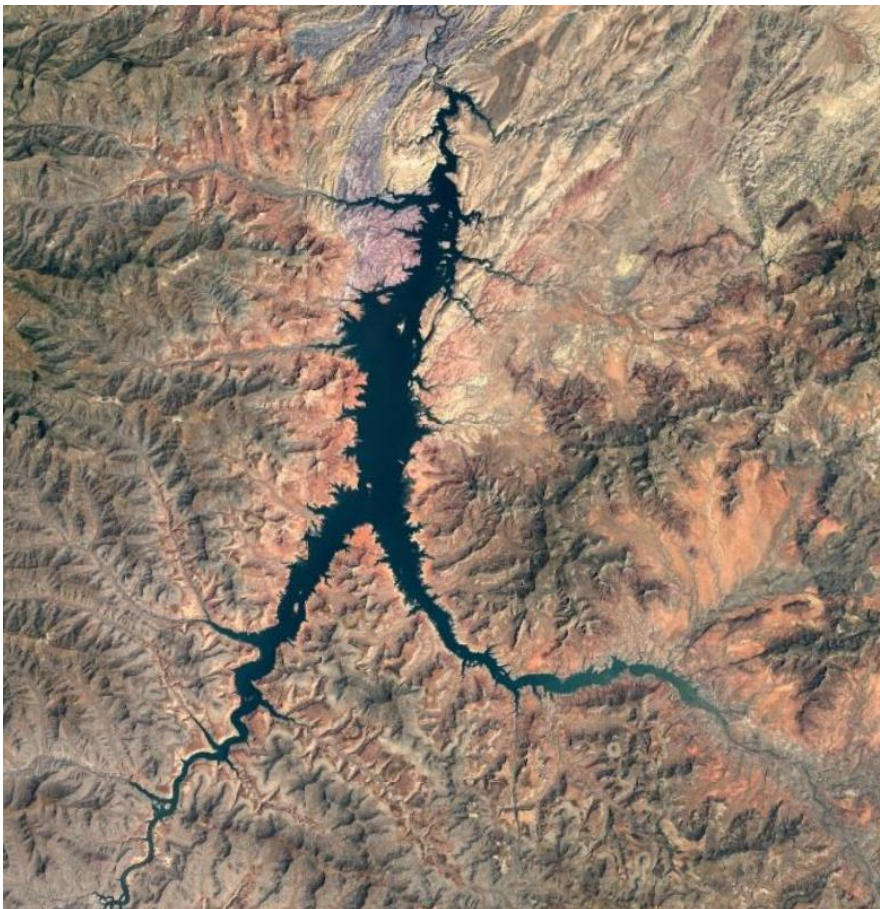
Landschap aan de rand van het Tekezestuwmeer



Noot. Overgenomen van *Google Maps*, door P. Snook, (2008), *Google Maps* (www.google.com/maps).

Figuur 11:

Satellietbeeld van het Tekezemeer en omgeving



Noot. Overgenomen van *Google Earth*, door Landsat/Copernicus, (z.d.), *Google Earth* (earth.google.com).

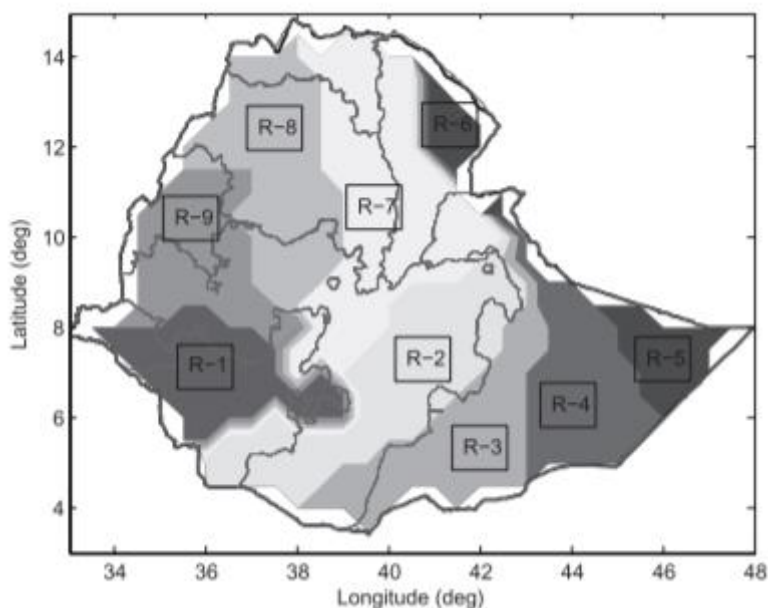
3.2 Klimaat

3.2.1 Algemene omschrijving en drivers klimaat Ethiopië

Ethiopië ligt in de tropen. Een groot deel van het land heeft echter een gematigd klimaat doordat de bergen met grote hoogte het tropische klimaat matigen. Een tropisch regenachtig klimaat is terug te vinden in het grootste deel van het westen van Ethiopië en in de hooglanden in het zuiden en het oosten. Een warm gematigd en tropisch regenklimaat is terug te vinden in de hooglanden in het zuidwesten. Het klimaat in Ethiopië wordt gekenmerkt door hoge regenval en temperatuurschommelingen op zowel ruimtelijke als temporele schaal (Tsidu, 2012). Ook neerslaggebeurtenissen in de tropen vertonen ruimtelijke en temporele variabiliteiten, afhankelijk van de beweging, intensiteit en omvang van de neerslaggebeurtenis. Convectieve regenval, dewelke een belangrijk onderdeel is van het tropische en subtropische weersysteem, draagt bij aan deze variabiliteit in neerslag (Conway, 2000; Mehta & Yang, 2008; Tabari *et al.*, 2015). Op basis van de verdeling en grootte van de regenval kan Ethiopië volgens Tsidu (2012) ingedeeld worden in negen homogene regenvalregimes, zoals te zien in Figuur 12. Elke homogene regio wordt getypeerd door verschillende regencycli met verschillende intensiteit, grootte en lengte van de regenperiode (Adgeh, 2017). De warmste maanden in Ethiopië zijn de “Belg” maanden, namelijk maart, april en mei. Dit terwijl de koudste maanden de “Bega” maanden zijn, namelijk november, december en januari (Tsidu, 2012).

Figuur 12:

Homogene regenvalregio's in Ethiopië

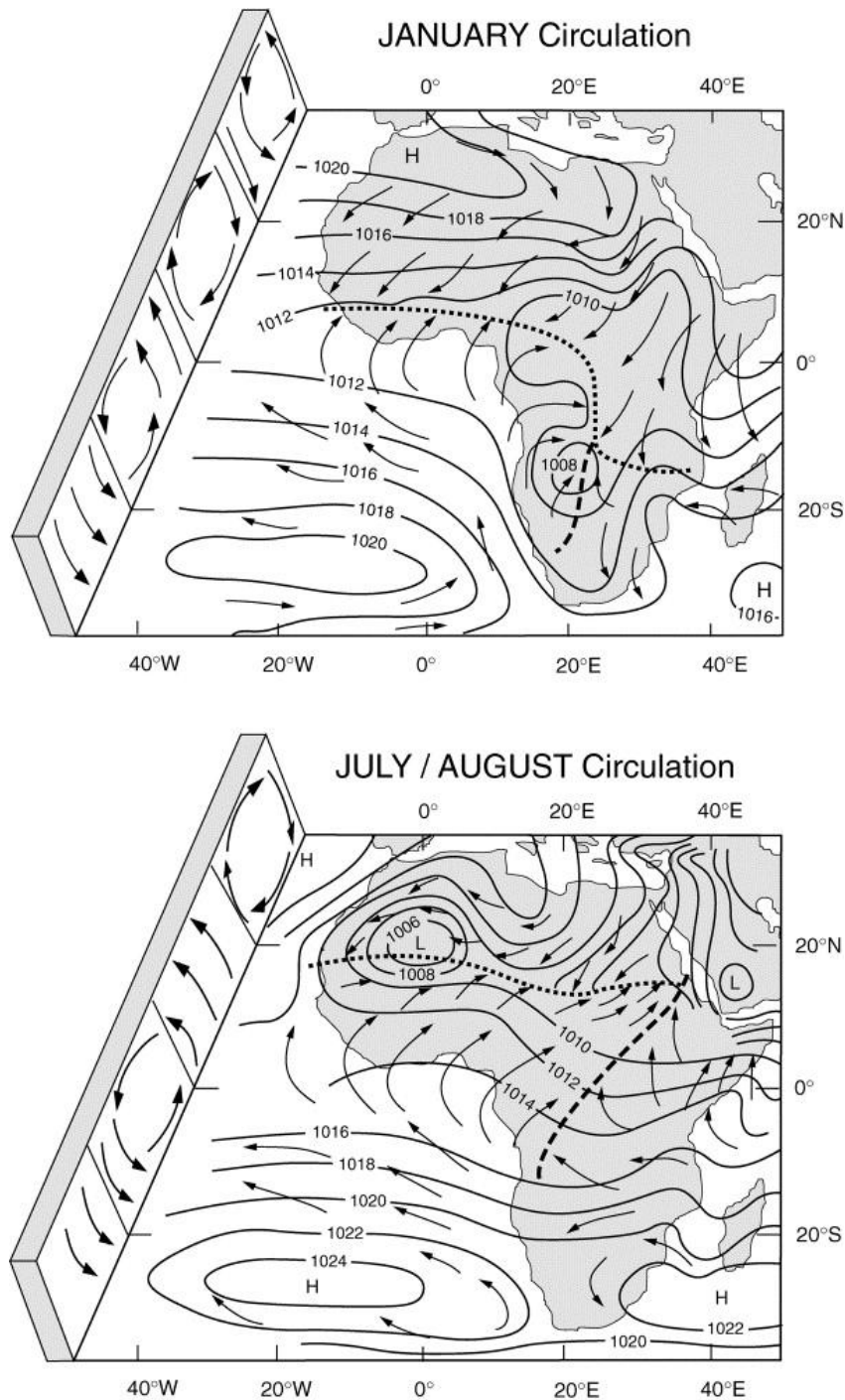


Noot. Overgenomen uit “High-Resolution Monthly Rainfall Database for Ethiopia: Homogenization, Reconstruction, and Gridding”, door G.M. Tsidu, (2012), *Journal of Climate*, 25(24), p.8433 (journals.ametsoc.org/view/journals/clim/25/24/jcli-d-12-00027.1.xml).

De belangrijkste factoren die het weersysteem van het land beïnvloeden zijn de hoogte, breedtegraad, vochtigheid en wind (Tsidu, 2012). Figuur 13 geeft een overzicht van de algemene patronen van wind en druk.

Figuur 13:

Overzicht van de algemene patronen van wind en druk boven Afrika



Noot. De blokjes lijn geeft de intertropische convergentiezone aan. De streepjeslijn geeft de Congo Air Boundary aan.

Overgenomen uit "Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum", door F. Gasse, (2000), *Quaternary Science Reviews*, 19(1), p.191, (www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027737919900061X).

De topografie van Ethiopië wordt gekenmerkt door een groot gebied met bergen van meer dan 2000 m hoog die ingesneden zijn door rivierdalen. De geografische verdeling van regenval wordt beïnvloed door deze topografie (Adgeh, 2017). De hooglanden zorgen ervoor dat de laaglanden water ontvangen (Gasse, 2000).

Het seizoens- en klimatologische gedrag van Ethiopië wordt bepaald door de Indische Oceaan, de Atlantische Oceaan en de Afrikaanse en Aziatische landmassa's (Tsidu, 2012). De seizoensgebonden en jaarlijkse neerslagvariëaties worden bepaald door het druksysteem op macroschaal op de oceanen (Sint-Helena en Mascarenen) en door moessonwinden afkomstig uit de oceanen (Seleshi & Zanke, 2004). Onder meer de zuidwest moesson is belangrijk om vocht van de Atlantische Oceaan naar de Ethiopische hooglanden te brengen (Segele *et al.*, 2009a, 2009b). In juli ligt de *Congo Air Boundary* boven Centraal-Ethiopië (Bergner & Trauth, 2004). Hierdoor is ook de kracht van de anticyclon boven Guinee belangrijk voor het verkrijgen van een intensieve vocht dragende zuidwestmoesson (Segele *et al.*, 2009b).

Daarnaast spelen er nog andere aandrijfsystemen. Deze aandrijfsystemen zijn de intertropische convergentiezone, de subtropische jet, de tropische oostelijke jet, de convergentiezone van de Rode Zee en de Somalische jet (Tsidu, 2012).

De nabijheid van de intertropische convergentiezone (ITCZ) zorgt voor een variatie in de seizoenscyclus. Tijdens de maanden februari, maart, april en mei (FMAM) gaat de ITCZ over van het zuidelijk halfrond naar het noordelijk halfrond. In FMAM valt de meeste neerslag in de zuidelijke en zuidwestelijke delen van Ethiopië. Tijdens de maanden juni, juli, augustus en september (JJAS) situeert de ITCZ zich volledig in het noordelijk halfrond en dit op zijn noordelijkste positie. Op dat moment staat de zon bijna recht boven Ethiopië en veroorzaakt daar sterke convectie. Het grootste aandeel van de totale jaarlijkse neerslag in Ethiopië valt dan ook in JJAS (Adgeh, 2017). De maanden december tot en met februari, wanneer de ITCZ zich terug in het zuidelijk halfrond bevindt, blijven doorgaans droog tot de ITCZ weer naar het noordelijk halfrond trekt (Young *et al.*, 2014).

Tijdens de maanden december, januari en februari waait er ook een noordoostelijke passaatwind. Deze voert droge lucht uit de Arabische woestijnen aan en zorgt voor droogte in Ethiopië. Tussen februari en mei brengen zuidoostelijke passaatwinden een natte luchtmassa van over de Indische Oceaan (Spinage, 2012).

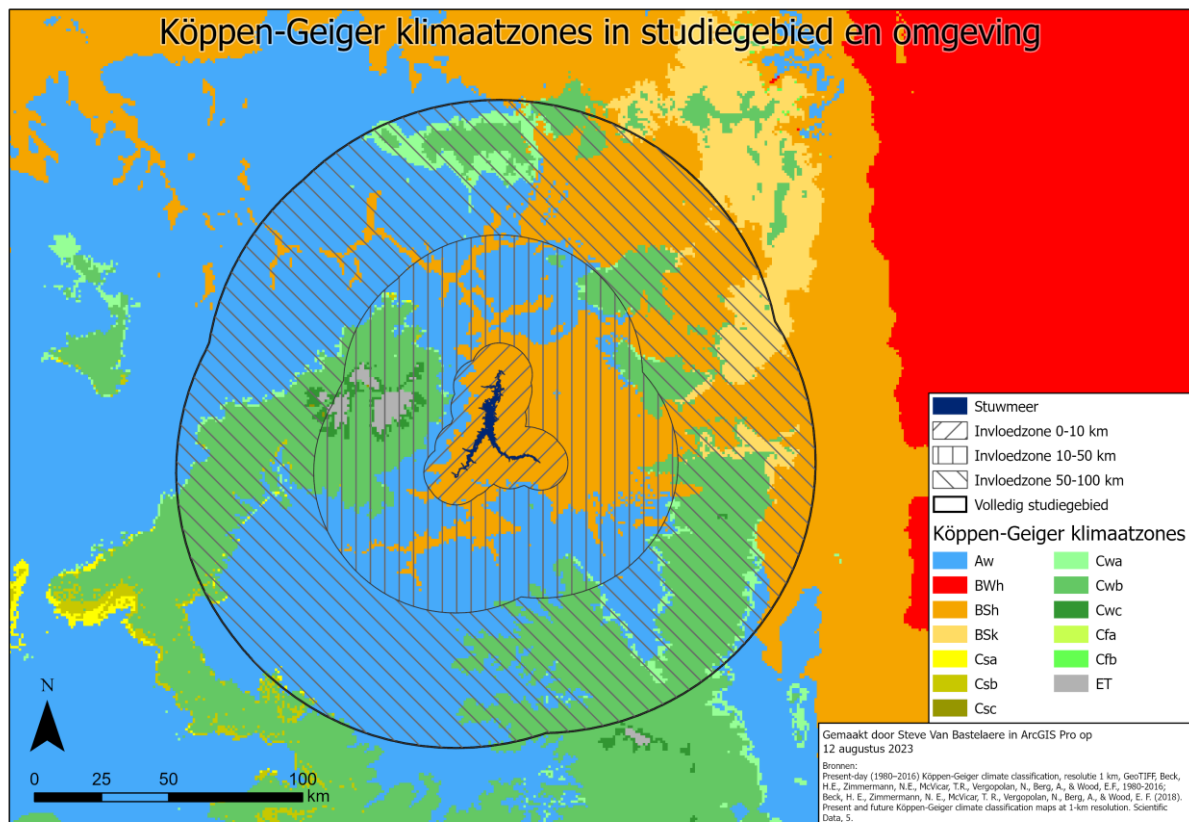
Verder is er ook vastgesteld dat tijdens JJAS de regenval in Noord-Ethiopië wordt onderdrukt tijdens *El Niño* en versterkt tijdens *La Niña* (Lanckriet *et al.*, 2015). Ook de *Indian Ocean Dipole* (IOD) beïnvloedt de neerslagvariabiliteit in Noord-Ethiopië (Lanckriet *et al.*, 2015). Tijdens positieve IOD-gebeurtenissen wordt een krachtigere moesson in Oost-Afrika bevordert (Gibbons, 2008).

3.2.2 Regionaal klimaat Tekezestuwmeer

Het Tekezestuwmeer is gelegen in de BSh (droog, steppe, heet) klimaatzone (zie Figuur 14). Op hogere hoogte en dit vanaf ongeveer tien kilometer van het stuwmeer wordt de Aw (tropisch, savanne) klimaatzone vastgesteld. In de nog hogere gebieden en dit vanaf een afstand van ongeveer twintig kilometer van het stuwmeer zijn de Cwb (gematigd, droge winter, warme zomer) en Cwc (gematigd, droge winter, koude zomer) klimaten terug te vinden. Op de hoogste toppen wordt zelfs een ET (toendra) klimaat waargenomen (Beck *et al.*, 2018). De oppervlakte van dit gebied is echter zo klein dat het in dit onderzoek verder buiten beschouwing wordt gelaten.

Figuur 14:

Köppen-Geiger klimaatzones in studiegebied en omgeving



3.2.2.1 Temperatuurpatronen

Zowel de hoogste gemiddelde jaarlijkse maximumtemperaturen ($>30^{\circ}\text{C}$) als minimumtemperaturen ($>14^{\circ}\text{C}$) zijn in de laaglanden van Ethiopië terug te vinden, terwijl de laagste gemiddelde jaarlijkse maximumtemperaturen ($<26^{\circ}\text{C}$) en minimumtemperaturen ($<10^{\circ}\text{C}$) in de hooglanden terug te vinden zijn. De gemiddelde temperatuur in Ethiopië ligt tussen 5 en 30°C in de maanden februari, maart, april en mei en tussen 12 en 31°C tijdens de maanden juni, juli, augustus en september. De temperatuurschommelingen tussen dag en nacht zijn groter boven de hooglanden dan in de

laaglanden. Verder zijn de temperatuurschommelingen in juni, juli, augustus en september kleiner dan deze in februari, maart, april en mei. Dit kan veroorzaakt worden door dikke bewolking en vochtige windvelden uit de Indische Oceaan (Adgeh, 2017).

3.2.2.2 Temperatuurtrends

In het klimaat van Ethiopië is een opwarmende trend waarneembaar. Adgeh (2017) onderzocht meetstations voor zowel de minimum- en maximumtemperatuur tussen 1983 en 2013. Hieruit bleek een toenemende trend in de maximumtemperatuur te zijn die ligt tussen de 0,0265 en 0,1115°C per jaar. De positieve trends situeren zich vooral in de bergachtige hooglanden. Ook de minimumtemperatuur wijzigt, hier ligt de trend tussen -0,1315 en 0,157°C per jaar. De positieve trends situeren zich hierbij ook in de hooglandgebieden (Adgeh, 2017).

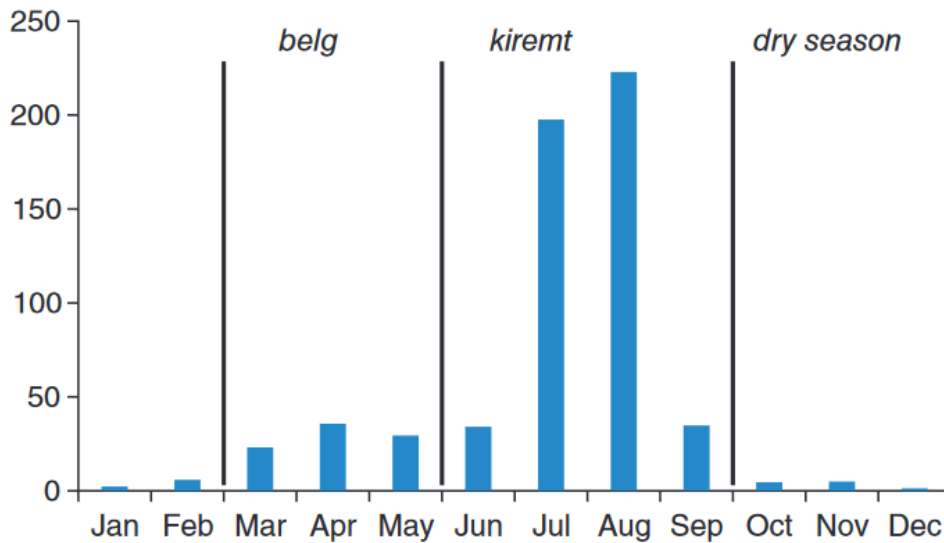
Tijdens FMAM is de stijgende trend groter dan de jaarlijkse trend, maar ook vooral boven de hooglandgebieden (tussen 0,04 en 0,14°C per seizoen). Ook in de minimumtemperatuur is er een grotere trend waarneembaar tijdens FMAM (tussen -0,14 en 0,18°C per seizoen) (Adgeh, 2017).

3.2.2.3 Neerslagpatronen

Het stroomgebied van de Tekeze wordt volgens Tesfaye *et al.* (2019) gekenmerkt door drie seizoenen, namelijk het korte regenseizoen van maart t.e.m. mei, het hoofd-regenseizoen van juni t.e.m. september en het droge seizoen van oktober t.e.m. februari. Het korte regenseizoen krijgt de naam *Belg*, het hoofdregenseizoen de naam *Kiremt* en het droge seizoen krijgt de naam *Bega* (Fentaw *et al.*, 2019). De duurtijd van deze seizoenen varieert naargelang het onderzoek dat geraadpleegd wordt. Lanckriet *et al.* (2015) bevestigen de seizoensindeling zoals gegeven door Tesfaye *et al.* (2019). Figuur 15 toont de seizoensindeling op basis van de gemiddelde maandelijkse regenval in Mekelle-Quiha Airport (Lanckriet *et al.*, 2015). Echter, in de studie van Fentaw *et al.* (2019) loopt het *Belg* seizoen van februari t.e.m. maart, het *Kiremt* seizoen van juni t.e.m. september en het *Bega* seizoen van oktober t.e.m. januari.

Figuur 15:

Seizoensindeling op basis van de gemiddelde maandelijkse neerslag op Mekelle-Quiha Airport van 1960-2004



Noot. Overgenomen uit "Droughts related to quasi-global oscillations: a diagnostic teleconnection analysis in North Ethiopia", door S. Lanckriet, A. Frankl, E. Adgo, P. Termonia, & J. Nyssen, (2015), *International Journal of Climatology*, 35(7), p.1535 (<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.4074>).

In het onderzoek van Adgeh (2017) wordt de jaarlijkse regencyclus onderzocht voor zes van de in totaal negen homogene regenvalregio's (Figuur 12). Hier focussen we enkel op de regio's in de nabijheid van het Tekezestuwmeer. Het Tekezestuwmeer is gelegen in het noordwesten van de homogene regio R-7, dicht bij de grens met homogene regio R-8 (Adgeh, 2017). Regio's R-7 en R-8 worden volgens Adgeh (2017) gekenmerkt door een mono-modale en lange regenperiode die loopt van april tot oktober. De studie van Tsidu (2012) stelt echter dat regio R-7 een bimodaal regenvalregime heeft met een nat seizoen in MAM en JJAS en een droog seizoen van oktober t.e.m. januari. Verder loopt volgens Tsidu (2012) het regenseizoen in regio R-8 van juni tot september. De regio R-8 heeft een tropisch karakter omdat ze wordt gedomineerd door twee seizoenen, namelijk nat en droog (Tsidu, 2012). In regio R-7 en R-8 treden de hoogste neerslagpieken op in juli (Adgeh, 2017).

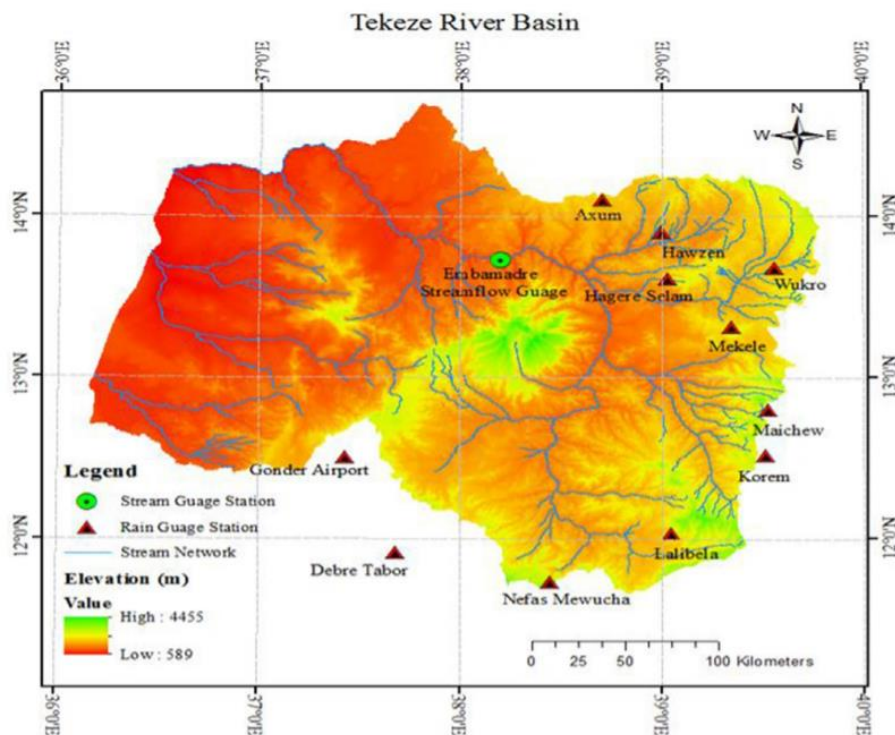
In het stroomgebied van de Tekeze, aangeduid in Figuur 16, varieerde de gemiddelde jaarlijkse regenval van 1953 tot 2013 tussen 581,29 mm in het noordelijk deel van het stroomgebied en 1439,04 mm in het zuidwestelijk deel van het stroomgebied (Fentaw *et al.*, 2019). De gemiddelde jaarlijkse neerslag schommelt in Mekelle (ongeveer 80 km vanaf de stuwdam, op een hoogte van ongeveer 2070 m) rond de 600-610 mm (611 mm in de periode 1960 tot 2006, 604 mm in de periode 1980 tot 2012) (Fentaw *et al.*, 2019; Lanckriet *et al.*, 2015). In Hagere Selam (ongeveer 55 km vanaf de stuwdam, op een hoogte van ongeveer 2000 m) bedraagt de gemiddelde jaarlijkse neerslag 692 mm in de periode 1994 tot 2012 (Fentaw *et al.*, 2019).

De gemiddelde neerslag in de natste maand op Mekelle-Quiha Airport bedraagt 254 mm. De neerslag in de maanden JJAS vertegenwoordigt gemiddeld 81,2% van het jaarlijkse totaal (Lanckriet *et al.*,

2015). Tijdens het lange natte seizoen kan de dagelijkse hoeveelheid neerslag namelijk oplopen tot meer dan tien liter, terwijl in het droge seizoen de dagelijkse gemiddelde neerslaghoeveelheid maximaal twee liter bedraagt (Young *et al.*, 2014).

Figuur 16:

*Stroomgebied Tekeze met aanduiding van de neerslagstations gebruikt in de studie van Fentaw *et al.* (2019)*



Noot. Overgenomen uit "Chapter 10 - Precipitation and streamflow variability in Tekeze River basin, Ethiopia", door F. Fentaw, A.M. Melesse, D. Hailu, & A. Nigussie, in *Extreme Hydrology and Climate Variability* (p.105), door A.M. Melesse, W. Abtew, & G. Senay, (2019), Elsevier (www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128159989000105).

3.2.2.4 Neerslagtrends

Uit de studie van Fentaw *et al.* (2019) in het Tekeze-bekken volgt dat 64% van de gebruikte neerslagstations een positieve trend hebben in de jaarlijkse neerslag. In de noordelijke en zuidwestelijke delen van het Tekeze bekken werden negatieve trends waargenomen in de jaarlijkse neerslag, terwijl positieve trends meestal in het oostelijk deel zijn waargenomen (Fentaw *et al.*, 2019).

Naast de neerslagtrends in de jaarlijkse neerslag werd ook de neerslagtrends in de seizoenale neerslag bestudeerd. Het *Bega*-seizoen had over het algemeen een kleine dalende neerslagtrend tussen 1953 en 2013 in het stroomgebied van de Tekeze. Significante negatieve trends werden gedetecteerd in noordelijke en zuidwestelijke delen van het Tekeze bekken (Fentaw *et al.*, 2019).

Tijdens het *Kiremt*-seizoen werd in 82% van de stations een positieve trend waargenomen. Over het algemeen was er een mild toenemende neerslagtrend tussen 1953 en 2013. De significante positieve

trends werden hoofdzakelijk waargenomen bij de bron van de Tekeze rivier in de zuidelijke bergachtige gebieden en eveneens in het oostelijk deel van het bekken (Fentaw *et al.*, 2019). Volgens Adgeh (2017) vertoonde de JJAS-regenval in regio R-7 en R-8 ook een stijgende trend. Deze trend bedroeg 3 mm/seizoen over regio R-7 en 3,6 mm/seizoen over regio R-8 (Adgeh, 2017). In de studie van Lanckriet *et al.* (2015) vertoonde de JJAS-regenval echter geen geleidelijke trend.

Tijdens het *Belg*-seizoen werd in 91% van de stations een positieve trend waargenomen. Het *Belg*-seizoen had een sterk stijgende trend tussen 1953 en 2013 in het Tekeze bekken (Fentaw *et al.*, 2019). Adgeh (2017) vond voor regio R-7 een afnemende trend in FMAM-regenval van 2,5 mm/seizoen.

In de meeste neerslagstations en in alle seizoenen treed een verschuiving in de neerslagtrend op rond de jaren 70 of 80. Dit is te wijten aan de droogteperiode in het Tekeze-bekken die duurde van 1978 tot 1986 (Fentaw *et al.*, 2019). Volgens Lanckriet *et al.* (2015) werd Noord-Ethiopië in de jaren 1983-1985 getroffen door droogte waardoor er enkele dalingen waren in de Kiremt-neerslag.

3.2.3 *Verwachte trends & klimaatverandering Ethiopië*

Concluderend blijkt uit de studie van Adgeh (2017) dat in verschillende delen van Ethiopië, hoofdzakelijk in de hooglanden, een snel stijgende trend in de temperatuur en een langzaam dalende trend in de hoeveelheid regen wordt waargenomen. Williams en Funk (2011) maken echter een onderscheid tussen het kleine en grote regenseizoen. Williams en Funk (2011) stellen dat de *Belg*-neerslag onderdrukt zal worden, terwijl de *Kiremt*-neerslag zal toenemen. Het versturende karakter van de *El Niño*-oscillatie zou de neerslagtoename echter kunnen tegengaan (Lanckriet *et al.*, 2015).

Ethiopië is een land waar extreme weersituaties zoals overstromingen en droogte de laatste tijd in omvang en frequentie toenemen (Tsidu, 2012). In de laaglanden van Ethiopië kan in de nabije toekomst ernstige droogte optreden doordat daar de maximum- en minimumtemperaturen hoger zijn, maar de hoeveelheid neerslag erg laag is (Adgeh, 2017).

4. METHODE

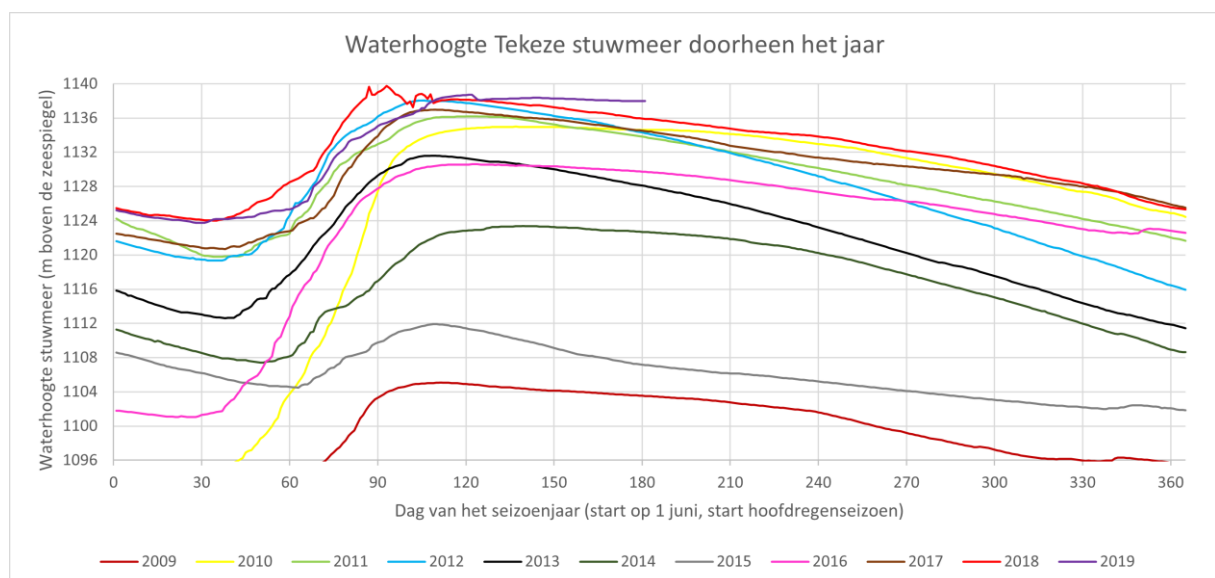
4.1 Afbakenen Tekezestuwmeer, invloedzones en volledig studiegebied

Een allereerste stap in het onderzoek was het afbakenen van het Tekezestuwmeer. Hiervoor werd eerst nagegaan sinds wanneer het stuwmeer zich beginnen vullen is. Hiervoor werden op verschillende tijdstippen voor de ingebruikname van de stuwdam in 2009 Landsat-7 ware kleurenbeelden opgevraagd in GEE. Hieruit blijkt dat het stuwmeer zich beginnen vullen is in september 2007, echter nog in beperkte mate. De oppervlakte van het stuwmeer is dan nog zeer beperkt, waardoor er dan ook nauwelijks impact op het regionale klimaat verwacht wordt. Pas op het satellietbeeld van augustus 2008 is een aanzienlijke toename in oppervlakte waar te nemen. De ondergrens van de waterhoogte voor productie van elektriciteit (*minimum power production level*) ligt op 1096 m boven de zeespiegel (Annys *et al.*, 2020). Deze hoogte werd, op basis van gegevens van de waterhoogte (Ethiopia Electric Power (EEP), 2019), bereikt op 12 augustus 2009 en deze datum wordt daarom beschouwd als moment van ingebruikname.

Vervolgens werd onderzocht wat de impact is van de waterhoogte in het stuwmeer op de oppervlakte ervan. Uit Figuur 17 volgt dat de waterhoogte sterk fluctueert doorheen het jaar. De gegevens van de waterhoogte van het Tekezestuwmeer zijn afkomstig van Ethiopia Electric Power (EEP) (2019). De hoogste waterstand wordt op het einde van het grote regenseizoen bereikt, namelijk in de maanden september en oktober. De laagste waterstand wordt bereikt aan het begin van het grote regenseizoen, namelijk juni en juli. In de periode 12 augustus 2009 tot en met 28 november 2019 (einde gegevensreeks waterhoogte) situeert de waterstand zich steeds tussen 1096 m en 1140 m, met uitzondering van 26 april 2010 tot en met 12 juli 2010 waar de waterstand licht onder de 1096 m zakt.

Figuur 17:

Waterhoogte Tekezestuwmeer doorheen het jaar



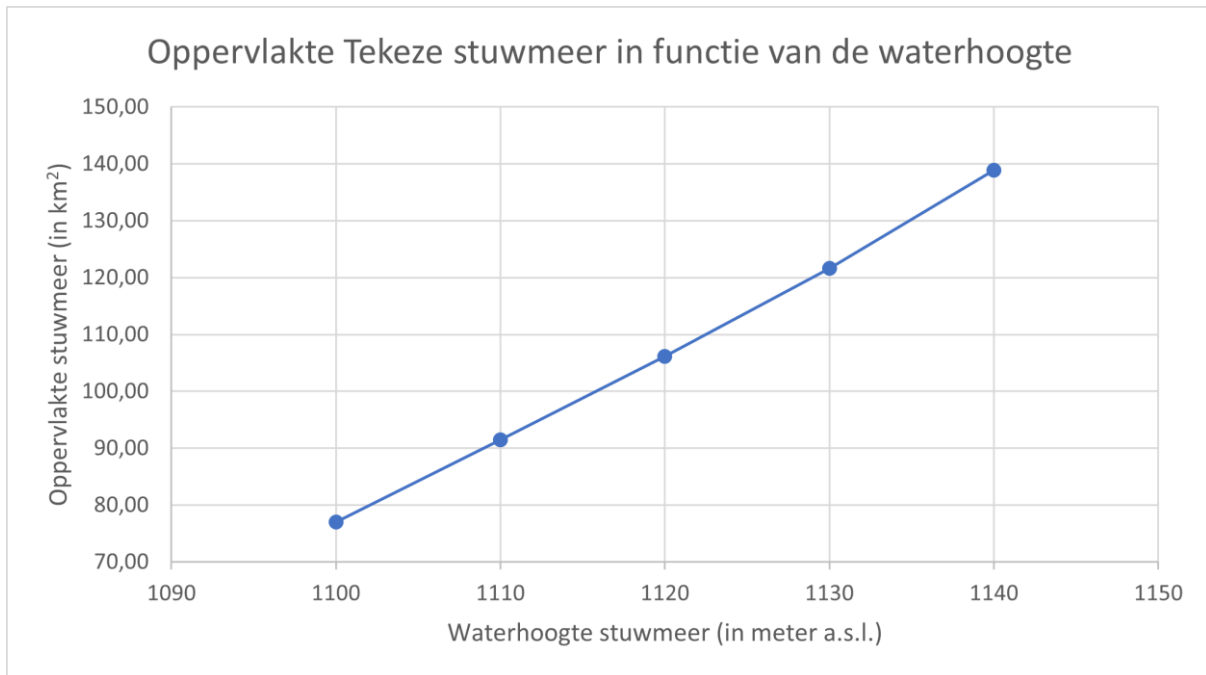
De afbakening van het stuwmeer gebeurde met behulp van de software QGIS. Hierbij werd gewerkt in het coördinatensysteem WGS 84 / UTM zone 37N (EPSG 32637). Dit coördinatensysteem werd gekozen omdat het de vervormingen minimaliseert binnen de UTM zone (H. Hendrickx & J. Nyssen, persoonlijke communicatie, november 2021). Om het stuwmeer af te bakenen in functie van de waterhoogte werd gebruik gemaakt van het hoogtemodel *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global*, verkregen via de website EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Het hoogtemodel *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global* bevat verbeterde SRTM-gegevens waarbij gebieden met ontbrekende gegevens zijn opgevuld. De resolutie bedraagt 1 boogseconde (ongeveer 30 meter) tussen 50° noorderbreedte en 50° zuiderbreedte. Voor het hoogtemodel van het stuwmeer te verkrijgen dienden twee GeoTIFF-bestanden gedownload te worden. Deze werden vervolgens samengevoegd tot een raster (tool 'merge').

Nadien werd voor de waterhoogtes 1100 m, 1110 m, 1120 m, 1130 m en 1140 m boven de zeespiegel de respectievelijke wateroppervlaktes afgebakend. Dit gebeurde telkens volgens hetzelfde stappenplan. Hierbij werd eerst het hoogtemodel geherclassificeerd waarbij alle hoogtes onder of gelijk aan de waterhoogte de waarde 1 kregen en alle hoogtes boven de waterhoogte waarde 0 (tool 'opnieuw classificeren op tabel'). Vervolgens werd het geherclassificeerd hoogtemodel naar een vector-formaat omgezet (tool 'polygoniseren') en werd enkel de geometrie die de betreffende waterhoogte aanduid behouden. Hierna werd deze geometrie gerepareerd (tool 'geometrieën repareren'). Ter hoogte van de stuwdam werd de geometrie gesplitst zodat enkel het gedeelte stroomopwaarts van de stuwdam, met name het eigenlijke stuwmeer, behouden kon worden (tool 'objecten splitsen'). Om de geometrie te splitsen ter hoogte van en volgens de vorm van de stuwdam werden satellietbeelden van Google Earth als basiskaart gebruikt. De laag '*Google Satellite Hybrid*' werd via de plugin QuickMapServices in QGIS geïmporteerd. Op basis het hoogtemodel loopt het stuwmeer in het zuidwesten ver stroomopwaarts, echter bedraagt de breedte van het stuwmeer daar minder dan 300 m bij een waterhoogte van 1140 m en heeft het stuwmeer zich volledig teruggetrokken bij een waterhoogte van 1100 m. Daarom werd de geometrie stroomopwaarts in het zuidwesten gesplitst en verwijderd.

Vervolgens diende voor elke waterhoogte de oppervlakte van het stuwmeer berekent te worden. De *shapefiles* die de afbakening van het stuwmeer voor de verschillende waterhoogtes bevatten hebben als referentiesysteem WGS 84 (EPSG 4326), waarbij de eenheid graden is. Voor het berekenen van de oppervlakte dienden deze *shapefiles* eerst omgezet te worden naar het referentiesysteem WGS 84 / UTM zone 37N. Vervolgens werd in de attribuentabel van elke *shapefile* met de tool 'open veldberekening' de oppervlakte van het stuwmeer berekent. Figuur 18 toont de oppervlakte van het stuwmeer in functie van de waterhoogte.

Figuur 18:

Oppervlakte Tekezestuwmeer in functie van de waterhoogte



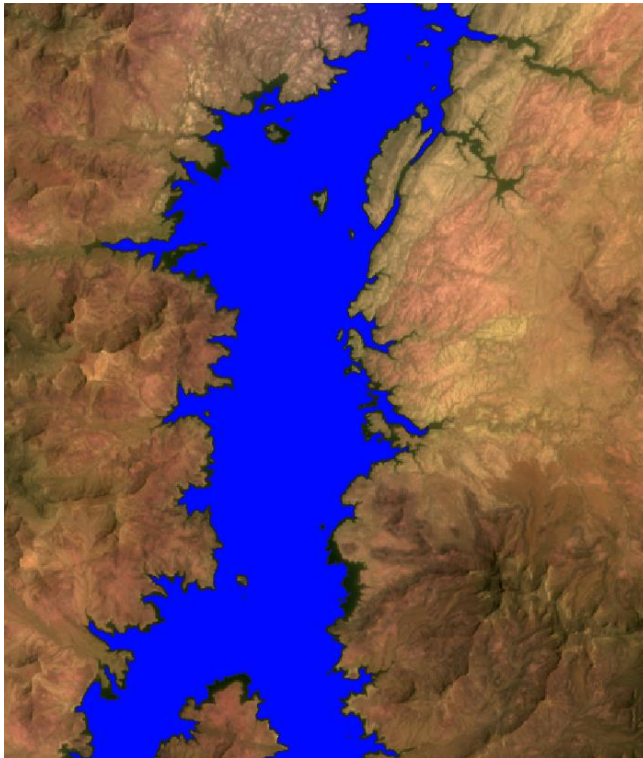
Voor de verdere analyses wordt de afbakening van het stuwmeer bij een waterpeil van 1125 m gehanteerd. Dit aangezien het waterpeil zich steeds in de range tussen 1096 m en 1140 m bevindt, het gemiddelde waterpeil 1122,12 m en het mediaan waterpeil 1124,84 m bedraagt. Deze waterhoogte werd eveneens afgebakend in QGIS en bijhorende oppervlakte werd berekend volgens het eerder beschreven stappenplan. De oppervlakte van het stuwmeer bij een waterhoogte van 1125 m bedraagt 113,70 km².

Vooraleer verder te gaan naar de volgende stap werd eerst visueel gecontroleerd of de afbakening van het stuwmeer op basis van het hoogtemodel overeenkomt met de werkelijkheid. De banden vier, drie en twee van het wolkenvrij Landsat-satellietbeeld op 22 maart 2017, waarbij het waterpeil 1125,04 m bedraagt, werden gedownload uit de *Landsat 8-9 OLI/TIRS Collection 2 Level-2 Science Products* via de website EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). In QGIS werden de banden vier, drie en twee, die een ware kleurenbeeld vormen (*Common Landsat Band Combinations*, 2021), samengevoegd (tool 'virtueel raster bouwen').

Uit de vergelijking blijkt dat de afbakening van het stuwmeer op basis van het hoogtemodel redelijk goed overeenkomt met de werkelijkheid. Echter op sommige plaatsen, zoals te zien op Figuur 19, is het stuwmeer in werkelijkheid groter dan de afbakening van het stuwmeer op basis van het hoogtemodel. De oppervlakte van dit verschil is echter zeer gering in vergelijking met de totale oppervlakte van de onderzochte gebieden, waardoor de impact op de gemiddelde neerslag- en temperatuurgegevens per deelgebied verwaarloosbaar is.

Figuur 19:

Uitsnede uit QGIS van het satellietbeeld van het stuwmeer op 22 maart 2017 en de afbakening van het stuwmeer bij een waterhoogte van 1125 m



Om de eventuele impact van het Tekezestuwmeer op een afstand van 0 tot 10 km, 10 tot 50 km en 50 tot 100 km van het stuwmeer te onderzoeken moest voor deze gebieden ook gegevens gedownload worden. Er was dus ook een afbakening van deze gebieden noodzakelijk. Deze afbakeningen werden gecreëerd door het maken van ring buffers (plugin 'multi ring buffer'). De buffer van 0 tot 10 km nam ook de eilandjes in het stuwmeer mee. Deze eilandjes werden vervolgens uit de buffer verwijderd aangezien deze niet op een afstand van 0 tot 10 km buiten het stuwmeer gelegen zijn en dit dus de resultaten, echter zeer beperkt, zou kunnen beïnvloeden. Ook de impact op het volledige studiegebied werd onderzocht. Hiervoor was een afbakening van het gebied tot 100 km vanaf het stuwmeer en het stuwmeer inclusief nodig. Deze afbakening werd verkregen door de drie buffers en de afbakening van het stuwmeer samen te voegen (tool 'vectorlagen samenvoegen'). De afbakening van het volledige studiegebied bevat nu ook de eilandjes die uit de buffer 0 tot 10 km verwijderd werden. Vervolgens werden de aparte geometrieën binnen deze shapefile van het volledige studiegebied samengevoegd tot een enkele geometrie (tool 'samensmelten'). Dit is van belang in het Python-script voor de verwerking van de temperatuurgegevens (zie later).

4.2 Verkrijgen neerslag- en temperatuurgegevens

4.2.1 Neerslaggegevens

Eens de benodigde shapefiles van het studiegebied aangemaakt werden, kon overgegaan worden tot het downloaden van de neerslag- en temperatuurgegevens voor de vijf gewenste gebieden (volledig studiegebied, stuwmeer, invloedzone 0 tot 10 km, invloedzone 10 tot 50 km, invloedzone 50 tot 100 km).

Voor de neerslaggegevens werd gebruikt gemaakt van gegevens afkomstig van CHIRPS, beschikbaar voor de periode 1981 tot heden (Climate Hazards Group, 2021). In sectie 5.2.3 en 5.2.5 wordt toegelicht waarom voor CHIRPS gekozen werd en wat hun karakteristieken zijn. Het downloaden van neerslaggegevens gebeurt door middel van Google Earth Engine (GEE). GEE laat toe via een script neerslaggegevens van CHIRPS voor een specifiek gebied in CSV-formaat te downloaden. In GEE zijn enkel de dagelijkse en vijfdaagelijkse neerslaggegevens van CHIRPS beschikbaar. Er werd een afweging gemaakt tussen het downloaden van dagelijkse neerslaggegevens of maandelijkse neerslaggegevens door het aggregeren van de vijfdaagelijkse neerslaggegevens in GEE. Bij het aggregeren van de vijfdaagelijkse neerslaggegevens in GEE tot maandelijkse neerslaggegevens zijn er minder berekeningen nodig dan het aggregeren van dagelijkse neerslaggegevens tot maandelijkse neerslaggegevens (Poortinga *et al.*, z.d.). Dit kan de verwerkingssnelheid in GEE bevorderen. Volgens Dinku *et al.* (2018) (zie eveneens sectie 5.2.5) zou CHIRPS iets minder presteren op dagelijkse schaal. Deze argumenten geven het voordeel aan vijfdaagelijkse neerslaggegevens. Echter stelt Dubache *et al.* (2021) dat neerslaggegevens van CHIRPS, dus ook de dagelijkse, betrouwbaar zijn voor Ethiopië. Bovendien zijn in dit onderzoek ook dagelijkse neerslaggegevens nodig voor het bepalen van het aantal neerslagdagen. Hierdoor werd gekozen om enkel dagelijkse neerslaggegevens te downloaden.

Om neerslaggegevens te kunnen downloaden voor specifieke gebieden werden eerst de shapefiles van het stuwmeer, de buffers rond het stuwmeer en het volledige studiegebied geïmporteerd in GEE. Aangezien alle vectorgegevens in GEE worden opgeslagen in WGS84 (EPSG:4326) moesten de shapefiles eerst geherprojecteerd worden naar WGS84 om de kans op onbedoelde wijzigingen te beperken (*Importing Table Data | Google Earth Engine*, 2022).

Vervolgens werd in GEE een script geschreven (zie Bijlage 1) voor het verkrijgen van dagelijkse neerslaggegevens. Het script zal voor elke dag van 1981 tot en met 2022 voor elk gewenst gebied de gemiddelde neerslag bepalen. De eindproducten van dit script zijn CSV-bestanden met de dagelijkse neerslag voor elk gewenst gebied. Dit CSV-bestand bevat de kolommen 'system:index', 'Dagelijkse_neerslag', 'datum', '.geo'. Een uitsnede van het CSV-bestand met de dagelijkse neerslag over het stuwmeer is terug te vinden in Bijlage 2.

Voor elk CSV-bestand werd onderstaande procedure doorlopen. Het CSV-bestand met de basisgegevens werd in een Excel-bestandindeling opgeslagen, waarna de gegevens ingedeeld werden in kolommen en de overbodige kolom '.geo' werd verwijderd. Vervolgens werden de kolommen 'jaar', 'maand', 'seizoenjaar' en 'seizoen' aangemaakt, dewelke nodig zijn voor het groeperen in draaitabellen. De gegevens in deze kolommen worden telkens gegenereerd door het opstellen van een functie. Het seizoenjaar start bij het begin van het hoofdregenseizoen, namelijk 1 juni, en wordt genoemd naar het jaar waarin het hoofdregenseizoen valt. Dit betekent dat tijdens de maanden januari, februari, maart, april en mei het seizoenjaar overeenkomt met het huidige jaar vermindert met 1 en in de overige maanden met het huidige jaar. In deze masterproef wordt de seizoensindeling volgens Tesfaye *et al.* (2019), Lanckriet *et al.* (2015) en Tsidu (2012) gehanteerd, namelijk het korte regenseizoen (*Belg*) van maart t.e.m. mei, het hoofdregenseizoen (*Kiremt*) van juni t.e.m. september en het droge seizoen (*Bega*) van oktober t.e.m. februari. Nadien werd nog een extra kolom 'neerslagdag' aangemaakt. Een neerslagdag wordt gedefinieerd als een dag waarbij minstens 1 mm neerslag valt. In de kolom 'neerslagdag' wordt waarde 1 weergegeven wanneer aan de definitie van een neerslagdag voldaan wordt, anders de waarde 0.

In de volgende stap werden enkele draaitabellen gegenereerd (procedure opnieuw voor elk CSV-bestand geldig). Bij de draaitabellen wordt telkens seizoenjaar 1980 en 2022 weg gefilterd aangezien in deze seizoenjaren enkele maanden ontbreken (gegevensset loopt van 1 januari 1981 t.e.m. 31 december 2022). De eerste en tweede draaitabel aggregeren respectievelijk de dagelijkse neerslaggegevens per seizoenjaar en maand, en per seizoenjaar en seizoen. De derde en vierde draaitabel bepalen het aantal neerslagdagen, op basis van de som van de kolom 'neerslagdag', respectievelijk per seizoenjaar en maand, en per seizoenjaar en seizoen. Vervolgens wordt een vijfde draaitabel gecreëerd die per seizoenjaar het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden bepaald. Hiervoor wordt een 'meting' toegevoegd waarin een formule gedefinieerd wordt voor het berekenen van het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden. Daarna werd een drempelwaarde vastgelegd die aanduidt welke neerslaghoeveelheden extreem zijn. Deze werd bepaald door het gemiddelde van het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden over het volledige studiegebied te berekenen. Deze bedroeg 20,60 mm, waardoor de drempelwaarde voor extreme neerslag werd vastgelegd op 20 mm. Vervolgens werd bij de basisgegevens nog een extra kolom 'extreme neerslagdag' toegevoegd. In de kolom 'extreme neerslagdag' wordt de waarde 1 weergegeven als de dagelijkse neerslag gelijk of groter is dan 20 mm, anders de waarde 0. Ten slotte werd nog een zesde draaitabel opgesteld dewelke, op basis van de som van de kolom 'extreme neerslagdag', het aantal extreme neerslagdagen per seizoenjaar weergeeft. Een uitsnede van het Excel-bestand met de dagelijkse neerslag over het stuwmeer met extra toegevoegde kolommen is terug te vinden in Bijlage 3.

4.2.2 Temperatuurgegevens

Na het downloaden van de neerslaggegevens dienen de temperatuurgegevens afgeleid te worden. Voor de temperatuurgegevens wordt gebruik gemaakt van Meteosat-gegevens, meer specifiek van de gegevensset 'Land Surface Temperature Dataset from Meteosat First and Second Generation - Edition 1', beschikbaar voor de periode 1991 t.e.m. 2015 (EUMETSAT, 2021). Van deze gegevensset werd het fysieke landoppervlakte temperatuur (*Physical Land Surface Temperature*)-product op temporele schaal van de maandelijkse gemiddelde dagelijkse cyclus (*monthly mean diurnal-cycle*) gedownload. Deze gegevens werden gedownload in netCDF-4 formaat van de website EUMETSAT CM SAF (www.cmsaf.eu). De temperatuurgegevens werden aangeleverd in 300 netCDF-bestanden, met per bestand de gemiddelde dagelijkse cyclus voor een maand. In sectie 5.3 wordt toegelicht waarom voor Meteosat-gegevens en het fysieke model gekozen werd en wat de karakteristieken zijn.

Eens de gegevens gedownload waren, dienden enkele bewerkingen uitgevoerd te worden op de netCDF-bestanden om de temperatuurgegevens voor de gewenste gebieden te kunnen afleiden. Dit gebeurde telkens via een Python-script. Deze Python-scripts werden geschreven en uitgevoerd in Jupyter Notebook. Het eerste Python-script (zie Bijlage 4) verkleint voor elk netCDF-bestand de omvang (*extent*) tot de omvang van het studiegebied. Dit zorgt ervoor dat de bestandsgrootte aanzienlijk verkleint en bijgevolg werkbaar wordt. In het tweede Python-script (zie Bijlage 5) worden de bestanden herschaald van een resolutie van $0,05^\circ$ (ongeveer 5 km) naar $0,003^\circ$ (ongeveer 300 m). Doordat met rastergegevens met een grove resolutie gewerkt werd, is het niet mogelijk om de gegevens voor het gewenste gebied, m.a.w. binnen de exacte vorm, af te leiden. Door de resolutie kleiner te maken wordt het gewenste gebied in een sterkere mate benaderd. Het derde Python-script (zie Bijlage 6) voegt de 300 netCDF-bestanden samen tot één netCDF-bestand. Het vierde Python-script (zie Bijlage 7) gaat de minimum, maximum en gemiddelde temperatuur per maand afleiden voor de gewenste gebieden. Het eindproduct van dit script zijn CSV-bestanden die deze gegevens bevatten. Dit CSV-bestand bevat de kolommen 'time', 'region', 'LST_PMW'. Een uitsnede van het CSV-bestand met de gegevens van de maandelijkse gemiddelde temperatuur over het stuwmeer is terug te vinden in Bijlage 8.

Voor elk CSV-bestand werd onderstaande procedure doorlopen. Het CSV-bestand met de basisgegevens werd in een Excel-bestandindeling opgeslagen, waarna de gegevens ingedeeld werden in kolommen en de overbodige kolom 'region' werd verwijderd. Vervolgens werden, net als bij de neerslaggegevens, de kolommen 'jaar', 'maand', 'seizoenjaar' en 'seizoen' aangemaakt. Daarna werd de kolom 'LST (°C)' aangemaakt. Hierin wordt de LST in °C weergegeven. Dit gebeurt door de waarden uit de kolom 'LST_PMW' met 273,15 te verminderen. Een uitsnede van het Excel-bestand met de gegevens van de maandelijkse gemiddelde temperatuur over het stuwmeer met extra toegevoegde kolommen is terug te vinden in Bijlage 9.

Vervolgens werden twee draaitabellen gegenereerd (procedure opnieuw voor elk CSV-bestand geldig). Bij beide draaitabellen wordt telkens seizoenjaar 1990 en 2015 weg gefilterd aangezien in deze seizoenjaren enkele maanden ontbreken (gegevensset loopt van januari 1991 t.e.m. december 2015). De eerste draaitabel bepaalt de gemiddelde LST per seizoenjaar en per maand. De tweede draaitabel bepaalt de gemiddelde LST per seizoenjaar en seizoen.

Hierna wordt de gemiddelde LST, de maximum LST en de minimum LST geschreven als respectievelijk 'GEM LST', 'MAX LST' en 'MIN LST'. Op het moment dat een van de onderzochte variabelen (GEM LST, MAX LST, MIN LST, neerslaghoeveelheid, aantal neerslagdagen, 99^{ste} percentiel dagelijkse neerslaghoeveelheden en jaarlijks aantal extreme neerslagdagen) over een specifiek gebied (volledig studiegebied, stuwmeer, invloedzone 0 tot 10 km, invloedzone 10 tot 50 km, invloedzone 50 tot 100 km) en over een specifieke tijdsperiode (pre- of post-dam) besproken wordt, dan wordt van de onderzochte variabele een gemiddelde genomen over het specifiek gebied en over de specifieke tijdsperiode.

4.3 Statistische analyses

Nadat de neerslag- en temperatuurgegevens afgeleid zijn voor de gewenste gebieden, werd gestart met de statistische analyses. Voor het uitvoeren van de statistische analyses werden de gegevenssets opgedeeld in een periode voor (pre-dam) en na (post-dam) de ingebruikname van de stuwdam. Op basis van de waarnemingen via satellietbeelden (zie sectie 4.1) wordt een overgangperiode van één jaar genomen voor de datum van ingebruikname van het stuwmeer (12/08/2009). Dit betekent dat bij de analyses seizoenjaar 2008 (1 juni 2008 t.e.m. 31 mei 2009) werd weggelaten.

De neerslaganalyses worden bijgevolg uitgevoerd voor volgende periodes:

Pre-dam periode: seizoenjaar 1981 t.e.m. 2007 (01/06/1981 t.e.m. 31/05/2008)

Post-dam periode: seizoenjaar 2009 t.e.m. 2021 (01/06/2009 t.e.m. 21/05/2022)

De temperatuuranalyses worden uitgevoerd voor volgende periodes:

Pre-dam periode: seizoenjaar 1991 t.e.m. 2007 (01/06/1991 t.e.m. 31/05/2008)

Post-dam periode: seizoenjaar 2009 t.e.m. 2014 (01/06/2009 t.e.m. 31/05/2015)

Op de verschillende tijdreeksen met temperatuur- en neerslaggegevens werden twee analyses, de Mann-Whitney test en de Mann-Kendall test (inclusief berekenen van de Sen's slope), uitgevoerd, die in de volgende secties toegelicht worden. Alle analyses werden uitgevoerd met behulp van het programma XLSTAT dat geïntegreerd is binnen de Excel omgeving. De keuze van het soort analyses die in deze masterproef uitgevoerd werden, namelijk het vergelijken van de gemiddeldes en de trends tussen de pre- en post-dam periodes, is geïnspireerd op het practicum 'Hydrologic analysis & indicators of hydrologic alterations' uit het opleidingsonderdeel 'Hydrologie en hydrogeomorfologie

(C003068)' en op bevindingen en figuren uit het werk van Degu *et al.*, (2011) en Degu & Hossain, (2012).

4.3.1 Controleren assumpties

Vooraleer met de effectieve analyses te starten werd getest of de verschillende pre- en post-dam perioden van de temperatuur- en neerslagtijdreeksen aan de assumptie van normaliteit voldoen. Dit bepaald namelijk of er met parametrische of niet-parametrische testen gewerkt dient te worden. Voor het testen van de normaliteit werd de Jarque-Bera normaliteitstest gebruikt. De nulhypothese stelt dat de tijdreeks van een temperatuur/neerslag variabele normaal verdeeld is. Hierbij werd een significantieniveau van 0,05 gehanteerd. Daarnaast vereist de Mann-Kendall test dat de observaties onafhankelijk zijn (Addinsoft, 2022). Om dit te testen werd nagegaan of er autocorrelatie was in de verschillende pre- en post-dam perioden van de temperatuur/neerslag tijdreeksen. Hiervoor werd het autocorrelogram en het partieel autocorrelogram geraadpleegd. De nulhypothese stelt dat de observaties van een temperatuur- of neerslagtijdreeks onafhankelijk zijn. Hierbij werd ook een betrouwbaarheidsinterval van 95% gebruikt. Het testen van normaliteit en autocorrelatie gebeurde beide via de tool 'Descriptive analysis'. Deze test werd telkens uitgevoerd op de pre- en post-dam perioden van de temperatuur/neerslag variabelen op jaarlijkse tijdschaal en dit op de ruimtelijke schaal van het volledig studiegebied. Steekproefgewijs werd ook op de andere tijd- en ruimtelijke schalen getest.

4.3.2 Eerste analyse: Mann-Whitney test

In de eerste analyse werd nagegaan of de observaties van de temperatuur/neerslag variabelen van de pre-dam periode verschilden van deze in de post-dam periode. Hiervoor werd een Mann-Whitney (U) test uitgevoerd (tool 'Comparison of two samples (Wilcoxon, Mann-Whitney, ...)'). Deze test werd uitgevoerd op de volledige tijdreeksen van de verschillende temperatuur/neerslag variabelen en dit voor alle temporele schalen en alle ruimtelijke schalen. Voor het uitvoeren van deze test diende eerst bij elke temperatuur/neerslag variabele een extra kolom aangemaakt te worden om aan te geven welke observaties tot de pre-dam of post-dam periode behoren.

Om te onderzoeken of de observaties van twee onafhankelijke steekproeven verschillen, worden bij de t-test (parametrisch) de gemiddelde waarden vergeleken, terwijl bij de Mann-Whitney test (niet-parametrisch) de gemiddelde rangen worden vergeleken (LUMIVERO, z.d.). Het principe bij de Mann-Whitney test is dat eerst alle gegevens van beide steekproeven (in deze masterproef zijn de gegevens in de pre-dam periode en de gegevens in de post-dam periode respectievelijk de eerste en de tweede steekproef) samen gerangschikt worden van laag naar hoog. Waarna voor beide groepen de som gemaakt wordt van de rangen. Als beide groepen niet verschillen dan is de U-waarde gelijk aan de verwachte waarde van U. Indien beide groepen verschillen betekent dit dat de ene groep hogere rangordewaarden heeft dan de andere groep (DATAtab Team, 2023; Frost, z.d.).

In deze masterproef wordt dus de Mann-Whitney test toegepast, dit betekent dat de gemiddelde rang van de temperatuur/neerslag variabelen tussen de pre- en post-dam periode wordt vergeleken. De nulhypothese stelt dat er geen verschil is tussen de observaties van een temperatuur/neerslag variabele in de pre-dam en in de post-dam periode. Er werd een significantieniveau van 0,05 gehanteerd.

In sectie 6.3.1 en 6.4.1 wordt een tabel gecreëerd die voor zowel de pre-dam als post-dam periode de gemiddelde waarde weergeeft voor elke temperatuur- en neerslagvariabele en dit voor elke tijdschaal en elke ruimtelijke schaal. Bij de tijdschaal wordt de jaarlijkse tijdschaal als 'J', het grote regenseizoen als 'GRS', het droge seizoen als 'DS' en het kort regenseizoen als 'KRS' afgekort. Via een kleurencode wordt bij de gemiddeldes aangeduid of de Mann-Whitney statistiek bijna statistisch significant ($p \leq 0,10$) (geel) of statistisch significant ($p \leq 0,05$) (groen) is.

4.3.3 Tweede analyse: Mann-Kendall test en Sen's slope

Bij de tweede analyse werd nagegaan of er een trend is in de pre- en post-dam periode. Hiervoor werd de Mann-Kendall test uitgevoerd (tool 'Mann-Kendall trend tests'). Bovendien werd de grootte van deze eventuele trend bepaald door het berekenen van de Sen's slope, die automatisch werd berekend bij het uitvoeren van de Mann-Kendall test. De Mann-Kendall test werd uitgevoerd bij de pre-dam en post-dam tijdreeksen van de verschillende temperatuur/neerslag variabelen en dit voor alle temporele schalen en alle ruimtelijke schalen.

De Mann-Kendall test is een niet-parametrische test die nagaat of er een trend (afname, toename, trend met helling nul of geen trend) is in de meteorologische gegevens. Een positieve Kendall's tau wijst op een monotoon toenemende trend, terwijl een negatieve Kendall's tau op een monotoon afnemende trend wijst (Aswad *et al.*, 2020). De nulhypothese stelt dat de observaties van een temperatuur/neerslag tijdreeks willekeurig geordend zijn m.a.w. er is geen trend. Er werd een significantieniveau van 0,05 gehanteerd.

De Sen's slope schat de omvang/grootte van de trend. Sen's slope heeft het voordeel t.o.v. een lineaire regressie dat grove fouten en uitschieters in de gegevens weinig invloed hebben. Een positieve Sen's slope wijst op een opwaartse trend, terwijl een negatieve Sen's slope wijst op een neerwaartse trend (Aswad *et al.*, 2020).

In sectie 6.3 en 6.4 wordt voor elke temperatuur- en neerslagvariabele en voor zowel de pre-dam als post-dam periode een tabel gecreëerd die de Sen's slope weergeeft voor elke tijdschaal en elke ruimtelijke schaal. Door het toekennen van een kleurencode voor specifieke grootteordes van de Sen's slope is het mogelijk om snel een inzicht te krijgen in de pre- en post-dam trends. De kleurencode is terug te vinden in Tabel 2. Bij de tijdschaal worden dezelfde afkortingen gebruikt als gedefinieerd in sectie 4.3.2. Bij de ruimtelijke schaal wordt de term 'invloedzone' afgekort als 'IZ'. Door

gebruik te maken van sterren wordt voor elke Sen's slope aangeduid of de Kendall's tau statistiek bijna statistisch significant ($p \leq 0,10$) (*) of statistisch significant ($p \leq 0,05$) (**) is.

Tabel 2:

Kleurencode grootteorde Sen's slope voor de onderzochte temperatuur- en neerslagvariabelen

GEM LST, MAX LST, MIN LST, 99^{ste} percentiel dagelijkse neerslag- hoeveelheden	$\leq -0,20$	Tussen -0,10 en -0,20	Tussen 0,00 en -0,10	Tussen 0,00 en 0,10	Tussen 0,10 en 0,20	$\geq 0,20$	
Neerslag- hoeveelheid	$\leq -5,00$	Tussen -1,00 en -5,00	Tussen -0,10 en -1,00	Tussen -0,10 en 0,10	Tussen 0,10 en 1,00	Tussen 1,00 en 5,00	$\geq 5,00$
Aantal neerslagdagen	$\leq -2,00$	Tussen -1,00 en -2,00	Tussen 0,00 en -1,00	0,00	Tussen 0,00 en 1,00	Tussen 1,00 en 2,00	$\geq 2,00$
Aantal extreme neerslagdagen	$\leq -0,20$	Tussen -0,10 en -0,20	Tussen 0,00 en -0,10	0,00	Tussen 0,00 en 0,10	Tussen 0,10 en 0,20	$\geq 0,20$

5. VERGELIJKING TEMPERATUUR- EN NEERSLAGGEGEVENS

5.1 Satellietgegevens of neerslagstations

Gegevens van regenmeters zijn de meest nauwkeurige manier om informatie te krijgen over het regenklimaat (Maidment *et al.*, 2017). Grondobservaties in Afrika zijn echter onvoldoende vanwege de ruimtelijke en temporele discontinuïteiten (Schreck III & Semazzi, 2004). Door de grote ruimtelijke variabiliteit die gepaard gaat met convectieve regenval op dagelijkse schaal wordt dit probleem verergerd. Hierdoor is de neerslagmeting enkel representatief voor neerslag binnen enkele kilometer van de regenmeter (Maidment *et al.*, 2017). Bovendien vindt er een sterke daling plaats van het aantal neerslagstations. Zo daalt het aantal stations dat in CHIRPS gebruikt wordt in Afrika van ongeveer 2400 in de vroege jaren 1980 tot ongeveer 500 na 2010 (Funk *et al.*, 2015). Dezelfde dalende trend is waar te nemen in het archief van neerslagmetingen dat gebruikt wordt in het TAMSAT-algoritme (Tarnavsky *et al.*, 2014). Daarnaast liggen de neerslagstations relatief ver van het Tekezestuwmeer (J. Nyssen, persoonlijke communicatie, 28 februari 2023).

Indirecte schattingen door satellieten is een alternatieve optie voor de regio's die onvoldoende en onnauwkeurige grondwaarnemingen hebben. Deze indirecte schattingen zijn echter vaak niet homogeen en moeten voor toepassing worden geëvalueerd (Dubache *et al.*, 2021).

Satellietproducten kunnen echter minder nauwkeurig zijn door de moeilijkheid van lokale kalibratie. Dit wegens moeilijke toegang tot de gegevens van de regenmeters. Satellietproducten kunnen dus worden verbeterd door ze te combineren met waarnemingen van regenmeters (Dinku *et al.*, 2018).

Waarnemingen van regenmeters zijn puntgebaseerd en geven slecht de ruimtelijke structuur van regenval weer. Schattingen van regenval via satellieten zijn pixelgebaseerd en hierdoor beperkt tot de ruimtelijke resolutie waarmee ze neerslagvariabiliteit vastleggen (Tarnavsky *et al.*, 2014).

Concluderend, Tarnavsky *et al.* (2014) stellen dat sommige regenmeters, ondanks de beste inspanning op het gebied van kwaliteitscontrole, nog steeds onnauwkeurig zijn. Daarnaast zullen schattingen van regenval via satellietgegevens, ondanks zorgvuldige algoritmekalibratie, nog steeds onvolmaakt zijn. Overeenstemming in absolute termen kan niet verwacht worden (Tarnavsky *et al.*, 2014).

Naast neerslagmetingen worden ook temperatuurmetingen met dezelfde problemen geconfronteerd. Zo vertonen ook in-situ temperatuurgegevens grote hiaten en onzekerheden waar de stationsdichtheid laag is. Dit is bijvoorbeeld het geval in dunbevolkte gebieden zoals woestijnen en bergen (Bento *et al.*, 2017). Volgens Bento *et al.* (2017) kan dit probleem, net zoals bij de neerslagmetingen, opgelost worden door lange-termijn tijdreeksen te gebruiken van ruimtelijk continue op afstand gedetecteerde (*remote sensed*) gegevenssets van landoppervlaktetemperatuur (*Land surface temperature* of LST).

Op basis van bovenstaande argumenten zullen de analyses in deze masterproef gebeuren met behulp van satellietgegevens.

5.2 Vergelijking neerslaggegevens

5.2.1 *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) of TMPA 3B42*

Het '*Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA)*' of TMPA 3B42 gegevensset combineert neerslagschattingen van verschillende satellietssystemen, evenals analyses van neerslagmeters op het landoppervlak waar mogelijk. TMPA is afhankelijk van de input van twee verschillende sets sensoren. Enerzijds worden neerslaggerelateerde passieve microgolf (MW) -gegevens verzameld door een verscheidenheid aan satellieten met een lage baan om de Aarde. Anderzijds worden infrarood (IR) -gegevens verzameld door geostationaire satellieten. Bij de IR-gegevens worden de neerslaghoeveelheden afgeleid uit de IR-helderheidstemperaturen, wat voornamelijk overeenkomt met de temperatuur van de wolkenkop. Daarnaast maakt TMPA ook nog gebruik van aanvullende databronnen (Huffman *et al.*, 2007).

TMPA geeft neerslagschattingen voor een groot deel van de wereld, namelijk van 50° zuiderbreedte tot 50° noorderbreedte. Opgemerkt moet wel worden dat in 1998 er slechts een gemiddelde dekking was van 40% binnen die zone, in 2004 bedroeg deze gemiddelde dekkingsgraad 80%. De neerslagschattingen worden voor elke drie uur gegeven en dit met een resolutie van 0,25° of ongeveer 28 kilometer (Huffman *et al.*, 2007). De neerslagschattingen zijn beschikbaar sinds januari 1998 t.e.m. december 2019. De meest recentste versie van TRMM 3B42 is versie 7 (NASA, z.d.).

5.2.2 *Tropical Applications of Meteorology using Satellite data and ground-based observations (TAMSAT)*

'*Tropical Applications of Meteorology using SATellite data and ground-based observations*' (TAMSAT) is ontworpen om nauwkeurige schattingen van de regenval op het Afrikaanse continent te geven. Het TAMSAT-algoritme gaat ervan uit dat koude wolkenoptemperaturen regenwolken identificeren. Dit wordt de *cold cloud duration*-methode (CCD-methode) genoemd. Deze koude wolkenoptemperaturen zijn verkregen uit Meteosat thermische infraroodbeelden (TIR) (Dubache *et al.*, 2021). In het TAMSAT-systeem worden in totaal drie gegevensbronnen gebruikt, namelijk Meteosat-beelden, historisch meterarchief en real-time metervalidatiegegevens (Tarnavsky *et al.*, 2014).

TAMSAT produceert dagelijkse neerslagschattingen voor Afrika en heeft een resolutie van 0,0375° of ongeveer vier kilometer. De neerslagschattingen zijn beschikbaar sinds 1 januari 1983. De neerslagschatting zijn beschikbaar in verschillende tijdsschalen, namelijk dagelijks, vijfdaagelijks,

tiendagelijks, maandelijks en seizoenaal. De meest recente versie is TAMSAT v3.1 (*How to access TAMSAT rainfall estimates*, z.d.).

Voor versie 2.0 is de dataset 97% compleet. In de periode van 1983 t.e.m. 1999 zijn de meest ontbrekende dagen. Sinds 2007 zijn er geen ontbrekende dagen meer. Het aandeel ontbrekende dagen is vergelijkbaar voor versie 3.0 (Maidment *et al.*, 2017).

5.2.3 Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS)

'Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station data' (CHIRPS) is de combinatie van neerslagstations met verschillende satellietproducten (Dubache *et al.*, 2021). Net als bij TAMSAT werkt het CHIRPS-algoritme op basis van de CCD-methode. De algoritmes zijn echter niet hetzelfde (Funk *et al.*, 2015). Hier wordt niet dieper op ingegaan. Het CHIRPS-proces bestaat uit drie componenten, waarbij in elke component gebruik wordt gemaakt van specifieke gegevens. Deze componenten zijn de CHPclim-dataset, *Climate Hazards group Infrared Precipitation* enkel met satellieten (CHIRP) en *Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS) (Funk *et al.*, 2015).

CHIRPS levert neerslaggegevens voor een groot deel van de wereld, namelijk van 50° zuiderbreedte tot 50° noorderbreedte. CHIRPS heeft een resolutie van 0,05° of ongeveer vijf kilometer. Voor de dagelijkse neerslaggegevens van Afrika is ook een resolutie van 0,25° beschikbaar. Neerslaggegevens zijn beschikbaar sinds 1981. De neerslaggegevens zijn beschikbaar in verschillende tijdsschalen, namelijk dagelijks, vijfdaagelijks, tiendagelijks, maandelijks, 2-maandelijks, 3-maandelijks en jaarlijks. De meest recente versie van CHIRPS is versie 2.0 (Climate Hazards Group, 2021).

Tabel 3:

Overzicht van de satellietproducten en hun kenmerken voor schatting van neerslaggegevens in Afrika

Product	Methode neerslagschatting	Beschikbaarheid neerslaggegevens	Fijnste ruimtelijke resolutie	Fijnste temporele resolutie
TMPA 3B42 (versie 7)	microgolf + infrarood + regenmeters	1998 t.e.m. 2019	0,25° of ongeveer 28 km	3-uurlijks
TAMSAT (versie 3.1)	infrarood + regenmeters	1983 - heden	0,0375° of ongeveer 4 km	dagelijks
CHIRPS (versie 2.0)	infrarood + regenmeters	1981 - heden	0,05° of ongeveer vijf kilometer	dagelijks

5.2.4 Algemene zwaktes in neerslagschattingen door satellieten

Vooraleer de presentaties van eerder besproken satellieten te vergelijken, moet benadrukt worden dat neerslagschattingen door satellieten nooit perfect zullen zijn en een inschatting zijn van de realiteit.

De studie van Maidment *et al.* (2017) onderzoekt het vermogen van TAMSAT om dagelijkse regenvalkenmerken vast te leggen. Uit deze studie blijkt dat bij vaardigheidsmetingen voor detecteren van de aanwezigheid van regenval de TAMSAT-vaardigheidsscores vergelijkbaar zijn met andere satellietproducten. Ongeveer 70% van de schattingen zijn correct. Dit betekent dat het inschatten van droge en regendagen in 70% van de gevallen correct was. Ook bleek dat 70-80% van de geobserveerde regendagen werd vastgelegd door de satellieten. Echter blijkt dat 35-45% van de geschatte regendagen door satellieten droog waren volgens de neerslagmeters. Hieruit volgt dat alle satellietproducten regendagen overschatten (Maidment *et al.*, 2017).

Verder volgt uit de studie van Maidment *et al.* (2017) dat neerslagschattingen per satelliet slechter zijn wanneer het regenklimaat sterk beïnvloed wordt door grote waterlichamen en voor gebieden in de buurt van de oceaan en complexe topografie. Neerslagschattingen zullen net beter zijn in gebieden waar de regen voornamelijk convectief is en het regenklimaat ruimtelijk minder variabel is (Maidment *et al.*, 2017).

Ook volgens Young *et al.* (2014) kan de topografie een invloed hebben op de fouten in de neerslagschattingen. Zo wordt het gemiddelde verschil in dagelijkse regenval tussen satellietgegevens en gegevens van neerslagstations negatiever met toenemende hoogte. Deze conclusie geldt voor op IR-gebaseerde producten (Young *et al.*, 2014). Ook de studies van Thiemig *et al.* (2012) en Q. Sun *et al.* (2018) toonden aan dat verschillende satellietproducten wereldwijd zware neerslag boven Oost-Afrika, waar zich gebergtes bevinden, onderschatten. Bij op MW-gebaseerde producten, waaronder TRMM, worden op hoogtes lager dan 1500 m echter kleine overschattingen gevonden (Young *et al.*, 2014). Derin en Yilmaz (2014) rapporteerden op hun beurt dat alle op satellieten gebaseerde schattingen problemen hebben met het weergeven van de neerslaggradiënt die optreedt over verhoogde oppervlaktes.

5.2.5 Bespreking en vergelijking prestaties

TAMSAT- en CHIRPS-neerslagproducten zijn volgens Dubache *et al.* (2021) in staat om het klimatologisch patroon van de regenval op specifieke studielocaties in Ethiopië vast te leggen. Het ruimtelijk patroon over Ethiopië liet ook zien dat de producten de neerslaghoeveelheden in verschillende regio's konden aangeven (Dubache *et al.*, 2021). Verder volgde uit de studie van Dubache *et al.* (2021) dat de TAMSAT- en CHIRPS-neerslagproducten beter presteerden op maandschaal dan op seizoens- en jaarschalen.

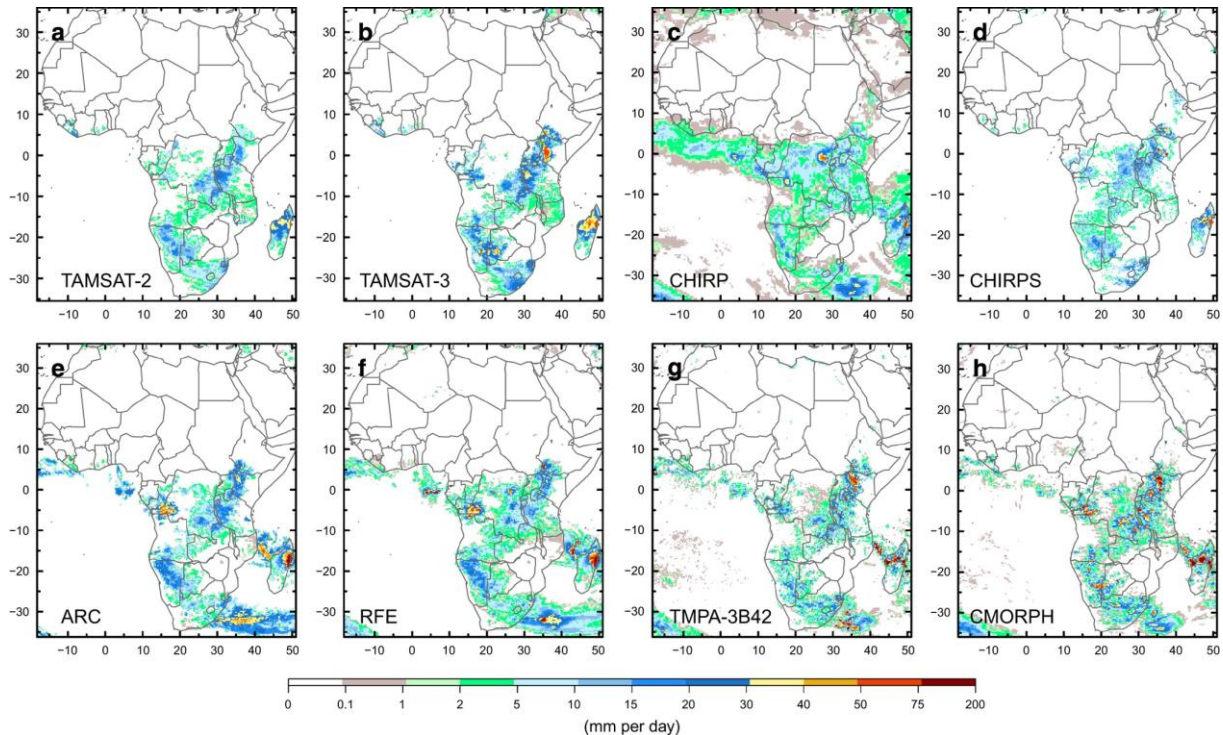
Op maandelijkse schaal vertoonde CHIRPS een iets betere nauwkeurigheid dan TAMSAT (Dubache *et al.*, 2021). De studie van Dinku *et al.* (2018) stelden dat CHIRPS iets beter presteerde dan TAMSAT op tiendagelijkse schaal en maandschaal. CHIRPS presteerde ook beter dan TAMSAT in het vastleggen van de vormen en het schatten van de grootte van de seizoensgebonden neerslaghoeveelheden. Hetzelfde geldt voor de jaarschaal. Echter in sommige gevallen presteerde TAMSAT iets beter (Dubache *et al.*, 2021). Op dagelijkse tijdschaal presteerde TAMSAT beter dan CHIRPS (Dinku *et al.*, 2018).

TAMSAT heeft de laagste gemiddelde kwadratische afwijking (root-mean-square error of RMSE). Dit wordt echter veroorzaakt doordat de neerslagschattingen van TAMSAT gekalibreerd zijn op basis van waarnemingen van regenmeters. TRMM heeft de grootste RMSE. De bias-ratio's in TRMM zijn vaak groter dan 1, dit betekent dat de hoeveelheid neerslag overschat wordt. Dit terwijl de bias-ratio's in TAMSAT op onderschatting duiden (Young *et al.*, 2014). Maidment *et al.* (2017) bevestigen dat TAMSAT-3 een droge bias heeft. TAMSAT-3 maakt wel beter onderscheid (t.o.v. TAMSAT-2) tussen matige en hoge regenval. CHIRPS heeft de kleinste bias. TMPA 3B42 vertoont, ondanks het opnemen van passieve microgolffbeelden in hun schattingsbenadering, geen substantiële verbeteringen in vaardigheden ten opzichte van methoden die op thermisch infraroodbeelden gebaseerd zijn (Maidment *et al.*, 2017). Dit ondanks de verwachting van Maidment *et al.* (2017) dat schattingsbenaderingen gebaseerd op passieve microgolffbeelden meer realistische informatie kunnen geven over de intensiteit van de regenval. Volgens Young *et al.* (2014) legt TMPA 3B42 de omvang en timing van de regencycli in Ethiopië goed vast. Maidment *et al.* (2017) concluderen dat op fijne ruimtelijke ($0,25^\circ$) en temporele (dagelijks) schalen geen enkele dataset uit het onderzoek robuuste schattingen kan geven van de dagelijkse hoeveelheid neerslag.

Maidment *et al.* (2017) besluiten ook dat de schatting van het voorkomen van neerslag betrouwbaarder is dan de schatting van de hoeveelheid neerslag. Tussen de verschillende datasets (TAMSAT, CHIRPS, TMPA 3B42) is de omvang van de regengebieden vergelijkbaar, maar de intensiteiten variëren aanzienlijk (Maidment *et al.*, 2017). Dit is duidelijk te zien in Figuur 20.

Figuur 20:

Hoeveelheid neerslag in Afrika op 1 januari 2010 (met een resolutie van 0,25° op 0,25°) voor verschillende dagelijkse satellietgebaseerde datasets



Noot. Overgenomen uit “A new, long-term daily satellite-based rainfall dataset for operational monitoring in Africa”, door R. Maidment, D. Grimes, E. Black, E. Tarnavsky, M. Young, H. Greatrex, R. Allan, T. Stein, E. Nkonde, S. Senkunda, & E. Uribe Alcántara, (2017), *Scientific Data*, 4, p.14 (www.nature.com/articles/sdata201763).

Maidment *et al.* (2017) stellen ook dat de dagelijkse gegevens van TAMSAT, omdat het de intensiteit van hevige regenval niet goed kan vastleggen, minder geschikt zijn voor studies van langetermijnveranderingen in de hoeveelheid regenval. TAMSAT detecteert ook moeilijk ijsvrije regenwolken (Young *et al.*, 2014).

TAMSAT en TRMM hebben de beste detectie tijdens natte periodes. Tijdens droge periodes neemt de detectievaardigheid af. Dit betekent dat satellieten lichte neerslaggebeurtenissen moeilijk kunnen detecteren. De detectievaardigheden zijn verschillend tijdens droge periodes tussen op MW-gebaseerde producten (TRMM) en op IR-gebaseerde producten (TAMSAT) (Young *et al.*, 2014).

De verschillen in prestaties zijn afhankelijk van de gebruikte gegevens en de methode waarop de neerslag geschat wordt. Zo heeft CHIRPS tijdens de kalibratie toegang tot een groter aantal regenmeters, terwijl dit niet het geval is bij TAMSAT (Dubache *et al.*, 2021). CHIRPS voegt meetgegevens in bijna realtime samen. Dit is eveneens niet het geval bij TAMSAT. Hierdoor kan CHIRPS, waar de dekking van regenmeters goed is, informatie geven over extreme regenval op niveau van één gebeurtenis. Aan de andere kant worden de schattingen van TAMSAT niet beïnvloed door inconsistente invoer van gegevens van regenmeters (Tarnavsky *et al.*, 2014). Hierdoor kan de

neerslagvariabiliteit volgens Tarnavsky *et al.* (2014) geplaatst worden in de context van een langetermijnklimatologie, dit in tegenstelling met de vaststelling van Maidment *et al.* (2017).

Een ander verschil tussen CHIRPS en TAMSAT zit in het vastleggen van kortdurende convectiestormen. CHIRPS gebruikt de 3-uurs *Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) precipitation index (GPI)*, terwijl TAMSAT de 15 minuten Meteosat TIR-beelden gebruikt. De neerslagschattingen van TAMSAT zijn geschikt om ongewoon natte of droge omstandigheden te detecteren (Tarnavsky *et al.*, 2014).

Voor de regio van Ethiopië wordt verondersteld dat TAMSAT beter is dan CHIRPS om verschillende redenen (Dubache *et al.*, 2021):

- TAMSAT heeft een veel hogere ruimtelijke resolutie dan CHIRPS (Dubache *et al.*, 2021).
- De CHIRPS-satelliet gebruikt een vaste regen/geen regentemperatuur drempelwaarde, terwijl de TAMSAT-satelliet een variërende voorwaarde gebruikt (Dinku *et al.*, 2018).
- TAMSAT heeft het doel om nauwkeurige schattingen van de regenval in Afrika te bekomen, terwijl de CHIRPS-satelliet een neerslagdataset heeft van bijna volledig de wereld (Dubache *et al.*, 2021).
- De neerslagschattingen van de TAMSAT-satelliet zijn gevalideerd over het complexe terrein van Ethiopië. De TAMSAT-satelliet vertoonde hierbij goede vaardigheden (Maidment *et al.*, 2017).

Toch presteert CHIRPS in alle gevallen beter, behalve op dagelijkse schaal (Dinku *et al.*, 2018). Het verschil met TAMSAT is echter klein (Dubache *et al.*, 2021). Volgens Dubache *et al.* (2021) zijn zowel de neerslaggegevens van CHIRPS als TAMSAT betrouwbaar voor Ethiopië. Volgens Young *et al.* (2014) presteert TRMM, voor het detecteren van regenachtige gebeurtenissen, het vastleggen van de gemiddelde regenval en seizoensvariabiliteit, beter dan TAMSAT.

Op basis van bovenstaande bespreking en vergelijking van de prestaties, en evenals van de karakteristieken van de satellieten zullen de analyses in deze masterproef uitgevoerd worden met de neerslaggegevens afkomstig van CHIRPS versie 2.0. Zowel TMPA 3B42, TAMSAT als CHIRPS leveren goede resultaten. Uit vergelijking van de verschillende satellieten lijkt CHIRPS echter het best te presteren. Daarnaast heeft CHIRPS een fijne ruimtelijke resolutie. Bovendien levert CHIRPS de langste tijdreeks waardoor het ook mogelijk is om de lange termijntrend te bestuderen.

5.3 Vergelijking temperatuurgegevens

5.3.1 *Overzicht satellieten*

Er zijn verschillende satellieten en/of instrumenten die de temperatuur aan het aardoppervlak of in de lucht meten in Afrika. De gekendste satellieten en/of instrumenten zijn Landsat, Meteosat, MODIS, Sentinel en MetOp.

In Tabel 4 worden de belangrijkste kenmerken van deze satellieten vergeleken. De satellieten die bruikbaar zijn voor deze masterproef worden vervolgens uitgebreider toegelicht en hun prestaties worden vergeleken.

Tabel 4:

Overzicht van satellieten en hun kenmerken die land- of luchttemperatuur kunnen meten in Afrika met aanduiding van hun geschiktheid voor gebruik in deze masterproef

Satelliet (-reeks)	Instrument	Beschikbaarheid temperatuurgegevens	Fijnste ruimtelijke resolutie	Fijnste temporele resolutie/ omlooptijd	Geschiktheid voor gebruik in deze masterproef
Sentinel (Sentinel-3)	Sea and Land Surface Temperature Instrument (SLSTR) (<i>Sentinel-3 - Overview</i> , z.d.)	2016-heden (<i>Facts and Figures</i> , z.d.)	1 km (<i>Facts and Figures</i> , z.d.)	Ongeveer 1 dag (<i>Facts and Figures</i> , z.d.)	Niet geschikt, temperatuurgegevens pas beschikbaar sinds 2016
Terra- en Aqua-satelliet	Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (Lindsey & Herring, z.d.)	24/02/2000-heden voor Terra-satelliet (Hulley, 2021a) en 04/07/2002-heden voor Aqua-satelliet (Hulley, 2021b)	1 km (Hulley <i>et al.</i> , 2016)	Dagelijks zowel dag als nacht (Hulley <i>et al.</i> , 2016)	Niet geschikt voor langetermijnanalyse, eventueel wel geschikt voor analyse op kortere termijn
Meteosat	Meteosat Visible and InfraRed Imager (MVIS) aan boord van de Meteosat First Generation (MFG) en de Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager (SEVIRI) aan boord van de Meteosat Second Generatie (MSG)	01/01/1991 tot 01/12/2015 (EUMETSAT, 2021)	0,05° of ongeveer 5 kilometer (EUMETSAT, 2021)	Uurlijks (EUMETSAT, 2021)	Geschikt voor zowel langetermijn- als kortetermijn-analyse
MetOp	Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) (EUMETSAT, 2022)	2008-heden (EUMETSAT, 2022)	Ongeveer 1 km (EUMETSAT, 2022)		Niet geschikt voor langetermijnanalyse, eventueel wel geschikt voor analyse op kortere termijn
Landsat	Landsat 4 Thematic Mapper (TM), Landsat 5 Thematic Mapper (TM), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), Landsat 8 Operational Land Imager (OLI), Landsat 9 Operational Land Imager 2 (OLI-2) (<i>Landsat Collection 2 Surface Temperature U.S. Geological Survey</i> , z.d.)	1982-heden (<i>Landsat Collection 2 Surface Temperature U.S. Geological Survey</i> , z.d.)	30 meter (<i>Landsat 8 U.S. Geological Survey</i> , z.d.)	16 dagen (<i>Landsat 8 U.S. Geological Survey</i> , z.d.)	Niet geschikt, temperatuurgegevens zijn niet op dagelijkse schaal beschikbaar en kunnen dus niet op maandschaal geaggregeerd worden

Noot. De opgegeven kenmerken van de temperatuurgegevens bij de Terra- en Aqua satelliet gelden specifiek voor de volgende producten: MOD21A1D/MOD21A1N en MYD21A1D/ MYD21A1N.

De opgegeven beschikbaarheid van de temperatuurgegevens bij de Meteosat-satellieten geldt specifiek voor het volgende product: Land Surface Temperature Dataset from Meteosat First and Second Generation - Edition 1 (SUMET Ed. 1). Dit is een vrij te downloaden product (mits registratie).

De opgegeven beschikbaarheid van de temperatuurgegevens bij de MetOp-satellieten geldt specifiek voor het volgende product: AVHRR Level 1B - Metop – Global. Dit is een vrij te downloaden product (mits registratie).

5.3.2 *Meteosat landoppervlaktetemperatuur*

De *Meteosat First Generation* (MFG) en *Meteosat Second Generation* (MSG) satellieten, afkomstig van de *European's Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT), leveren vanaf 1983 gegevensrecords van de LST (Duguay-Tetzlaff *et al.*, 2015). De MVIRI, aan boord van de MFG-satellieten 1 t.e.m. 7, maakt elke 30 minuten een afbeelding van de aardschijf die Europa, Afrika, het Midden-Oosten en de Atlantische Oceaan omvat met een ruimtelijke resolutie van 5 km. De SEVIRI, aan boord van de MSG-satellieten 1 t.e.m. 4, maakt elke 15 minuten een afbeelding met een ruimtelijke resolutie van 3 km (Duguay–Tetzlaff, Stöckli, *et al.*, 2017). De MVIRI is uitgerust met een enkel thermisch infraroodkanaal (Duguay-Tetzlaff *et al.*, 2015). Dit terwijl de SEVIRI aan boord van de MSG zeven thermisch infraroodkanalen heeft (Vázquez-Navarro *et al.*, 2013). Doordat MVIRI slechts één thermisch-infraroodband heeft, kunnen meerkanaals LST-ophaalbenaderingen echter niet worden gebruikt (Duguay-Tetzlaff *et al.*, 2015).

De dataset '*Land Surface Temperature Dataset from Meteosat First and Second Generation - Edition 1 (SUMET Ed. 1)*' is een *Thematic Climate Data Record* die LST's levert van 1991 tot en met 2015 met een temporele resolutie van een uur. De LST's zijn opgemeten door MFG 4 t.e.m. 7 en MSG 1 t.e.m. 3 (Duguay–Tetzlaff, Stöckli, *et al.*, 2017).

LST worden geschat volgens twee verschillende modellen, namelijk een fysiek mono-window-model (PMW) en een statistisch mono-window-model (SMW). Het PMW-model is gebaseerd op stralingsoverdrachten (Duguay-Tetzlaff *et al.*, 2015). SWM-modellen bestaan uit empirische benaderingen die de helderheidstemperaturen van de top van de atmosfeer van een enkel atmosferisch vensterkanaal, hier 11,5 μm bij MVIRI en 10,8 μm bij SEVIRI, relateren aan de LST (Duguay–Tetzlaff, Stöckli, Hollmann, *et al.*, 2017; Freitas *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2013; D. Sun *et al.*, 2004).

5.3.3 *Prestaties Meteosat landoppervlakte temperatuur*

Een belangrijk voordeel van deze LST-gegevensset is de hoge homogeniteit. Het ophaalalgoritme en de gebruikte aanvullende gegevens zijn namelijk gedurende de hele verwerkingsperiode hetzelfde. Ook maakt het proces gebruik van inspanningen van EUMETSAT om uitstralingen van de top van de atmosfeer opnieuw te kalibreren (Bento *et al.*, 2017).

Belangrijke opmerking bij het onderzoek van Duguay-Tetzlaff *et al.* (2015), die de nauwkeurigheid en onzekerheden van het Meteosat Land Surface Temperature Climate Data Record bespreken, is dat de resultaten enkel geldig zijn voor observaties afkomstig van de MSG.

Duguay-Tetzlaff *et al.* (2015) onderzochten de prestaties van de MSG. Hun belangrijkste bevindingen worden hieronder toegelicht. Uit de analyse van de theoretische onzekerheid volgt dat SWM iets beter presteert dan PWM bij zeer vochtige atmosferen (totale kolom waterdamp > 50 mm) en hoge kijkhoeken van de satellieten (Duguay-Tetzlaff *et al.*, 2015). Onzekerheden in atmosferische profielen kunnen een grote invloed hebben op ophalingen van de LST. SMW's hebben alleen totale kolom waterdamp als invoer nodig. Dit terwijl PMW's atmosferische temperatuur- en waterdampprofielen vereisen, wat voor extra onzekerheden kan zorgen, vooral voor zeer vochtige atmosferen (Freitas *et al.*, 2010). PMW en SMW zijn behoorlijk gevoelig voor fouten in numerieke weersvoorspelling (numerical weather prediction of NWP)-modellen (Duguay-Tetzlaff *et al.*, 2015).

Uit het onderzoek van Duguay-Tetzlaff *et al.* (2015) volgt ook dat het rekenkundig dure PMW-model, op basis van validatie in grondstations, in slechts een van de vier onderzochte stations beter presteert dan het SWM.

In Tabel 5 en Tabel 6 is te zien dat zowel bij de statistische LST als de fysieke LST de nauwkeurigheid en precisie binnen of zeer dicht bij de doelvereisten, gedefinieerd door *The Satellite Application Facility on Climate Monitoring* (CM SAF), liggen. Voor zeer vochtige atmosferen (totale kolom waterdamp >45 mm) is dit echter niet het geval. Hierbij bedraagt de *bias corrected root mean square difference* (bc-RMS) ongeveer 3 K en de *bias* ongeveer 2 K (Duguay–Tetzlaff, Stöckli, Bojanowski, *et al.*, 2017).

Decadale stabiliteit toont de verandering in de LST nauwkeurigheid over tien jaar (Duguay–Tetzlaff, Bojanowski, Göttsche, *et al.*, 2017). In Tabel 7 is te zien dat zowel het statistisch LST-product en het fysieke LST-product voldoen aan de 0,8 K decadale stabiliteitsvereiste in vergelijking met de huidtemperatuur (*skin temperature*) afkomstig van Europees Centrum voor Weersverwachtingen op Middellange Termijn (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* of ECMWF) en de MODIS LST (Duguay–Tetzlaff, Stöckli, Bojanowski, *et al.*, 2017).

Verder volgt uit Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7 dat de fysieke LST een hogere precisie (0,3 K tot 0,4 K lagere bc-RMS) en een hogere decadale stabiliteit (tot 0,4 K lager) vertonen in vergelijking met de statistische LST (Duguay–Tetzlaff, Stöckli, Bojanowski, *et al.*, 2017). Dit terwijl de statistische LST iets nauwkeuriger lijkt te zijn (0,2 K lagere bias) (Duguay–Tetzlaff, Bojanowski, Göttsche, *et al.*, 2017).

Tabel 5:

Doelnauwkeurigheid en bereikte nauwkeurigheden op de uurlijkse en maandelijkse tijdschaal voor de statistische LST en de fysieke LST

Nauwkeurigheid	Doelnauwkeurigheid (bias in K)	Bereikte nauwkeurigheden (bias in K)	
		Uurlijks	Maandelijks
Statistische LST	1,5	0,6	0,6
Fysieke LST	1,3	0,8	0,8

Tabel 6:

Doelprecisie en bereikte precisie op de uurlijkse en maandelijkse tijdschaal voor de statistische LST en de fysieke LST

Precisie	Doelprecisie (bc-RMS in K)	Bereikte precisie (bc-RMS in K)	
		Uurlijks	Maandelijks
Statistische LST	2,5	1,9	0,9
Fysieke LST	2,0	1,6	0,5

Tabel 7:

Doel decadale stabiliteit en bereikte decadale stabiliteit in vergelijking met de huidtemperatuur (skin temperature) afkomstig van ECMWF en de MODIS LST voor de statistische LST en de fysieke LST

Decadale stabiliteit	Doel decadale stabiliteit (tienjarige trend in bias)	Bereikte decadale stabiliteit (tienjarige trend in bias)	
		ERA-Interim skin temperature	MODIS LST
Statistische LST	0,8 K	Tot 0,4 K	Tot 0,8 K
Fysieke LST	0,8 K	Tot 0,4 K	Tot 0,4 K

Volgens Heidinger *et al.* (2013), en in overeenstemming met de waarnemingen van Duguay-Tetzlaff *et al.* (2015), treedt de grootste enkelkanaals bias op bij LST-waarden groter dan 310 Kelvin (ongeveer 37 graden). Duguay–Tetzlaff, Bojanowski, Göttsche, *et al.* (2017) vinden een seizoensafwijking van 2–3 K bij temperaturen boven de 310 K. De LST wordt dus overschat tijdens de zomer in woestijngebieden. De amplitude van de bias is overdag hoger dan 's nachts (Duguay–Tetzlaff, Bojanowski, Göttsche, *et al.*, 2017).

In de studie van Duguay-Tetzlaff *et al.* (2015) bedraagt bij het validatiestation in Gobabeb de eenkanaals bias 's nachts bijna nul, maar overdag is deze groter dan 1 Kelvin. De bias overdag toont

waarschijnlijk de impliciete gevoeligheid van de monokanaalmodellen voor fouten in de NWP (Duguay-Tetzlaff *et al.*, 2015).

Verder worden negatieve biases waargenomen voor het validatiestation 'Rust Mijn Ziel' in Namibië. Dit houdt verband met de grote hoogte van de site (1360 m boven zeeniveau), wat mogelijk niet correct wordt verklaard door de LST-ophaalalgoritmen. De PMW en SWM voeren namelijk geen orografische correctie uit (Duguay-Tetzlaff *et al.*, 2015).

LST-ophaalfouten kunnen groter zijn bij de MFG ten opzichte van de MSG. Dit komt doordat de MFG thermische sensor een iets andere spectrale responsfunctie heeft, een lagere digitale kwantificering en een minder nauwkeurige absolute radiometrische nauwkeurigheid (Duguay-Tetzlaff *et al.*, 2015).

De statistische LST is nuttig voor gebruikers die geïnteresseerd zijn in operationele klimaatmonitoring. De fysieke LST is interessant voor gebruikers die zeer nauwkeurige en klimatologisch consistente LST-producten nodig hebben, evenals voor gebruikers die consistente, onmiddellijke klimaatgegevensrecords nodig hebben. Het fysieke LST-product is van bijzonder belang voor onder andere satellietgebaseerde schattingen van luchttemperaturen op twee meter hoogte bij hoge ruimtelijke resolutie als voor het afleiden van de dagelijkse LST-cyclus (Duguay–Tetzlaff *et al.*, 2017).

Op basis van bovenstaande bevindingen werd besloten om in deze masterproef te werken met de LST-gegevens gegenereerd via het PMW-model.

6. RESULTATEN

6.1 Langetermijntrends in temperatuur- en neerslaggegevens

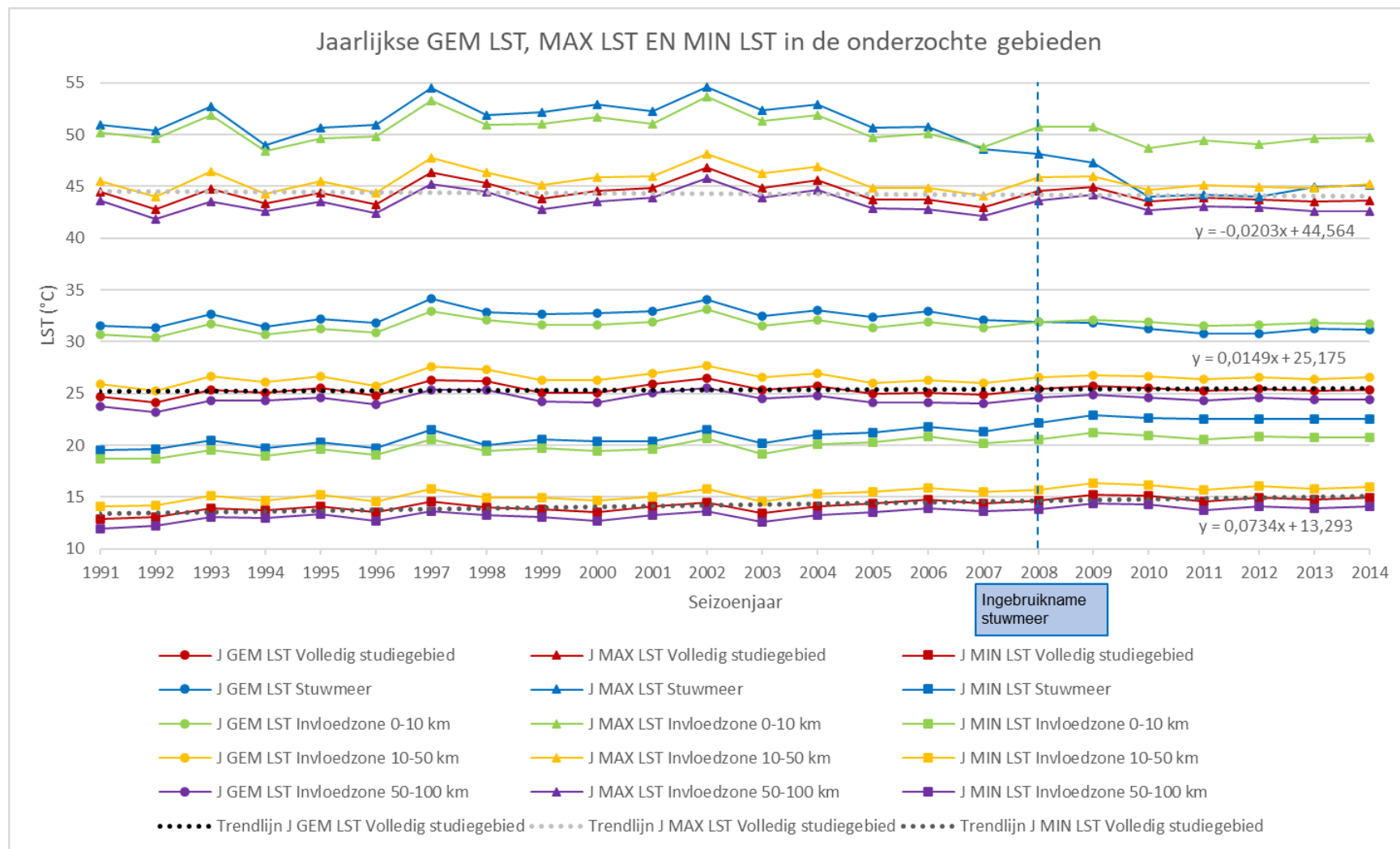
6.1.1 Langetermijntrends in temperatuurgegevens

Uit Figuur 21 volgt dat de helling van de lineaire trendlijn van de jaarlijkse GEM LST, MAX LST en MIN LST over het volledig studiegebied voor de volledige tijdsperiode respectievelijk 0,0149 °C/jaar, -0,0203 °C/jaar en 0,0734 °C/jaar bedraagt. Bij de jaarlijkse MAX LST is er dus over de volledige tijdsperiode een licht dalende trend, dit terwijl er bij de jaarlijkse MIN LST een sterkere stijgende trend is. De jaarlijkse GEM LST neemt licht toe over de volledige tijdsperiode.

Verder volgt uit Figuur 21 dat zowel de jaarlijkse GEM LST, de jaarlijkse MAX LST en de jaarlijkse MIN LST in de periode voor 2008 een overwegend gelijkaardig verloop vertonen en dit eveneens over alle onderzochte gebieden. Echter wijkt vanaf 2008 het verloop van de jaarlijkse MAX LST, de jaarlijkse GEM LST en de jaarlijkse MIN LST over het stuwmeer af van het temperatuurverloop in de andere onderzochte gebieden. In vergelijking met de MAX LST in de andere onderzochte gebieden is de MAX LST over het stuwmeer sterk lager sinds 2008. De GEM LST en MIN LST over het stuwmeer zijn sinds 2008 respectievelijk licht lager en licht hoger in vergelijking met de GEM LST en MIN LST in de andere onderzochte gebieden.

Figuur 21:

Jaarlijkse GEM LST, MAX LST en MIN LST op basis van Meteosat-gegevens van seizoenjaar 1991 t.e.m. 2014 in de onderzochte gebieden



6.1.2 Langetermijntrends in neerslaggegevens

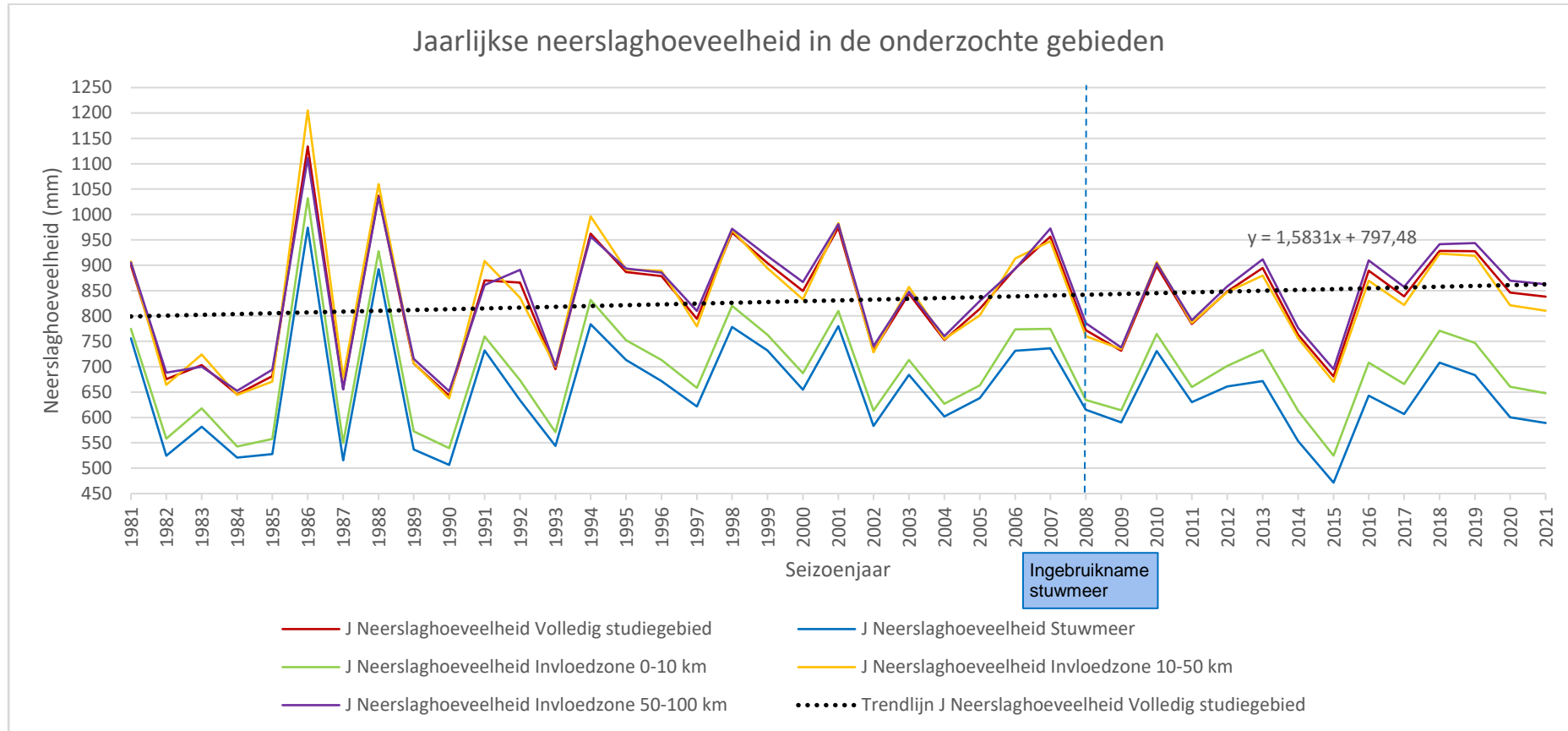
Uit Figuur 22, Figuur 23; Figuur 24, Figuur 25 volgt dat de helling van de lineaire trendlijn van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid, het jaarlijks aantal neerslagdagen, het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen over het volledige studiegebied voor de volledige tijdsperiode respectievelijk 1,5831 mm/jaar, 0,2484 neerslagdagen/jaar, 0,0059 mm/jaar en -0,0101 neerslagdagen/jaar bedraagt. De jaarlijkse neerslaghoeveelheid en het jaarlijks aantal neerslagdagen neemt, op basis van de trendlijn, dus toe over de volledige tijdsperiode. Bij het jaarlijks aantal neerslagdagen lijkt op basis van Figuur 23 er tussen ongeveer 1996 en ongeveer 2011 echter een afname te zijn in het aantal neerslagdagen, om dan na 2011 opnieuw toe te nemen. Het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen is, op basis van de trendlijn, quasi stationair over de volledige tijdsperiode. Zowel bij het 99^{ste} percentiel als bij het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen lijkt op basis van Figuur 24 en Figuur 25 het 99^{ste} percentiel/het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen tot de periode 2006-2009 echter toe te nemen, waarna deze terug afneemt/afnemen.

Uit Figuur 22 volgt ook dat de jaarlijkse neerslaghoeveelheden in de onderzochte gebieden een gelijkaardig verloop vertonen. Echter lijkt bij de jaarlijkse neerslaghoeveelheden sinds 2011 de onderlinge verschillen tussen de onderzochte gebieden toe te nemen.

Bij het jaarlijks aantal neerslagdagen (Figuur 23), het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden (Figuur 24) en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen (Figuur 25) is tussen de verschillende onderzochte gebieden de tendens (opgaand/neergaand) vaak, maar zeker niet op elk tijdstip, gelijkaardig. Echter is het verloop van het jaarlijks aantal neerslagdagen, het 99^{ste} percentiel en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen tussen de verschillende onderzochte gebieden minder gelijkaardig.

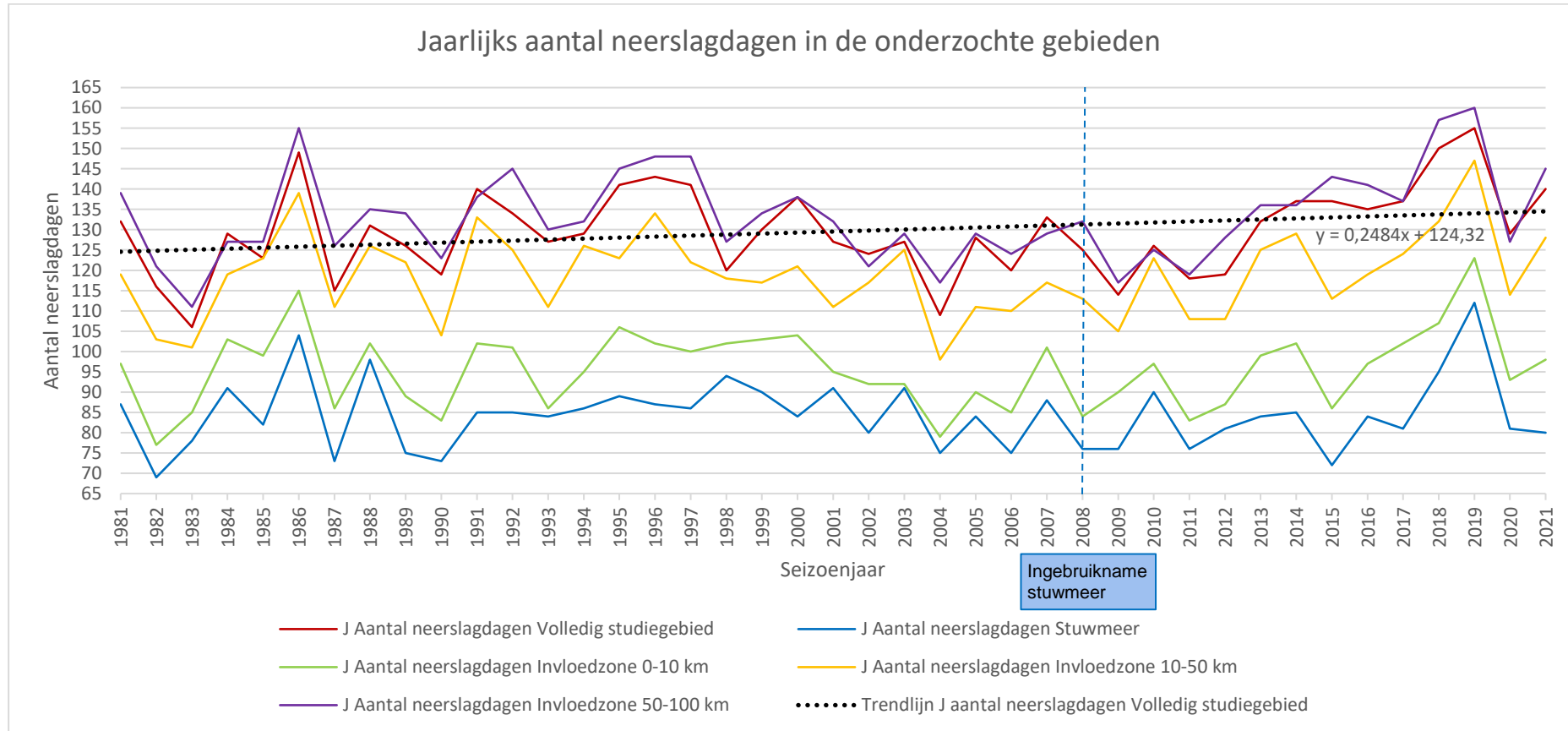
Figuur 22:

Jaarlijkse neerslaghoeveelheid op basis van CHIRPS-gegevens van seizoenjaar 1981 t.e.m. 2021 in de onderzochte gebieden



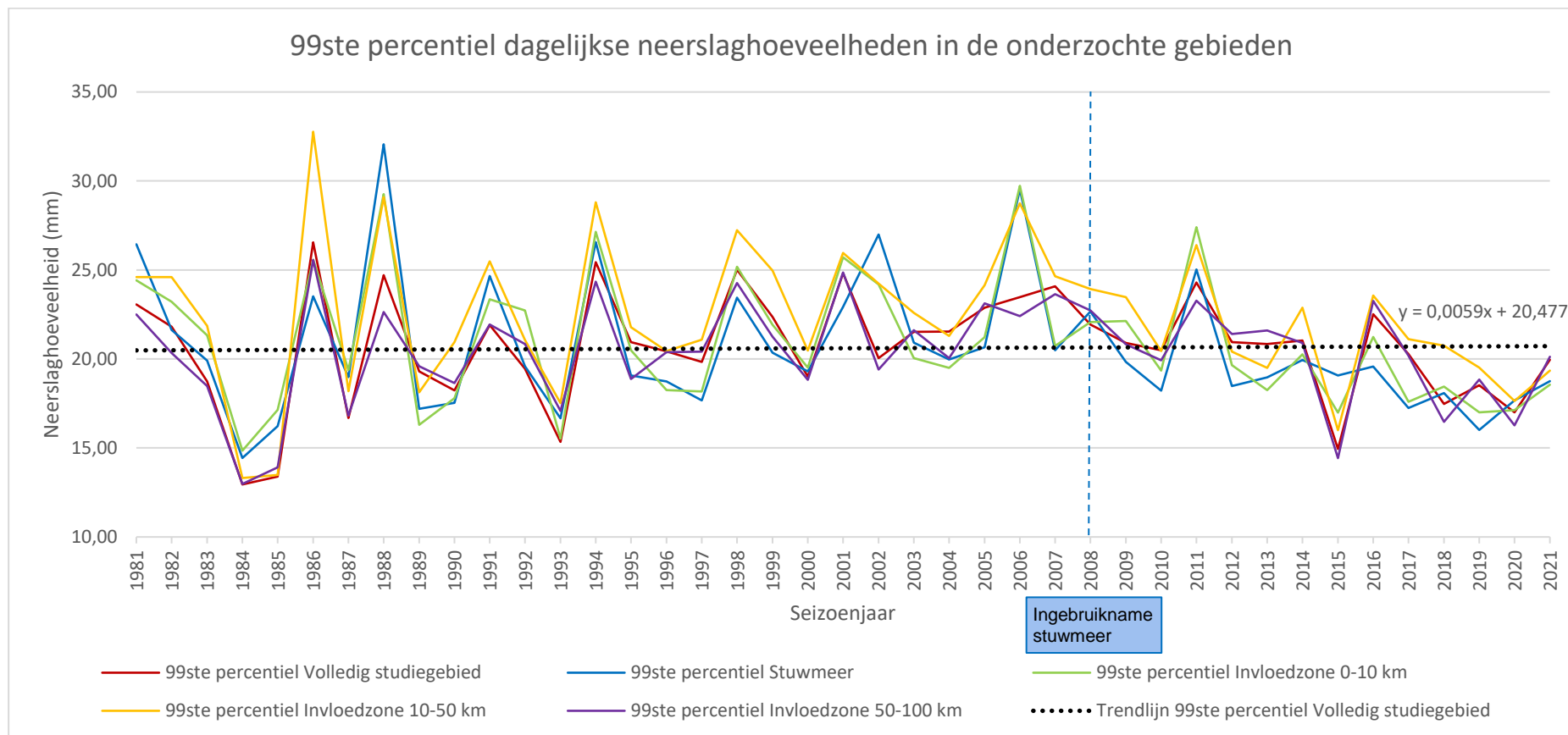
Figuur 23:

Jaarlijks aantal neerslagdagen op basis van CHIRPS-gegevens van seizoenjaar 1981 t.e.m. 2021 in de onderzochte gebieden



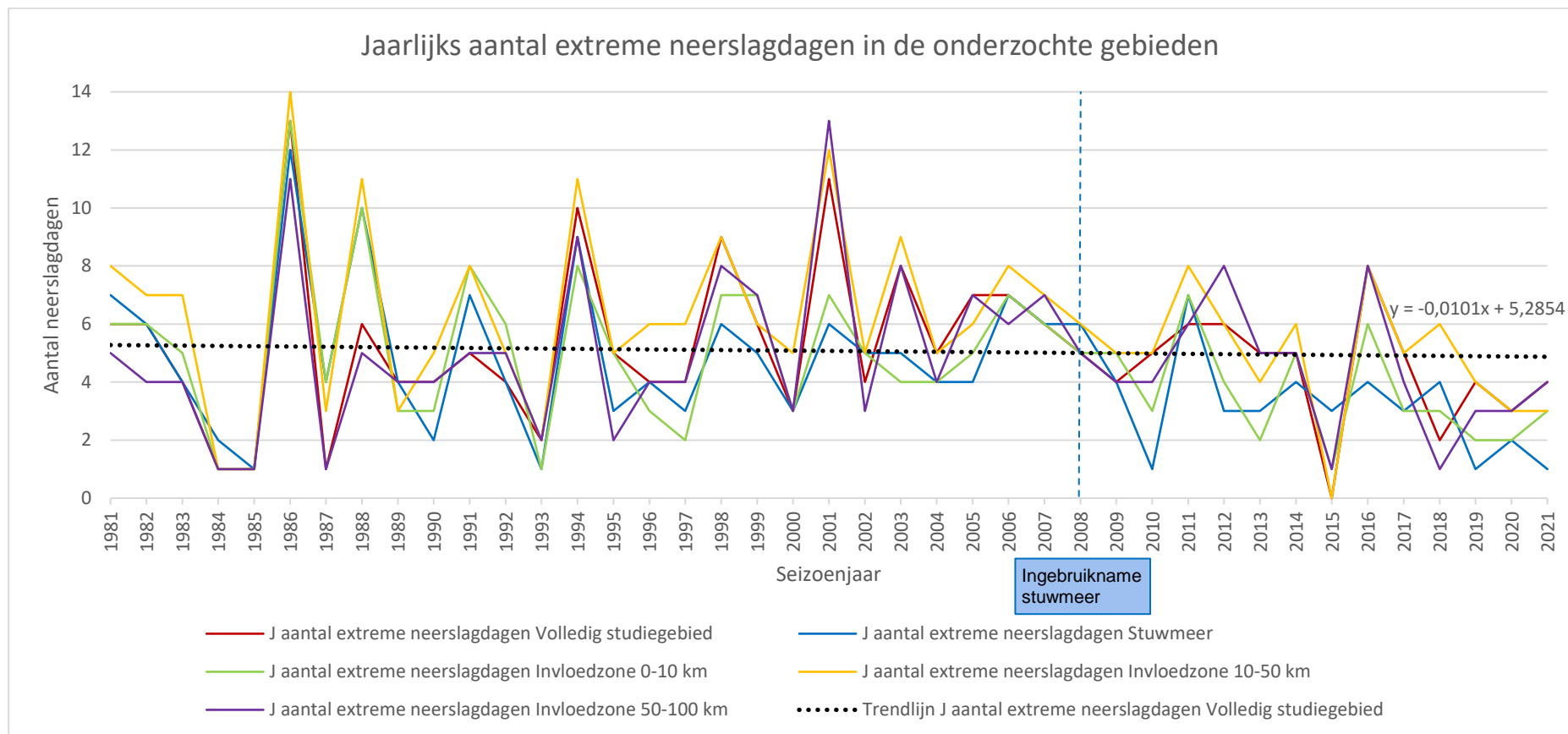
Figuur 24:

99ste percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden op basis van CHIRPS-gegevens van seizoenjaar 1981 t.e.m. 2021 in de onderzochte gebieden



Figuur 25:

Jaarlijks aantal extreme neerslagdagen op basis van CHIRPS-gegevens van seizoenjaar 1981 t.e.m. 2021 in de onderzochte gebieden



6.2 Assumpties: Normaliteit en autocorrelatie

Voor het uitvoeren van de Mann-Whitney test en Mann-Kendall test was het eerst noodzakelijk om voor de pre- en post-dam perioden van de temperatuur- en neerslagtijdreeksen na te gaan of er aan de assumpties van normaliteit en autocorrelatie voldaan is.

In de pre- en post-dam tijdreeks van de jaarlijkse GEM LST over het volledige studiegebied bedraagt de Jarque-Bera waarde respectievelijk 0,348 en 0,624 met een p-waarde van 0,840 en 0,732. In de pre- en post-dam tijdreeks van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid over het volledige studiegebied bedraagt de Jarque-Bera waarde respectievelijk 0,780 en 1,057 met een p-waarde van 0,677 en 0,590. Aangezien de p-waarde telkens groter is dan het significantieniveau van 0,05, wordt de nulhypothese niet verworpen en zijn deze pre- en post-dam tijdreeksen normaal verdeeld. Uit het autocorrelogram en partieel autocorrelogram van zowel de pre-dam als post-dam tijdreeks van de jaarlijkse GEM LST over het volledige studiegebied (zie Bijlage 10 en Bijlage 11) en de jaarlijkse neerslaghoeveelheid over het volledige studiegebied (zie Bijlage 12 en Bijlage 13) volgt dat er geen enkele autocorrelatie statistisch significant is binnen een betrouwbaarheidsinterval van 95%. Er is dus geen autocorrelatie in de pre-dam en post-dam tijdreeks. Bovenstaande bevindingen omtrent normaliteit en autocorrelatie gelden voor alle pre- en post-dam tijdreeksen van de neerslag- en temperatuurgegevens op jaarlijkse tijdschaal over het volledige studiegebied.

Steekproefgewijs werd de normaliteit en autocorrelatie ook voor pre- en post-dam tijdreeksen van temperatuur- en neerslaggegevens op verschillende tijdschalen (jaarlijks, seizoenaal, maandelijks) en over verschillende gebieden (volledig studiegebied, stuwmeer, invloedzone 0 tot 10 km, invloedzone 10 tot 50 km, invloedzone 50 tot 100 km) getest. Normaliteit geldt echter niet voor alle temperatuur- en neerslagtijdreeksen. Zo bedraagt onder meer bij de pre-dam tijdreeks van het jaarlijks gemiddelde van de maand april van de MIN LST over het volledige studiegebied de Jarque-Bera waarde 9,719 met een p-waarde van 0,008. Bij de pre-dam tijdreeks van de jaarlijkse totale neerslag in het droge seizoen bedraagt de Jarque-Bera waarde 34,726 met een p-waarde kleiner dan 0,0001. Ook tredt er bij sommige temperatuur- en neerslagtijdreeksen autocorrelatie op. Onder meer bij de pre-dam tijdreeks van het jaarlijks gemiddelde van de maand oktober van de GEM LST over het volledige studiegebied is er een significante autocorrelatie bij lag 1 (zie Bijlage 14). Bij de pre-dam tijdreeks van het jaarlijks aantal regendagen in het kort regenseizoen over het volledig studiegebied is er een significante autocorrelatie bij lag 3 (zie Bijlage 15).

Er kan besloten worden dat bij de pre- en post-dam perioden van de temperatuurtijdreeksen de meeste tijdreeksen normaal verdeeld zijn en er bij enkele tijdreeksen sprake is van significante autocorrelatie. Bij de pre- en post-dam perioden van de neerslagtijdreeksen zijn er verschillende tijdreeksen niet-normaal verdeeld en zijn er ook meer tijdreeksen waar minstens één statistisch significante autocorrelatie optreedt. Door de aanwezigheid van niet-normaal verdeelde tijdreeksen en

tijdreeksen met significante autocorrelatie wordt in deze masterproef gebruik gemaakt van niet-parametrische testen.

6.3 Vergelijking temperatuur tussen pre- en post-dam periode

6.3.1 Overzicht

Tabel 8 toont een overzicht van de gemiddelde waarden van de jaarlijkse en seizoenale gemiddelde temperatuur, maximumtemperatuur en minimumtemperatuur voor de pre- en post-dam periode en dit voor de verschillende onderzochte gebieden. Ook duidt Tabel 8 de (bijna) statistisch significante verschillen in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode (op basis van de Mann-Whitney test) aan. Tabel 8 wordt in de volgende secties verder besproken.

Tabel 8:

Gemiddelde waarden van de jaarlijkse (J) en seizoenale (grote regenseizoen (GRS), droge seizoen (DS), kort regenseizoen (KRS)) gemiddelde temperatuur (GEM LST), maximumtemperatuur (MAX LST) en minimumtemperatuur (MIN LST) voor de pre- en post-dam periode en dit voor de verschillende onderzochte gebieden, met aanduiding van (bijna) statistisch significante verschillen in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode (op basis van de Mann-Whitney test).

		Volledig studiegebied		Stuwmeer		Invloedzone 0-10 km		Invloedzone 10-50 km		Invloedzone 50-100 km	
		Pre-dam	Post-dam	Pre-dam	Post-dam	Pre-dam	Post-dam	Pre-dam	Post-dam	Pre-dam	Post-dam
GEM LST (°C)	J	25,3	25,4	32,6	31,2	31,6	31,8	26,5	26,6	24,4	24,5
	GRS	22,8	22,7	31,0	30,3	30,0	30,5	23,9	23,9	21,9	21,7
	DS	24,8	25,4	31,7	30,5	30,8	31,1	26,3	26,7	23,8	24,5
	KRS	29,5	29,1	36,0	33,5	35,0	34,6	30,3	29,9	28,8	28,4
MAX LST (°C)	J	44,4	43,9	51,7	44,9	50,8	49,5	45,7	45,1	43,5	43,0
	GRS	37,4	36,1	47,5	42,0	46,1	45,1	38,7	37,6	36,2	34,9
	DS	45,3	45,6	51,6	44,7	50,9	50,0	46,8	47,0	44,2	44,7
	KRS	52,5	51,5	57,3	49,1	56,7	54,7	53,0	52,0	52,0	51,0
MIN LST (°C)	J	13,9	14,9	20,6	22,6	19,7	20,9	15,0	16,0	13,1	14,1
	GRS	13,5	15,1	19,6	22,1	18,9	20,7	14,2	15,9	12,8	14,4
	DS	13,1	13,8	19,9	22,1	19,0	20,0	14,5	15,1	12,2	12,9
	KRS	15,9	16,5	22,9	24,2	21,9	22,6	17,1	17,6	15,0	15,6

Geel: significant voor $p \leq 0,10$ (bijna statistisch significant)

Groen: significant voor $p \leq 0,05$ (statistisch significant)

6.3.2 Gemiddelde temperatuur

6.3.2.1 Vergelijking gemiddelde rang

Bij de jaarlijkse GEM LST en de seizoenale GEM LST in het kort regenseizoen is er over het stuwmeer een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode. In het droge seizoen is er bij de GEM LST over het volledige studiegebied, over het stuwmeer en in de invloedzone van 50 tot 100 km ook een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang (zie Tabel 8).

De jaarlijkse GEM LST over het stuwmeer neemt 1,4 °C af tussen de pre- en post-dam periode. De seizoenale GEM LST in het droge seizoen neemt over het volledige studiegebied en in de invloedzone van 50 tot 100 km met respectievelijk 0,6 °C en 0,7 °C toe tussen de pre- en post-dam periode. Over het stuwmeer neemt de GEM LST in het droge seizoen met 1,3 °C af tussen de pre- en post-dam periode. De GEM LST in het kort regenseizoen neemt over het stuwmeer met 2,4 °C af tussen de pre- en post-dam periode.

Bij de GEM LST in het groot regenseizoen is er in geen enkel onderzocht gebied een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode.

6.3.2.2 Vergelijking trends

Tabel 9:

Sen's slope (°C/jaar) van de jaarlijkse (J) en seizoenale (grote regenseizoen (GRS), droge seizoen (DS), kort regenseizoen (KRS)) GEM LST voor de verschillende onderzochte gebieden (IZ = invloedzone) en dit voor de pre- en post-dam periode

	Pre-dam					Post-dam				
	volledig studiegebied	stuwmeer	IZ 0-10 km	IZ 10-50 km	IZ 50-100 km	volledig studiegebied	stuwmeer	IZ 0-10 km	IZ 10-50 km	IZ 50-100 km
J	0,02	0,06*	0,06	0,02	0,02	-0,08	-0,10	-0,05	-0,06	-0,08
GRS	-0,04	0,03	0,03	-0,03	-0,04	-0,11	-0,27	-0,19	-0,16	-0,09
DS	0,06**	0,11**	0,11**	0,07*	0,06**	-0,07*	-0,04	-0,01	-0,04	-0,10*
KRS	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	0,10	0,06	0,15	0,15	0,08

* Significant voor $p \leq 0,10$ (bijna statistisch significant)

** Significant voor $p \leq 0,05$ (statistisch significant)

Bij de jaarlijkse GEM LST gaat in alle onderzochte gebieden (volledig studiegebied, stuwmeer, invloedzone 0 tot 10 km, invloedzone 10 tot 50 km, invloedzone 50 tot 100 km) de positieve trend in de pre-dam periode over in een negatieve trend in de post-dam periode. Dit is eveneens het geval voor alle onderzochte gebieden bij de seizoenale GEM LST in het droge seizoen. In het groot regenseizoen neemt bij de GEM LST over het volledige studiegebied, in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km de absolute grootte van de dalende trend toe tussen de pre- en post-dam periode. Over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km gaat bij de GEM LST in het grote regenseizoen de positieve trend in de pre-dam periode over in een negatieve trend in de post-dam periode. Over het stuwmeer is deze trend in de post-dam periode sterk negatief (Sen's slope = -0,27). In het kort regenseizoen neemt bij de GEM LST in alle onderzochte gebieden de absolute grootte van de positieve trend toe tussen de pre- en post-dam periode. Over het stuwmeer is de toename van deze absolute grootte tussen de pre- en post-dam periode echter zeer beperkt.

Opgemerkt dient te worden dat in de pre-dam periode enkel de trends van de GEM LST in het droge seizoen over het volledige studiegebied, over het stuwmeer, in de invloedzone van 0 tot 10 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km statistisch significant zijn. In de post-dam periode zijn er geen significante trends van de GEM LST.

6.3.3 *Maximumtemperatuur*

6.3.3.1 *Vergelijking gemiddelde rang*

Bij de jaarlijkse MAX LST en de seizoenale MAX LST in het droge seizoen en kort regenseizoen is er over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode. In het grote regenseizoen is er bij de MAX LST over het stuwmeer ook een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang (zie Tabel 8). In de invloedzone van 50 tot 100 km wijkt bij de MAX LST in het grote regenseizoen de Mann-Whitney statistiek sterk af van de verwachte waarde ($U = 78,0$ verwachte waarde = 51,0) en is de Mann-Whitney statistiek bijna statistisch significant (p -waarde = 0,06) (zie Tabel 8 en Bijlage 16.19).

De jaarlijkse MAX LST neemt over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km met respectievelijk 6,7 °C en 1,2 °C af tussen de pre- en post-dam periode. De MAX LST in het grote regenseizoen neemt over het stuwmeer en in de invloedzone van 50 tot 100 km met respectievelijk 5,5 °C en 1,3 °C af tussen de pre- en post-dam periode. De MAX LST in het droge seizoen neemt over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km met respectievelijk 6,9 °C en 1,0 °C af tussen de pre- en post-dam periode. De MAX LST in het kort regenseizoen neemt over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km met respectievelijk 8,1 °C en 2,0 °C af tussen de pre- en post-dam periode.

6.3.3.2 Vergelijking trends

Tabel 10:

Sen's slope (°C/jaar) van de jaarlijkse (J) en seizoenale (grote regenseizoenen (GRS), droge seizoenen (DS), kort regenseizoenen (KRS)) MAX LST voor de verschillende onderzochte gebieden (IZ = invloedzone) en dit voor de pre- en post-dam periode

Pre-dam						Post-dam					
	volledig studiegebied	stuwmeer	IZ 0-10 km	IZ 10-50 km	IZ 50-100 km		volledig studiegebied	stuwmeer	IZ 0-10 km	IZ 10-50 km	IZ 50-100 km
J	0,03	0,03	0,04	0,05	0,02	J	-0,14	0,18	0,11	-0,09	-0,17
GRS	-0,09	-0,07	-0,08	-0,08	-0,10	GRS	0,11	0,23	0,03	0,18	0,07
DS	0,05	0,07	0,06	0,04	0,07	DS	-0,26	0,16	-0,01	-0,16	-0,37
KRS	0,06	-0,03	-0,02	0,04	0,07	KRS	0,09	0,08	0,05	0,10	0,03

* Significant voor $p \leq 0,10$ (bijna statistisch significant)

** Significant voor $p \leq 0,05$ (statistisch significant)

Bij de jaarlijkse MAX LST gaat over het volledige studiegebied, in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km de positieve trend in de pre-dam periode over in een negatieve trend in de post-dam periode. Over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km neemt de absolute grootte van de positieve trend toe tussen de pre- en post-dam periode. Bij de MAX LST in het groot regenseizoen gaat in alle onderzochte gebieden de negatieve trend in de pre-dam periode over in een positieve trend in de post-dam periode. Over het stuwmeer is deze trend in de post-dam periode sterk positief (Sen's slope = 0,23). In het droge seizoen gaat de MAX LST over het volledige studiegebied, in de invloedzone van 0 tot 10 km, in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km over van een positieve trend in de pre-dam periode naar een negatieve trend in de post-dam periode. Over het volledige studiegebied en in de invloedzone van 50 tot 100 km is deze trend in de post-dam periode sterk negatief (respectievelijk Sen's slope = -0,26 en -0,37). Over het stuwmeer neemt in het droge seizoen bij de MAX LST de absolute grootte van de positieve trend toe tussen de pre- en post-dam periode. Bij de MAX LST in het kort regenseizoen neemt over het volledige studiegebied en in de invloedzone van 10 tot 50 km de absolute grootte van de positieve trend toe tussen de pre- en post-dam periode. Deze toename in absolute grootte is echter beperkt. Over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km gaat bij de MAX LST in het kort regenseizoen de negatieve trend in de pre-dam periode over in een positieve trend in de post-dam periode. In de invloedzone van 50 tot 100 km neemt bij de MAX LST in het kort regenseizoen de absolute grootte van de positieve trend in beperkte mate af tussen de pre- en post-dam periode.

Opgemerkt dient te worden dat zowel in de pre-dam als post-dam periode geen enkele trend van de MAX LST statistisch significant is.

6.3.4 *Minimumtemperatuur*

6.3.4.1 *Vergelijking gemiddelde rang*

Bij zowel de jaarlijkse MIN LST en de seizoenale MIN LST in alle seizoenen is er in alle onderzochte gebieden een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode (zie Tabel 8).

De jaarlijkse MIN LST neemt over het volledige studiegebied, over het stuwmeer, in de invloedzone van 0 tot 10 km, in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km met respectievelijk 1,0 °C, 2,1 °C, 1,2 °C, 0,9 °C en 1,0 °C toe tussen de pre- en post-dam periode. De MIN LST in het grote regenseizoen neemt over het volledige studiegebied, over het stuwmeer, in de invloedzone van 0 tot 10 km, in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km met respectievelijk 1,6 °C, 2,5 °C, 1,8 °C, 1,7 °C en 1,6 °C toe tussen de pre- en post-dam periode. De MIN LST in het droge seizoen neemt over het volledige studiegebied, over het stuwmeer, in de invloedzone van 0 tot 10 km, in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km met respectievelijk 0,7 °C, 2,1 °C, 1,0 °C, 0,6 °C en 0,7 °C toe tussen de pre- en post-dam periode. De MIN LST in het kort regenseizoen neemt over het volledige studiegebied, over het stuwmeer, in de invloedzone van 0 tot 10 km, in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km met respectievelijk 0,6 °C, 1,3 °C, 0,6 °C, 0,5 °C en 0,6 °C toe tussen de pre- en post-dam periode.

6.3.4.2 Vergelijking trends

Tabel 11:

Sen's slope (°C/jaar) van de jaarlijkse (J) en seizoenale (grote regenseizoen (GRS), droge seizoen (DS), kort regenseizoen (KRS)) MIN LST voor de verschillende onderzochte gebieden (IZ = invloedzone) en dit voor de pre- en post-dam periode

Pre-dam						Post-dam					
	volledig studiegebied	stuwmeer	IZ 0-10 km	IZ 10-50 km	IZ 50-100 km		volledig studiegebied	stuwmeer	IZ 0-10 km	IZ 10-50 km	IZ 50-100 km
J	0,07 **	0,11 **	0,10 **	0,08 **	0,07 **	J	-0,07	-0,05	-0,09	-0,07	-0,08
GRS	0,06	0,12 *	0,09 *	0,07	0,06	GRS	-0,12	-0,26	-0,27	-0,17	-0,10
DS	0,07 **	0,11 **	0,10 **	0,07 **	0,06 **	DS	-0,10	-0,07	-0,07	-0,10	-0,11
KRS	0,07 **	0,09 **	0,08 *	0,06 *	0,07 **	KRS	0,05	0,01	-0,03	0,07	0,04

* Significant voor $p \leq 0,10$ (bijna statistisch significant)

** Significant voor $p \leq 0,05$ (statistisch significant)

Bij de jaarlijkse MIN LST gaat in alle onderzochte gebieden de positieve trend in de pre-dam periode over in een negatieve trend in de post-dam periode. Dit is eveneens het geval voor alle onderzochte gebieden bij de MIN LST in het groot regenseizoen en het droge seizoen. Over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km is in het groot regenseizoen de post-dam trend sterk negatief (respectievelijk Sen's slope = -0,26 en -0,27). In het kort regenseizoen neemt bij de MIN LST over het volledige studiegebied, over het stuwmeer en in de invloedzone van 50 tot 100 km de absolute grootte van de positieve trend af tussen de pre- en post-dam periode. Over het volledige studiegebied en in de invloedzone van 50 tot 100 km is deze afname in absolute grootte tussen de pre- en post-dam trend echter beperkt. In de invloedzone van 0 tot 10 km gaat de MIN LST in het kort regenseizoen over van een positieve trend in de pre-dam periode naar een negatieve trend in de post-dam periode. In de invloedzone van 10 tot 50 km is er bij de MIN LST in het kort regenseizoen weinig verschil tussen de absolute grootte van de positieve pre- en post-dam trend.

In de pre-dam periode zijn de trends van de jaarlijkse MIN LST en de MIN LST in het droge seizoen statistisch significant over alle onderzochte gebieden. In het kort regenseizoen zijn de pre-dam trends van de MIN LST significant over het volledige studiegebied, over het stuwmeer en in de invloedzone van 50 tot 100 km. In de post-dam periode is geen enkele trend van de MIN LST statistisch significant.

6.4 Vergelijking neerslag tussen pre- en post-dam periode

6.4.1 Overzicht

Tabel 12 toont een overzicht van de gemiddelde waarden van de jaarlijkse en seizoenale neerslaghoeveelheid, het jaarlijks en seizoenaal aantal neerslagdagen, het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen voor de pre- en post-dam periode en dit voor de verschillende onderzochte gebieden. Ook duidt Tabel 12 de (bijna) statistisch significante verschillen in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode (op basis van de Mann-Whitney test) aan. Tabel 12 wordt in de volgende secties verder besproken.

Tabel 12:

Gemiddelde waarden van de jaarlijkse (J) en seizoenale (grote regenseizoen (GRS), droge seizoen (DS), kort regenseizoen (KRS)) neerslaghoeveelheid (mm), het jaarlijks en seizoenaal aantal neerslagdagen, het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden (mm) en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen voor de pre- en post-dam periode en dit voor de verschillende onderzochte gebieden, met aanduiding van (bijna) statistisch significante verschillen in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode (op basis van de Mann-Whitney test)

		Volledig studiegebied		Stuwmeer		Invloedzone 0-10 km		Invloedzone 10-50 km		Invloedzone 50-100 km	
		pre-dam	post-dam	pre-dam	post-dam	pre-dam	post-dam	pre-dam	post-dam	pre-dam	post-dam
Neerslag-Hoeveelheid (mm)	J	830,3	836,0	665,1	626,2	699,2	677,7	836,3	826,4	836,5	850,6
	GRS	663,6	655,7	524,3	497,5	553,2	531,6	666,4	646,7	669,7	667,7
	DS	53,8	59,4	50,0	39,6	49,6	46,5	55,2	57,8	53,5	60,9
	KRS	113,0	120,9	90,7	89,1	96,4	99,6	114,7	121,9	113,3	122,0
Aantal neerslag-dagen	J	128,0	133,0	84,6	84,4	95,2	97,2	118,0	121,2	132,0	136,2
	GRS	87,0	91,1	56,2	60,5	63,3	68,6	79,6	84,1	89,4	93,8
	DS	14,9	15,6	14,3	9,8	15,2	12,3	15,9	14,6	15,3	15,2
	KRS	26,2	26,3	14,1	14,0	16,7	16,3	22,5	22,5	27,4	27,2
99ste percentiel (mm)	J	20,9	19,9	21,3	19,0	21,6	19,5	22,9	20,8	20,5	19,8
Aantal extreme neerslagdagen	J	5,4	4,4	5,0	3,1	5,2	3,5	6,5	4,8	5,1	4,3

Geel: significant voor $p \leq 0,10$ (bijna statistisch significant)

Groen: significant voor $p \leq 0,05$ (statistisch significant)

6.4.2 Neerslaghoeveelheid

6.4.2.1 Vergelijking gemiddelde rang

Bij de neerslaghoeveelheid in het droge seizoen is er over het stuwmeer een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode (zie Tabel 12). De neerslaghoeveelheid in het droge seizoen over het stuwmeer neemt met 10,4 mm of 21% af tussen de pre- en post-dam periode. Bij de jaarlijkse neerslaghoeveelheid en de neerslaghoeveelheid in het groot regenseizoen en kort regenseizoen is er in geen enkel onderzocht gebied een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode.

6.4.2.2 Vergelijking trends

Tabel 13:

Sen's slope (mm/jaar) van de jaarlijkse (J) en seizoenale (grote regenseizoen (GRS), droge seizoen (DS), kort regenseizoen (KRS)) neerslaghoeveelheid voor de verschillende onderzochte gebieden (IZ = invloedzone) en dit voor de pre- en post-dam periode

Pre-dam						Post-dam					
	volledig studiegebied	stuwmeer	IZ 0-10 km	IZ 10-50 km	IZ 50-100 km		volledig studiegebied	stuwmeer	IZ 0-10 km	IZ 10-50 km	IZ 50-100 km
J	5,04	4,30	3,78	4,67	5,39	J	5,92	-3,63	0,41	4,00	6,49
GRS	6,34 *	4,66 *	5,31	5,63 *	6,13 **	GRS	2,59	-1,55	-0,99	0,06	3,89
DS	-0,24	0,00	-0,20	-0,23	-0,26	DS	3,26 *	0,01	1,80	2,56 *	3,57 **
KRS	-0,53	-0,33	-0,59	-0,43	-0,60	KRS	-0,62	-1,40	-1,36	-1,29	-0,04

* Significant voor $p \leq 0,10$ (bijna statistisch significant)

** Significant voor $p \leq 0,05$ (statistisch significant)

Bij de jaarlijkse neerslaghoeveelheid neemt over het volledige studiegebied en de invloedzone 50 tot 100 km de absolute grootte van de positieve trend toe tussen de pre- en post-dam periode. Over het stuwmeer gaat bij de jaarlijkse neerslaghoeveelheid de sterke positieve trend in de pre-dam periode over in een sterke negatieve trend in de post-dam periode. Bij de invloedzone van 0 tot 10 km en de invloedzone van 10 tot 50 km neemt bij de jaarlijkse neerslaghoeveelheid de absolute grootte van de sterk positieve trend af tussen de pre- en post-dam periode. Bij de invloedzone van 0 tot 10 km is deze afname sterk. Bij de seizoenale neerslaghoeveelheid in het groot regenseizoen neemt over het volledige studiegebied, in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km de

absolute grootte van de positieve trend sterk af tussen de pre- en post-dam periode. In de invloedzone van 10 tot 50 km is de post-dam trend licht positief of heeft een helling gelijk aan nul (Kendall's tau = 0,00 (zie Bijlage 16.38), Sen's slope = 0,06). Over het stuwmeer en binnen de invloedzone van 0 tot 10 km gaat bij de neerslaghoeveelheid in het groot regenseizoen de sterk positieve trend in de pre-dam periode over in een negatieve trend in de post-dam periode. In het droog seizoen gaat over het volledig studiegebied, in de invloedzone van 0 tot 10 km, in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km de zwakke negatieve trend in de pre-dam periode over in een sterke positieve trend in de post-dam periode. Over het stuwmeer heeft in het droge seizoen de pre-dam trend een helling gelijk aan nul (Kendall's tau = 0,00 (Bijlage 16.34), Sen's slope = 0,00). Een gelijkaardige trend (helling gelijk aan nul of licht positief) is eveneens terug te vinden in de post-dam periode (Kendall's tau = 0,00 (Bijlage 16.34), Sen's slope = 0,01). In het kort regenseizoen neemt over het volledig studiegebied, over het stuwmeer, in de invloedzone van 0 tot 10 km en in de invloedzone van 10 tot 50 km de absolute grootte van de negatieve trend toe tussen de pre- en post-dam periode. Over het volledig studiegebied is deze toename in absolute grootte echter zeer beperkt. In de invloedzone van 50 tot 100 km neemt in het kort regenseizoen de absolute grootte van de negatieve trend toe tussen de pre- en post-dam periode. Hierbij heeft de post-dam trend een licht negatieve helling of een helling gelijk aan nul (Kendall's tau = 0,00 (Bijlage 16.40), Sen's slope = -0,04).

In de pre-dam periode is enkel de trend in het groot regenseizoen in de invloedzone van 50 tot 100 km statistisch significant. Bij de post-dam periode is enkel de trend in het droog seizoen in de invloedzone van 50 tot 100 km statistisch significant .

6.4.3 Aantal neerslagdagen

6.4.3.1 Vergelijking gemiddelde rang

Bij het aantal neerslagdagen in het droge seizoen is er over het stuwmeer en binnen de invloedzone van 0 tot 10 km een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode (zie Tabel 12). In het grote regenseizoen wijkt bij het aantal neerslagdagen binnen de invloedzone van 0 tot 10 km en binnen de invloedzone van 50 tot 100 km de Mann-Whitney statistiek sterk af van de verwachte waarde (respectievelijk $U = 114,5$ en $114,0$, verwachte waarde = $175,5$) en is de Mann-Whitney statistiek bijna statistisch significant (respectievelijk p-waarde = $0,08$ en $0,08$) (zie Tabel 12 en Bijlage 16.35 en Bijlage 16.39).

Het aantal neerslagdagen in het droge seizoen neemt over het stuwmeer en binnen de invloedzone van 0 tot 10 km met respectievelijk 4,5 neerslagdagen of 31% en 3 neerslagdagen of 19% af tussen de pre- en post-dam periode. Het aantal neerslagdagen in het grote regenseizoen neemt binnen de invloedzone van 0 tot 10 km en binnen de invloedzone van 50 tot 100 km met respectievelijk 5,5 neerslagdagen of 8% en 4,5 neerslagdagen of 5% toe.

Bij het jaarlijks aantal neerslagdagen en het aantal neerslagdagen in het kort regenseizoen is er in geen enkel onderzocht gebied een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode.

6.4.3.2 Vergelijking trends

Tabel 14:

Sen's slope (dagen/jaar) van het jaarlijks (J) en seizoenaal (grote regenseizoen (GRS), droge seizoen (DS), kort regenseizoen (KRS)) aantal neerslagdagen voor de verschillende onderzochte gebieden (IZ = invloedzone) en dit voor de pre- en post-dam periode

Pre-dam						Post-dam					
	volledig studiegebied	stuwmeer	IZ 0-10 km	IZ 10-50 km	IZ 50-100 km		volledig studiegebied	stuwmeer	IZ 0-10 km	IZ 10-50 km	IZ 50-100 km
J	0,07	0,13	0,00	-0,13	-0,08	J	2,42**	0,51	1,25*	1,73**	3,00**
GRS	0,25	0,18	0,11	0,17	0,22	GRS	1,33**	0,76	0,63	0,78	1,38**
DS	-0,13	0,00	-0,12*	-0,20**	-0,14	DS	0,80**	-0,05	0,32	0,33	1,00**
KRS	0,00	0,00	-0,05	-0,15	-0,19	KRS	0,46	0,14	0,39	0,45	0,29

* Significant voor $p \leq 0,10$ (bijna statistisch significant)

** Significant voor $p \leq 0,05$ (statistisch significant)

Bij het jaarlijks aantal neerslagdagen neemt over het volledig studiegebied en over het stuwmeer de absolute grootte van de positieve trend toe tussen de pre- en post-dam periode. Over het volledig studiegebied is deze toename in absolute grootte sterk. In de invloedzone van 0 tot 10 km heeft de pre-dam trend van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid een licht negatieve helling of een helling gelijk aan nul (Kendall's tau = -0,02, Sen's slope = 0,00). In de post-dam periode gaat deze trend over in een positieve trend. In de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km gaat bij het jaarlijks aantal neerslagdagen de negatieve trend in de pre-dam periode over in een positieve trend in de post-dam periode. In de invloedzone van 50 tot 100 km is de post-dam trend sterk positief. Bij het aantal neerslagdagen in het groot regenseizoen neemt in alle onderzochte gebieden de absolute grootte van de positieve trend toe tussen de pre- en post-dam periode. In het droge seizoen gaat over het volledig studiegebied, in de invloedzone van 0 tot 10 km, in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km de negatieve trend in de pre-dam periode over in een positieve trend in de post-dam periode. Over het stuwmeer heeft bij het aantal neerslagdagen in het droge seizoen de pre-dam trend een licht positieve helling of een helling gelijk aan nul (Kendall's tau = 0,06, Sen's slope = 0,00). In de post-dam periode gaat deze trend over in een licht negatieve trend. In

het kort regenseizoen over het volledig studiegebied heeft de pre-dam trend een licht negatieve helling of een helling gelijk aan nul (Kendall's tau = -0,07 (zie Bijlage 16.32), Sen's slope = 0,00). Over het stuwmeer heeft de pre-dam trend een helling gelijk aan nul (Kendall's tau = 0,00 (Bijlage 16.34), Sen's slope = 0,00). Over zowel het volledig studiegebied als over het stuwmeer is in het kort regenseizoen de post-dam trend positief. In de invloedzone van 0 tot 10 km, in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km gaat in het kort regenseizoen de negatieve trend in de pre-dam periode over in een positieve trend in de post-dam periode.

In de pre-dam periode is enkel de trend van het aantal neerslagdagen in het droge seizoen over de invloedzone van 10 tot 50 km statistisch significant. In de post-dam periode is bij het jaarlijks aantal neerslagdagen de trend over het volledig studiegebied, in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km statistisch significant. In het groot regenseizoen en droog seizoen is de post-dam trend van het aantal neerslagdagen statistisch significant over het volledig studiegebied en in de invloedzone van 50 tot 100 km.

6.4.4 99^{ste} percentiel dagelijkse neerslaghoeveelheden

6.4.4.1 Vergelijking gemiddelde rang

Bij het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden is er over het stuwmeer een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode (zie Tabel 12). Binnen de invloedzone van 0 tot 10 km en binnen de invloedzone van 10 tot 50 km wijkt bij het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden de Mann-Whitney statistiek sterk af van de verwachte waarde (respectievelijk $U = 235,0$ en $240,0$, verwachte waarde = $175,5$) en is de Mann-Whitney statistiek bijna statistisch significant (respectievelijke p-waarde = $0,09$ en $0,06$) (Tabel 12, Bijlage 16.35 en Bijlage 16.37).

Het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden neemt over het stuwmeer, binnen de invloedzone van 0 tot 10 km en binnen de invloedzone van 10 tot 50 km met respectievelijk 2,3 mm of 10,90%, 2,0 mm of 9,47% en 2,0 mm of 8,83% af tussen de pre- en post-dam periode.

6.4.4.2 Vergelijking trends

Tabel 15:

Sen's slope (mm/jaar) van het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden voor de verschillende onderzochte gebieden (IZ = invloedzone) en dit voor de pre- en post-dam periode

	volledig studiegebied	Stuwmeer	IZ 0-10 km	IZ 10-50 km	IZ 50-100 km
Pre-dam	0,17 *	0,12	0,08	0,17	0,16 *
Post-dam	-0,25 *	-0,18	-0,31 *	-0,36 *	-0,28

* Significant voor $p \leq 0,10$ (bijna statistisch significant)

** Significant voor $p \leq 0,05$ (statistisch significant)

Bij het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden gaat in alle onderzochte gebieden de positieve trend in de pre-dam periode over in een negatieve trend in de post-dam periode. De absolute grootte van de post-dam trend is ook groter dan deze van de pre-dam trend.

Er is geen enkele pre- of post-dam trend van het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden statistisch significant.

6.4.5 Jaarlijks aantal extreme neerslagdagen

6.4.5.1 Vergelijking gemiddelde rang

Bij het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen is er over het stuwmeer en binnen de invloedzone van 0 tot 10 km een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode (Tabel 12).

Het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen neemt over het stuwmeer en binnen de invloedzone van 0 tot 10 km met respectievelijk 2 neerslagdagen of 38% en 1,5 neerslagdagen of 32% af tussen de pre- en post-dam periode.

6.4.5.2 Vergelijking trends

Tabel 16:

Sen's slope (dagen/jaar) van het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen voor de verschillende onderzochte gebieden (IZ = invloedzone) en dit voor de pre- en post-dam periode

	Volledig studiegebied	Stuwmeer	IZ 0-10 km	IZ 10-50 km	IZ 50-100 km
Pre-dam	0,11	0,00	0,00	0,07	0,13*
Post-dam	-0,16	-0,17	-0,21	-0,19	-0,13

* Significant voor $p \leq 0,10$ (bijna statistisch significant)

** Significant voor $p \leq 0,05$ (statistisch significant)

Bij het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen over het volledig studiegebied, in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km gaat de positieve trend in de pre-dam periode over in een negatieve trend in de post-dam periode. Bij het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km heeft de pre-dam trend een licht positieve helling of een helling gelijk aan nul (respectievelijk Kendall's tau = 0,05 en 0,04, Sen's slope = 0,00 en 0,00). In de post-dam periode is over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km een negatieve trend terug te vinden.

Er is geen enkele pre- en post-dam trend van het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen statistisch significant.

7. DISCUSSIE

7.1 Interpretatie resultaten

7.1.1 Impact op pre- en post-dam gemiddelde

7.1.1.1 Temperatuur

Bij de jaarlijkse GEM LST en de seizoenale GEM LST in het droge seizoen en in het kort regenseizoen is er over het stuwmeer een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode. Hierbij is er telkens een afname in de GEM LST. De significante afnames over het stuwmeer variëren tussen 1,3 °C (in het droge seizoen over het stuwmeer) en 2,4 °C (in het kort regenseizoen over het stuwmeer). Aangezien de significante afname van de GEM LST tussen de pre- en post-dam periode enkel optreedt over het stuwmeer lijkt deze veroorzaakt te worden door de komst van het stuwmeer. Deze bevindingen komen overeen met deze van Ekhtiari *et al.* (2017) en Fathalli *et al.* (2020), die een afname van de dagelijkse gemiddelde (lucht)temperatuur vast stelden als gevolg van een (stuw)meer. Fathalli *et al.* (2020) bevestigen dat de effecten vooral boven het meer plaatsvinden.

In het grote regenseizoen is er dus geen statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode. Van de twee andere seizoenen treedt in het kort regenseizoen bij de GEM LST over het stuwmeer de sterkste daling tussen de pre- en post-dam periode op, namelijk 2,4 °C. Ook uit het onderzoek van Thiery *et al.* (2015), dat echter wel uitgevoerd is voor een tropisch klimaat, volgt dat de sterkste daling in temperatuur plaats vind in de maanden volgend op het droge seizoen.

Bij de GEM LST in het droge seizoen is er over het volledige studiegebied en in de invloedzone van 50 tot 100 km ook een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode. Hierbij is er een toename in de GEM LST. De toename in de GEM LST in het droge seizoen over het volledige studiegebied en in de invloedzone van 50 tot 100 km lijkt echter niet het gevolg te zijn van het stuwmeer doordat over het stuwmeer zelf een afname in de GEM LST plaatsvindt. Bovendien is er geen statistisch significant verschil in de invloedzone van 0 tot 10 km en in de invloedzone van 10 tot 50 km, waardoor er ook geen significant verschil verwacht wordt in de invloedzone van 50 tot 100 km. Uit het onderzoek van onder meer Thiery *et al.* (2015) en Fathalli *et al.* (2020) blijkt namelijk dat de afstand tot het meer een belangrijke rol speelt bij de invloed ervan en dat de effecten vooral boven het meer plaatsvinden.

Bij de jaarlijkse MAX LST en de MAX LST in het droge seizoen en kort regenseizoen is er over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode. In het grote regenseizoen is er bij de MAX LST over het

stuwmeer ook een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang. Hierbij is er telkens een afname in de MAX LST. De significante afnames over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km variëren tussen 1,0 °C (in het droge seizoen in de invloedzone van 0 tot 10 km) en 8,1 °C (in het kort regenseizoen over het stuwmeer). Aangezien de afname enkel statistisch significant is over het stuwmeer en in de aangrenzende invloedzone van 0 tot 10 km lijkt deze veroorzaakt te worden door de komst van het stuwmeer. Ook het onderzoek van Ekhtiari *et al.* (2017) en Fathalli *et al.* (2020) vinden een afname van de dagtemperatuur ten gevolge van een (stuw)meer. Er heerst echter ook een lichte dalende trend in de jaarlijkse MAX LST over de volledige tijdsperiode (zie sectie 6.1.1) waardoor een fractie van de afname tussen de pre- en post-dam periode hieraan te wijten is.

Van de drie seizoenen treedt bij de MAX LST over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km de sterkste daling tussen de pre- en post-dam periode, net zoals bij de GEM LST, op in het kort regenseizoen. Deze daling in het kort regenseizoen over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km bedraagt respectievelijk 8,1 °C en 2,0 °C.

Bij de MAX LST in het grote regenseizoen is er in de invloedzone van 50 tot 100 km een bijna statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode. Hierbij is er een afname in de MAX LST. Aangezien er in de invloedzone van 0 tot 10 km en in de invloedzone van 10 tot 50 km geen statistisch significant verschil is, lijkt de afname in de MAX LST in het grote regenseizoen in de invloedzone van 50 tot 100 km niet te wijten aan de komst van het stuwmeer.

Zowel bij de GEM LST over het stuwmeer en de MAX LST in de invloedzone van 0 tot 10 km is er in het grote regenseizoen geen statistisch significant verschil tussen de pre- en post-dam periode terwijl dit wel het geval is in de andere seizoenen. Daarnaast is bij de MAX LST over het stuwmeer de significante afname tussen de pre- en post-dam periode het kleinst in het grote regenseizoen. Uit bovenstaande vaststellingen volgt dat het stuwmeer in het grote regenseizoen een kleinere impact lijkt te hebben. Volgens Degu *et al.* (2011) oefenen grote dammen in mediterrane klimaten de sterkste invloed uit op het lokale klimaat, terwijl grote dammen weinig invloed hebben in vochtige subtropische klimaten. Deze verschillen tussen klimaten kunnen verklaard worden door te kijken naar de vochtfluxen (Degu *et al.*, 2011). Indien bovenstaande redenering doorgetrokken wordt naar het verschil tussen seizoenen (droge seizoen t.o.v. grote regenseizoen/kort regenseizoen) klopt de observatie dat in het grote regenseizoen er weinig invloed is van het stuwmeer.

Bij zowel de jaarlijkse MIN LST en de seizoenale MIN LST in alle seizoenen is er in alle onderzochte gebieden een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode. Hierbij is er overal een toename in de MIN LST. Deze significante toenames variëren tussen 0,5 °C (in het kort regenseizoen in de invloedzone van 10 tot 50 km) en 2,5 °C (in het grote regenseizoen over het stuwmeer). Deze bevindingen zijn in lijn met Ekhtiari *et al.* (2017) en Fathalli *et al.* (2020), die ook vonden dat de nachttemperatuur toeneemt ten gevolge van een (stuw)meer. De sterkste toename tussen de pre- en post-dam periode bij de jaarlijkse MIN LST en de MIN LST in alle

seizoenen situeert zich over het stuwmeer. Deze toename over het stuwmeer varieert tussen 1,3 °C (in het kort regenseizoen) en 2,5 °C (in het grote regenseizoen). De absolute grootte van de toename in de MIN LST tussen de pre- en post-dam periode neemt af naarmate de afstand tot het stuwmeer toeneemt. Over de invloedzone van 50 tot 100 km is er echter bij de jaarlijkse MIN LST, de MIN LST in het droge seizoen en in het kort regenseizoen terug een lichte stijging in de absolute grootte van de toename in de MIN LST tussen de pre- en post-dam periode. Ook Fathalli *et al.* (2020) stellen dat de effecten zich vooral boven het meer situeren en dat de effecten benedenwinds van het meer veel zwakker zijn. Op basis van bovenstaande vaststellingen wordt verondersteld dat de toename in de MIN LST over alle onderzochte gebieden veroorzaakt wordt door de komst van het stuwmeer. Er heerst echter ook een stijgende trend in de jaarlijkse MIN LST over de volledige tijdsperiode (zie sectie 6.1.1) waardoor een deel van de toename tussen de pre- en post-dam periode hieraan te wijten is.

Van de drie seizoenen vindt in alle onderzochte gebieden de sterkste stijging in de MIN LST tussen de pre- en post-dam periode plaats in het grote regenseizoen. Deze toename in het grote regenseizoen varieert tussen 1,6 °C (in de invloedzone van 50 tot 100 km) en 2,5 °C (over het stuwmeer).

Figuur 21 toont duidelijk dat bij de GEM LST, de MAX LST en de MIN LST de sterkste veranderingen optreden over het stuwmeer als gevolg van de ingebruikname ervan in 2008. Net zoals in het onderzoek van Fathalli *et al.* (2020) is de afname van de MAX LST sterker dan de toename van de MIN LST.

7.1.1.2 Neerslag

Bij de seizoenale neerslaghoeveelheid in het droge seizoen is er over het stuwmeer een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode. Hierbij is er een afname in de neerslaghoeveelheid. De significante afname over het stuwmeer bedraagt 10,4 mm of 20,85%. De afname in het droge seizoen treedt ook op in de invloedzone van 0 tot 10 km (niet-statistisch significant). Aangezien deze afname over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km tegengesteld is met de toename in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km, lijkt de afname over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km het gevolg van het stuwmeer te zijn. Het stuwmeer lijkt dus een invloed te hebben op de neerslaghoeveelheid, maar dit hoofdzakelijk in het droge seizoen. Belangrijk om hierbij op te merken is dat in het droge seizoen er zeer weinig neerslag valt. Zowel Fathalli *et al.* (2020) en Thiery *et al.* (2015) stellen vast dat meren voor een toename van de neerslaghoeveelheid zorgen. Fathalli *et al.* (2020) vermelden ook dat de neerslaghoeveelheid hoofdzakelijk boven het meer in de winter toeneemt (als gevolg van het warme meer), terwijl deze in de zomer echter afneemt (als gevolg van de koudere temperaturen van het meer). Er wordt echter vastgesteld dat in alle seizoenen de MAX LST in de post-dam periode kouder is dan de omringende invloedzone en de MIN LST in de post-dam periode steeds warmer is dan de omringende invloedzones. Op basis hiervan is de verwachting dat de impact (toename of afname) van het stuwmeer op de neerslaghoeveelheid niet verschilt tussen de seizoenen. Uit Tabel 12 volgt

inderdaad dat de neerslaghoeveelheid net als in het droge seizoen ook in het groot regenseizoen en kort regenseizoen afneemt (niet-statistisch significant). Het verschil tussen zomer en winter zoals beschreven door Fathalli *et al.* (2020) is ook terug te vinden tussen dag en nacht. Door dit verschil is de atmosfeer boven een meer overdag stabiel en 's nachts onstabiel (Bischoff-Gauß *et al.*, 2006; Thiery *et al.*, 2015). Ondanks de jaarlijkse en seizoenale MIN LST over het stuwmeer steeds warmer is dan de MIN LST in de omringende invloedzones, en er dus een toename in neerslaghoeveelheid verwacht wordt, lijkt dit effect niet op te treden bij het Tekezestuwmeer. Net als de bekomen resultaten voor het Tekezestuwmeer vinden Li *et al.* (2017) dat een reservoir een zwakke invloed heeft op de neerslag, maar dat het reservoir op lokale schaal voor verminderde neerslag kan zorgen.

Bij het aantal neerslagdagen in het droge seizoen is er over het stuwmeer en binnen de invloedzone van 0 tot 10 km een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode. Hierbij treedt er een afname op van het aantal neerslagdagen. De significante afname bedraagt over het stuwmeer en binnen de invloedzone van 0 tot 10 km respectievelijk 4,5 neerslagdagen of 31% en 3 neerslagdagen of 19%. De afname in het droge seizoen treedt ook op in de invloedzone van 10 tot 50 km (niet-statistisch significant). De absolute grootte van de afname tussen de pre- en post-dam periode neemt af naarmate de afstand tot het stuwmeer toeneemt. Dit doet vermoeden dat de afname in het aantal neerslagdagen in het droge seizoen het gevolg is van het stuwmeer. Uit het onderzoek van onder meer Thiery *et al.* (2015) en Fathalli *et al.* (2020) blijkt namelijk dat de afstand tot het meer een belangrijke rol speelt bij de invloed ervan en dat de effecten vooral boven het meer plaatsvinden.

Het stuwmeer lijkt hoofdzakelijk in het droge seizoen een impact te hebben op de neerslaghoeveelheid en het aantal neerslagdagen. Indien de redenering op basis van vochtfluxen uit het onderzoek van Degu *et al.* (2011) toegepast wordt op het verschil tussen de seizoenen (eerder toegelicht in sectie 7.1.1.1), dan klopt de observatie dat het stuwmeer in het droge seizoen een grotere impact heeft. Echter zou er dan een toename in de neerslaghoeveelheid en het aantal neerslagdagen verwacht worden en dit is hier niet het geval. Het onderzoek van Thiery *et al.* (2015) (uitgevoerd in een tropisch klimaat) vindt dan weer dat de toename in neerslag het laagst is tijdens het droge seizoen.

Bij het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden is er over het stuwmeer een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode. Binnen de invloedzone van 0 tot 10 km en binnen de invloedzone van 10 tot 50 km is er een bijna statistisch significant verschil. Hierbij is er een afname in het 99^{ste} percentiel. De significante en bijna significante afnames variëren tussen 2,0 mm of 8,83% (in de invloedzone van 10 tot 50 km) en 2,3 mm of 10,90% (over het stuwmeer). De afname treedt ook op in de invloedzone van 50 tot 100 km (niet-statistisch significant). Deze afname in het 99^{ste} percentiel betekent dat de intensiteit van de neerslag afneemt. De absolute grootte van de afname tussen de pre- en post-dam periode neemt af naarmate de afstand tot het stuwmeer toeneemt. Dit doet vermoeden dat de afname van het 99^{ste} percentiel het gevolg is van het

stuwmeer. De bevinding dat het 99^{ste} percentiel afneemt ten gevolge van het stuwmeer is echter tegenstrijdig met het onderzoek van Hossain (2010). Hossain (2010) stelt namelijk dat het 99^{ste} percentiel toeneemt als gevolg van een dam en dit meer uitgesproken in aride en semi-aride klimaten.

Bij het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen is er over het stuwmeer en binnen de invloedzone van 0 tot 10 km een statistisch significant verschil in de gemiddelde rang tussen de pre- en post-dam periode. Hierbij is er een afname in het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen. De statistisch significante afname bedraagt 2 neerslagdagen of 38% over het stuwmeer en 1,5 neerslagdagen of 32% binnen de invloedzone van 0 tot 10 km. De afname treedt ook op binnen de invloedzone van 10 tot 50 km en binnen de invloedzone van 50 tot 100 km (niet-statistisch significant). De absolute grootte van de afname tussen de pre- en post-dam periode neemt af naarmate de afstand tot het stuwmeer toeneemt. Dit doet vermoeden dat de afname van het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen het gevolg is van het stuwmeer. De observatie dat het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen afneemt is echter tegenstrijdig met de bevindingen van Pielke en Zeng (1989), die boven geïrrigeerde regio's meer (en intensere) onweersbuien verwachten.

7.1.2 Impact op pre- en post-dam trends

Ondanks weinig van de pre- en post-dam trends bij de onderzochte temperatuurvariabelen (GEM LST, MAX LST en MIN LST) en neerslagvariabelen (de neerslaghoeveelheid, het aantal neerslagdagen, het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen) in de onderzochte gebieden statistisch significant zijn, neemt in de meeste gevallen de absolute grootte van de trend toe tussen de pre- en post-dam periode of verandert de richting van de trend tussen de pre- en post-dam periode (negatieve trend gaat over in een positieve trend of omgekeerd). Ook Degu *et al.* (2011) vonden dat dammen een verandering in neerslagtrend kunnen veroorzaken of een trend uit de pre-dam periode kunnen versnellen.

7.1.2.1 Temperatuur

De trends van de GEM LST en MIN LST vertonen een gelijkaardig effect ten gevolge van de mogelijke impact van het stuwmeer. Bij de jaarlijkse LST en de LST in het grote regenseizoen en droge seizoen gaat in alle onderzochte gebieden de trends in de pre-dam periode die bijna allemaal positief zijn over in negatieve trends in de post-dam periode.

Bij de GEM LST in het kort regenseizoen neemt in alle onderzochte gebieden de absolute grootte van de positieve trend toe tussen de pre- en post-dam periode. Echter is deze toename in absolute grootte zeer beperkt over het stuwmeer. In het kort regenseizoen bij de MAX LST en MIN LST is bij de verschillende onderzochte gebieden de toename in absolute grootte tussen pre- en post-dam trend beperkt of is er zelfs een daling in de absolute grootte tussen de pre- en post-dam trend. Ook zijn er weinig trends die van richting veranderen tussen pre- en post-dam periode. Op basis van de

bestudeerde pre- en post-dam trends lijkt het stuwmeer dus minder effect te hebben op de LST in het kort regenseizoen. Belangrijk aandachtspunt blijft dat de tijdreeksen van de LST relatief kort zijn en dat dit de trend sterk kan beïnvloeden (zie ook sectie 7.2).

Bij de MAX LST in het grote regenseizoen gaat over alle onderzochte gebieden de negatieve pre-dam trend over in een positieve post-dam trend. Bij de jaarlijkse MAX LST en de MAX LST in het droge seizoen is de situatie iets complexer. De jaarlijkse MAX LST en de MAX LST in het droge seizoen hebben in de pre-dam periode een positieve trend. Bij de jaarlijkse MAX LST gaat deze positieve trend over het volledige studiegebied, in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km over in een negatieve trend in de post-dam periode, terwijl deze positieve trend over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km toeneemt in absolute grootte. Bij de seizoenale MAX LST in het droge seizoen gaat de positieve pre-dam trend over het volledige studiegebied, in de invloedzone van 0 tot 10 km, in de invloedzone van 10 tot 50 km en in de invloedzone van 50 tot 100 km over in een negatieve trend in de post-dam periode, terwijl deze positieve trend toeneemt in absolute grootte over het stuwmeer. Daarnaast neemt bij de jaarlijkse MAX LST en de MAX LST in het droge seizoen de absolute grootte van de eerder vernoemde negatieve trends in de post-dam periode ook toe naarmate de afstand tot het stuwmeer toeneemt. De negatieve trend in de invloedzone van 50 tot 100 km is dan ook sterk negatief. Bijgevolg wordt vermoed dat deze vaststelling van een negatieve post-dam trend mogelijk door een andere factor, en dus niet het stuwmeer, veroorzaakt wordt.

7.1.2.2 Neerslag

Bij de overgang van de pre-dam trends naar de post-dam trends bij de neerslaghoeveelheid is het patroon complex. Opvallend is dat bij de neerslaghoeveelheid over het stuwmeer, met uitzondering van het droge seizoen, in de post-dam periode steeds een sterk negatieve trend heerst, terwijl deze in de pre-dam periode sterk positief (bij de jaarlijkse neerslag en in het grote regenseizoen) of licht negatief (in het kort regenseizoen) was. Een bijkomende opvallendheid is dat in het droge seizoen over het stuwmeer de trend een helling gelijk aan nul heeft en dit onveranderd blijft tussen de pre- en post-dam periode. Bij de jaarlijkse neerslaghoeveelheid en de neerslaghoeveelheid in het grote regenseizoen en kort regenseizoen neemt in de invloedzone van 0 tot 10 km en in de invloedzone van 10 tot 50 km de absolute grootte van de positieve trend (zeer sterk) af, gaat de positieve trend over in een negatieve trend of neemt de absolute grootte van de negatieve trend toe. Hierbij lijkt er dus een tendens naar een afname van de neerslaghoeveelheid of een steeds kleiner wordende toename van de neerslaghoeveelheid. In het droge seizoen gaat in de invloedzone van 0 tot 10 km en in de invloedzone van 10 tot 50 km de negatieve trend in de pre-dam periode over in een positieve trend in de post-dam periode. Het patroon dat gepaard gaat bij de overgang van de pre- naar de post-dam periode in de invloedzone van 0 tot 10 km en in de invloedzone van 10 tot 50 km kan bij de jaarlijkse neerslaghoeveelheid en de neerslaghoeveelheid in het kort regenseizoen niet doorgetrokken worden voor de invloedzone van 50 tot 100 km.

Bij het aantal neerslagdagen zijn alle post-dam trends, m.u.z. van deze in het droge seizoen over het stuwmeer, allemaal positief. De negatieve pre-dam trends of de pre-dam trends met helling gelijk aan nul gaan dus over naar een positieve trend in de post-dam periode. Dit terwijl de positieve trends in absolute grootte toenemen. Dit betekent dat in de post-dam periode er in alle onderzochte gebieden een toename van het aantal neerslagdagen is. Zoals reeds in sectie 6.1.2 besproken lijkt er tussen ongeveer 1996 en ongeveer 2011 een dalende trend te zijn in het jaarlijks aantal neerslagdagen over het volledige studiegebied. Vanaf de periode rond 2011 neemt het aantal neerslagdagen weer toe. Dit bevestigt dat de verandering in trend hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt wordt door de komst van het stuwmeer. De ingebruikname van het stuwmeer (2009) is namelijk dicht bij deze periode gelegen.

De post-dam trend van het jaarlijks aantal neerslagdagen en het aantal neerslagdagen in het grote regenseizoen en droge seizoen is sterk positief in de invloedzone van 50 tot 100 km. Aangezien deze sterk positieve trend enkel optreedt in de invloedzone van 50 tot 100 km speelt hier waarschijnlijk nog een andere factor een rol dan enkel de impact van het stuwmeer.

Bij het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en bij het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen gaat in alle onderzochte gebieden de positieve trend of de trend met helling gelijk aan nul in de pre-dam periode over naar een negatieve trend in de post-dam periode, dewelke ook in absolute grootte sterker is. Zoals in sectie 6.1.2 besproken lijkt het 99^{ste} percentiel en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen tot de periode 2006-2009 toe te nemen, waarna deze terug afneemt/afnemen. Dit bevestigt dat de verandering in trend hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt wordt door de komst van het stuwmeer. De ingebruikname van het stuwmeer (2009) is namelijk in deze periode gelegen.

7.2 Beperkingen van het onderzoek

Een beperking in het onderzoek is enkel het gebruik van satellietgegevens. Grondobservaties zijn namelijk de meest nauwkeurige manier om informatie te verkrijgen over temperatuur en neerslag (Maidment *et al.*, 2017). Grondobservaties zijn echter niet gebruikt in dit onderzoek doordat deze in Afrika onvoldoende zijn vanwege de ruimtelijke en temporele discontinuïteiten (Schreck III & Semazzi, 2004). Bovendien liggen de observatiestations relatief ver van het Tekezestuwmeer, waardoor het moeilijk is om de regionale impact te onderzoeken en het onmogelijk is om een gradiënt in verandering te observeren (J. Nyssen, persoonlijke communicatie, 28 februari 2023). Echter kunnen satellietproducten minder nauwkeurig zijn door de moeilijkheid van lokale kalibratie (Dinku *et al.*, 2018).

Een tweede beperking in het onderzoek is ook aan het gebruik van satellietgegevens te wijten, namelijk dat de gemiddelde temperatuurgegevens niet steeds met dezelfde hoeveelheid gegevens bekomen zijn. Satellieten maken namelijk gebruik van thermisch infrarood voor het meten van de LST. Bij bewolkte condities is het met thermisch infrarood niet mogelijk om de LST te meten. Dit treedt

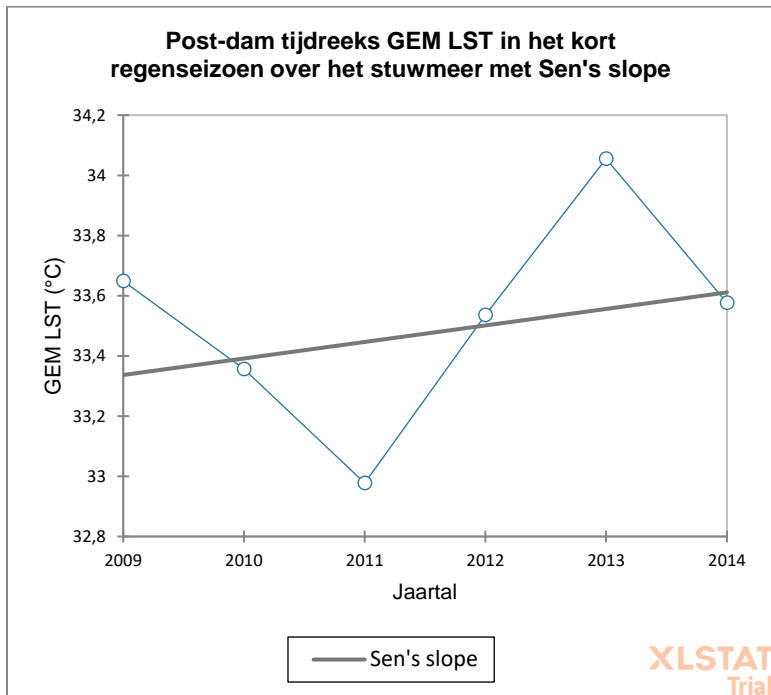
hoofdzakelijk op in het grote regenseizoen en kort regenseizoen wanneer er meer wolken zijn. In deze masterproef werd voor de temperatuurgegevens een gegevensset van de LST op temporele schaal van de maandelijkse gemiddelde dagelijkse cyclus gedownload. Door de aanwezigheid van wolken zijn er uren van de dagelijkse cyclus waarop in bepaalde pixels geen LST gegevens beschikbaar zijn. Bepaalde uren van de maandelijkse gemiddelde dagelijkse cyclus van de LST kunnen hierdoor bepaald zijn op basis van een beperkter aantal dagen van een maand of bepaalde uren van de maandelijkse gemiddelde dagelijkse cyclus kunnen volledig ontbreken (dit betekent dat er op die pixel op een bepaald uur gedurende een volledige maand er steeds bewolkte condities waren). Doordat bij de analyses van de LST gewerkt werd met een gemiddelde LST genomen over een specifiek gebied waren er bij de analyses geen problemen met ontbrekende waarden. Echter kan het dus wel zijn dat door het ontbreken van de LST op bepaalde tijdstippen of het volledig ontbreken van de LST op bepaalde uren van de maandelijks gemiddelde dagelijkse cyclus niet de juiste gemiddelde temperatuur, maximum- en minimumtemperatuur werd bepaald. Ter illustratie mankeert in juli 2010 voor een specifieke pixel binnen de invloedzone van 10 tot 50 km rond het stuwmeer (zie Bijlage 17) voor aanduiding van de pixel evenals de LST gegevens voor die pixel) de LST op 8 van de 24 uren van de maandelijks gemiddelde dagelijkse cyclus. Hierdoor kan aangenomen worden dat de gemiddelde temperatuur, maximum- en minimumtemperatuur voor die pixel zal afwijken van de realiteit.

Opgemerkt dient ook te worden dat bij de temperatuurgegevens gebruik gemaakt wordt van de LST en niet van de luchttemperatuur op twee meter hoogte. De LST geeft steeds een hogere temperatuur dan de luchttemperatuur op twee meter hoogte. De LST wordt mee bepaald door de kleur van het gesteente en de bodem. Hiermee is echter geen rekening gehouden en vormt dus een beperking in dit onderzoek.

Een andere beperking in het onderzoek is dat de gebruikte tijdreeksen van de temperatuur en neerslag relatief kort zijn en dit vooral in de post-dam periode en bij de temperatuurgegevens. De tijdreeks met temperatuurgegevens beslaat 17 jaar in de pre-dam periode en 6 jaar in de post-dam periode. De tijdreeks met neerslaggegevens beslaat 27 jaar in de pre-dam periode en 12 jaar in de post-dam periode. Bij een korte tijdreeks is het moeilijker om een duidelijke trend te bepalen. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 26, deze toont een grafiek met de post-dam tijdreeks van de GEM LST in het kort regenseizoen over het stuwmeer met behorende Sen's slope, en Figuur 27, deze toont een grafiek met de pre-dam tijdreeks van de MAX LST in het droge seizoen over het stuwmeer met bijhorende Sen's slope. De korte duur van de tijdreeks, voornamelijk bij de temperatuurgegevens, kan een sterke invloed hebben op de bepaalde trend (Sen's slope). Naast de korte duur van de tijdreeks bemoeilijkt ook de grote interjaarlijkse variabiliteit, hoofdzakelijk bij de neerslaggegevens, het bepalen van de trend.

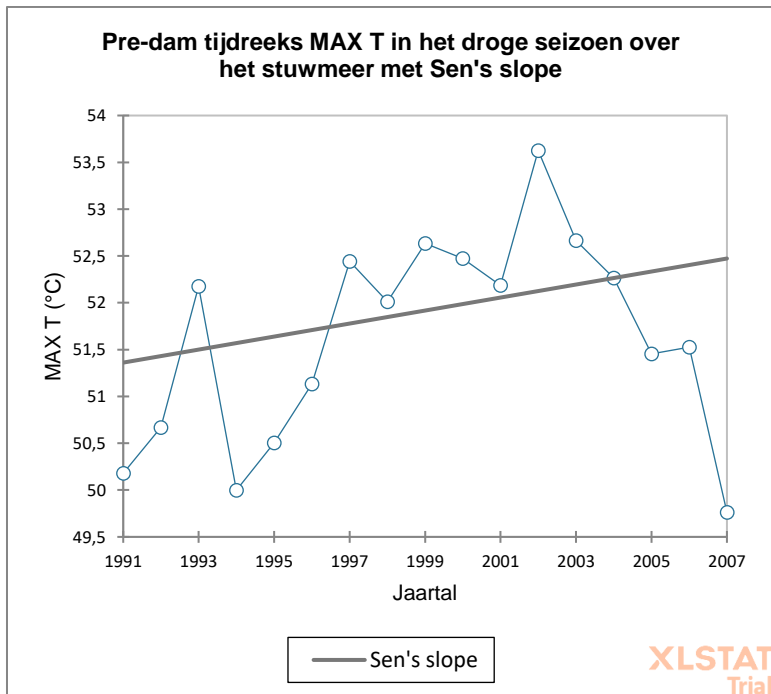
Figuur 26:

Post-dam tijdreeks van de GEM LST in het kort regenseizoen over het stuwmeer met bijhorende Sen's slope



Figuur 27:

Pre-dam tijdreeks van de MAX T in het droge seizoen over het stuwmeer met bijhorende Sen's slope



7.3 Toekomstig onderzoek

Dit onderzoek heeft nagegaan welke impact het Tekezestuwmeer heeft op het regionale klimaat. Aangezien nu aangetoond is dat het stuwmeer een impact heeft op het regionale klimaat kan deze impact in meer detail onderzocht worden. Om een duidelijker beeld van de effectieve impact van het stuwmeer te krijgen, dient de invloed van de heersende trends onderscheiden te worden van de impacts van het stuwmeer. Het onderzoek uit deze masterproef kan ook herhaald worden met gebruik van luchttemperatuurgegevens op twee meter hoogte in plaats van de landoppervlaktetemperatuur. In deze masterproef werd de impact bestudeerd voor de verschillende invloedzones rond het stuwmeer. Toekomstig onderzoek kan de heersende windrichting in rekening brengen en het verschil in impact bestuderen tussen de gebieden windafwaarts en windopwaarts van het stuwmeer. Er kan ook onderzocht worden of en wanneer er een meerbries optreedt en hoeveel kilometer landinwaarts deze dan komt. Verder kan het effect van het stuwmeer bestudeerd worden door dit te gaan simuleren via klimaatmodellen. Naast het onderzoeken van de impact van het Tekezestuwmeer op het regionale klimaat, kan ook de impact van deze regionale klimaatverandering onderzocht worden op onder meer de natuurlijke vegetatie, de bodemerosie en het landbouwsysteem.

8. CONCLUSIE

Het doel van deze masterproef was onderzoeken of het Tekezestuwmeer in Ethiopië een impact (op de gemiddeldes en/of op de trends) heeft op het regionale klimaat (binnen een invloedzone van 100 km). De impact werd bestudeerd op enkele temperatuur- en neerslagvariabelen en dit op jaarlijkse- en seizoenale tijdschaal (grote regenseizoen, droge seizoen en kort regenseizoen) en op verschillende ruimtelijke schalen (volledig studiegebied, stuwmeer, invloedzone 0 tot 10 km, invloedzone 10 tot 50 km, invloedzone 50 tot 100 km). Hiervoor werd, na uitgebreid literatuuronderzoek, gebruik gemaakt van de gegevensset '*Land Surface Temperature Dataset from Meteosat First and Second Generation - Edition 1*' en van de gegevensset '*Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station data*' (CHIRPS). Om de impact te onderzoeken werd de Mann-Whitney test en de Mann-Kendall test (inclusief Sen's slope) uitgevoerd.

Het Tekezestuwmeer zorgt voor een verandering van bepaalde gemiddelde waarden van de temperatuur- en neerslagvariabelen tussen de pre- en post-dam periode. Bij de jaarlijkse gemiddelde temperatuur en de gemiddelde temperatuur van het droge seizoen en kort regenseizoen treedt over het stuwmeer een afname op tussen de pre- en post-dam periode. Deze afname varieert tussen 1,3 °C en 2,4 °C. Ook bij de jaarlijkse maximumtemperatuur en de maximumtemperatuur in alle seizoenen treedt een afname op. Deze afname varieert tussen 1,0 °C en 8,1 °C. Dit is het geval over het stuwmeer en in de invloedzone van 0 tot 10 km (m.u.z. van het grote regenseizoen in de invloedzone van 0 tot 10 km). Daarnaast zorgt het stuwmeer in alle onderzochte gebieden voor een toename van de jaarlijkse minimumtemperatuur en de minimumtemperatuur in alle seizoenen. Deze toename varieert tussen 0,5 °C en 2,5 °C.

Het stuwmeer heeft een beperkte impact op de neerslaghoeveelheid en het aantal neerslagdagen. Enkel in het droge seizoen zorgt het stuwmeer voor een daling van zowel de neerslaghoeveelheid als het aantal neerslagdagen tussen de pre- en post-dam periode. Bij de neerslaghoeveelheid beperkt deze impact zich tot het stuwmeer zelf, terwijl bij het aantal neerslagdagen naast het stuwmeer ook de invloedzone van 0 tot 10 km beïnvloed wordt. De neerslaghoeveelheid in het droge seizoen neemt 10,4 mm af. Het aantal neerslagdagen neemt 4,5 dagen af over het stuwmeer en 3 dagen in de invloedzone van 0 tot 10 km.

Het stuwmeer heeft een meer uitgesproken impact op de extreme neerslag. Het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden neemt over het stuwmeer, binnen de invloedzone van 0 tot 10 km en binnen de invloedzone van 10 tot 50 km af tussen de pre- en post-dam periode. Deze afname varieert tussen 2,0 mm en 2,3 mm. Het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen neemt af over het stuwmeer en binnen de invloedzone van 0 tot 10 km. De afname bedraagt 2 neerslagdagen over het stuwmeer en 1,5 neerslagdagen binnen de invloedzone van 0 tot 10 km.

Naast een verandering in gemiddelde waarde zorgt het stuwmeer bij de temperatuur- en neerslagvariabelen in de meeste gevallen ook voor een verandering in de heersende trend. Deze

verandering in heersende trend houdt in dat de absolute grootte van de trend toeneemt tussen de pre- en post-dam periode of dat de richting van de trend wijzigt tussen de pre- en post-dam periode.

Er is dus aangetoond dat het Tekezestuwmeer een impact uitoefent op het regionale klimaat. Toekomstig onderzoek kan deze impact verder bestuderen door onder meer de invloed van heersende trends te onderscheiden van de impact van het stuwmeer en het effect van het stuwmeer te gaan simuleren. Ook is het belangrijk om de impact van deze regionale klimaatverandering op de natuurlijke vegetatie en het landbouwsysteem te bestuderen.

9. REFERENTIELIJST

Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V., Laue, J., & Knutsson, S. (2020). Dam Safety: General Considerations. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 10(6).

Adgeh, T. M. (2017). Characterization of Present Day Climate Trend Over Ethiopia for Impact Study. In W. Leal Filho, S. Belay, J. Kalangu, W. Menas, P. Munishi, & K. Musiyiwa (Red.), *Climate Change Adaptation in Africa: Fostering Resilience and Capacity to Adapt* (pp. 25-43). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49520-0_3

Annys, S., Ghebreyohannes, T., & Nyssen, J. (2020). Impact of Hydropower Dam Operation and Management on Downstream Hydrogeomorphology in Semi-Arid Environments (Tekeze, Northern Ethiopia). *Water*, 12(8), 2237. <https://doi.org/10.3390/w12082237>

Aswad, F. Kh., Yousif, A. A., & Ibrahim, S. A. (2020). Trend Analysis Using Mann-Kendall and Sen's Slope Estimator Test for Annual and Monthly Rainfall for Sinjar District, Iraq. *Journal of University of Duhok*, 23(2), 501-508.

Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>

Bento, V. A., DaCamara, C. C., Trigo, I. F., Martins, J. P. A., & Duguay-Tetzlaff, A. (2017). Improving Land Surface Temperature Retrievals over Mountainous Regions. *Remote Sensing*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/rs9010038>

Bergner, A. G. N., & Trauth, M. H. (2004). Comparison of the hydrological and hydrochemical evolution of Lake Naivasha (Kenya) during three highstands between 175 and 60 kyr BP. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 215(1), 17-36. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.07.033>

Bischoff-Gauß, I., Kalthoff, N., & Fiebig-Wittmaack, M. (2006). The influence of a storage lake in the Arid Elqui Valley in Chile on local climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 85(3-4), 227-241. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0190-8>

Conway, D. (2000). Some aspects of climate variability in the north east Ethiopian highlands—Wollo and Tigray. *SINET: Ethiopian Journal of Science*, 23(2), 139-161. <https://doi.org/10.4314/sinet.v23i2.18163>

Degu, A. M., & Hossain, F. (2012). Investigating the mesoscale impact of artificial reservoirs on frequency of rain during growing season. *Water Resources Research*, 48(5). <https://doi.org/10.1029/2011WR010966>

Degu, A. M., Hossain, F., Niyogi, D., Pielke Sr., R., Shepherd, J. M., Voisin, N., & Chronis, T. (2011). The influence of large dams on surrounding climate and precipitation patterns. *Geophysical Research Letters*, 38(4). <https://doi.org/10.1029/2010GL046482>

Derin, Y., & Yilmaz, K. K. (2014). Evaluation of Multiple Satellite-Based Precipitation Products over Complex Topography. *Journal of Hydrometeorology*, 15(4), 1498-1516. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-0191.1>

Dinku, T., Funk, C., Peterson, P., Maidment, R., Tadesse, T., Gadain, H., & Ceccato, P. (2018). Validation of the CHIRPS satellite rainfall estimates over eastern Africa. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 144(S1), 292-312. <https://doi.org/10.1002/qj.3244>

Dubache, G., Asmerom, B., Ullah, W., Ogwang, B. A., Amiraslani, F., Weijun, Z., & Gul, C. (2021). Testing the accuracy of high-resolution satellite-based and numerical model output precipitation products over Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology*, 146(3), 1127-1142. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03783-x>

Duguay-Tetzlaff, A., Bento, V. A., Göttsche, F. M., Stöckli, R., Martins, J. P. A., Trigo, I., Olesen, F., Bojanowski, J. S., Da Camara, C., & Kunz, H. (2015). Meteosat Land Surface Temperature Climate Data Record: Achievable Accuracy and Potential Uncertainties. *Remote Sensing*, 7(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/rs71013139>

Duguay-Tetzlaff, A., Bento, V. A., Stöckli, R., Trigo, I., Hollmann, R., & Werscheck, M. (2017). *Algorithm Theoretical Basis Document Land Surface Temperature (LST) (SUMET) Edition 1* (SAF/CM/MeteoSwiss/ATBD/MET/LST; p. 0.6 TiB) [NetCDF v4]. Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF). https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewDoiDetails?acronym=LST_METEOSAT_V001

Duguay-Tetzlaff, A., Bojanowski, J., Göttsche, F., Trigo, I., Hollmann, R., & Werscheck, M. (2017). *Validation Report Land Surface Temperature (LST) (SUMET) Edition 1* (SAF/CM/MeteoSwiss/VAL/MET/LST; p. 0.6 TiB) [NetCDF v4]. Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF). https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewDoiDetails?acronym=LST_METEOSAT_V001

Duguay-Tetzlaff, A., Stöckli, R., Bojanowski, J., Hollmann, R., & Werscheck, M. (2017). *Product User Manual Land Surface Temperature (LST) (SUMET) Edition 1* (SAF/CM/MeteoSwiss/PUM/MET/LST; p.

0.6 TiB) [NetCDF v4]. Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF). https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewDoiDetails?acronym=LST_METEOSAT_V001

Ekhtiari, N., Grossman-Clarke, S., Koch, H., de Souza, W. M., Donner, R. V., & Volkholz, J. (2017). Effects of the Lake Sobradinho Reservoir (Northeastern Brazil) on the Regional Climate. *Climate*, 5(3), 50. <https://doi.org/10.3390/cli5030050>

Fathalli, B., Castel, T., & Pohl, B. (2020). Simulated effects of land immersion on regional arid climate: A case study of the pre-Saharan playa of Chott el-Jerid (south of Tunisia). *Theoretical and Applied Climatology*, 140, 231-250. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03083-5>

Fentaw, F., Melesse, A. M., Hailu, D., & Nigussie, A. (2019). Chapter 10—Precipitation and streamflow variability in Tekeze River basin, Ethiopia. In A. M. Melesse, W. Abteu, & G. Senay (Red.), *Extreme Hydrology and Climate Variability* (pp. 103-121). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815998-9.00010-5>

Freitas, S., Trigo, I., Bioucas-Dias, J., & Göttsche, F.-M. (2010). Quantifying the Uncertainty of Land Surface Temperature Retrievals From SEVIRI/Meteosat. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 48(1), 523-534. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2027697>

Freitas, S., Trigo, I., Macedo, J., Barroso, C., Silva, R., & Perdigao, R. (2013). Land surface temperature from multiple geostationary satellites. *International Journal of Remote Sensing*, 34(9-10), 1-18. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.716925>

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>

Gasse, F. (2000). Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 19(1), 189-211. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00061-X](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00061-X)

Gibbons, F. (2008, december 5). *A Tale of Two Oceans, and the Monsoons*. <https://www.whoi.edu/>
<https://www.whoi.edu/oceanus/feature/a-tale-of-two-oceans-and-the-monsoons/>

Heidinger, A. K., Laszlo, I., Molling, C. C., & Tarpley, D. (2013). Using SURFRAD to Verify the NOAA Single-Channel Land Surface Temperature Algorithm. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 30(12), 2868-2884. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-13-00051.1>

Hossain, F. (2010). Empirical Relationship between Large Dams and the Alteration in Extreme Precipitation. *Natural Hazards Review*, 11(3), 97-101. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000013](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000013)

Hossain, F., Jeyachandran, I., & Pielke Sr., R. (2009). Have Large Dams Altered Extreme Precipitation Patterns? *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 90(48), 453-454. <https://doi.org/10.1029/2009EO480001>

Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., Wolff, D. B., Adler, R. F., Gu, G., Hong, Y., Bowman, K. P., & Stocker, E. F. (2007). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *Journal of Hydrometeorology*, 8(1), 38-55. <https://doi.org/10.1175/JHM560.1>

Hulley, G., Freepartner, R., Malakar, N., & Sarkar, S. (2016). *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Land Surface Temperature and Emissivity Product (MxD21) User Guide*. California Institute of Technology.

Kiros, G., Shetty, A., & Nandagiri, L. (2016). Analysis of variability and trends in rainfall over northern Ethiopia. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(6), 451. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2471-1>

Lanckriet, S., Frankl, A., Adgo, E., Termonia, P., & Nyssen, J. (2015). Droughts related to quasi-global oscillations: A diagnostic teleconnection analysis in North Ethiopia. *International Journal of Climatology*, 35(7), 1534-1542. <https://doi.org/10.1002/joc.4074>

Li, Y., Zhou, W., Chen, X., Fang, D., & Zhang, Q. (2017). Influences of the Three Gorges Dam in China on precipitation over surrounding regions. *Journal of Meteorological Research*, 31(4), 767-773. <https://doi.org/10.1007/s13351-017-6177-4>

Li, Z.-L., Tang, B.-H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I. F., & Sobrino, J. A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131, 14-37. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>

Long, Z., Perrie, W., Gyakum, J., Caya, D., & Laprise, R. (2007). Northern Lake Impacts on Local Seasonal Climate. *Journal of Hydrometeorology*, 8(4), 881-896. <https://doi.org/10.1175/JHM591.1>

Maidment, R., Grimes, D., Black, E., Tarnavsky, E., Young, M., Greatrex, H., Allan, R., Stein, T., Nkonde, E., Senkunda, S., & Uribe Alcántara, E. (2017). A new, long-term daily satellite-based rainfall dataset for operational monitoring in Africa. *Scientific Data*, 4, 1-19. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.63>

- Mehta, A. V., & Yang, S. (2008). Precipitation climatology over Mediterranean Basin from ten years of TRMM measurements. *Advances in Geosciences*, 17, 87-91. <https://doi.org/10.5194/adgeo-17-87-2008>
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated World Map of the Koppen-Geiger Climate Classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Pielke, R. A., & Zeng, X. (1989). Influence on severe storm development of irrigated land. *National Weather Digest*, 14(2), 16-17.
- Samuelsson, P., Kourzeneva, E., & Mironov, D. (2010). The impact of lakes on the European climate as simulated by a regional climate model. *Boreal Environment Research*, 15(2), 113-129.
- Schreck III, C. J., & Semazzi, F. H. M. (2004). Variability of the recent climate of eastern Africa. *International Journal of Climatology*, 24(6), 681-701. <https://doi.org/10.1002/joc.1019>
- Segele, Z. T., Lamb, P. J., & Leslie, L. M. (2009a). Large-scale atmospheric circulation and global sea surface temperature associations with Horn of Africa June-September rainfall. *International Journal of Climatology*, 29(8), 1075.
- Segele, Z. T., Lamb, P. J., & Leslie, L. M. (2009b). Seasonal-to-Interannual Variability of Ethiopia/Horn of Africa Monsoon. Part I: Associations of Wavelet-Filtered Large-Scale Atmospheric Circulation and Global Sea Surface Temperature. *Journal of Climate*, 22(12), 3396-3421. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2859.1>
- Seleshi, Y., & Zanke, U. (2004). Recent Changes in Rainfall and Rainy Days in Ethiopia. *International Journal of Climatology*, 24, 973-983. <https://doi.org/10.1002/joc.1052>
- Shang, H., Yan, J., Gebremichael, M., & Ayalew, S. M. (2010). Trend analysis of extreme precipitation in the Northwestern Highlands of Ethiopia with a case study of Debre Markos. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 15(6), 1937-1944. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1937-2011>
- Shukui, Z., ZiAi, L., & Nan, Z. (2011). Study on Precipitation changes in area nearby Three Gorges Dam(China) in 1958-2008. *Technics Technologies Education Management*, 6(3), 644-650.
- Spinage, C. A. (2012). African ecology—Benchmarks and historical perspectives. In *African Ecology—Benchmarks and Historical Perspectives* (p. 1562). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-22872-8>
- Su, D., Wen, L., Gao, X., Leppäranta, M., Song, X., Shi, Q., & Kirillin, G. (2020). Effects of the Largest Lake of the Tibetan Plateau on the Regional Climate. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(22). <https://doi.org/10.1029/2020JD033396>

- Sun, D., Pinker, R. T., & Basara, J. B. (2004). Land Surface Temperature Estimation from the Next Generation of Geostationary Operational Environmental Satellites: GOES M–Q. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 43(2), 363-372. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2004\)043<0363:LSTEFT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2004)043<0363:LSTEFT>2.0.CO;2)
- Sun, L., Cai, Y., Yang, W., Yi, Y., & Yang, Z. (2019). Climatic variations within the dry valleys in southwestern China and the influences of artificial reservoirs. *Climatic Change*, 155(1), 111-125. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02457-y>
- Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S., & Hsu, K.-L. (2018). A Review of Global Precipitation Data Sets: Data Sources, Estimation, and Intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, 56(1), 79-107. <https://doi.org/10.1002/2017RG000574>
- Tabari, H., Taye, M. T., & Willems, P. (2015). Statistical assessment of precipitation trends in the upper Blue Nile River basin. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(7), 1751-1761. <https://doi.org/10.1007/s00477-015-1046-0>
- Tarnavsky, E., Grimes, D., Maidment, R., Black, E., Allan, R. P., Stringer, M., Chadwick, R., & Kayitakire, F. (2014). Extension of the TAMSAT Satellite-Based Rainfall Monitoring over Africa and from 1983 to Present. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 53(12), 2805-2822. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-14-0016.1>
- Tesfaye, S., Taye, G., Birhane, E., & van der Zee, S. (2019). Observed and model simulated twenty-first century hydro-climatic change of Northern Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100595>
- Thiemig, V., Rojas, R., Zambrano-Bigiarini, M., Levizzani, V., & Roo, A. D. (2012). Validation of Satellite-Based Precipitation Products over Sparsely Gauged African River Basins. *Journal of Hydrometeorology*, 13(6), 1760-1783. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-032.1>
- Thiery, W., Davin, E. L., Panitz, H.-J., Demuzere, M., Lhermitte, S., & van Lipzig, N. (2015). The Impact of the African Great Lakes on the Regional Climate. *Journal of Climate*, 28(10), 4061-4085. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00565.1>
- Tomassetti, B., Giorgi, F., Verdecchia, M., & Visconti, G. (2003). Regional model simulation of the hydrometeorological effects of the Fucino Lake on the surrounding region. *Annales Geophysicae*, 21(11), 2219-2232. <https://doi.org/10.5194/angeo-21-2219-2003>
- Tsidu, G. M. (2012). High-Resolution Monthly Rainfall Database for Ethiopia: Homogenization, Reconstruction, and Gridding. *Journal of Climate*, 25(24), 8422-8443. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00027.1>

Vázquez-Navarro, M., Mayer, B., & Mannstein, H. (2013). A fast method for the retrieval of integrated longwave and shortwave top-of-atmosphere upwelling irradiances from MSG/SEVIRI (RRUMS). *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(10), 2627-2640. <https://doi.org/10.5194/amtd-5-4969-2012>

Vendrov, S. L., & Malik, L. K. (1965). An Attempt to Determine the Influence of Large Reservoirs on Local Climate. *Soviet Geography*, 6(10), 25-40. <https://doi.org/10.1080/00385417.1965.10770207>

Wen, L., Lv, S., Li, Z., Zhao, L., & Nagabhatla, N. (2015). Impacts of the Two Biggest Lakes on Local Temperature and Precipitation in the Yellow River Source Region of the Tibetan Plateau. *Advances in Meteorology*, 2015, 10. <https://doi.org/10.1155/2015/248031>

Williams, A. P., & Funk, C. (2011). A westward extension of the warm pool leads to a westward extension of the Walker circulation, drying eastern Africa. *Climate Dynamics*, 37(11), 2417-2435. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0984-y>

Wu, L., Zhang, Q., & Jiang, Z. (2006). Three Gorges Dam affects regional precipitation. *Geophysical Research Letters*, 33(13). <https://doi.org/10.1029/2006GL026780>

Young, M. P., Williams, C. J. R., Chiu, J. C., Maidment, R. I., & Chen, S.-H. (2014). Investigation of Discrepancies in Satellite Rainfall Estimates over Ethiopia. *Journal of Hydrometeorology*, 15(6), 2347-2369. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-0111.1>

Datasets

Ethiopia Electric Power (EEP). (2019). *Daily Lake Levels in the Tekeze Reservoir, 2008–2019* [dataset]. Ethiopia Electric Power (EEP).

Internetbronnen

Addinsoft. (2022). *XLSTAT* 2022. Addinsoft. https://cdn.xlstat.com/helpcentersfdc/XLSTAT_HELP_EN.pdf

Climate Hazards Group. (2021, maart 30). *CHIRPS FAQ*. Climate Hazards Group wiki. https://wiki.chc.ucsb.edu/CHIRPS_FAQ

Common Landsat Band Combinations. (2021, november 12). USGS. <https://www.usgs.gov/media/images/common-landsat-band-combinations>

DATAtab Team. (2023). *Mann-Whitney U-Test*. DATAtab. <https://datatab.net/tutorial/mann-whitney-u-test>

EUMETSAT. (2021, juli 7). *Land Surface Temperature Dataset from Meteosat First and Second Generation—Edition 1 (SUMET Ed. 1)*. EUMETSAT - Product Navigator. https://navigator.eumetsat.int/product/EO:EUM:CM:MULT:LST_METEOSAT_V001?query=land%20surface%20temperature&results=40&filter=instrument__SEVIRI&s=advanced

EUMETSAT. (2022, mei 11). *AVHRR Level 1B - Metop—Global*. EUMETSAT - Product Navigator. <https://navigator.eumetsat.int/product/EO:EUM:DAT:METOP:AVHRR1?query=Land%20Surface%20Temperature%20-%20Metop&results=18&s=advanced>

Facts and figures. (z.d.). Geraadpleegd 3 maart 2023, van https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-3/Facts_and_figures

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021, juli 13). *Window for planting in northern Ethiopia narrows as hunger catastrophe looms*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/news/story/en/item/1415987/icode/>

Frost, J. (z.d.). *Mann Whitney U Test Explained*. Statistics By Jim. Geraadpleegd 6 juli 2023, van <https://statisticsbyjim.com/hypothesis-testing/mann-whitney-u-test/>

How to access TAMSAT rainfall estimates. (z.d.). Tamsat. Geraadpleegd 17 september 2022, van <https://www.tamsat.org.uk/data>

Hulley, G. (2021). *MOD21A1D v061*. LPDAAC USGS. <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod21a1dv061/>

Hulley, G. C. (2021). *MYD21A1D v061*. LPDAAC USGS. <https://lpdaac.usgs.gov/products/myd21a1dv061/>

Importing Table Data | Google Earth Engine. (2022, december 18). Google Developers. https://developers.google.com/earth-engine/guides/table_upload

Landsat 8 | U.S. Geological Survey. (z.d.). Geraadpleegd 4 maart 2023, van <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>

Landsat Collection 2 Surface Temperature | U.S. Geological Survey. (z.d.). Geraadpleegd 4 maart 2023, van <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-surface-temperature>

Lindsey, R., & Herring, D. (z.d.). *MODIS Brochure*. NASA. Geraadpleegd 8 april 2023, van https://modis.gsfc.nasa.gov/about/media/modis_brochure.pdf

LUMIVERO. (z.d.). *Which statistical test should you use?* XLSTAT Help Center. Geraadpleegd 15 augustus 2023, van https://help.xlstat.com/6443-which-statistical-test-should-you-use?_gl=1*vu7leu*_up*MQ..*_ga*NDEyNzlwNDA0LjE2ODg2NzY1NTQ.*_ga_5SM4BVEF38*MTY4ODY3NjU1NC4xLjAuMTY4ODY3NjU1NC4wLjAuMA..

NASA. (z.d.). *TRMM (TMPA) Rainfall Estimate L3 3 hour 0.25 degree x 0.25 degree V7 (TRMM_3B42) at GES DISC*. EARTHDATA. Geraadpleegd 20 augustus 2023, van https://cmr.earthdata.nasa.gov/search/concepts/C1281704371-GES_DISC.html

Poortinga, A., Nguyen, Q., Thwal, N. S., & Nicolau, A. P. (z.d.). Chapter A2.5: Water Balance and Drought. In *Cloud-Based Remote Sensing with Google Earth Engine: Fundamentals and Applications: Part A2: Aquatic and Hydrological Applications* (pp. 99-132). Geraadpleegd 11 april 2023, van https://docs.google.com/document/d/12cwzbNXtBQnm5switfL1v1v1stnp5D5gXcQeZMP_iJl/edit#heading=h.flisp1bl4t7w

Sentinel-3—Overview. (z.d.). Geraadpleegd 3 maart 2023, van <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3/overview>

Stevenson, J. R., & Debebe, M. (2009, mei 11). *Hydro power in Ethiopia—The staged construction of Tekeze Arch Dam*. <https://www.waterpowermagazine.com/features/featurehydro-power-in-ethiopia-the-staged-construction-of-tekeze-arch-dam/>

10. BIJLAGEN

Bijlage 1: Script Google Earth Engine voor downloaden dagelijkse neerslaggegevens

```

1 //Toevoegen van de feature collection die het Tekezestuwmeer,
2 //de verschillende buffers rond het stuwmeer en het volledige studiegebied aangeeft
3 var stuwmeer = ee.FeatureCollection('users/SteveVB/Stuwmeer_1125m_EPSG4326');
4 var bufferstuwmeer_0_10 = ee.FeatureCollection('users/SteveVB/Buffer_0_10km_EPSG4326');
5 var bufferstuwmeer_10_50 = ee.FeatureCollection('users/SteveVB/Buffer_10_50km_EPSG4326');
6 var bufferstuwmeer_50_100 = ee.FeatureCollection('users/SteveVB/Buffer_50_100_EPSG4326');
7 var volledig_studiegebied = ee.FeatureCollection('users/SteveVB/Volledig_studiegebied_EPSG4326');
8
9
10 //Grens Tekezestuwmeer, de verschillende buffers toevoegen aan de kaart
11 Map.addLayer(stuwmeer, {'color': 'blue'}, 'Tekezestuwmeer');
12 Map.addLayer(bufferstuwmeer_0_10, {'color': 'red'}, 'buffer stuwmeer 0-10 km');
13 Map.addLayer(bufferstuwmeer_10_50, {'color': 'red'}, 'buffer stuwmeer 10-50 km');
14 Map.addLayer(bufferstuwmeer_50_100, {'color': 'red'}, 'buffer stuwmeer 50-100 km');
15 Map.addLayer(volledig_studiegebied, {'color': 'red'}, 'volledig studiegebied');
16
17 //Toevoegen image collection van de dagelijkse neerslaggegevens van CHIRPS voor specifieke periode
18 var CHIRPS = ee.ImageCollection("UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY");
19
20 var startYear = 1981;
21 var endYear = 2022;
22 var startDate = ee.Date.fromYMD(startYear,1,1);
23 var endDate = ee.Date.fromYMD(endYear + 1, 1,1);
24
25 var chirps = CHIRPS.filterDate(startDate,endDate);
26
27 //Functie voor het verkrijgen van een lijst met features die de dagelijkse neerslag voor een bepaald gebied weergeven
28
29 var lijst_chirps = chirps.toList(20000);
30
31 var Dagelijkse_neerslag = function(arg_lijst_chirps, gebied){
32   return arg_lijst_chirps.map(function(image){
33     //afleiden van de datum van de afbeelding
34     var datum= ee.Image(image).get('system:index');
35
36     //afleiden van de gemiddelde neerslag voor een bepaalde dag en bepaald gebied
37     var neerslag_gebied = ee.Image(image).reduceRegion({
38       reducer: ee.Reducer.mean(),
39       geometry: gebied,
40       scale: 5566,
41     }).get('precipitation')
42     ;
43
44     return ee.Feature(null, {'Dagelijkse_neerslag': neerslag_gebied, 'datum':datum});
45   });
46 };
47

```

```

48 //Creëren van een featurecollection van de dagelijkse neerslag voor elk gebied
49 var fc_dagelijkse_neerslag_stuwmeer = ee.FeatureCollection(Dagelijkse_neerslag(lijst_chirps, stuwmeer));
50 var fc_dagelijkse_neerslag_bufferstuwmeer_0_10 = ee.FeatureCollection(Dagelijkse_neerslag(lijst_chirps, bufferstuwmeer_0_10));
51 var fc_dagelijkse_neerslag_bufferstuwmeer_10_50 = ee.FeatureCollection(Dagelijkse_neerslag(lijst_chirps, bufferstuwmeer_10_50));
52 var fc_dagelijkse_neerslag_bufferstuwmeer_50_100 = ee.FeatureCollection(Dagelijkse_neerslag(lijst_chirps, bufferstuwmeer_50_100));
53 var fc_dagelijkse_neerslag_volledig_studiegebied = ee.FeatureCollection(Dagelijkse_neerslag(lijst_chirps, volledig_studiegebied));
54
55 //Exporteren van de dagelijkse neerslag per gebied in CSV formaat
56 Export.table.toDrive({
57   collection: fc_dagelijkse_neerslag_stuwmeer,
58   description: 'Dagelijkse_neerslag_stuwmeer',
59   fileFormat: 'CSV'
60 });
61
62 Export.table.toDrive({
63   collection: fc_dagelijkse_neerslag_bufferstuwmeer_0_10,
64   description: 'Dagelijkse_neerslag_bufferstuwmeer_0_10',
65   fileFormat: 'CSV'
66 });
67
68 Export.table.toDrive({
69   collection: fc_dagelijkse_neerslag_bufferstuwmeer_10_50,
70   description: 'Dagelijkse_neerslag_bufferstuwmeer_10_50',
71   fileFormat: 'CSV'
72 });
73
74 Export.table.toDrive({
75   collection: fc_dagelijkse_neerslag_bufferstuwmeer_50_100,
76   description: 'Dagelijkse_neerslag_bufferstuwmeer_50_100',
77   fileFormat: 'CSV'
78 });
79
80 Export.table.toDrive({
81   collection: fc_dagelijkse_neerslag_volledig_studiegebied,
82   description: 'Dagelijkse_neerslag_volledig_studiegebied',
83   fileFormat: 'CSV'
84 });
85

```

Bijlage 2: Uitsnede van onbewerkt CSV-bestand met de dagelijkse neerslag over het stuwmeer weergegeven in Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	system:index,	Dagelijkse_	neerslag,	datum,	.geo			
2	0,0.0,	19810101,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
3	1,0.0,	19810102,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
4	2,0.0,	19810103,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
5	3,0.0,	19810104,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
6	4,0.0,	19810105,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
7	5,0.0,	19810106,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
8	6,0.0,	19810107,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
9	7,0.0,	19810108,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
10	8,0.0,	19810109,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
11	9,0.0,	19810110,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
12	10,0.0,	19810111,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
13	11,0.0,	19810112,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
14	12,0.0,	19810113,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
15	13,0.0,	19810114,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
16	14,2.561111131974454,	19810115,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
17	15,0.0,	19810116,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
18	16,0.0,	19810117,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
19	17,0.0,	19810118,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
20	18,1.72709463544446017,	19810119,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
21	19,2.877854390094936,	19810120,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
22	20,0.0,	19810121,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
23	21,0.0,	19810122,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
24	22,0.0,	19810123,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		
25	23,0.0,	19810124,	"{"type":	"MultiPoint",	"coordinates":	[]}"		

Bijlage 3: Uitsnede van Excel-bestand met de dagelijkse neerslag over het stuwmeer aangevuld met extra kolommen

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	system:index	Dagelijkse_neerslag	datum	Jaar	Maand	Seizoenjaar	Seizoen	Neerslagdag	Extreme neerslagdag		drempel extreme neerslag
2	0	0	1/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		20
3	1	0	2/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
4	2	0	3/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
5	3	0	4/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
6	4	0	5/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
7	5	0	6/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
8	6	0	7/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
9	7	0	8/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
10	8	0	9/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
11	9	0	10/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
12	10	0	11/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
13	11	0	12/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
14	12	0	13/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
15	13	0	14/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
16	14	2,561111132	15/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	1	0		
17	15	0	16/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
18	16	0	17/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
19	17	0	18/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
20	18	1,727094635	19/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	1	0		
21	19	2,87785439	20/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	1	0		
22	20	0	21/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
23	21	0	22/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
24	22	0	23/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		
25	23	0	24/01/1981	1981	januari	1981	droge seizoen	0	0		

Bijlage 4: Python script in Jupyter Notebook voor het verkleinen van de omvang (extent) van elk netCDF-bestand tot de omvang van het studiegebied

```
import dask
import netCDF4

import os

import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import geopandas as gpd
import xarray as xr
# Spatial subsetting of netcdf files
import regionmask

#inladen shapefile van het volledige studiegebied
Volledige_studiegebied_shapefile = gpd.read_file("C:/Users/vanba/Documents/Masterproef_17april2023/GIS analyses/Definitief stuwmeer, buffers, volledig studiegebied WGS84 (4326)/Volledig_studiegebied_EPSG4326_1geometrie.shp")
Volledige_studiegebied_shapefile.head()

#kiezen van geometrie binnen de shapefile --> In dit geval is er slechts 1 keuze
Afbakening_shapefile_aoi = Volledige_studiegebied_shapefile[Volledige_studiegebied_shapefile.categorie == 1]

#Verkrijgen totale ruimtelijke extent van het volledige studiegebied
Afbakening_shapefile_aoi.total_bounds

#Verkrijgen min en max lat en lon. We maken de totale ruimtelijke extent van het volledig studiegebied langs elke zijde 0,1 graad (ongeveer 10 km) groter zodat de extent zeker het volledige studiegebied omvat.
aoi_lat = [float(Afbakening_shapefile_aoi.total_bounds[1])-0.1, float(Afbakening_shapefile_aoi.total_bounds[3])+0.1]
aoi_lon = [float(Afbakening_shapefile_aoi.total_bounds[0])-0.1, float(Afbakening_shapefile_aoi.total_bounds[2])+0.1]

aoi_lat, aoi_lon

#we maken een loop om over alle netCDF bestanden in de map te itereren
directory = 'C:/Users/vanba/Documents/Temperatuurgegevens_Meteosat_uitgepakt/'

for filename in os.listdir(directory):
    f = os.path.join(directory, filename)
    # Nagaan of het een file is
    if os.path.isfile(f):
        # het netCDF bestand ophalen
        data_path_temperatures_per_uur_maand = f

        # het netCDF bestand openen als xarray
        with xr.open_dataset(data_path_temperatures_per_uur_maand) as file_nc:
            temperatures_per_uur_maand_xr = file_nc

        # Bijsnijden van het volledige ruimtelijke extent naar het nieuwe kleinere extent
        temperatures_per_uur_maand_smallextent_xr = temperatures_per_uur_maand_xr.sel(
            lon=slice(aoi_lon[0], aoi_lon[1]),
            lat=slice(aoi_lat[0], aoi_lat[1]))

        #opslagen als netCDF file
        directory_new_files = 'C:/Users/vanba/Documents/Temperatuurgegevens_Meteosat_klein_gebied/'
        path_new_file = os.path.join(directory_new_files, filename)
        temperatures_per_uur_maand_smallextent_xr.to_netcdf(path_new_file)
```

Bijlage 5: Python script in Jupyter Notebook voor het herschalen van de netCDF-bestanden van een resolutie van 0,05° naar 0,003°

```
#herschalen van NetCDF bestand naar een fijnere resolutie
```

```
import xarray as xr
import numpy as np
import os
```

```
#bereik:
```

```
minx = 37.549999999999972
maxx = 39.899999999999986
miny = 12.000000000000000
maxy = 14.350000000000014
```

```
# Opstellen nieuw Lat/Lon grid
```

```
new_grid_x = np.arange(minx, maxx, 0.003)
new_grid_y = np.arange(miny, maxy, 0.003)
```

```
print(new_grid_x, new_grid_y)
```

```
#we maken een loop om over alle netCDF bestanden in de map te itereren
```

```
directory = 'C:/Users/vanba/Documents/Temperatuurgegevens_Meteosat_klein_gebied/'
```

```
for filename in os.listdir(directory):
```

```
    f = os.path.join(directory, filename)
```

```
    # Nagaan of het een file is
```

```
    if os.path.isfile(f):
```

```
        # het netCDF bestand ophalen
```

```
        data_path_temperaturen_per_uur_maand = f
```

```
        # het netCDF bestand openen als xarray
```

```
        with xr.open_dataset(data_path_temperaturen_per_uur_maand) as file_nc:
```

```
            temperaturen_per_uur_maand_xr = file_nc
```

```
        #Niet benodigde variabelen verwijderen
```

```
        xr_LST = temperaturen_per_uur_maand_xr.drop_vars({'SATID', 'LSTERROR_PMW', 'LST_PMW_NUMO'})
```

```
        # interpolatie op basis van dichtstbijzijnde buur (nearest neighbour)
```

```
        xr_LST_finer = xr_LST.interp(lon=new_grid_x, lat=new_grid_y, method="nearest")
```

```
        #opslagen als netCDF file
```

```
        directory_new_files = 'C:/Users/vanba/Documents/Temperatuurgegevens_klein_gebied_fijne_resolutie/'
```

```
        path_new_file = os.path.join(directory_new_files, filename)
```

```
        xr_LST_finer.to_netcdf(path_new_file)
```

Bijlage 6: Python script in Jupyter Notebook voor het samenvoegen van de 300 netCDF-bestanden tot één netCDF-bestand

```
import netCDF4
import xarray as xr
```

```
#verschillende files openen als 1 dataset
ds = xr.open_mfdataset('C:/Users/vanba/Documents/Temperatuurgegevens_klein_gebied_fijne_resolutie/*.nc')

#dataset opslaan als 1 netCDF file
ds.to_netcdf('C:/Users/vanba/Documents/Bewerkte_Temperatuurgegevens_Meteosat_klein_gebied/temperatuur_combined_fijne_resolutie.nc')
```


Bijlage 7: Python script in Jupyter Notebook voor het afleiden van de minimum, maximum en gemiddelde temperatuur per maand voor de gewenste gebieden

```
import dask
import netCDF4

import os

import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import geopandas as gpd
import xarray as xr
# Spatial subsetting of netcdf files
import regionmask

# het netCDF bestand ophalen
data_path_temperaturen_per_uur_maandelijks = 'C:/Users/vanba/Documents/Bewerkte_Temperatuurgegevens_Meteosat_klein_gebied/temperatuur_combined_fijne_resolutie.nc'

# het netCDF bestand openen als xarray
#Om het grootte NetCDF bestand (12 GB) te kunnen verwerken wordt het bestand in Dask chunks onderverdeeld
with xr.open_dataset(data_path_temperaturen_per_uur_maandelijks, chunks={'time': '500MB'}) as file_nc:
    temperaturen_per_uur_maandelijks_xr = file_nc

# Tonen xarray dataset
temperaturen_per_uur_maandelijks_xr

#inladen shapefile van het gewenste gebied
Afbakening_shapefile = gpd.read_file("C:/Users/vanba/Documents/Masterproef_17april2023/GIS analyses/Definitief stuwmeer, buffer s, volledig studiegebied WGS84 (4326)/Stuwmeer_1125m_EPSG4326.shp")
Afbakening_shapefile.head()

#kiezen van geometrie binnen de shapefile --> In dit geval is er slechts 1 keuze
Afbakening_shapefile_aoi = Afbakening_shapefile[Afbakening_shapefile.categorie == 1]
Afbakening_shapefile_aoi

# Dit is het gewenste gebied. Statistieken worden enkel binnen dit gebied berekent.
f, ax = plt.subplots()
Afbakening_shapefile_aoi.plot(ax=ax)
ax.set(title="Afbakening gewenste gebied")

plt.show()

# Creëren van een 3D mask - dit bevat de true/false-waarden die pixels binnen en buiten het maskergebied identificeren
afbakening_mask = regionmask.mask_3D_geopandas(Afbakening_shapefile_aoi,
                                              temperaturen_per_uur_maandelijks_xr.lon,
                                              temperaturen_per_uur_maandelijks_xr.lat)

afbakening_mask

# toepassen van de mask voor het gewenste gebied op de temperatuurdata
temperaturen_per_uur_maandelijks_xr_mask = temperaturen_per_uur_maandelijks_xr["LST_PMW"].where(afbakening_mask)

temperaturen_per_uur_maandelijks_xr_mask.dims
temperaturen_per_uur_maandelijks_xr_mask
```

```
# plotten van de temperatuurgegevens voor enkel het gewenste gebied voor 1 dag (als test)
temperaturen_per_uur_maandelijks_xr_mask_1dag = temperaturen_per_uur_maandelijks_xr_mask.sel(time=slice('1991-01-01','1991-01-02'))
temperaturen_per_uur_maandelijks_xr_mask_1dag.plot(col='time', col_wrap=1)
plt.show()
```

```
# Afleiden van de min, max en gemiddelde temperatuur per maand voor het gewenste gebied

#Voor elke maand de min temperatuur bepalen in elke pixel voor elke maandelijkse gemiddelde dagelijkse cyclus
min_temp_maandelijks_pixel = temperaturen_per_uur_maandelijks_xr_mask.resample(time = "1M").min()

#Bepalen per maand van het gemiddelde over het volledige gebied van de min temperatuur
min_temp_maandelijks_gebied = min_temp_maandelijks_pixel.groupby('time').mean(["lat", "lon"])

#exporteren
min_temp_maandelijks_gebied_df = min_temp_maandelijks_gebied.to_dataframe()
min_temp_maandelijks_gebied_df.to_csv('C:/Users/vanba/Documents/Masterproef_17april2023/Temperatuurgegevens/Basisdata (onbewerkt)/min_temp_maandelijks_stuwmeer_1125m.csv')

#voor elke maand de max temperatuur bepalen in elke pixel voor elke maandelijkse gemiddelde dagelijkse cyclus
max_temp_maandelijks_pixel = temperaturen_per_uur_maandelijks_xr_mask.resample(time = "1M").max()

#Bepalen per maand van het gemiddelde over het volledige gebied van de max temperatuur
max_temp_maandelijks_gebied = max_temp_maandelijks_pixel.groupby("time").mean(["lat", "lon"])

#exporteren
max_temp_maandelijks_gebied_df = max_temp_maandelijks_gebied.to_dataframe()
max_temp_maandelijks_gebied_df.to_csv('C:/Users/vanba/Documents/Masterproef_17april2023/Temperatuurgegevens/Basisdata (onbewerkt)/max_temp_maandelijks_stuwmeer_1125m.csv')

#voor elke maand de gem temperatuur bepalen in elke pixel voor elke maandelijkse gemiddelde dagelijkse cyclus
gem_temp_maandelijks_pixel = temperaturen_per_uur_maandelijks_xr_mask.resample(time = "1M").mean()

#Bepalen per maand van het gemiddelde over het volledige gebied van de gemiddelde temperatuur
gem_temp_maandelijks_gebied = gem_temp_maandelijks_pixel.groupby("time").mean(["lat", "lon"])

#exporteren
gem_temp_maandelijks_gebied_df = gem_temp_maandelijks_gebied.to_dataframe()
gem_temp_maandelijks_gebied_df.to_csv('C:/Users/vanba/Documents/Masterproef_17april2023/Temperatuurgegevens/Basisdata (onbewerkt)/gem_temp_maandelijks_stuwmeer_1125m.csv')
```

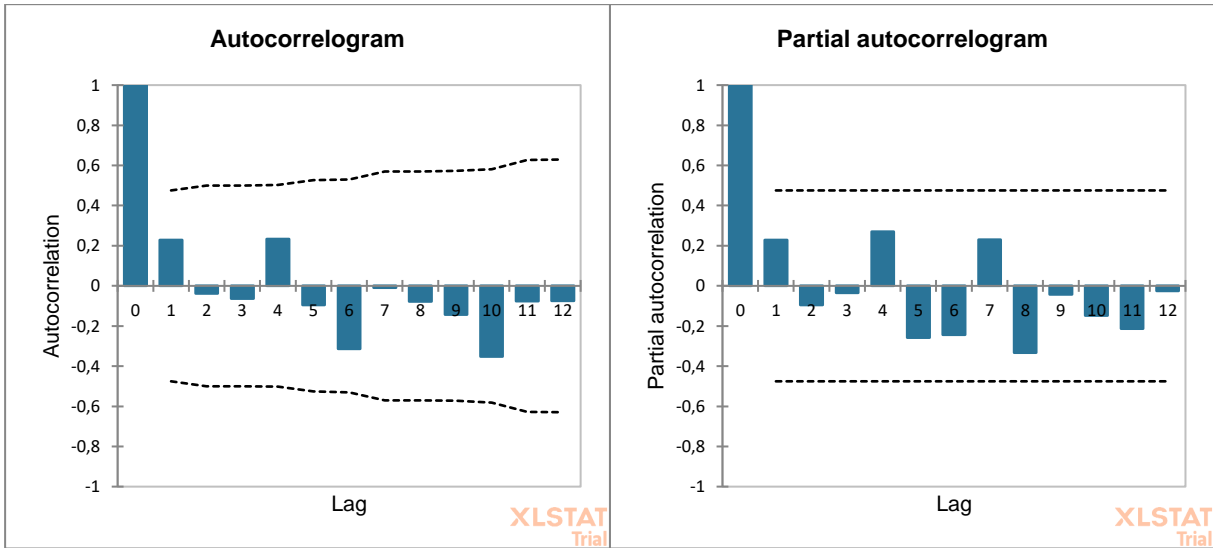
Bijlage 8: Uitsnede van onbewerkt CSV-bestand met de maandelijkse gemiddelde temperatuur over het stuwmeer weergegeven in Excel

	A	B	C
1	time,region	LST_PMW	
2	1991-01-31	0,306.32095	
3	1991-02-28	0,306.29907	
4	1991-03-31	0,308.7377	
5	1991-04-30	0,308.5415	
6	1991-05-31	0,307.45563	
7	1991-06-30	0,307.09808	
8	1991-07-31	0,300.61496	
9	1991-08-31	0,299.44727	
10	1991-09-30	0,304.68143	
11	1991-10-31	0,304.33734	
12	1991-11-30	0,304.08502	
13	1991-12-31	0,301.92087	
14	1992-01-31	0,302.56448	
15	1992-02-29	0,303.97464	
16	1992-03-31	0,310.11682	
17	1992-04-30	0,308.51715	
18	1992-05-31	0,309.05692	
19	1992-06-30	0,307.7008	
20	1992-07-31	0,301.8465	
21	1992-08-31	0,298.74976	
22	1992-09-30	0,303.44983	
23	1992-10-31	0,304.2659	
24	1992-11-30	0,303.68845	
25	1992-12-31	0,303.28735	

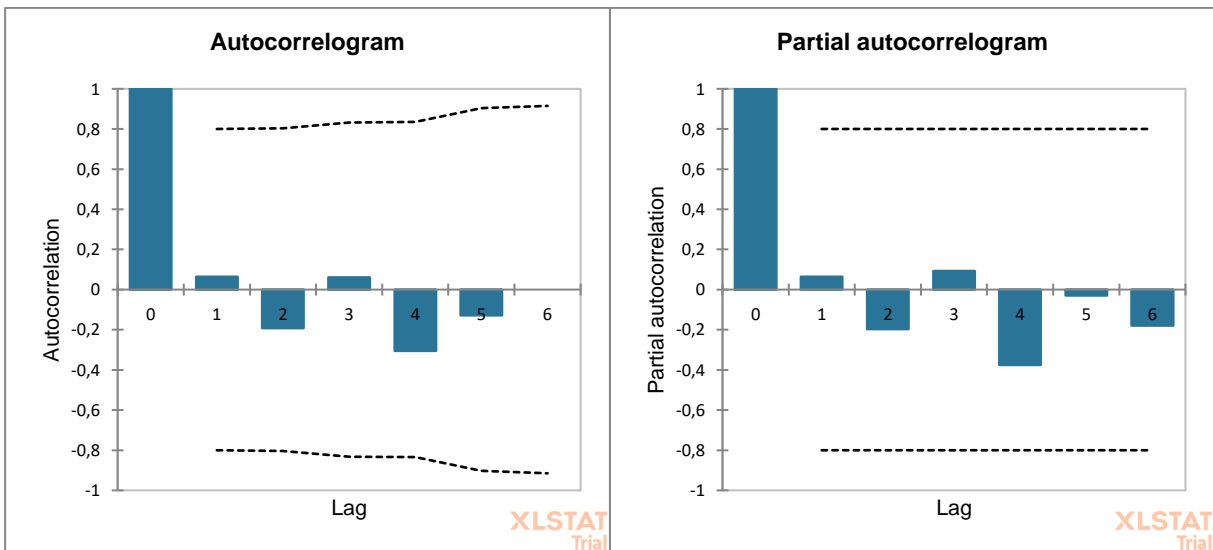
Bijlage 9: Uitsnede van Excel-bestand met de maandelijkse gemiddelde temperatuur over het stuwmeer aangevuld met extra kolommen

	A	B	C	D	E	F	G
1	time	LST_PMW	Jaar	Maand	Seizoenjaar	Seizoen	LST (°C)
2	31/01/1991	306,321	1991	januari	1990	droge seizoen	33,17095
3	28/02/1991	306,2991	1991	februari	1990	droge seizoen	33,14907
4	31/03/1991	308,7377	1991	maart	1990	korte regenseizoen	35,5877
5	30/04/1991	308,5415	1991	april	1990	korte regenseizoen	35,3915
6	31/05/1991	307,4556	1991	mei	1990	korte regenseizoen	34,30563
7	30/06/1991	307,0981	1991	juni	1991	hoofd regenseizoen	33,94808
8	31/07/1991	300,615	1991	juli	1991	hoofd regenseizoen	27,46496
9	31/08/1991	299,4473	1991	augustus	1991	hoofd regenseizoen	26,29727
10	30/09/1991	304,6814	1991	september	1991	hoofd regenseizoen	31,53143
11	31/10/1991	304,3373	1991	oktober	1991	droge seizoen	31,18734
12	30/11/1991	304,085	1991	november	1991	droge seizoen	30,93502
13	31/12/1991	301,9209	1991	december	1991	droge seizoen	28,77087
14	31/01/1992	302,5645	1992	januari	1991	droge seizoen	29,41448
15	29/02/1992	303,9746	1992	februari	1991	droge seizoen	30,82464
16	31/03/1992	310,1168	1992	maart	1991	korte regenseizoen	36,96682
17	30/04/1992	308,5172	1992	april	1991	korte regenseizoen	35,36715
18	31/05/1992	309,0569	1992	mei	1991	korte regenseizoen	35,90692
19	30/06/1992	307,7008	1992	juni	1992	hoofd regenseizoen	34,5508
20	31/07/1992	301,8465	1992	juli	1992	hoofd regenseizoen	28,6965
21	31/08/1992	298,7498	1992	augustus	1992	hoofd regenseizoen	25,59976
22	30/09/1992	303,4498	1992	september	1992	hoofd regenseizoen	30,29983
23	31/10/1992	304,2659	1992	oktober	1992	droge seizoen	31,1159
24	30/11/1992	303,6885	1992	november	1992	droge seizoen	30,53845
25	31/12/1992	303,2874	1992	december	1992	droge seizoen	30,13735

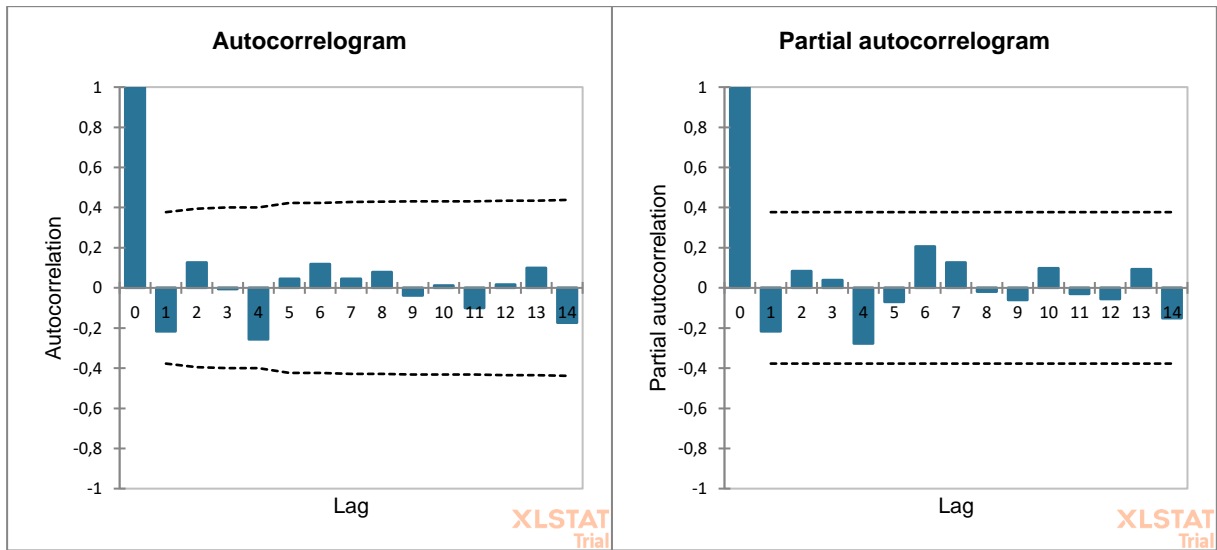
Bijlage 10: Autocorrelogram en partieel autocorrelogram van de pre-dam tijdreeks van het jaarlijks gemiddelde GEM LST over het volledige studiegebied



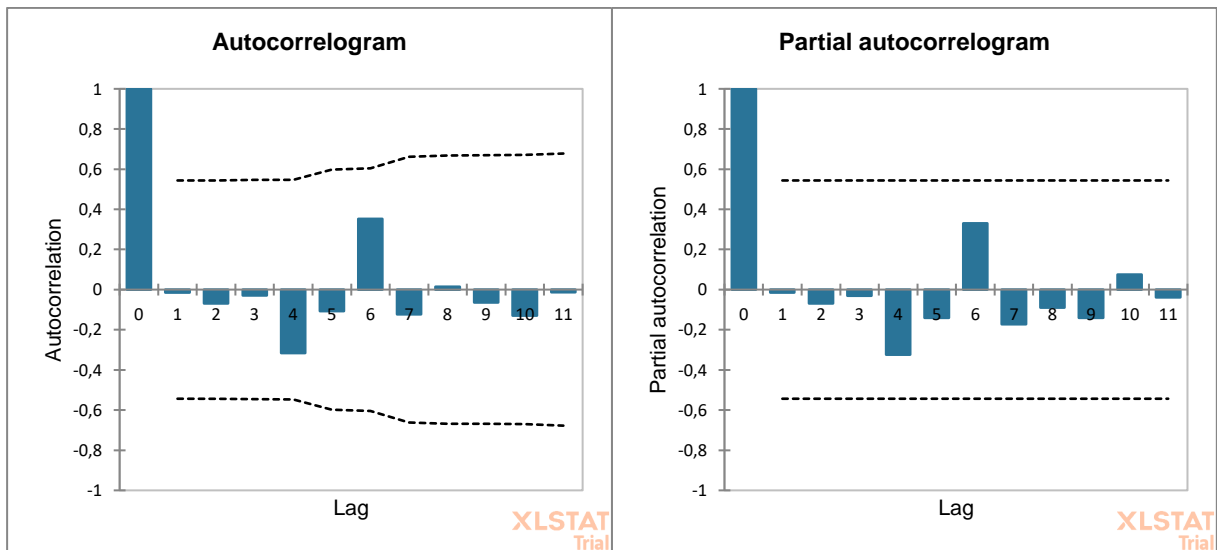
Bijlage 11: Autocorrelogram en partieel autocorrelogram van de post-dam tijdreeks van het jaarlijks gemiddelde GEM LST over het volledige studiegebied



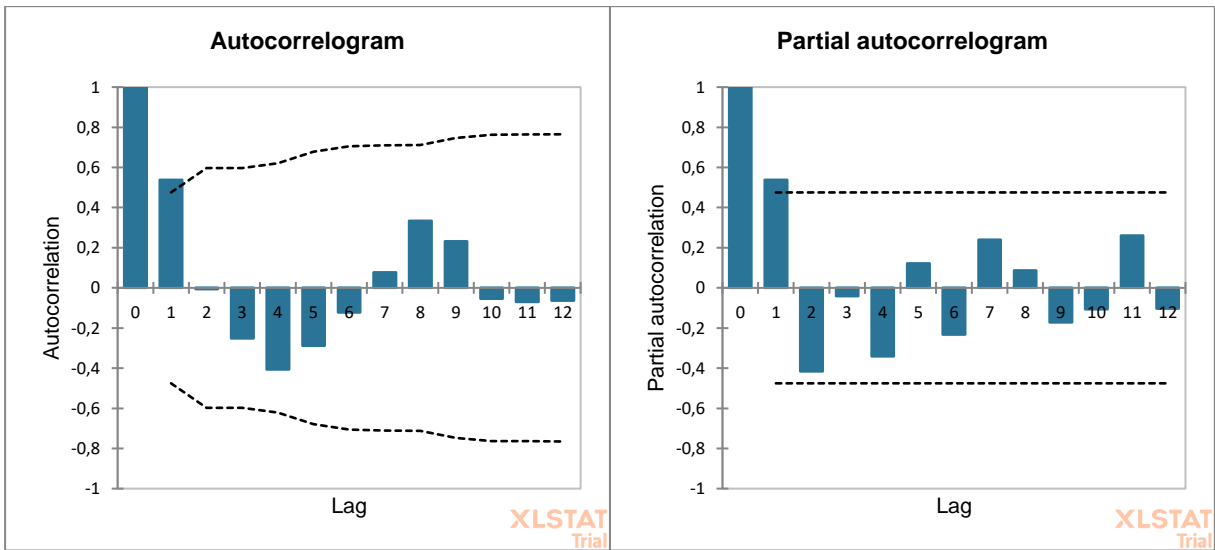
Bijlage 12: Autocorrelogram en partieel autocorrelogram van de pre-dam tijdreeks van de totale jaarlijkse neerslag over het volledige studiegebied



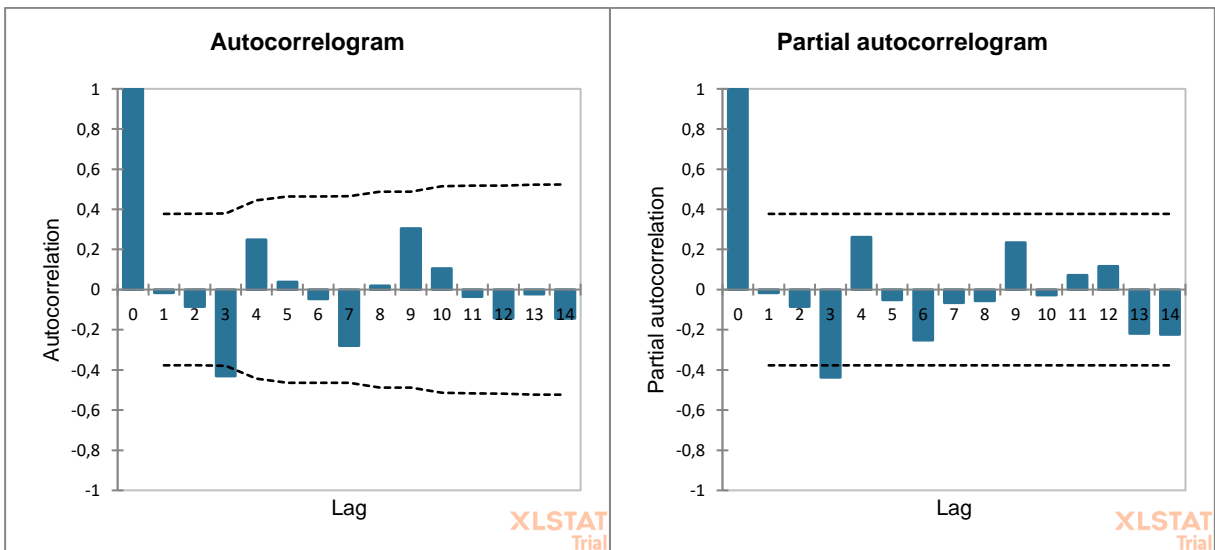
Bijlage 13: Autocorrelogram en partieel autocorrelogram van de post-dam tijdreeks van de totale jaarlijkse neerslag over het volledige studiegebied



Bijlage 14: Autocorrelogram en partieel autocorrelogram van de pre-dam tijdreeks van het jaarlijks gemiddelde van de maand oktober van de GEM LST over het volledige studiegebied



Bijlage 15: Autocorrelogram en partieel autocorrelogram van de pre-dam tijdreeks van het jaarlijks aantal regendagen in het kort regenseizoen over het volledig studiegebied



Bijlage 16: Resultaten van de Mann-Whitney test en de Mann-Kendall test voor de verschillende temperatuur- en neerslagvariabelen en voor de verschillende onderzochte gebieden

TEMPERATUUR

GEM LST

Bijlage 16.1: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek voor de jaarlijkse en seizoenale GEM LST over het volledige studiegebied

Volledig studiegebied		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse gemiddelde GEM LST		38	51	0,392
Seizoenale gemiddelde GEM LST	Grote regenseizoen	52	51	0,973
	Droge seizoen	23	51	0,052
	Kort regenseizoen	61	51	0,516

Bijlage 16.2: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale GEM LST over het volledige studiegebied

Volledig studiegebied			Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse gemiddelde GEM LST		Pre-dam	0,132	0,490	0,021
		Post-dam	-0,467	0,272	-0,075
Seizoenale gemiddelde GEM LST	Grote regenseizoen	Pre-dam	-0,162	0,393	-0,037
		Post-dam	-0,200	0,719	-0,113
	Droge seizoen	Pre-dam	0,412	0,022	0,063
		Post-dam	-0,733	0,056	-0,066
	Kort regenseizoen	Pre-dam	0,059	0,776	0,019
		Post-dam	0,600	0,136	0,103

In het grote regenseizoen en het kort regenseizoen neemt de absolute grootte van de respectievelijk dalende en stijgende trend van de GEM LST toe met 0,076 °C en 0,084 °C tussen de pre-dam en post-dam periode. Opgemerkt dient de worden dat enkel de pre-dam trend van de GEM LST in het droge seizoen statistisch significant is (p-waarde = 0,022). De post-dam trend van de GEM LST in het droge seizoen is bijna statistisch significant ($0,050 < p\text{-waarde} \leq 0,100$) (p-waarde = 0,056).

Bijlage 16.3: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek voor de jaarlijkse en seizoenale GEM LST over het stuwmeer

Stuwmeer		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse gemiddelde GEM LST		98	51	0,000
Seizoenale gemiddelde GEM LST	Grote regenseizoen	68	51	0,256
	Droge seizoen	95	51	0,001
	Kort regenseizoen	102	51	<0,0001

Bijlage 16.4: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale GEM LST over het stuwmeer

Stuwmeer			Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse gemiddelde GEM LST		Pre-dam	0,309	0,091	0,060
		Post-dam	-0,467	0,272	-0,101
Seizoenale gemiddelde GEM LST	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,074	0,715	0,033
		Post-dam	-0,333	0,469	-0,273
	Droge seizoen	Pre-dam	0,529	0,002	0,112
		Post-dam	-0,200	0,719	-0,036
	Kort regenseizoen	Pre-dam	0,074	0,715	0,042
		Post-dam	0,200	0,719	0,055

In het kort regenseizoen neemt de absolute grootte van de stijgende trend met 0,013 °C toe tussen de pre- en post-dam periode. Enkel de pre-dam trend van de GEM LST in het droge seizoen is statistisch significant (p-waarde = 0,002). De pre-dam trend van de jaarlijkse GEM LST is bijna statistisch significant (p-waarde = 0,091).

Bijlage 16.5: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek voor de jaarlijkse en seizoenale GEM LST in de invloedzone 0-10 km rond het stuwmeer

Invloedzone 0-10 km		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse gemiddelde GEM LST		40	51	0,473
Seizoenale gemiddelde GEM LST	Grote regenseizoen	33	51	0,227
	Droge seizoen	38	51	0,392
	Kort regenseizoen	67	51	0,286

Bijlage 16.6: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale GEM LST in de invloedzone 0-10 km rond het stuwmeer

Invloedzone 0-10 km			Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse gemiddelde GEM LST		Pre-dam	0,279	0,129	0,060
		Post-dam	-0,333	0,469	-0,047
Seizoenale gemiddelde GEM LST	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,176	0,349	0,028
		Post-dam	-0,333	0,469	-0,186
	Droge seizoen	Pre-dam	0,574	0,001	0,107
		Post-dam	-0,067	1,000	-0,010
	Kort regenseizoen	Pre-dam	0,088	0,655	0,028
		Post-dam	0,467	0,272	0,154

In het kort regenseizoen neemt de absolute grootte van de stijgende trend toe met 0,126 °C tussen de pre- en post-dam periode. Enkel de pre-dam trend van de GEM LST in het droge seizoen is statistisch significant (p-waarde = 0,001).

Bijlage 16.7: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek voor de jaarlijkse en seizoenale GEM LST in de invloedzone 10-50 km rond het stuwmeer

Invloedzone 10-50 km		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse gemiddelde GEM LST		40	51	0,473
Seizoenale gemiddelde GEM LST	Grote regenseizoen	45	51	0,708
	Droge seizoen	29	51	0,135
	Kort regenseizoen	62	51	0,473

Bijlage 16.8: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale GEM LST in de invloedzone 10-50 km rond het stuwmeer

Invloedzone 10-50 km			Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse gemiddelde GEM LST		Pre-dam	0,088	0,655	0,023
		Post-dam	-0,333	0,469	-0,063
Seizoenale gemiddelde GEM LST	Grote regenseizoen	Pre-dam	-0,176	0,349	-0,030
		Post-dam	-0,200	0,719	-0,159
	Droge seizoen	Pre-dam	0,338	0,063	0,070
		Post-dam	-0,600	0,136	-0,043
	Kort regenseizoen	Pre-dam	0,015	0,968	0,013
		Post-dam	0,600	0,136	0,147

In het grote regenseizoen en het kort regenseizoen neemt de absolute grootte van de respectievelijk dalende en stijgende trend van de GEM LST toe met 0,129 °C en 0,134 °C tussen de pre- en post-dam periode. Er is geen enkele trend van de jaarlijkse en seizoenale GEM LST statistisch significant. De pre-dam trend van het droge seizoen is bijna statistisch significant (p-waarde = 0,063).

Bijlage 16.9: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek voor de jaarlijkse en seizoenale GEM LST in de invloedzone 50-100 km rond het stuwmeer

Invloedzone 50-100 km		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse gemiddelde GEM LST		38	51	0,392
Seizoenale gemiddelde GEM LST	Grote regenseizoen	57	51	0,708
	Droge seizoen	19	51	0,024
	Kort regenseizoen	62	51	0,473

Bijlage 16.10: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale GEM LST in de invloedzone 50-100 km rond het stuwmeer

Invloedzone 50-100 km			Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse gemiddelde GEM LST		Pre-dam	0,103	0,598	0,020
		Post-dam	-0,333	0,469	-0,081
Seizoenale gemiddelde GEM LST	Grote regenseizoen	Pre-dam	-0,162	0,393	-0,037
		Post-dam	-0,333	0,469	-0,086
	Droge seizoen	Pre-dam	0,441	0,013	0,060
		Post-dam	-0,733	0,056	-0,098
	Kort regenseizoen	Pre-dam	0,088	0,655	0,018
		Post-dam	0,467	0,272	0,076

In het grote regenseizoen en kort regenseizoen neemt de absolute grootte van de respectievelijk dalende en stijgende trend van de GEM LST toe met 0,049 °C en 0,058 °C tussen de pre- en post-dam periode. Enkel de pre-dam trend van de GEM LST in het droge seizoen is statistisch significant (p-waarde = 0,013). De post-dam trend van de GEM LST in het droge seizoen is bijna statistisch significant (p-waarde = 0,056).

MAX LST

Bijlage 16.11: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek voor de jaarlijkse en seizoenale MAX LST over het volledige studiegebied

Volledig studiegebied		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse gemiddelde MAX LST		64	51	0,392
Seizoenale gemiddelde MAX LST	Grote regenseizoen	74	51	0,117
	Droge seizoen	36	51	0,319
	Kort regenseizoen	68	51	0,256

Bijlage 16.12: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale MAX LST over het volledige studiegebied

Volledig studiegebied			Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse gemiddelde MAX LST		Pre-dam	0,074	0,715	0,027
		Post-dam	-0,333	0,469	-0,138
Seizoenale gemiddelde MAX LST	Grote regenseizoen	Pre-dam	-0,191	0,308	-0,087
		Post-dam	0,067	1,000	0,112
	Droge seizoen	Pre-dam	0,235	0,205	0,049
		Post-dam	-0,600	0,136	-0,264
	Kort regenseizoen	Pre-dam	0,044	0,839	0,060
		Post-dam	0,067	1,000	0,086

Bij de seizoenale MAX LST in het kort regenseizoen neemt de absolute grootte van de positieve trend toe met 0,026 °C tussen de pre- en post-dam periode. Er is geen enkele trend van de jaarlijkse en seizoenale MAX LST statistisch significant.

Bijlage 16.13: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek voor de jaarlijkse en seizoenale MAX LST over het stuwmeer

Stuwmeer		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse gemiddelde MAX LST		102	51	<0,0001
Seizoenale gemiddelde MAX LST	Grote regenseizoen	97	51	0,000
	Droge seizoen	102	51	<0,0001
	Kort regenseizoen	102	51	<0,0001

Bijlage 16.14: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale MAX LST over het stuwmeer

Stuwmeer			Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse gemiddelde MAX LST		Pre-dam	0,103	0,598	0,027
		Post-dam	0,067	1,000	0,179
Seizoenale gemiddelde MAX LST	Grote regenseizoen	Pre-dam	-0,074	0,715	-0,073
		Post-dam	0,067	1,000	0,225
	Droge seizoen	Pre-dam	0,235	0,205	0,069
		Post-dam	0,200	0,719	0,164
	Kort regenseizoen	Pre-dam	-0,044	0,839	-0,026
		Post-dam	0,067	1,000	0,084

Bij de jaarlijkse MAX LST neemt de grootte van de positieve trend toe met 0,152 °C tussen de pre- en post-dam periode. Ook bij de seizoenale MAX LST in het droge seizoen neemt de grootte van de positieve trend toe, namelijk met 0,095 °C toe tussen de pre- en post-dam periode. Er is geen enkele trend van de jaarlijkse en seizoenale MAX LST statistisch significant.

Bijlage 16.15: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek voor de jaarlijkse en seizoenale MAX LST in de invloedzone 0-10 km rond het stuwmeer

Invloedzone 0-10 km		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse gemiddelde MAX LST		83	51	0,024
Seizoenale gemiddelde MAX LST	Grote regenseizoen	64	51	0,392
	Droge seizoen	80	51	0,044
	Kort regenseizoen	82	51	0,030

Bijlage 16.16: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale MAX LST in de invloedzone 0-10 km rond het stuwmeer

Invloedzone 0-10 km			Kendall's tau	p-waarde (2-zijdig)	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse gemiddelde MAX LST		Pre-dam	0,132	0,490	0,041
		Post-dam	0,200	0,719	0,105
Seizoenale gemiddelde MAX LST	Grote regenseizoen	Pre-dam	-0,088	0,655	-0,077
		Post-dam	0,200	0,719	0,032
	Droge seizoen	Pre-dam	0,250	0,177	0,061
		Post-dam	-0,067	1,000	-0,011
	Kort regenseizoen	Pre-dam	-0,059	0,776	-0,023
		Post-dam	0,333	0,469	0,050

Bij de jaarlijkse MAX LST neemt de grootte van de positieve trend toe met 0,064 °C tussen de pre- en post-dam periode. Er is geen enkele trend van de jaarlijkse en seizoenale MAX LST statistisch significant.

Bijlage 16.17: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek voor de jaarlijkse en seizoenale MAX LST in de invloedzone 10-50 km rond het stuwmeer

Invloedzone 10-50 km		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse gemiddelde MAX LST		64	51	0,392
Seizoenale gemiddelde MAX LST	Grote regenseizoen	74	51	0,117
	Droge seizoen	42	51	0,562
	Kort regenseizoen	69	51	0,227

Bijlage 16.18: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale MAX LST in de invloedzone 10-50 km rond het stuwmeer

Invloedzone 10-50 km			Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse gemiddelde MAX LST		Pre-dam	0,059	0,776	0,045
		Post-dam	-0,067	1,000	-0,090
Seizoenale gemiddelde MAX LST	Grote regenseizoen	Pre-dam	-0,162	0,393	-0,084
		Post-dam	0,067	1,000	0,178
	Droge seizoen	Pre-dam	0,191	0,308	0,038
		Post-dam	-0,333	0,469	-0,156
	Kort regenseizoen	Pre-dam	0,059	0,776	0,044
		Post-dam	0,200	0,719	0,097

In het kort regenseizoen neemt bij de MAX LST de grootte van de positieve trend toe met 0,053 °C tussen de pre- en post-dam periode. Er is geen enkele trend van de jaarlijkse en seizoenale MAX LST statistisch significant.

Bijlage 16.19: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek voor de jaarlijkse en seizoenale MAX LST in de invloedzone 50-100 km rond het stuwmeer

Invloedzone 50-100 km		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse gemiddelde MAX LST		65	51	0,354
Seizoenale gemiddelde MAX LST	Grote regenseizoen	78	51	0,062
	Droge seizoen	35	51	0,286
	Kort regenseizoen	67	51	0,286

Bijlage 16.20: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale MAX LST in de invloedzone 50-100 km rond het stuwmeer

Invloedzone 50-100 km			Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse gemiddelde MAX LST		Pre-dam	0,044	0,839	0,019
		Post-dam	-0,600	0,136	-0,167
Seizoenale gemiddelde MAX LST	Grote regenseizoen	Pre-dam	-0,191	0,308	-0,100
		Post-dam	0,067	1,000	0,068
	Droge seizoen	Pre-dam	0,191	0,308	0,066
		Post-dam	-0,600	0,136	-0,366
	Kort regenseizoen	Pre-dam	0,074	0,715	0,065
		Post-dam	0,067	1,000	0,034

Bij de seizoenale MAX LST in het kort regenseizoen neemt de absolute grootte van de stijgende trend af met 0,031 °C tussen de pre- en post-dam periode. Er is geen enkele trend van de jaarlijkse en seizoenale MAX LST statistisch significant.

MIN LST

Bijlage 16.21: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek voor de jaarlijkse en seizoenale MIN LST over het volledige studiegebied

Volledig studiegebied		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse gemiddelde MIN LST		2	51	<0,0001
Seizoenale gemiddelde MIN LST	Grote regenseizoen	0	51	<0,0001
	Droge seizoen	9	51	0,002
	Kort regenseizoen	18	51	0,020

Bijlage 16.22: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale MIN LST over het volledige studiegebied

Volledig studiegebied			Kendall's tau	p-waarde (2-zijdig)	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse gemiddelde MIN LST		Pre-dam	0,456	0,010	0,071
		Post-dam	-0,467	0,272	-0,068
Seizoenale gemiddelde MIN LST	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,265	0,151	0,055
		Post-dam	-0,467	0,272	-0,116
	Droge seizoen	Pre-dam	0,515	0,003	0,066
		Post-dam	-0,333	0,469	-0,103
	Kort regenseizoen	Pre-dam	0,368	0,042	0,069
		Post-dam	0,333	0,469	0,046

In het kort regenseizoen bij de MIN LST neemt de absolute grootte van de positieve trend beperkt af tussen de pre- en post-dam periode, namelijk 0,023 °C. Enkel de pre-dam trend van de jaarlijkse MIN LST en seizoenale MIN LST in het droge seizoen en kort regenseizoen zijn statistisch significant.

Bijlage 16.23: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek voor de jaarlijkse en seizoenale MIN LST over het stuwmeer

Stuwmeer		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse gemiddelde MIN LST		0	51	<0,0001
Seizoenale gemiddelde MIN LST	Grote regenseizoen	0	51	<0,0001
	Droge seizoen	0	51	<0,0001
	Kort regenseizoen	6	51	0,001

Bijlage 16.24: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale MIN LST over het stuwmeer

Stuwmeer		Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)	
Jaarlijkse gemiddelde MIN LST	Pre-dam	0,574	0,001	0,110	
	Post-dam	-0,467	0,272	-0,051	
Seizoenale gemiddelde MIN LST	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,324	0,076	0,123
		Post-dam	-0,600	0,136	-0,257
	Droge seizoen	Pre-dam	0,574	0,001	0,105
		Post-dam	-0,333	0,469	-0,066
	Kort regenseizoen	Pre-dam	0,368	0,042	0,093
		Post-dam	0,067	1,000	0,012

In het kort regenseizoen neemt bij de MIN LST de grootte van de positieve trend af met 0,081 °C tussen de pre- en post-dam periode. Enkel de pre-dam trend van de jaarlijkse MIN LST en seizoenale MIN LST in het droge seizoen en kort regenseizoen zijn statistisch significant. De pre-dam trend van de MIN LST in het grote regenseizoen is bijna statistisch significant (p-waarde = 0,076).

Bijlage 16.25: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek voor de jaarlijkse en seizoenale MIN LST in de invloedzone 0-10 km rond het stuwmeer

Invloedzone 0-10 km		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse gemiddelde MIN LST		5	51	0,000
Seizoenale gemiddelde MIN LST	Grote regenseizoen	6	51	0,001
	Droge seizoen	8	51	0,001
	Kort regenseizoen	18	51	0,020

Bijlage 16.26: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale MIN LST in de invloedzone 0-10 km rond het stuwmeer

Invloedzone 0-10 km			Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse gemiddelde MIN LST		Pre-dam	0,574	0,001	0,101
		Post-dam	-0,467	0,272	-0,089
Seizoenale gemiddelde MIN LST	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,309	0,091	0,089
		Post-dam	-0,467	0,272	-0,272
	Droge seizoen	Pre-dam	0,603	0,000	0,099
		Post-dam	-0,333	0,469	-0,065
	Kort regenseizoen	Pre-dam	0,338	0,063	0,077
		Post-dam	-0,067	1,000	-0,030

Enkel de pre-dam trend van de jaarlijkse MIN LST en van de seizoenale MIN LST in het droge seizoen is statistisch significant. De pre-dam trend van de MIN LST in het grote regenseizoen en het kort regenseizoen is bijna statistisch significant (respectievelijk p-waarde = 0,091 en 0,063).

Bijlage 16.27: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek voor de jaarlijkse en seizoenale MIN LST in de invloedzone 10-50 km rond het stuwmeer

Invloedzone 10-50 km		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse gemiddelde MIN LST		5	51	0,000
Seizoenale gemiddelde MIN LST	Grote regenseizoen	2	51	<0,0001
	Droge seizoen	15	51	0,010
	Kort regenseizoen	20	51	0,030

Bijlage 16.28: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale MIN LST in de invloedzone 10-50 km rond het stuwmeer

Invloedzone 10-50 km		Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)	
Jaarlijkse gemiddelde MIN LST	Pre-dam	0,441	0,013	0,077	
	Post-dam	-0,467	0,272	-0,066	
Seizoenale gemiddelde MIN LST	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,250	0,177	0,066
		Post-dam	-0,467	0,272	-0,173
	Droge seizoen	Pre-dam	0,426	0,017	0,070
		Post-dam	-0,333	0,469	-0,104
	Kort regenseizoen	Pre-dam	0,338	0,063	0,064
		Post-dam	0,200	0,719	0,070

In het kort regenseizoen bij de MIN LST is de grootte van de pre-dam trend weinig verschillend van deze van de post-dam trend. De absolute grootte van de post-dam trend is namelijk slechts 0,006 °C groter dan deze van de pre-dam trend. Enkel de pre-dam trend van de jaarlijkse MIN LST en de seizoenale MIN LST in het droge seizoen zijn statistisch significant. De pre-dam trend van de MIN LST in het kort regenseizoen is bijna statistisch significant (p-waarde = 0,063).

Bijlage 16.29: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek voor de jaarlijkse en seizoenale MIN LST in de invloedzone 50-100 km rond het stuwmeer

Invloedzone 50-100 km		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse gemiddelde MIN LST		2	51	<0,0001
Seizoenale gemiddelde MIN LST	Grote regenseizoen	0	51	<0,0001
	Droge seizoen	8	51	0,001
	Kort regenseizoen	18	51	0,020

Bijlage 16.30: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale MIN LST in de invloedzone 50-100 km rond het stuwmeer

Invloedzone 50-100 km			Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse gemiddelde MIN LST		Pre-dam	0,426	0,017	0,070
		Post-dam	-0,333	0,469	-0,080
Seizoenale gemiddelde MIN LST	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,294	0,109	0,060
		Post-dam	-0,467	0,272	-0,099
	Droge seizoen	Pre-dam	0,529	0,002	0,062
		Post-dam	-0,333	0,469	-0,106
	Kort regenseizoen	Pre-dam	0,382	0,034	0,068
		Post-dam	0,200	0,719	0,040

In het kort regenseizoen bij de MIN LST neemt de absolute grootte van de positieve trend beperkt af tussen de pre- en post-dam periode, namelijk 0,028 °C. Enkel de pre-dam trend van de jaarlijkse MIN LST en de seizoenale MIN LST in het droge seizoen en kort regenseizoen zijn statistisch significant.

Neerslag

Bijlage 16.31: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek van de jaarlijkse en seizoenale neerslaghoeveelheid, het jaarlijks en seizoenaal aantal neerslagdagen, het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen over het volledige studiegebied

Volledig studiegebied		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse neerslaghoeveelheid		171	175,500	0,909
Seizoenale neerslaghoeveelheid	Grote regenseizoen	170	175,500	0,887
	Droge seizoen	135	175,500	0,252
	Kort regenseizoen	145	175,500	0,391
Jaarlijks aantal neerslagdagen		137	175,500	0,273
Seizoenaal aantal neerslagdagen	Grote regenseizoen	121,500	175,500	0,123
	Droge seizoen	147	175,500	0,465
	Kort regenseizoen	172,500	175,500	0,949
99^{ste} percentiel dagelijkse neerslaghoeveelheden		214	175,500	0,276
Jaarlijks aantal extreme neerslagdagen		206	175,500	0,422

Bijlage 16.32: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale neerslaghoeveelheid, het jaarlijks en seizoenaal aantal neerslagdagen, het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen over het volledige studiegebied

Volledig studiegebied		Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)	
Jaarlijkse neerslaghoeveelheid	Pre-dam	0,202	0,146	5,044	
	Post-dam	0,128	0,590	5,922	
Seizoenale neerslaghoeveelheid	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,259	0,060	6,338
		Post-dam	0,103	0,675	2,590
	Droge seizoen	Pre-dam	-0,111	0,433	-0,244
		Post-dam	0,410	0,057	3,264
	Kort regenseizoen	Pre-dam	-0,071	0,621	-0,525
		Post-dam	-0,051	0,858	-0,624
Jaarlijks aantal neerslagdagen	Pre-dam	0,037	0,786	0,067	
	Post-dam	0,641	0,003	2,417	
Seizoenaal aantal neerslagdagen	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,150	0,285	0,250
		Post-dam	0,579	0,007	1,333
	Droge seizoen	Pre-dam	-0,189	0,179	-0,125
		Post-dam	0,421	0,049	0,804
	Kort regenseizoen	Pre-dam	-0,069	0,626	0,000
		Post-dam	0,168	0,427	0,464
99^{ste} percentiel dagelijkse neerslaghoeveelheden	Pre-dam	0,248	0,073	0,174	
	Post-dam	-0,385	0,076	-0,246	
Jaarlijks aantal extreme neerslagdagen	Pre-dam	0,220	0,122	0,111	
	Post-dam	-0,275	0,211	-0,155	

Bijlage 16.33: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek van de jaarlijkse en seizoenale neerslaghoeveelheid, het jaarlijks en seizoenaal aantal neerslagdagen, het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen over het stuwmeer

Stuwmeer		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse neerslaghoeveelheid		207	175,500	0,376
Seizoenale neerslaghoeveelheid	Grote regenseizoen	190	175,500	0,690
	Droge seizoen	248	175,500	0,036
	Kort regenseizoen	172	175,500	0,932
Jaarlijks aantal neerslagdagen		200	175,500	0,518
Seizoenaal aantal neerslagdagen	Grote regenseizoen	124,500	175,500	0,163
	Droge seizoen	309,500	175,500	<0,0001
	Kort regenseizoen	181,500	175,500	0,920
99^{ste} percentiel dagelijkse neerslaghoeveelheden		245	175,500	0,045
Jaarlijks aantal extreme neerslagdagen		258,500	175,500	0,014

Bijlage 16.34: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale neerslaghoeveelheid, het jaarlijks en seizoenaal aantal neerslagdagen, het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen over het stuwmeer

Stuwmeer			Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse neerslaghoeveelheid		Pre-dam	0,179	0,199	4,295
		Post-dam	-0,103	0,675	-3,630
Seizoenale neerslaghoeveelheid	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,236	0,088	4,661
		Post-dam	-0,103	0,675	-1,551
	Droge seizoen	Pre-dam	0,003	1,000	0,001
		Post-dam	0,000	0,952	0,010
	Kort regenseizoen	Pre-dam	-0,088	0,536	-0,331
		Post-dam	-0,103	0,675	-1,399
Jaarlijks aantal neerslagdagen		Pre-dam	0,081	0,558	0,133
		Post-dam	0,146	0,498	0,505
Seizoenaal Aantal neerslagdagen	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,084	0,545	0,176
		Post-dam	0,301	0,158	0,764
	Droge seizoen	Pre-dam	0,063	0,658	0,000
		Post-dam	-0,123	0,575	-0,045
	Kort regenseizoen	Pre-dam	0,000	1,000	0,000
		Post-dam	0,052	0,806	0,139
99^{ste} percentiel dagelijkse neerslaghoeveelheden		Pre-dam	0,168	0,230	0,120
		Post-dam	-0,359	0,100	-0,183
Jaarlijks aantal extreme neerslagdagen		Pre-dam	0,045	0,751	0,000
		Post-dam	-0,328	0,144	-0,174

Bijlage 6.35: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek van de jaarlijkse en seizoenale neerslaghoeveelheid, het jaarlijks en seizoenaal aantal neerslagdagen, het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen in de invloedzone 0-10 km rond het stuwmeer

Invloedzone 0-10 km		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse neerslaghoeveelheid		194	175,500	0,608
Seizoenale neerslaghoeveelheid	Grote regenseizoen	186	175,500	0,776
	Droge seizoen	192	175,500	0,648
	Kort regenseizoen	153	175,500	0,530
Jaarlijks aantal neerslagdagen		167,500	175,500	0,867
Seizoenaal aantal neerslagdagen	Grote regenseizoen	114,500	175,500	0,079
	Droge seizoen	276	175,500	0,003
	Kort regenseizoen	180	175,500	0,991
99^{ste} percentiel dagelijkse neerslaghoeveelheden		235	175,500	0,089
Jaarlijks aantal extreme neerslagdagen		241,500	175,500	0,053

Bijlage 16.36: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale neerslaghoeveelheid, het jaarlijks en seizoenaal aantal neerslagdagen, het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen in de invloedzone 0-10 km rond het stuwmeer

Invloedzone 0-10 km			Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse neerslaghoeveelheid		Pre-dam	0,174	0,214	3,778
		Post-dam	0,026	0,952	0,411
Seizoenale neerslaghoeveelheid	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,219	0,114	5,305
		Post-dam	-0,051	0,858	-0,987
	Droge seizoen	Pre-dam	-0,100	0,483	-0,200
		Post-dam	0,308	0,163	1,796
	Kort regenseizoen	Pre-dam	-0,105	0,457	-0,591
		Post-dam	-0,077	0,765	-1,363
jaarlijks aantal neerslagdagen		Pre-dam	-0,020	0,884	0,000
		Post-dam	0,390	0,066	1,250
Seizoenaal Aantal neerslagdagen	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,075	0,587	0,105
		Post-dam	0,342	0,110	0,631
	Droge seizoen	Pre-dam	-0,271	0,057	-0,118
		Post-dam	0,290	0,176	0,317

	Kort regenseizoen	Pre-dam	-0,086	0,542	-0,045
		Post-dam	0,184	0,389	0,389
99^{ste} percentiel dagelijkse neerslaghoeveelheden		Pre-dam	0,094	0,509	0,076
		Post-dam	-0,385	0,076	-0,307
Jaarlijks aantal extreme neerslagdagen		Pre-dam	0,036	0,801	0,000
		Post-dam	-0,330	0,133	-0,211

Bijlage 16.37: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek van de jaarlijkse en seizoenale neerslaghoeveelheid, het jaarlijks en seizoenaal aantal neerslagdagen, het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen in de invloedzone 10-50 km rond het stuwmeer

Invloedzone 10-50 km		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse neerslaghoeveelheid		178	175,500	0,955
Seizoenale neerslaghoeveelheid	Grote regenseizoen	181	175,500	0,887
	Droge seizoen	147	175,500	0,424
	Kort regenseizoen	147	175,500	0,424
Jaarlijks aantal neerslagdagen		148	175,500	0,437
Seizoenaal aantal neerslagdagen	Grote regenseizoen	131,500	175,500	0,216
	Droge seizoen	194,500	175,500	0,622
	Kort regenseizoen	175	175,500	0,973
99^{ste} percentiel dagelijkse neerslaghoeveelheden		240	175,500	0,064
Jaarlijks aantal extreme neerslagdagen		231	175,500	0,117

Bijlage 16.38: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale neerslaghoeveelheid, het jaarlijks en seizoenaal aantal neerslagdagen, het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen in de invloedzone 10-50 km rond het stuwmeer

Invloedzone 10-50 km			Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope (°C/jaar)
Jaarlijkse neerslaghoeveelheid		Pre-dam	0,202	0,146	4,669
		Post-dam	0,103	0,675	4,000
Seizoenale neerslaghoeveelheid	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,254	0,067	5,630
		Post-dam	0,000	0,952	0,061
	Droge seizoen	Pre-dam	-0,111	0,433	-0,225
		Post-dam	0,410	0,057	2,563
	Kort regenseizoen	Pre-dam	-0,071	0,621	-0,430
		Post-dam	-0,077	0,765	-1,291
Jaarlijks aantal neerslagdagen		Pre-dam	-0,131	0,346	-0,133
		Post-dam	0,477	0,024	1,733
Seizoenaal aantal neerslagdagen	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,075	0,587	0,167
		Post-dam	0,338	0,111	0,775
	Droge seizoen	Pre-dam	-0,305	0,029	-0,200
		Post-dam	0,331	0,123	0,333
	Kort regenseizoen	Pre-dam	-0,154	0,268	-0,150
		Post-dam	0,275	0,198	0,450
99^{ste} percentiel dagelijkse neerslaghoeveelheden		Pre-dam	0,157	0,264	0,166
		Post-dam	-0,385	0,076	-0,358
Jaarlijks aantal extreme neerslagdagen		Pre-dam	0,119	0,399	0,067
		Post-dam	-0,314	0,152	-0,191

Bijlage 16.39: Mann-Whitney statistiek, bijhorende p-waarde en verwachte waarde van de Mann-Whitney statistiek van de jaarlijkse en seizoenale neerslaghoeveelheid, het jaarlijks en seizoenaal aantal neerslagdagen, het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen in de invloedzone 50-100 km rond het stuwmeer

Invloedzone 50-100 km		U	Verwachte waarde	p-waarde
Jaarlijkse neerslag		162	175,500	0,711
Seizoenale neerslag	Grote regenseizoen	168	175,500	0,842
	Droge seizoen	123	175,500	0,135
	Kort regenseizoen	142	175,500	0,345

Aantal jaarlijkse neerslagdagen		145	175,500	0,410
Aantal neerslagdagen per seizoen	Grote regenseizoen	114	175,500	0,076
	Droge seizoen	167	175,500	0,827
	Kort regenseizoen	179,500	175,500	0,956
99^{ste} percentiel		201	175,500	0,475
Jaarlijkse extreme neerslagdagen		197,500	175,500	0,533

Bijlage 16.40: Kendall's tau, bijhorende p-waarde en Sen's slope voor de pre-dam en post-dam periode van de jaarlijkse en seizoenale neerslaghoeveelheid, het jaarlijks en seizoenaal aantal neerslagdagen, het 99^{ste} percentiel van de dagelijkse neerslaghoeveelheden en het jaarlijks aantal extreme neerslagdagen in de invloedzone 50-100 km rond het stuwmeer

Invloedzone 50-100 km			Kendall's tau	p-waarde	Sen's slope
Jaarlijkse neerslaghoeveelheid		Pre-dam	0,219	0,114	5,389
		Post-dam	0,282	0,204	6,491
Seizoenale neerslaghoeveelheid	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,288	0,036	6,134
		Post-dam	0,103	0,675	3,891
	Droge seizoen	Pre-dam	-0,105	0,457	-0,263
		Post-dam	0,436	0,042	3,568
	Kort regenseizoen	Pre-dam	-0,105	0,457	-0,604
		Post-dam	0,000	0,952	-0,040
Jaarlijks aantal neerslagdagen		Pre-dam	-0,049	0,722	-0,083
		Post-dam	0,632	0,003	3,000
Seizoenaal aantal neerslagdagen	Grote regenseizoen	Pre-dam	0,178	0,201	0,222
		Post-dam	0,614	0,004	1,375
	Droge seizoen	Pre-dam	-0,190	0,179	-0,136
		Post-dam	0,458	0,032	1,000
	Kort regenseizoen	Pre-dam	-0,146	0,295	-0,190
		Post-dam	0,093	0,666	0,286
99^{ste} percentiel dagelijkse neerslaghoeveelheden		Pre-dam	0,259	0,060	0,162
		Post-dam	-0,333	0,129	-0,283
Jaarlijks aantal extreme neerslagdagen		Pre-dam	0,244	0,087	0,125
		Post-dam	-0,275	0,211	-0,134

Bijlage 17: Uitsnede van QGIS met links het raster van het volledige studiegebied met LST-waarden van de maandelijks gemiddelde dagelijkse cyclus voor juli 2010 met aanduiding van de besproken pixel in het geel en met rechts voor deze besproken pixel de maandelijkse gemiddelde LST waarde van elk uur

