

# Delta's in de eigen context

Wat zijn de oorzaken van de grootste waterbedreigingen voor de landbouwsector in de context van verschillende delta's: een casestudie naar de Cauvery delta en de Ganges-Brahmaputra delta



Universiteit Utrecht

Roeland Reinking

Universiteit Utrecht  
Faculteit Geowetenschappen  
Sociale Geografie en Planologie  
Bachelor thesis  
Begeleider: Dr. Crelis Rammelt  
28-06-2019

## Delta's in de eigen context:

Wat zijn de oorzaken van de grootste waterbedreigingen in de context van verschillende delta's: een casestudie naar de Cauvery delta en de Ganges-Brahmaputra delta

Bachelor scriptie:

Periode 3 en 4 van collegejaar 2018/2019

Naam: Roeland Reinking

Studentnummer: 5720109

Begeleider: Dr. Crelis Rammelt

Bron van Universiteit Utrecht logo: website van de Universiteit Utrecht

Bron van de satellietfoto: <https://www.planetobserver.com/2018/03/natural-color-sentinel-satellite-imagery/>

Dit onderzoek is gedaan van 4 februari tot 28 juni.

## **Voorwoord:**

Dit onderzoek heb ik gedaan voor het afronden van mijn bachelor Liberal Arts and Sciences. Binnen deze studie volg ik de hoofdrichting Geografie van Ontwikkelingslanden. De inhoud van de scriptie sluit goed aan bij de onderwerpen die aan bod komen binnen deze hoofdrichting. Zo ligt de focus vaak op hoe derdewereldlanden geholpen kunnen worden met ontwikkelen. Mijn belangstelling voor het internationale aspect van de hoofdrichting is groot. Hiernaast zijn Bangladesh en India altijd al landen geweest die mijn interesse wekte. In april 2018 ben ik twee weken in India geweest en door deze ervaring wilde ik meer leren over het land. Het voorgaande, in combinatie met advies van mijn begeleider, hebben mij doen kiezen voor dit onderwerp. De scriptie is bestemd voor mensen met interesse voor dit thema. Daarnaast is het relevant voor mensen die gaan over het beheer van natuurbronnen in de twee delta's. Door een duidelijk beeld van de context van de delta's te hebben, kunnen de juiste oplossingen geïmplementeerd worden.

Graag zou ik Crelis Rammelt willen bedanken voor de begeleiding tijdens het schrijven van deze scriptie. Gedurende de afgelopen vijf maanden heeft hij mij voorzien van duidelijk en wetenschappelijk advies.

Ik hoop dat u deze scriptie met plezier zult lezen.

Roeland Reinking

28-06-2019

## **Samenvatting:**

De context van delta's verandert en er zijn steeds grotere verschillen tussen delta's wereldwijd. Om de juiste oplossingen voor verschillende waterbedreigingen te kunnen implementeren, moet de context van de verschillende delta's beter onderzocht worden (Keskinen et al., 2010). In dit onderzoek is er een beeld geschetst van de context van de Cauvery delta en de Ganges-Brahmaputra delta, door de oorzaken van waterbedreigingen op de landbouwsector te achterhalen. De delta is geanalyseerd als een sociaalecologisch systeem. De oorzaken zijn vooral te plaatsen in sociale- en natuurlijke processen. De hoofdvraag die wordt beantwoord in dit onderzoek is: wat zijn de oorzaken van de grootste waterbedreigingen voor de landbouwsector in de context van de Cauvery delta en de Ganges-Brahmaputra delta? De grootste waterbedreigingen in de Cauvery delta zijn; een conflict in het gebied, droogte en watervervuiling. In de Ganges-Brahmaputra delta is er sprake van landverzakking, watervervuiling en zijn er overstromingen. In de twee delta's zijn meerdere, verschillende oorzaken van deze waterbedreigingen gevonden. In dit onderzoek is geprobeerd interacties in de context van twee grote delta's te beschrijven. Dit is gedaan door de oorzaken en waterbedreigingen naast elkaar te zetten, maar dit zijn complexe processen. Zo zijn oorzaken met elkaar verweven of zijn directe waterbedreigingen tergelijktijd ook oorzaken van andere, directe waterbedreigingen. Dit geeft aan dat een delta een zeer ingewikkeld systeem is. Op basis van dit onderzoek blijkt dat er nog verder onderzoek moet worden gedaan naar de interactie tussen een enkele, specifieke oorzaak en één waterbedreiging. Op die manier kan er een gedetailleerder beeld worden geschetst van deze gecompliceerde interacties.

# Contents

Inleiding: .....	6
Aanleiding: .....	6
Probleemstelling: .....	7
Doelstelling:.....	7
Maatschappelijke relevantie: .....	8
Wetenschappelijke relevantie:.....	8
Theoretisch kader:.....	10
Rivierdelta: .....	10
Stroomgebied (wijdere context) en directe context:.....	10
Grondwater in delta's: .....	11
Waterbedreiging voor de landbouwsector:.....	11
Sociaalecologische systemen: .....	12
Methode: .....	16
Uitleg van de gebruikte methode:.....	16
Dataverzameling:.....	16
Gebiedsomschrijving van de Cauvery delta: .....	17
Gebiedsomschrijving van de Ganges-Brahmaputra delta in Bangladesh: .....	19
Resultaten:.....	21
Waterbedreiging in de Cauvery delta: conflict.....	22
Impact van het conflict op de landbouwsector: .....	23
Oorzaken van de waterbedreiging 'conflict' in de wijdere context:.....	24
Oorzaken van de waterbedreiging 'conflict' in de directe context: .....	27
Waterbedreiging in de Cauvery delta: droogte.....	28
Impact van droogte op de landbouwsector: .....	28
Oorzaken van de waterbedreiging 'droogte' in de wijdere context:.....	29
Oorzaken van de waterbedreiging 'droogte' in directe context:.....	30
Waterbedreiging in de Cauvery delta: watervervuiling .....	31
Impact van watervervuiling op de landbouwsector: .....	31
Oorzaken van de waterbedreiging 'watervervuiling' in de wijdere context:.....	32
Oorzaken van de waterbedreiging 'watervervuiling' in de directe context:.....	33
Waterbedreiging in de Ganges-Brahmaputra delta: landverzakking .....	36
Impact van landverzakking op de landbouwsector: .....	36

Oorzaken van de waterbedreiging ‘landverzakking’ in de ruimere context: .....	37
Oorzaken van de waterbedreiging ‘landverzakking’ in de directe context: .....	38
Waterbedreiging in de Ganges-Brahmaputra delta Bangladesh: overstromingen ....	40
Impact overstromingen op de landbouwsector: .....	40
Oorzaken van de waterbedreiging ‘overstromingen’ in de ruimere context: .....	41
Oorzaken van de waterbedreiging ‘overstromingen’ in de directe context: .....	44
Waterbedreiging in de Ganges-Brahmaputra delta Bangladesh: watervervuiling ....	45
Impact watervervuiling op de landbouwsector: .....	45
Oorzaken van de waterbedreiging ‘watervervuiling’ in de ruimere context:.....	46
Oorzaken van de waterbedreiging ‘watervervuiling’ in de directe context:.....	48
Discussie: .....	50
Cauvery delta:.....	50
Het conflict in de Cauvery delta: .....	50
Droogte in de Cauvery delta: .....	51
Vervuiling van het water in de Cauvery delta: .....	52
Ganges-Brahmaputra delta: .....	53
Landverzakking in de Ganges-Brahmaputra delta:.....	53
Overstromingen in de Ganges-Brahmaputra delta:.....	54
Vervuiling van het water in de Ganges-Brahmaputra delta:.....	54
Reflectie op de theorie en resultaten: .....	56
Reflectie theorie: .....	56
Reflectie resultaten:.....	56
Conclusie:.....	58
Literatuurlijst: .....	60

## Inleiding:

### Aanleiding:

87% van al het landoppervlak is, via rivieren, verbonden met de oceaan (Ludwig & Probst, 1998). Een delta bestaat uit kust ophopingen van sedimenten die grenzen aan of in de nabijheid zijn van de bronstroom, inclusief de afzettingen die secundair zijn gevormd door golven, stromingen of getijden (Bianchi & Allison, 2009). Het gebied van een delta is extra gevoelig voor overstromingen, zeker in ontwikkelingslanden waar de waterinfrastructuur nog minder ver gevorderd is (Dasgupta et al., 2011). Zo zijn er in Bangladesh veel overstromingen rondom de rivierdelta in het land (Dasgupta et al., 2011). Dit komt mede doordat het land erg laag ligt; tweederde van het land ligt nog geen vijf meter boven zee level (Dasgupta et al., 2011). Ook de Mekong delta in Vietnam heeft men veel last van overstromingen door extreme regenval of hoogwater in de rivier in de delta (Wassman et al., 2004). Naast de kans op overstromingen rondom rivierdelta's, zijn er ook rivierdelta's waar er hinder ondervonden wordt van de extreme droogte. Zo droogt de rivierdelta in Californië langzaam uit en heeft men in de Cauvery delta in India ook last van extreme droogte. Dit heeft verschillende gevolgen voor omliggende gebieden (Dettinger & Cayan, 2014; Nathan, 1998). Volgens Stouthamer & Van Asselen (2015) wordt het water in de delta's veel gebruikt voor de landbouw. Waterbedreigingen zoals overstromingen of het uitdrogen van rivierdelta's, kunnen een zware impact hebben op samenlevingen en de landbouwsector (Zhang et al., 2008).

Het benutten, of juist het onder controle houden van de delta's, wordt onder andere gedaan aan de hand van waterinfrastructuur projecten en waterplanning. Er zijn grote investeringen nodig om de waterwegen van de delta vrij te houden van sediment ten behoeve van watertransport, voor irrigatie en overstromingscontrole (Biggs et al., 2009). Aan de andere kant is sediment nuttig voor landbouw, ecologie, biodiversiteit en voor het voorkomen van kusterosie (Biggs et al., 2009). Er moet goed gekeken worden naar hoe de vruchtbaarheid van een delta optimaal benut kan worden voor bijvoorbeeld de landbouw, zonder blijvende schade aan te richten. Waterinfrastructuur projecten en de landbouwsector krijgen te maken met nieuwe uitdagingen, aangezien de zeespiegel stijgt en er extremere weersomstandigheden zijn (Dasgupta et al., 2011). Zoals hierboven beschreven, zijn er afwijkingen tussen verschillende delta's. Om de nieuwe problemen tegen te gaan moeten de verschillende grote delta's over de wereld in hun eigen, veranderende context gezien worden (Keskinen et al., 2010). Door delta's individueel te benaderen, kunnen de problemen omtrent deze delta's, aan de hand van moderne

waterinfrastructuur en aanpassingen in de landbouwsector, verholpen worden. Door per delta de oorzaken van waterbedreigingen in kaart te brengen, kan er effectief op deze bedreigingen worden ingespeeld. De opvallende en toenemende verschillen tussen rivierdelta's vereisen dus verdere aandacht. Dit vraagt om grondige kennis en gebied-specifieke maatregelen (Keskinen et al., 2010). Deze kennis en maatregelen kunnen, wanneer effectief ingezet, de impact van de waterbedreigingen eventueel reduceren.

## Probleemstelling:

Het voorgaande leidt tot de volgende probleemstelling die centraal staat in dit onderzoek: wat zijn de oorzaken van de grootste waterbedreigingen voor de landbouwsector in de context van de Cauvery delta en de Ganges-Brahmaputra delta? Deze hoofdvraag zal beantwoord worden aan de hand van vier verschillende deelvragen. Eerst moet er gekeken worden naar wat de waterbedreiging is op de landbouwsector. Hierna zal per waterbedreiging onderzocht worden wat de impact van deze waterbedreiging op de landbouwsector is. Vervolgens zal er antwoord gegeven worden op de vraag; wat zijn de oorzaken in de bredere context van de waterbedreigingen? Tot slot zal er gekeken worden naar oorzaken van waterbedreigingen zijn in de directe context.

## Doelstelling:

Het doel van dit onderzoek is om uiteen te zetten wat de belangrijkste oorzaken zijn van de waterbedreigingen voor de landbouwsector in de context van de Cauvery delta en de Ganges delta. Door meer inzicht te krijgen in de oorzaken van waterbedreigingen in de context van rivierdelta's, kunnen watermanagement projecten specifiekere worden ontwikkeld en aangepast worden aan veranderende omstandigheden rondom verschillende, grote rivierdelta's wereldwijd.

Na dieper in te gaan op de relevantie van dit onderzoek, zal er een theoretisch kader geschetst worden. Hierin zullen de relevante theorieën voor dit onderzoek behandeld worden. Vervolgens zal er beknopt aangegeven worden wat de onderzoeksmethoden zijn. Na het kopje 'methoden', zullen de resultaten genoemd worden. In de discussie zullen de resultaten gekoppeld worden aan de theorie en zal er kritisch gekeken worden naar de uitkomsten van dit onderzoek. In de conclusie zal kort het antwoord op de hoofdvraag gegeven worden en zal er kort teruggeblikt worden op de inleiding.



## Maatschappelijke relevantie:

Kijken naar oorzaken van waterbedreigingen voor de landbouwsector in verschillende delta's is maatschappelijk relevant omdat er bij veel ontwikkelingsprojecten gebieds-specifieke kennis nodig is. Voor bijvoorbeeld de ontwikkeling van (water)infrastructuur is dit erg belangrijk.

Daarbij is het onderzoek relevant omdat, met de juiste kennis, negatieve effecten van bepaalde processen ingeperkt kunnen worden. Enkele van deze processen die een deltagebied kwetsbaar maken zijn: zeespiegelstijging, ongereguleerde menselijke interventie van natuurlijke processen en extreme weersomstandigheden zoals droogte. Om de negatieve effecten hiervan in te perken, is het noodzaak om te investeren in waterinfrastructuur en watermanagement (Vörösmarty et al., 2010). Het doen van investeringen vergt gebieds-specifieke kennis. Er zijn grote verschillen tussen delta's, waardoor de investeringen in waterinfrastructuur moeten worden aangepast aan de eigen context van een delta (Keskinen et al., 2010). Hiervoor is kennis van de oorzaken van waterbedreigingen in de eigen context van delta's dus van belang.

Hiernaast is er volgens Pahl-Wostl (2007) een verschuiving in het paradigma van het waterbeheer. Dit betekent dat er meer flexibele, *bottom-up* oplossingen bedacht moeten worden voor problemen in de context van delta's. Het gebruiken van de *bottom-up* benadering, vereist een duidelijk beeld van de lokale context van een delta. Zonder informatie van de context en regionale omstandigheden, kan er geen *bottom-up* planning van projecten plaatsvinden. Momenteel is men ervan overtuigd dat de '*bottom-up*' benadering het meest effectief is binnen het waterbeheer (Pahl-Wostl, 2007). Onderzoek naar- en kennis van de context van een delta is dus nodig om projecten *bottom-up* te kunnen uitvoeren (wat volgens het huidige paradigma het beste is) en is daarom van maatschappelijk belang.

## Wetenschappelijke relevantie:

Dit onderzoek is ook wetenschappelijk relevant. Er is al een rapport opgesteld over kenmerken van rivierdelta's en over verschillen tussen de delta's. In dit rapport is echter voornamelijk gekeken naar de fysieke eigenschappen van verschillende delta's. Wat is de lengte, hoe groot is het stroomgebied, hoeveel reliëf is er etc. (Coleman et al., 2003). Er moet nog beter onderzocht worden wat oorzaken zijn voor bedreigingen in delta's, om zo een beter beeld te creëren van de dynamiek van het systeem. Er kan met deze kennis sneller ingespeeld worden op veranderingen in de context. Ook is er al een onderzoek gedaan naar verschillende delta's

en de verdeling van hun sediment (Korus & Fielding, 2015). Hier wordt echter niet ingegaan op andere aspecten van de context van delta's. In deze onderzoeken zijn de delta's naast elkaar gelegd, maar is er geen alomvattend overzicht geschetst van de eigen context. Oorzaken van (water)bedreigingen voor de landbouwsector zijn nog niet inbegrepen. Het artikel van Keskinen et al., (2010) beweert dat er door de impact van de klimaatverandering een context-gebaseerde benadering gehanteerd moet worden, om de oplossingen zo goed mogelijk aan te passen aan de lokale omstandigheden van het stroomgebied. Door de oorzaken van waterbedreigingen voor de landbouwsector in de verschillende context van delta's uiteen te zetten, kan er in de wetenschap een beter beeld geschetst worden van gepaste oplossingen voor de Cauvery- en Ganges-Brahmaputra delta. Dit artikel draagt dus bij aan het publieke debat over dit onderwerp en vult gaten in de bestaande literatuur aan. Het artikel borduurt verder op het onderzoek van Keskinen et al., (2010). Op basis van informatie uit dit onderzoek is er vervolgonderzoek gedaan naar de twee deltagebieden.

## Theoretisch kader:

### Rivierdelta:

In het artikel van Bianchi & Allison (2009) wordt een delta gedefinieerd als kust ophopingen, bestaande uit rivier-afgeleide sedimenten die grenzen aan of in de nabijheid zijn van de bronstroom, inclusief de afzettingen die secundair zijn gevormd door golven, stromingen of getijden. Delta's zijn *hotspots* voor biodiversiteit (Sebesvary et al., 2016). Er zijn over de wereld vele rivierdelta's die een vruchtbare leefomgeving bieden voor de plaatselijke bevolking. Meer dan vijfhonderd miljoen mensen leven van- en in delta's wereldwijd. Dit is inclusief de mensen die leven in wereldsteden zoals Shanghai, Dhaka en Bangkok (Giosan et al., 2014). Dit geeft aan dat delta's soms dicht bevolkt zijn. Er zijn verschillende verklaringen voor het hoge aantal mensen dat woont in delta's. Zo wordt het water in de rivierdelta volgens Stouthamer & Van Asselen (2015) gebruikt voor landbouw, als bron voor drink- en irrigatiewater en als netwerk voor transport. Volgens Sebesvary et al., (2016) zijn er een ruim aantal natuurbronnen in delta's te vinden en kan er gebruik gemaakt worden van de vruchtbare aarde voor de landbouw. Tegelijkertijd zijn deze drukbevolkte, vruchtbare delta's uiterst gevoelig voor natuurrampen zoals droogte, overstromingen en de zeespiegelstijging (Sebesvary et al., 2016).

### Stroomgebied (wijdere context) en directe context:

De delta bestaat voor een groot deel uit rivieren waarvan de oorsprong vaak niet in de delta ligt. De rivieren stromen door een groot stroomgebied en monden uit in de zee. Volgens Molle (2009) is het stroomgebied een duidelijk concept. Het stroomgebied wordt gedefinieerd als het geografische gebied binnen de grenzen van een systeem van rivieren of beken die samenkomen in dezelfde richting, meestal in de zee of soms in een binnenlands meer. Er zijn meerdere stroomgebieden van de verschillende rivierensystemen die eindigen in de delta. Zo stromen riviersystemen van de Ganges, de Brahmaputra en de Meghna samen in de Ganges-Brahmaputra delta, afkomstig uit hun eigen stroomgebieden (Mukherjee & Bhattacharya, 2001). Volgens Molle (2009) wordt de scheidingslijn tussen stroomgebieden een '*watershed*' genoemd. Er kunnen meerdere '*watersheds*' zijn in een delta. In stroomopwaarts gelegen stroomgebieden van de rivieren die naar de delta stromen vinden activiteiten plaats zoals bijvoorbeeld de bouw van dammen of dijken, en ontbossing. Deze activiteiten kunnen verschillende gevolgen hebben voor stroomafwaarts gelegen gebieden in de delta. Dat

natuurlijke en antropogene activiteiten in het stroomopwaarts gelegen gebied invloed hebben op het stroomafwaarts gelegen gebied en delta, is altijd al erkend (Molle, 2009). Naast de bovenstroomse activiteiten in het stroomgebied van rivieren, zijn er dus ook activiteiten in de delta zelf die invloed hebben op waterbedreigingen. In dit onderzoek zal de directe context van een delta gezien worden als het gebied binnen de delta. Met de ruimere context van de delta wordt in dit onderzoek het stroomgebied van de rivier of klimaatverandering bedoeld. Er zijn oorzaken van waterbedreigingen die in de delta zelf plaatsvinden en er zijn oorzaken die te maken hebben met klimaatveranderingen en/of activiteiten die stroomopwaarts plaatsvinden. Hiernaar zal gerefereerd worden als ‘de ruimere context’.

### Grondwater in delta's:

Er is altijd interactie tussen grondwater en oppervlaktewater (Taniguchi et al., 2002). Er zijn volgens Taniguchi et al., (2002) vooral onderzoeken gedaan naar de interactie tussen grondwater en zeewater in kustgebieden. Hierbij wordt meestal gekeken naar de waterbeweging van zeewater in de richting van het grondwater. Een verschijnsel dat zout water indringing wordt genoemd. Delta's zijn kustgebieden die gevoelig zijn voor dit verschijnsel. Rivieren in delta's staan in verbinding met de zee. Ze lossen grote hoeveelheden water in de zee, maar er komt ook zout water de rivieren binnen (Taniguchi et al., 2002). Het mengen van grondwater en oppervlaktewater vindt vooral plaats in de bovenste sediment laag van de grond (Lamb, 2004). In dit onderzoek zal er ook gekeken worden naar de indringing van zout water in grondwater en rivieren.

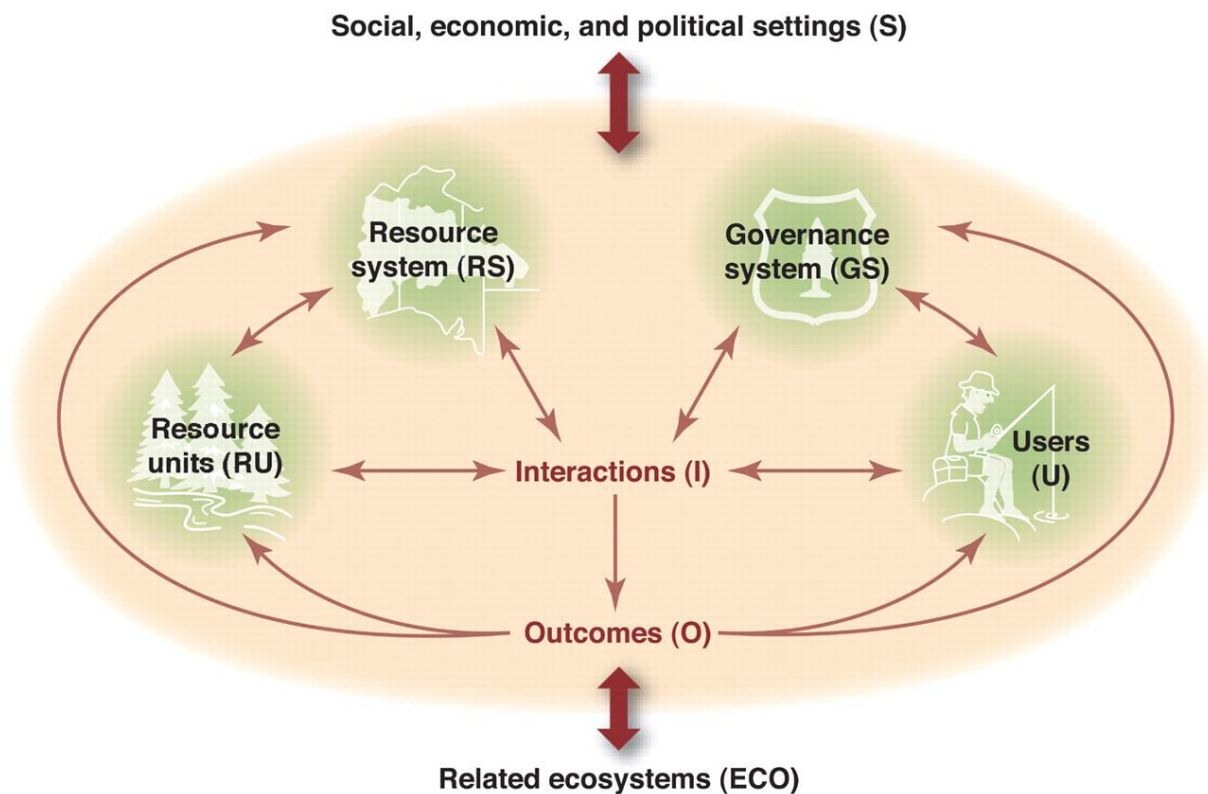
### Waterbedreiging voor de landbouwsector:

In dit onderzoek zal er gekeken worden naar wat de oorzaken zijn van de grootste waterbedreigingen voor de landbouwsector in de context van twee rivierdelta's: de Cauvery delta in India en de Ganges-Brahmaputra delta in Bangladesh. Volgens Stouthamer & van Asselen (2015) is de mens die in de delta woont zwaar afhankelijk van het ecosysteem in de delta voor de landbouw. De impact op de landbouw van waterbedreigingen zoals overstromingen en droogte, conflict, landverzakking en vervuiling kunnen grote gevolgen hebben voor de samenlevingen in delta's. Voornamelijk omdat mensen in deze regio's zeer afhankelijk zijn van deze sector. Met waterbedreiging wordt er in dit onderzoek bedoeld op

situaties of activiteiten die te maken hebben met water en een bedreiging vormen voor de landbouwsector.

## Sociaalecologische systemen:

Volgens het artikel van Brondizio et al. (2016) kunnen delta's geanalyseerd worden als sociaalecologische systemen. Er zijn verschillende onderzoeken gedaan naar delta's als sociaalecologische systemen (Shinn, 2016; Brondizio et al., 2016). Een sociaalecologisch systeem is een systeem waarin de natuur interacteert met de mens (Ostrom, 2009; Brondizio et al., 2016). Meer dan vijfhonderd miljoen mensen over de wereld leven in delta's. Vele delta's zijn dus gebieden waar de natuur (riviersysteem) interacteert met de mens (Giosan et al., 2014; Ostrom, 2009). Het riviersysteem komt in aanraking met de mens omdat de grond vruchtbaar is voor landbouw en het water gebruikt kan worden als drinkwater en irrigatiewater (Stouthamer & van Asselen, 2015). Er zijn veel verschillende definities van het begrip 'sociaalecologisch systeem', echter kan bij elke definitie de natuur niet los worden gezien van de mens en andersom (Folke, 2006). Het is dus zo dat er veel invloed wordt uitgeoefend vanuit de mens, maar ook vanuit de natuur zijn er bedreigingen die ervoor kunnen zorgen dat een sociaalecologisch systeem niet goed meer functioneert (Folke, 2006; Epstein et al., 2013). De hoofduitdaging voor het begrijpen van deze sociaalecologische systemen, is het identificeren en analyseren van relaties op verschillende niveaus in deze complexe systemen (Ostrom, 2009). Dit kan bijvoorbeeld door te kijken naar wat oorzaken zijn van sociale- en natuurlijke invloeden in de context van een sociaalecologisch systeem (Folke, 2006; Keskinen et al., 2010). Als dit duidelijk is, kan er geanalyseerd worden waarom sommige sociaalecologische systemen wel- en sommige niet kunnen aanpassen aan verschillende, externe bedreigingen. In figuur 1 is een model weergegeven voor het analyseren van sociaalecologische systemen.



*Figuur 1: Een theoretisch frame voor het analyseren van een sociaalecologisch systeem (Ostrom, 2009).*

In dit theoretisch frame zijn er verschillende subsystemen die met elkaar interacteren. Zo is er een wederzijdse connectie tussen gebruikers van het ecosysteem (U) en het managen van het gebruik van bronnen (GS) in het ecosysteem. Daarnaast is er een wisselwerking tussen het soort bronsysteem (RS) en welke natuurbronnen (RU) er te vinden zijn binnen dit systeem. Deze vier subsystemen interacteren met elkaar en vanuit deze interactie ontstaat een uitkomst (Outcome).

Het ecologische systeem van een delta komt in aanraking met het sociale systeem aan de hand van antropogene activiteiten zoals het gebruik van water en land voor landbouw en huishoudens. In het theoretisch frame van Ostrom (2009) worden er twee natuurlijke subsystemen en twee menselijke subsystemen genoemd. Er zijn meerdere variabelen mogelijk per subsysteem, deze staan beschreven in *figuur 2*. Onder de natuurlijke subsystemen vallen 'resource system' (RS) en 'resource unit' (RU). Met *resource system* wordt het gehele systeem bedoeld en in dit onderzoek zijn dat de twee verschillende delta's. Een *resource system* heeft bijvoorbeeld als sub variabelen de grootte van het systeem, de locatie en welke door de mens

geconstrueerde faciliteiten er zijn (dammen) (*Figuur 2*). Met *resource unit* worden bepaalde natuurbronnen bedoeld. In dit onderzoek is de *resource unit* bijvoorbeeld ‘water’. Er kan gekeken worden naar hoeveel er van een bron is binnen een sociaalecologisch systeem en naar hoe de bron binnen dit systeem is verdeeld. Ook kan men de economische waarde van verschillende *resource units* bestuderen. Dit zijn enkele variabelen (*figuur 2*) die onderzocht kunnen worden binnen het subsysteem *resource unit* (RU).

In dit onderzoek wordt er vooral naar de hoeveelheid van water gekeken, maar ook naar de eigenschappen van water in de delta. Hiernaast zijn er antropogene aspecten die invloed hebben op het sociaalecologische systeem. Volgens het theoretisch frame van Ostrom (2009) vallen binnen het sociale subsysteem het ‘*governance system*’ (GS) en de ‘*actors/users*’ (U). Met de users worden de gebruikers van de bronnen in het sociaalecologische systeem bedoeld. In dit onderzoek zijn dit bijvoorbeeld de mensen die in de delta wonen, waarvan een groot deel leeft van de landbouw. Met *governance system* wordt de overheid of de instantie bedoeld die gaat over het managen van de natuurbronnen. Variabelen die in *figuur 2* beschreven staan, zijn bijvoorbeeld welke instantie er over het beheer van de natuurbronnen gaat of welke regels er zijn voor de *users* omtrent het gebruik van natuurbronnen. Onder *users* staat bijvoorbeeld ook de variabele ‘*importance of resource*’. De ‘*importance of resource*’ geeft aan hoe belangrijk bepaalde bronnen zijn voor de ‘*users*’. In de gebieden die worden onderzocht, is de natuurbron water erg belangrijk. Water is de belangrijkste natuurbron ter wereld. Zoet water zorgt voor het goed functioneren van ecosystemen in de draslanden van de delta’s (Vörösmarty et al, 2010; Islam & Gnauck, 2008). De interacties tussen de menselijke en natuurlijke subsystemen zouden zich volgens *figuur 2* bijvoorbeeld kunnen uiten in: het doen/niet doen van bepaalde activiteiten in het gebied of in het ontstaan van conflicten tussen gebruikers. Uiteindelijk zal er een uitkomst ontstaan uit de verschillende interacties tussen de vier subsystemen. Deze uitkomst heeft gevolgen voor de sociale of ecologische prestaties van het gebied. Sociale prestaties zouden gemeten kunnen worden in efficiëntie, rechtvaardigheid, verantwoordelijkheid of duurzaamheid (*figuur 2*). Natuurlijke prestaties kunnen bijvoorbeeld gemeten worden in gebruik van natuurbronnen, veerkracht, biodiversiteit en duurzaamheid (*figuur 2*). Een evenwichtige uitkomst betekent dus dat natuur en mens in evenwicht gebruik maken van het systeem en is dus duurzaam. Als de uitkomst uit balans is, wordt het systeem bedreigd en worden natuurlijke processen verstoord. Deze uitkomsten in het ecosysteem zijn weer gerelateerd aan verschillende ecologische invloeden zoals het veranderingen in het klimaat of vervuiling (Related Ecosystems). De uitkomst heeft ook weer een terugwerkende kracht op de verschillende subsystemen. Wanneer de uitkomst bijvoorbeeld het niet duurzaam gebruik van

waterbronnen is, heeft dit een terugwerkende kracht op het natuurlijke subsysteem. Dit kan gezien worden als de impact van de waterbedreiging. Het frame van Ostrom (2009) wordt gebruikt om onderzoeken naar sociaalecologische systemen die op bepaalde aspecten op elkaar lijken te organiseren binnen de wetenschap.

## Second-Tier Variables of a SES

### Social, Economic, and Political Settings (S)

S1- Economic development. S2- Demographic trends. S3- Political stability.  
S4- Government resource policies. S5- Market incentives. S6- Media organization.

### Resource Systems (RS)

RS1- Sector (e.g., water, forests, pasture, fish)  
RS2- Clarity of system boundaries  
RS3- Size of resource system\*  
RS4- Human-constructed facilities  
RS5- Productivity of system\*  
RS6- Equilibrium properties  
RS7- Predictability of system dynamics\*  
RS8- Storage characteristics  
RS9- Location

### Resource Units (RU)

RU1- Resource unit mobility\*  
RU2- Growth or replacement rate  
RU3- Interaction among resource units  
RU4- Economic value  
RU5- Number of units  
RU6- Distinctive markings  
RU7- Spatial and temporal distribution

### Governance Systems (GS)

GS1- Government organizations  
GS2- Nongovernment organizations  
GS3- Network structure  
GS4- Property-rights systems  
GS5- Operational rules  
GS6- Collective-choice rules\*  
GS7- Constitutional rules  
GS8- Monitoring and sanctioning processes

### Actors (A)

A1- Number of actors\*  
A2- Socioeconomic attributes of actors  
A3- History of use  
A4- Location  
A5- Leadership/entrepreneurship\*  
A6- Norms/social capital\*  
A7- Knowledge of SES/mental models\*  
A8- Importance of resource\*  
A9- Technology used

### ACTION SITUATIONS [Interactions (I) → Outcomes (O)]

I1- Harvesting levels of diverse actors  
I2- Information sharing among actors  
I3- Deliberation processes  
I4- Conflicts among actors  
I5- Investment activities  
I6- Lobbying activities  
I7- Self-organizing activities  
I8- Networking activities

O1- Social performance measures  
(e.g., efficiency, equity, accountability, sustainability)  
O2- Ecological performance measures  
(e.g., overharvested, resilience, biodiversity, sustainability)  
O3- Externalities to other SESs

### Related Ecosystems (ECO)

ECO1- Climate patterns. ECO2- Pollution patterns. ECO3- Flows into and out of focal SES.

\*Subset of variables found to be associated with self-organization.

*Figuur 2 (Ostrom, 2009), in dit figuur zijn de 'actors' (A), hetzelfde als de 'users' (U) in figuur 1.*



## Methode:

### Uitleg van de gebruikte methode:

De centrale vraag is: wat zijn de oorzaken van de grootste waterbedreigingen voor de landbouwsector in de context van de Cauvery delta en de Ganges-Brahmaputra delta? Bij het doen van dit onderzoek is er nauwkeurig gekeken naar wat het uiteindelijke doel is. Het doel van dit onderzoek is om te achterhalen wat de oorzaken van grote waterbedreigingen in de context van twee verschillende delta's zijn. Er is in dit onderzoek gebruik gemaakt van een kwalitatieve onderzoeksmethode. Volgens Boeije et al., (2009) houdt de kwalitatieve onderzoeksbenadering in dat er verschijnselen worden beschreven en verklaard. Deze kwalitatieve methode is van toepassing op dit onderzoek omdat de waterbedreigingen meerdere, onderliggende oorzaken hebben. De waterbedreigingen moeten verklaard worden aan de hand van de oorzaken. De oorzaken moeten nauwkeurig beschreven worden. Interviews zouden bijvoorbeeld minder relevant zijn voor het beantwoorden van de hoofdvraag omdat veel verschillende oorzaken gevonden moesten worden. Interviews zijn beter toepasbaar wanneer er dieper ingaan wordt op één oorzaak van één waterbedreiging.

### Dataverzameling:

Er is een literatuuronderzoek uitgevoerd. Om zoveel mogelijke oorzaken te achterhalen, zijn verschillende, wetenschappelijke artikelen nauwkeurig doorgenomen. Omdat er een grote hoeveelheid bronnen beschikbaar is over de context van de twee onderzochte delta's, is deze manier van onderzoeken een goede manier om de hoofdvraag te beantwoorden. De waterbedreigingen kunnen verklaard worden door oorzaken die te vinden zijn in de literatuur. Er is gebruik gemaakt van Google Scholar en andere zoeksystemen van de Universiteit Utrecht zoals: Picarta en Scopus. Bij het zoeken naar bronnen zijn alleen Engelse zoektermen gebruikt.

Aan de hand van de volgende zoekmethoden zijn de bruikbare, wetenschappelijke papers gevonden. Om de omschrijving van de delta en het stroomgebied van de rivier te kunnen achterhalen, is als zoekterm, in Google Scholar en andere zoeksystemen, de naam van de delta gebruikt. Zo is er als zoekterm 'Cauvery delta India' ingetypt, om algemene informatie over het gebied te verwerven. Hetzelfde geldt voor opstellen van de gebiedsomschrijving van de Ganges-Brahmaputra delta. Uit de artikelen die gevonden werden is relevante informatie gehaald over de gebieden. Om waterbedreigingen en oorzaken te ontdekken in de literatuur,

zijn er veel wetenschappelijke bronnen gelezen. Er zijn verschillende zoektermen ingevoerd om zoveel mogelijk bedreigingen in de gebieden te kunnen achterhalen. Er is gekeken naar hoeveel papers over een bepaalde waterbedreiging gingen. Er zijn hiervoor verschillende zoektermen gebruikt. In de Cauvery kwamen de waterbedreiging droogte, conflict en watervervuiling naar voren. In de Ganges-Brahmaputra kwamen de waterbedreigingen: overstromingen, landverzakking en watervervuiling naar voren. Er zijn ook meerdere zoektermen ingetypt bij de verschillende zoeksystemen om een zo integraal mogelijk beeld te krijgen van de verschillende oorzaken. Om bijvoorbeeld de oorzaken van landverzakking in de Ganges-Brahmaputra te vinden werd onder andere '*causes landsubsidence Bangladesh delta*' ingetypt. Door de relevante papers eruit de gevonden zoekresultaten te halen en te lezen, zijn er oorzaken ontdekt. Hiernaast is er ook gebruik gemaakt van de *snowball* methode voor het vinden van de grootste waterbedreigingen en oorzaken. De *snowball* methode houdt in dat de referentielijsten van gelezen artikelen worden gescand om zo tot nog meer relevantie artikelen te komen (Greenhalgh & Peacock, 2005). Bruikbare papers uit de zoektermen zijn gelezen en er is in de referentielijst gekeken voor meer toepasbare artikelen. Aan de hand van deze zoekmethode zijn ook waterbedreigingen en oorzaken gevonden.

### Gebiedsomschrijving van de Cauvery delta:

Het stroomgebied van de Cauvery rivier is ongeveer 81000 vierkante kilometer. De rivier is ongeveer 800 kilometer lang en de rivier en zijrivieren stromen door de deelstaten Tamil Nadu, Karnataka, Pondicherry en Kerala (Anand, 2004; Gosh & Bandyopadhyay, 2009). 44000 vierkante kilometer van het stroomgebied ligt in Tamil Nadu (Geethalakshmi et al., 2011). De bron van de Cauvery rivier ligt in de staat Karnataka (*figuur 3*). De rivier wordt opgesplitst (Vennar en de Cauvery) wanneer de rivier de delta binnenstroomt. De Cauvery rivier en de Vennar rivier worden verder in de delta onderverdeeld in 36 rivieren die of uitlopen in de zee, of die verloren gaan in de uitgestrekte landbouwgrond (Dhanakumar et al., 2013; Solaraj et al., 2010). De delta ligt in de staat Tamil Nadu (*figuur 3*) en spreidt zich uit over een gebied van ongeveer 4000 vierkante kilometer (Ramasamy et al., 2014). Tamil Nadu en Karnataka zijn de staten die het meest betrokken zijn met- en het meest afhankelijk zijn van het water van de rivier (Gosh & Bandyopadhyay, 2009).



*Figuur 3: Stroomgebied van de Cauvery rivier en de Cauvery delta (The Source of India's Water Wars, 2016, pp. 1–3).*

Het gebruik van waterbronnen, voor de irrigatie van landbouw, heeft altijd al centraal gestaan in het leven van de mensen in India (Shah, 2009). Volgens het onderzoek van Gosh & Bandyopadhyay (2009) wordt 89% van het totaal gebruikte water ingezet ten behoeve van de landbouw in de Cauvery delta. Er zijn in Tamil Nadu naar schatting 4.4 miljoen mensen werkzaam in de landbouw (Geethalakshmi et al., 2011). De hoofdproducten van de landbouw zijn rijst, peulvruchten, suikerriet en maïs (Elumalai et al., 2017). Vooral het verbouwen van suikerriet en rijst vereist het gebruik van veel water (Ferdin et al., 2010). Toen Groot-Brittannië India koloniseerde, werd er in de Cauvery delta een groot irrigatienetwerk opgezet voor landbouw, wat nu eigendom is van de staat Tamil Nadu. Karnataka heeft de landbouw pas de afgelopen decennia geïntensifieerd (Gosh & Bandyopadhyay, 2009).

## Gebiedsomschrijving van de Ganges-Brahmaputra delta in Bangladesh:

De Ganges-Brahmaputra delta is één van de dichtstbevolkte gebieden van de wereld (Alam, 1996). Er wonen meer dan 150 miljoen mensen met een dichtheid van ongeveer 1000 mensen per vierkante kilometer (Higgins et al., 2014). De Ganges-Brahmaputra delta in Bangladesh ontstaat voornamelijk uit twee grote rivieren (de Ganges en de Brahmaputra) die hun oorsprong hebben in het Himalayagebergte (*figuur 4*) (Kuehl et al., 2005). De rivieren vertakken in de delta en vloeien samen in de Bengaalse baai. De bron van de Ganges is de Gangotri-gletsjer op de zuidelijke hellingen van de Himalaya. De rivier stroomt vervolgens oostwaarts naar de Bengaalse rivierbekken waar vele zijrivieren instromen (Kuehl et al., 2005). De Brahmaputra is afkomstig van de gletsjers langs de noordelijke hellingen van de Himalaya en stroomt richting de Bengaalse bekken. Volgens Kuehl et al., (2005) heeft het gecombineerde stroomgebied van beide rivieren een oppervlakte van  $2 \times 10^6$  vierkante kilometer. Naast deze twee rivieren is er nog een derde grote rivier die samenkomt in de Bengaalse rivierbekken: de Meghna. Het stroomgebied van de Ganges-Brahmaputra-Meghna ligt voor 62 procent in India, 18 procent in China, 7 procent in Nepal, 8 procent in Bangladesh en slechts 4 procent in Bhutan (Islam & Gnauck, 2008). De delta ligt voor het grootste gedeelte in Bangladesh, echter spreidt de delta zich ook uit naar West Bengaal in India (*Figuur 4*) (Islam & Gnauck, 2008). De delta bevindt zich vlak boven de Bengaalse baai en heeft een omvang van ongeveer 80000 vierkante kilometer (Islam & Gnauck, 2008). Omdat de delta over het algemeen ongeveer twee meter boven de zeespiegel ligt, heeft het gebied veel te maken met overstromingen (Schiermeier, 2014). De delta is samengesteld uit talloze kleine en grote rivieren, maar ook moerassen, meren en afzettingen. Hiernaast ligt het grootste Mangrovebos ter wereld in de delta dat bekendstaat als *the Sundarbans* (Islam & Gnauck, 2008).



*Figuur 4: Stroomgebied van de Ganges en Brahmaputra rivier en de Ganges Brahmaputra delta. (Thakkar, 2014).*

Wereldwijd is het een uitdaging om een goede middenweg te vinden in natte landschappen tussen economische groei en stabiliteit van het ecosysteem (Islam & Gnauck, 2008). De natte landschappen zoals de delta zijn vruchtbare gebieden voor de landbouw (Islam & Gnauck, 2008). In Bangladesh is de bevolking afhankelijk van de landbouwsector. Volgens Halim et al., (2009) verdient 80% van de bevolking geld met het verbouwen van gewassen. Ook volgens Islam et al., (2015) is de landbouwsector in Bangladesh en in de delta erg belangrijk. Deze sector draagt alleen al 19,29% bij aan het bruto nationaal product (Islam et al., 2015). Het gewas wat over het algemeen het meest verbouwd wordt is rijst en er wordt geschat dat er ongeveer 10.000 verschillende soorten rijstgewassen worden verbouwd in Bangladesh (Sarwar, 2005). De landbouwsector stimuleert verschillende ontwikkelingen zoals een stijging in werkgelegenheid, armoedeverlichting, een hogere mate van zelfredzaamheid voor omwonenden en een toename in voedselzekerheid (Islam et al., 2015).

Wat tegenwoordig ook steeds vaker voorkomt in de delta is de kweek van garnalen (Islam et al., 2015). Dit is onder andere ontstaan door het toenemende zoutgehalte in de grond.

## Resultaten:

Zoals in het theoretisch kader als is aangegeven, gaat er in de resultaten gefocust worden op oorzaken van waterbedreigingen voor de landbouwsector in de context van de rivierdelta's. Delta's wereldwijd moeten in de eigen, regionale context gezien worden om gepaste oplossingen te kunnen implementeren in het gebied (Keskinen et al., 2010). Een delta kan geanalyseerd worden als een sociaalecologisch systeem (Brondizio et al., 2016). Er zijn sociale- en natuurlijke invloeden op het systeem die waterbedreigingen kunnen veroorzaken. De oorzaken zijn te vinden binnen natuurlijke, maar ook zeker binnen antropogene activiteiten. Wat de bedreigingen voor de landbouwsector in de context zijn en wat de oorzaken hiervan zijn, gaat in dit resultatenhoofdstuk uiteengezet worden.

Eerst zal er gekeken worden naar de oorzaken van waterbedreigingen in de context van de Cauvery delta in India, vervolgens zullen de oorzaken van de waterbedreigingen in de context van de Ganges-Brahmaputra delta in Bangladesh bestudeerd worden. Bij beide delta's zal de volgende structuur aangehouden worden. Er zal per waterbedreiging voor de landbouwsector in de delta aangegeven worden wat de waterbedreiging in het algemeen inhoudt, wat de impact van de waterbedreiging is op de landbouwsector, wat de oorzaken van de waterbedreiging in de bredere context zijn en als laatste wat de oorzaken in de regionale context zijn.

## Waterbedreiging in de Cauvery delta: conflict

Water is in het stroomgebied van de Cauvery rivier altijd al een schaars product geweest (Fleischli, 2006). In het gebied is het verbouwen van gewassen sterk toegenomen (Gosh & Bandyopadhyay, 2009). Tamil Nadu, de staat waar de Cauvery delta ligt, is één van de meest kwetsbare staten voor waterschaarste (Janakarajan, 1999). Waar schaarste is, is er vaak een conflict (Gosh & Bandyopadhyay, 2009). In het stroomgebied van de Cauvery is er dan ook een conflict over water (Anand, 2004; Folke, 1998; Gosh & Bandyopadhyay, 2009; Janakarajan; 1999). Volgens Fleischli (2006) gaat het conflict niet om de verdeling van ongebruikt water, maar om herverdeling van water wat al volledig gebruikt wordt. Het conflict in de regio speelt zich af tussen de twee staten Karnataka en Tamil Nadu en gaat over de verdeling van water (Fleischli, 2006).

Aan de ene kant is er een grote boerenbevolking in de Cauvery delta in Tamil Nadu gevestigd. Deze groep bestaat uit ‘Tamils’. Dit is de etnische meerderheidsgroep in Tamil Nadu. Aan de andere kant zijn er de mensen die aan de andere kant van de staatsgrens wonen en gebruik maken van het water van de Cauvery in Karnataka. Dit zijn boeren uit het Mandya-district en de groeiende bevolking van Bangalore, de hoofdstad van Karnataka. Deze gebruikers worden ‘Kannadigas’ genoemd en vormen de etnische meerderheid in Karnataka (Fleischli, 2006).

Beide groepen worden ook gerepresenteerd door een eigen overheidsinstantie, waardoor het conflict naar een officieel level getild wordt (Fleischli, 2006). De conflicten vinden veelal plaats op lokaal niveau, tussen groepen en individuen, maar de conflicten zijn diep verstrikt in complexe relaties tussen dorpen, stroomgebieden en staten (Folke, 1998). Deelstaten in India hebben bevoegdheden over het waterbeheer en daarmee over het beheer van irrigatie, kanalen, dijken, wateropslag en waterkrachtcentrales. Echter, de Cauvery rivier stroomt door meerdere staten waardoor het implementeren van een algemeen beleid voor het gehele stroomgebied moeilijk is (Ferdin. 2010). Voor de verdeling van het water is er door de Indiase centrale overheid een ‘Cauvery waterconflict tribunaal’ opgericht in 1990 (Fleischli, 2006). In het daaropvolgende jaar (1991) kwam het Tribunaal met de beslissing dat Karnataka wekelijks water vrij moest maken voor Tamil Nadu. Deze beslissing leidde tot hevige protesten en rellen in de grensgebieden van de staten (Fleischli, 2006).

In *figuur 3* is te zien dat de bron van de Cauvery rivier in Karnataka ligt en dat deze verder stroomt door de lager gelegen staat Tamil Nadu naar de Golf van Bengal in (Fleischli, 2006). Wanneer de moesson minder regen brengt dat verwacht, kan Karnataka niet aan de vraag

naar water voldoen en laat de staat minder tot geen water door naar het lagergelegen Tamil Nadu (Ferdin et al., 2010). Vooral in de maanden van april tot en met juli (*Kuruvai*), valt er weinig tot geen regen in de delta en heeft Tamil Nadu het water extra hard nodig (Folke, 1998). Tijdens de *Kuruvai* is een deel van de delta in Tamil Nadu afhankelijk van de Mettur Dam, die in Karnataka ligt (Gosh & Bandyopadhyay, 2009). Als er ook in Karnataka extreme droogte is, wat vaak het geval is in deze periode, wordt er minder of geen water doorgelaten naar Tamil Nadu. De oplossing is voorlopig dat er een bepaalde hoeveelheid water per jaar wordt doorgelaten naar Tamil Nadu, maar de vraag is hoelang dit goed gaat. Al met al betekent dat minder water in de Cauvery, door extremere weersomstandigheden, de spanningen waarschijnlijk zal laten toenemen (Ferdin et al., 2010).

### Impact van het conflict op de landbouwsector:

De conflicten in het stroomgebied van de Cauvery rivier zijn een waterbedreiging voor de landbouwsector in de Cauvery delta in Tamil Nadu. Het conflict in de regio heeft verschillende gevolgen voor de landbouwsector in de Cauvery delta. Een gevolg is dat door de conflicten het water niet duurzaam wordt gebruikt, waardoor in de loop der tijd het water nog sneller op zal raken (Folke, 1998). Het conflict zorgt ervoor dat de schaarse hoeveelheid water in het stroomgebied van de Cauvery en in de delta inefficiënt verdeeld wordt. De inefficiënte verdeling van water heeft betrekking op het huishoudelijke gebruik, maar ook op het gebruik in de landbouw. Volgens Ferdin et al., (2010) is er een duidelijke wederzijdse beïnvloeding van het conflict en inefficiënt watergebruik (voor de landbouw). Er zijn vier specifieke verbanden tussen het geschil tussen de staten en inefficiënt watergebruik: 1) het Cauvery-conflict vormt een barrière voor de modernisering van het fysieke irrigatiesysteem in de delta, (2) het geschil zorgt ervoor dat financieel en sociaal kapitaal alleen voor bepaalde onderdelen wordt ingezet, terwijl het ook op andere (effectievere) manieren gebruikt kan worden, (3) het geschil rechtvaardigt niet-optreden door overheidsfunctionarissen en medewerkers van de irrigatie afdeling en (4) het beleidskader biedt geen functionerend institutioneel mechanisme om problemen aan te pakken en conflicten op te lossen. Dus wanneer water efficiënter wordt gebruikt zou dit het conflict versoepelen en andersom (Ferdin et al., 2010). Door het conflict wordt het irrigatiesysteem niet gemoderniseerd en wordt het niet optreden van medewerkers van de irrigatieafdeling getolereerd. Dit heeft gevolgen voor de landbouw. Er is volgens Ferdin et al., (2010) goed beleid nodig voor het stroomgebied van de Cauvery en de Cauvery delta om het conflict te temperen en hierdoor duurzaam en efficiënt gebruik van de waterbron te



stimuleren. Echter is er door het conflict vaak sprake van slechte management. Slecht management zou zich kunnen uiten in bijvoorbeeld de bouw van meerdere dammen stroomopwaarts in het stroomgebied in Karnataka waardoor er minder sediment en water naar de delta wordt vervoerd. Dit zal leiden tot kusterosie, zout water indringing en uiteindelijk dus minder bruikbaar water voor de landbouw in de delta (Dandekar & Thakkar, 2014).

Bovendien is er geld nodig voor de regio van de Wereldbank en van andere investeerders, maar dit krijgt de regio niet vanwege het aanhoudende conflict (Ferdin et al, 2010). Er moeten eerst oplossingen bedacht worden voor het correct managen van het conflict bij de waterbron voordat er geld in de regio gepompt kan worden.

### Oorzaken van de waterbedreiging ‘conflict’ in de bredere context:

Volgens meerdere artikelen vinden er verschillende processen in het stroomgebied van de Cauvery plaats, die de waterbedreiging ‘conflict’ veroorzaken en versterken.

Een eerste oorzaak van de waterbedreiging ‘conflict’ in de bredere context van de Cauvery delta is de erger wordende droogte. De droogte en de waterschaarste in het stroomgebied van de Cauvery rivier leiden tot een geschil over de waterverdeling (Geethalakshmi et al., 2011, Nathan, 1998). Vooral in de zomerperiode is er weinig water beschikbaar in het gebied, waardoor er een conflict ontstaat over de verdeling van water.

Een tweede proces dat deze waterbedreiging ‘conflict’ doet toenemen, is volgens het artikel van Gosh & Bandyopadhyay (2009), de rijstproductie. Dit is de grootste oorzaak. In de zomerperiode hebben de rijstvelden in beide staten, tegelijkertijd, extreem veel water nodig. Wanneer de ‘zomerrijst’ van Karnataka veel water heeft gekregen, begint de ‘zomerrijst periode’ (*Kuruvai*) in Tamil Nadu (Gosh & Bandyopadhyay, 2009). Beide perioden overlappen elkaar. Er is een alomtegenwoordige vraag naar water voor de rijstgewassen in de zomerperiode in Karnataka. In Tamil Nadu is de vraag naar water in de zomerperiode (*Kuruvai*) zelfs nog groter. Hierdoor kan er aan de vraag naar water niet voldaan worden (Gosh & Bandyopadhyay, 2009). Omdat Karnataka zich in een natuurlijke machtspositie bevindt en kan beslissen over de hoeveelheid water dat doorstroomt naar Tamil Nadu, kunnen de boeren daar nog vaak worden voorzien in hun behoefte naar water. Karnataka laat bij droogte, minder water door naar de Cauvery delta in Tamil Nadu (Ferdin et al., 2010). Alleen als er een jaar extreem veel regen valt bereikt het water de baai van Bengal (Ferdin et al., 2010). In beide staten is er een blijvende schaarste aan water in de zomerperiode waarin beide staten tegelijkertijd rijst produceren. Dit vergroot de kans op conflicten tussen de staten (Gosh & Bandyopadhyay, 2009).

Een derde proces dat het conflict aanwakkert, is de toename in de rijstproductie. Naast dat de waterbedreiging ‘conflict’ ontstaat door het tegelijkertijd produceren van de rijst in de twee staten, ontstaat deze bedreiging door een toename in het volume van de productie. Steeds meer boeren in het stroomgebied van de Cauvery rivier verbouwen rijst. Rijst heeft veel water nodig, vooral in de zomer (Gosh & Bandyopadhyay, 2009). De toename van rijstproductie heeft drie oorzaken. Ten eerste is door het verdelingssysteem in het gebied de prijs van rijst sterk gedaald. Dit leidt ertoe dat er meer verbouwd moet worden om genoeg geld te verdienen (Gosh & Bandyopadhyay, 2009). Daarnaast is het zo dat de overheid aan het eind van de jaren 80 de prijs van water omhoog wilde doen, echter was dit niet mogelijk door de protesten van boeren (Gosh & Bandyopadhyay, 2009). Deze lage waterprijs kan eigenlijk niet gehanteerd worden bij een normale marktwerking, aangezien het een zeer schaarse bron is. De prijs van water is nu zo laag, dat water bijna gratis is in de regio. Deze lage prijs bevordert ook de mogelijkheid om de productie tegen lage kosten uit te breiden. Tenslotte is er een subsidie op elektriciteit voor onder andere het oppompen van water in de regio (Ambirajan, 1999). Dit maakt de expansie van de productie ook beter mogelijk. Als water kunstmatig goedkoop blijft, kan rijst ook goedkoper geproduceerd worden dan eigenlijk, op een onverstoordde markt, zou moeten. Een toename in productie zorgt ervoor dat de waterbedreiging ‘conflict’ toeneemt. De ‘resource unit’ water zou dus hoger gewaardeerd moeten worden. Dit vraagt om een strakker beleid omtrent de vraag naar- en het gebruik van water (Gosh & Bandyopadhyay, 2009). Samenvattend kan er gesteld worden dat door de kunstmatig lage prijs van water, de rijstproductie toeneemt. Op zijn beurt neemt door de groei in de rijstproductie de vraag naar water verder toe, terwijl het aanbod hiervan afneemt. Dit veroorzaakt een gat tussen de benodigde hoeveelheid water om de manier van leven van de bewoners in stand te houden en het natuurlijke aanbod.

Een vierde proces is *the Green Revolution* (Groene Revolutie). Ook dit is een oorzaak van conflicten over water in het gebied (Folke, 1998). De Groene Revolutie is een revolutie die eind jaren '60 plaatsvond in de landbouwsector. Er werden nieuwe soorten gewassen geïntroduceerd en geïmplementeerd die de productiviteit van de landbouw verbeterden (Chakravarti, 1973). Deze gewassen werden pas rond de jaren 90 in Karnataka gekweekt, terwijl dit al eerder in Tamil Nadu gebeurde (Gosh & Bandyopadhyay, 2009). De nieuwe gewassen zorgden voor meer opbrengst, maar vereisten nog wel veel water. Dit intensiverde de strijd om deze natuurlijke hulpbron. De nieuwe, hybride gewassen reageerden beter op kunstmest en de opbrengst bij het gebruik van kunstmest was hoger. Alle nieuwe gewassen, behalve rijst, waren beter bestand tegen droogte. Verder kon er door snellere groei soms twee keer geoogst worden (Chakravarti, 1973). Door onder andere deze voordelen waren de nieuwe,

hybride gewassen een groot succes en werd er massaal gebruik van gemaakt in delen van India. Naast haar voordelen was de Groene Revolutie echter wel een oorzaak van de waterbedreiging 'conflict'. Zowel in Karnataka als in Tamil Nadu waren er gemeenschappen die gezamenlijk de rivieren in de Cauvery Delta onderhielden (Folke, 1998). Door de Groene Revolutie werd dit gezamenlijke beheer stopgezet. De Groene Revolutie bracht een meer individualistische benadering van de landbouw, waardoor er grotere verschillen tussen boeren ontstonden (Folke, 1998). Zo gebruikte de ene boer machines voor het verbouwen van gewassen, terwijl de andere boer nog traditioneel te werk ging (Folke, 1998). Rijke boeren konden zich nieuwe gewassen en machines veroorloven, de armen niet. Door de grotere verschillen in ontstonden er nieuwe conflicten. Er zijn pogingen gedaan om de gemeenschappen meer samen te laten werken in het behouden van water, echter zorgt het conflict ervoor dat dit erg moeizaam verloopt (Ferdin et al., 2010). Deze conflicten, ontstaan tijdens de Groene Revolutie, vormen ook een waterbedreiging omdat ze ten koste gaan van effectief, gezamenlijk waterbeheer.

Een vijfde proces dat bijdraagt aan de waterbedreiging 'conflict' in de regio is volgens Ferdin et al., (2010) watermanagement. Dit is vaak slecht geregeld in het stroomgebied van de Cauvery. Volgens Ferdin et al., 2010 hangt het wanbeheer van de waterbronnen sterk samen met het voortdurende conflict tussen de twee staten. De conflictsituatie ontstaat mede door het feit dat beleid omtrent water heeft gefaald, waardoor duurzaam, efficiënt gebruik van water niet kan plaatsvinden (Anand, 2004; Ferdin et al., 2010). Het beheer van water gaat niet goed vanwege de volgende twee redenen. Ten eerste is het management niet goed omdat veel verschillende partijen die betrokken zijn het niet eens kunnen worden. Daarnaast handelen ze te veel vanuit eigenbelang. Zo wordt er in Tamil Nadu geprobeerd om *Water Use Associations* (WUA) op te zetten, maar omdat de organisaties die hierin deelnemen geen consensus willen sluiten, komen deze ideeën niet goed tot uiting (Ferdin et al., 2010). Deze WUA's zouden duidelijke regels omtrent het watergebruik kunnen maken, echter werkt dit dus niet. Op deze manier draagt de waterbedreiging 'conflict' bij aan een minder goed watermanagement. Aan de ene kant is het voortdurende conflict dus een gevolg van het wanbeheer van de waterbron. Aan de andere kant zorgt het conflict ervoor dat de organisaties naar eigen belangen streven waardoor het beleid omtrent water niet goed tot stand komt. Hiernaast is er een Cauvery tribunaal opgericht om het conflict in te perken, echter zet dit nog meer op het spel voor de betrokken partijen (Ferdin et al., 2010). Volgens Ferdin et al., (2010) zijn er bijvoorbeeld nog verzoeken gedaan om watertanks te implementeren voor gemeenschappen in Karnataka, maar omdat alle betrokken partijen in het tribunaal hierbij betrokken zijn, waaronder Tamil Nadu, kon het plan niet doorgaan. Ook dit is een voorbeeld van hoe de waterbedreiging 'conflict' en

het daarmee gepaard gaande mismanagement bijdragen aan niet-duurzaam water gebruik (Ferdin et al., 2010).

### Oorzaken van de waterbedreiging ‘conflict’ in de directe context:

Er zijn geen oorzaken gevonden van het conflict in de directe context van de delta. Er is grondig gekeken in de bestaande literatuur, echter zijn ze niet gevonden. Dit zou kunnen komen omdat het een conflict is tussen twee staten die niet beide in de delta liggen. Hierdoor is het automatisch een conflict in de bredere context van de Cauvery delta, met oorzaken in de bredere context.

## Waterbedreiging in de Cauvery delta: droogte

Volgens Geethalakshmi et al., (2011) hebben vele delen in de wereld last van extreme weersomstandigheden en droogte. Droogte is één van de meest leidende milieuproblemen waar de wereld mee te maken heeft (Praveen et al., 2016). Droogte treedt op als gevolg van een tekort aan neerslag gedurende een langere periode (Praveen et al., 2016). Hierdoor krijgt een gebied te maken met een tekort aan water, zowel grondwater als oppervlaktewater. Het voorkomen van droogte kan verschillen in de duur, de intensiteit en hiernaast kan ook verschillen per gebied (Praveen et al., 2016). Over het algemeen wordt droogte gemeten aan de hand van de volgende vier parameters. Dit zijn: de hoeveelheid regen, de hoeveelheid grondwater, het aantal verschillende opslagplaatsen en de hoeveelheid water dat hierin aanwezig is en de kwalitatieve staat van gewassen (Nathan, 1998).

Er zijn meerdere artikelen die aangeven dat er toenemende, extreme droogte in is Tamil Nadu (Bhatia et al., 2006; Geethalakshmi et al., 2011; Nathan, 1998). Bovendien geven klimaatmodellen aan dat er in Tamil Nadu extremere maximum en minimumtemperaturen voorkomen en dat de regenval minder wordt (Geethalakshmi et al., 2011). Veel mensen in deze staat ondervinden vandaag de dag al last van de toenemende droogte en door dit verschijnsel wordt water een steeds schaarsere bron (*Resource Unit*) in het gebied. Volgens Nathan (1998) is zeker 50% van de gebieden in Tamil Nadu kwetsbaar voor droogte. Volgens Praveen et al., (2016) is het belangrijk om te kijken naar hoe er in de toekomst omgegaan kan worden met meer droogte in India, vooral met betrekking tot de landbouwsector. Echter, vergeleken met de omliggende staten verder naar het binnenland, is Tamil Nadu minder kwetsbaar voor droogte. Er valt relatief gezien iets meer regen en er stroomt nog meer water (Nathan, 1998). Ondanks dat de droogte relatief gezien meevalt, moet er toch serieus gekeken worden naar dit verschijnsel als waterbedreiging. Hieronder wordt de impact van droogte op de landbouwsector toegelicht.

### Impact van droogte op de landbouwsector:

Extreme periodieke droogte vormt een ernstige beperking voor de landbouwsector (Praveen et al., 2016). 70% van de bevolking in India is afhankelijk van de landbouw, waardoor veranderingen in het klimaat zoals aanhoudende droogte, directe invloeden via de landbouwsector zullen hebben op het dagelijks leven van mensen (Vijayasathya & Ashok, 2015).

Droogte heeft directe invloed op de landbouwsector om de volgende drie redenen. Ten eerste is er minder water beschikbaar is voor het irrigeren van gewassen. Daarnaast dwingt het boeren om een dure transitie door te maken (Geethalakshmi et al., 2011). Een derde impact van droogte is dat het conflicten in de hand werkt.

Als er minder water beschikbaar is om landbouwgrond te irrigeren, zal dit een negatieve impact hebben op landbouwproducten. Er zit minder water in de grond en rivier waardoor gewassen minder goed geïrrigeerd kunnen worden (Kumar et al., 2005). Onderzoek heeft aangetoond dat een stijging van de temperatuur met 4%, de productiviteit van de rijstgewassen met 41% doet afnemen (Geethalakshmi et al., 2011). Hoe meer de temperatuur zal stijgen, hoe sneller de rijstproductie zal afnemen. Hierdoor komt het landbouwsysteem, en zo de voedselproductie, onder druk te staan. Deze omstandigheden die de rijstproductie bemoeilijken, resulteren in de tweede impact die droogte op de landbouwsector heeft.

De tweede impact van droogte op de landbouwsector, is dat bepaalde gewassen niet meer verbouwd kunnen worden door een gebrek aan water en een daarmee veranderende bodemstructuur (Geethalakshmi et al., 2011). Hierdoor zal een investering nodig zijn in nieuwe gewassen die resistent zijn tegen de nieuwe, drogere omstandigheden (Geethalakshmi et al., 2011). Het doorgaan van een dergelijke transitie is over het algemeen erg duur voor de lokale boeren. De droogte heeft op deze manier dus een grote impact.

Bovendien is er, door de aanhoudende droogte in het stroomgebied van de Cauvery, een conflict ontstaan tussen twee staten over het gebruik van water van de rivier. Droogte is in dit geval niet een directe waterbedreiging voor de landbouwsector, maar het conflict wel. Het conflict heeft op verschillende manieren een impact op de landbouwsector.

#### Oorzaken van de waterbedreiging 'droogte' in de bredere context:

Volgens Vijayasathy & Ashok (2015) heeft de veranderlijkheid en de verandering van het klimaat gevolgen voor de landbouw over de hele wereld, maar ook zeker in India. Klimaatverandering is de belangrijkste oorzaak voor droogte in de bredere context van de Cauvery delta.

Klimaatverandering versterkt op vele manieren de toenemende droogte in het stroomgebied en in de delta van de desbetreffende rivier. Manieren waarop deze verandering bijdraagt aan droogte zijn: stijgende temperaturen en de daarmee gepaard gaande evaporatie en een gebrek aan neerslag (Nathan, 1998). Ten eerste zorgen hogere temperaturen tot een hogere mate van verdamping. Door een energiebron zoals de zon wordt water omgezet van een vaste vloeistof

naar een gas. Hierdoor verdwijnt er water uit de bodem en neemt droogte toe. Ten tweede heeft het veranderende klimaat invloed op de hoeveelheid neerlag. Er valt minder regen door de jaarlijkse moesson in de delta (Geethalakshmi et al., 2011; Parasuraman, 2009). Er zijn drie verschillende perioden te onderscheiden gedurende het jaar, waarvan er twee periodes zijn waarin regen valt. Dit zijn de volgende: (1) van juni tot en met september (de zuidoostelijke moesson), (2) van oktober tot en met december (de noordoostelijke moesson) en (3) van januari tot en met mei (het droge seizoen) (Nathan, 1995; 1998). Vooral tijdens het droge seizoen nemen de watertekorten sterk toe, echter valt er in de andere twee periodes van het jaar ook steeds minder regen. Hierdoor worden de watervoorraden voor het droge seizoen minder goed aangevuld. De minder wordende, meer onregelmatige regenval tijdens de moesson periodes, heeft grote impact op de landbouwsector. Doordat de moesson over het algemeen minder regen brengt dan verwacht, ontstaat er droogte in het gebied (Parasuraman, 2009). Minder neerslag en hogere temperaturen werken, onder meer door verdamping te versterken, droogte in de hand en zijn dus een funeste combinatie voor de landbouwsector en de mensen die hierin werken.

#### Oorzaken van de waterbedreiging ‘droogte’ in directe context:

Een oorzaak in de directe context van de Cauvery delta is dat de bodem versteent in de delta waardoor er minder water wordt opgeslagen in de grond. Er zijn steeds meer stedelijke ontwikkelingen waardoor de bodem versteent (Annalakshmi & Amsath, 2012). Onverharde bodems met gras, planten en bomen hebben de eigenschap om water vast te houden in de grond. Wanneer de droge periodes aanbreken, zit er nog water in de bodem. Echter, door de verstening in de delta, wordt er steeds minder water vastgehouden door de bodem waardoor er meer droogte ontstaat.

## Waterbedreiging in de Cauvery delta: watervervuiling

Er is vervuiling en besmetting van het water in de Cauvery delta regio, vooral door menselijke invloeden op de natuur (Solaraj et al., 2010). Water kan op verschillende manieren vervuild worden. Ten eerste kan het water vervuild worden door zout water indringing (Vetrimurugan et al., 2017). Verzilting van het water is een vorm van watervervuiling. Hiernaast kunnen verschillende metalen in het water terecht komen (Vetrimurugan et al., 2017). Wanneer er te veel metaal in het water zit, is het water giftig. Volgens Begum et al., (2009) is de vervuiling het meest extreem in de stroomafwaarts gelegen Cauvery delta in Tamil Nadu. Dit is zo omdat alle vervuilde stoffen in het water naar de delta toestromen en zich hier ophopen door de afnemende stroomsnelheid. Bovendien is er veel zout water bij het kustgebied.

### Impact van watervervuiling op de landbouwsector:

Volgens Kumarasamy et al., (2009) zorgt de vervuiling/verzilting ervoor dat het water minder effectief en goed gebruikt kan worden (1). Daarnaast vormt vervuild water een bedreiging voor de volksgezondheid, wat gevolgen heeft voor de arbeidssector in de landbouw (2) en bovendien kan de kwaliteit van producten achteruitgaan (3). Ten slotte kan vervuild water de biodiversiteit doen afnemen. Dit heeft ook negatieve effecten op de landbouwsector (4).

Ten eerste zorgt vervuiling van het water ervoor dat het minder effectief gebruikt kan worden. In het onderzoek van Nagarajan et al., (2010) naar grondwatervervuiling in de regio van Thanjavur (een grote stad in de Cauvery delta), blijkt 20 procent van het grondwater niet geschikt te zijn voor irrigatie. Wanneer er bepaalde stoffen in het water zitten, zoals pesticiden, is het van belang dat het water eerst gezuiverd wordt. Dit is een ingewikkeld proces waar moderne en dure technologieën voor nodig zijn. De kennis, tijd en het geld dat hiervoor nodig is, is niet altijd in de benodigde hoeveelheid aanwezig, waardoor een deel van het schaarse water niet kan worden gebruikt. Watervervuiling draagt dus bij aan een afname in efficiëntie van het kweken van gewassen. Als het vervuilde water, ongezuiverd, wel wordt gebruikt voor de voedselproductie, dan brengt het andere complicaties met zich mee (Nagarajan et al., 2010; Vetrimurugan et al., 2017).

Het gebruiken van vervuild (grond)water voor het irrigeren van gewassen die bestemd zijn om geconsumeerd te worden, is schadelijk voor de volksgezondheid (Vetrimurugan et al., 2017). Wanneer landbouwproducten met giftige stoffen en vervuild water besproeid wordt, kan dit directe gevolgen hebben op de gezondheid van de consument (Vetrimurugan et al., 2017). Het is zo dat 80 procent van de ziektes en sterfgevallen direct of indirect worden veroorzaakt



door besmetting via water, hetzelfde water dat ook op gewassen terechtkomt (Nagarajan et al., 2010). Een ongezonde bevolking doet het aantal arbeidskrachten afnemen en zou op deze manier ook de landbouwsector kunnen beïnvloeden. Alhoewel in India, met haar groeiende populatie, gebrek aan arbeidskracht geen directe bedreiging is, is een ongezonde bevolking als gevolg van de waterbedreiging ‘vervuiling’ toch iets om in de gaten te houden.

Ten derde kan ook de kwaliteit van de gekweekte producten achteruitgaan als het water dat hen voedt niet zuiver is (Reddy & Behera, 2006). Boeren hebben, als de kwaliteit van de gewassen onder bepaalde normen valt, een competitief nadeel op de binnenlandse markt. Zuiver water in de regio is dus belangrijk om de landbouwsector in het betreffende gebied economisch winstgevend te houden (Reddy & Behera, 2006). Als de kwaliteit dusdanig daalt dat producten niet meer geëxporteerd kunnen worden en ook in de binnenlandse markt niet meer tegen een goede prijs afgezet kunnen worden, dan wordt het voor boeren uit de regio steeds lastiger om hun huidige manier van leven voort te zetten. Zuiver water is van groots belang om dit te voorkomen en vervuiling vormt dus een hele serieuze, directe bedreiging voor boeren uit de regio.

Ten slotte heeft watervervuiling een negatieve impact op de biodiversiteit van een gebied (Mclaughlin & Mineau, 1995). Als er veel afvalstoffen of zout in het water zitten dan kan dat bepaalde populaties soorten doen afnemen. Hiermee wordt de balans in een ecologisch systeem verstoord. Zo kan het aanleggen van waternetwerken op de juiste manier een grote invloed hebben. Slechte riolering in sommige steden zorgt er zelfs voor dat er veranderingen plaatsvinden in de eigenschappen van bepaalde soorten, waardoor de soort verandert op den duur (Mclaughlin & Mineau, 1995). Sommige eigenschappen van gewassen kunnen in de loop der jaren negatief veranderen door de watervervuiling. Een verlies aan biodiversiteit heeft ook een negatieve impact op de landbouwsector.

### Oorzaken van de waterbedreiging ‘watervervuiling’ in de bredere context:

Er zijn veel oorzaken van de waterbedreiging ‘watervervuiling’ die hun oorsprong vinden in antropogene activiteiten, maar ook vanuit de natuur zijn er wel degelijk invloeden op de vervuiling van het grondwater.

Er zijn drie oorzaken te detecteren in de bredere context van de delta. Een eerste oorzaak van de waterbedreiging ‘watervervuiling’ in de bredere context van de Cauvery delta is volgens Solaraj et al., (2010) dat er een inadequaat waterbeheer is. Er zijn verschillende redenen voor dit slechte beheer. Ondanks dat er vaak wel regels zijn, wordt er te veel toegelaten door de

instanties in het stroomgebied van de Cauvery (Solaraj et al., 2010). Verder zijn er vaak tegengestelde belangen van verschillende partijen. Ook dit staat het maken van effectieve oplossingen, om vervuiling tegen te gaan, in de weg. Als instanties er wel in slagen om adequate regels op te stellen, dan worden deze vaak niet nageleefd. Corruptie speelt hierbij de grootste rol (Ambirajan, 1999). Het niet komen tot regels en een slechte naleving hiervan, maken bijvoorbeeld, het opzetten en beheren van waterzuiveringsinstallaties en het tegengaan van zoutindringing erg complex. Volgens Vetricurugan & Elango (2015) is vooral in het kustgebied kwetsbaar wanneer er mismanagement plaatsvindt. De waterbronnen in de Cauvery delta moeten regelmatig gecontroleerd worden op het zoutgehalte en regels moeten strakker nageleefd worden. Slecht waterbeheer in het gebied van de Cauvery rivier kan dus een oorzaak zijn van de watervervuiling.

Ten tweede zorgt de moesson voor meer vervuiling in het water van de rivier (Solaraj et al., 2010; Kumarasamy et al., 2009). Er zijn verschillen in vervuiling te detecteren per seizoen. Zo is het water in tijden van de moesson meer vervuild dan in andere seizoenen van het jaar. Door de regenval stroomt er meer vervuild grondwater de rivier in waardoor de vervuiling van het water in de rivier toeneemt. Verder mengen zand en klei zich met het water van de rivier en kunnen afvalstoffen vanuit de stad de rivier instromen. Mismanagement en de moesson dragen dus bij aan de vervuiling van water in de bredere context van de Delta.

Ten derde zorgt de zeespiegelstijging ervoor dat er meer zout water de delta in stroomt (Dandekar & Thakkar, 2014). Het stijgen van de zeespiegel leidt tot meer zoutindringing in het grond- en oppervlaktewater in de delta. Verziltting is een vorm van vervuiling. Het water in de delta raakt dus vervuild door de zeespiegelstijging.

### Oorzaken van de waterbedreiging ‘watervervuiling’ in de directe context:

Er zijn vier verschillende oorzaken van de waterbedreiging ‘watervervuiling’ in de directe context van de Cauvery delta. Ten eerste dringt er zout water binnen in het grondwater en in het water van de rivier. Ten tweede zijn er natuurlijke processen zoals steenvorming waarbij giftige stoffen vrijkomen. Ten derde is er sprake van een groeiende bevolking en de daarmee gepaarde verstedelijking en groeiende industrie. Ten vierde wordt er veel kunstmest gebruikt waardoor giftige stoffen in het grondwater- en uiteindelijk ook in het oppervlaktewater terecht komen.

De eerste oorzaak is dat het zoute water van de zee zich met het grondwater in de kustgebieden vermengt. Het zoute water komt direct via de zee of via het grondwater in de

rivier terecht. De Cauvery rivier in de delta draagt voor een groot deel bij aan het grondwater in het stroomgebied en andersom (Ramyapriya & Elango, 2018). Door indringing van zeewater in het gebied van de delta, stromen er verschillende soorten metalen de rivier binnen. In zeewater zitten meerdere soorten metaal die giftig zijn (Ramyapriya & Elango, 2018). Zeewater indringing in het grondwater komt wel vooral voor in gebieden van de delta die dicht bij de kust liggen. Ook volgens Nagarajan et al., (2010) is er vervuiling van het grondwater door zeewater indringing.

Ten tweede zijn er volgens Vetrimurugan et al., (2017) natuurlijke processen die plaatsvinden in de rivier waardoor het water vervuild raakt. Er zitten mineralen in het water. In deze mineralen komen metalen voor zoals zink en ijzer die voor processen van steenvorming zorgen. Een ander natuurlijk proces dat bijdraagt aan watervervuiling, is dat er bij verschillende soorten stenen, silicium vrijkomt. Silicium is een metaal dat in bijna alle stenen, zand en klei aanwezig is (Vetrimurugan et al., 2017). Silicium komt automatisch ook in het grondwater en oppervlaktewater terecht.

Naast de hierboven genoemde natuurlijke oorzaken, zijn er ook zeker antropogene activiteiten die vervuiling veroorzaken in de directe context van de delta (Solaraj et al., 2010; Kumarasamy et al., 2009). Volgens Kumarasamy et al., (2010) is de enorme populatiegroei in de Cauvery delta hier één van. De populatiegroei en de verstedelijking die hiermee gepaard is gegaan, brengen economische activiteiten en industrie met zich mee (Solaraj et al., 2010). Door de verstedelijking worden er meer rioleringen aangelegd die uitkomen in de rivier. Door samenvloeiingen van rioolwater met het water van de rivier, raakt het water in de rivier vervuild (Kumarasamy et al., 2010; Solaraj et al., 2010). Bovendien neemt door de toenemende bevolking het gebruik van plastic toe. Veel van dit plastic, komt door gebrekkige waste managementsystemen en -afvalverwerking, via oppervlaktewater of wind, in de rivier terecht. Hiernaast neemt, door de populatiegroei, de industriële activiteit toe in het gebied. Dit verhoogt de hoeveelheid afvalwater dat de grond of rivier instroomt (Ramyapriya & Elango, 2018; Vetrimurugan & Elango, 2015). Industrieel afvalwater bevat vaak zeer giftige stoffen. Naast afvalwater, komt er ook industrieel afval in het water terecht. Dit leidt tot nog meer vervuiling. Tenslotte is er in het onderzoek van Kumarasamy et al., (2010) een verband aangetoond tussen heilige plaatsen langs de rivier en vervuiling van het water in de rivier. De heilige plaatsen aan de oever van de rivier zorgen voor besmetting van het water omdat mensen in het water zich wassen en rituelen doen. Soms worden er ook stoffelijke overschotten in de rivier gegooid. Al met al kan gezegd worden dat op plaatsen waar veel mensen zijn, de vervuiling groter is.

Naast de populatiegroei, verstedelijking en groeiende industrie zijn er ook antropogene activiteiten op het gebied van de landbouw die ervoor zorgen dat het water besmet wordt met giftige stoffen. De vierde oorzaak is dat er veel kunstmest wordt gebruikt in de landbouwsector waarvan de giftige stoffen in de grond en het grondwater terecht komen. Volgens Gosh & Bandyopadhyay (2009) worden er door het gebruik van kunstmest hogere productieopbrengsten gerealiseerd en daarmee grotere winstmarges behaald. Om de concurrentiepositie te verbeteren en door de droogte in het gebied, worden er alternatieve middelen gebruikt om de groei van gewassen te stimuleren. Volgens Begum et al., (2009) komt er een hoge concentratie nitraat vrij in het grondwater door het gebruik van kunstmest wat leidt tot besmet grondwater. Een te hoge concentratie nitraat kan vooral giftig zijn voor jongere mensen (Annalakshmi & Amsath, 2012). Door het gebruik van pesticiden en insecticiden komen er nog meer giftige stoffen in de grond terecht. Ook het gebruik van uitwerpselen van dieren voor de landbouw of de uitwerpselen in het algemeen kunnen leiden tot vervuiling van het grondwater en het water in de rivier (Begum et al., 2009).

## Waterbedreiging in de Ganges-Brahmaputra delta: landverzakking

Hoewel landverzakking een directer probleem vormt in delta's dan bijvoorbeeld de klimaatverandering, krijgt dit onderwerp volgens Stouthamer & van Asselen (2015) te weinig aandacht in de wetenschap. Volgens Brown & Nicholls (2015) kan de gelimiteerde kennis van landverzakking een obstakel zijn voor goede management van deltagebieden. Landverzakking is letterlijk het wegzakken van land. De Ganges-Brahmaputra delta is erg gevoelig voor het wegzakken van land omdat de helft van de delta minder dan 5 meter boven de zeespiegel ligt, (Akter et al., 2015). Landverzakking komt voortdurend voor in delta's door een combinatie van antropogene en natuurlijke processen. Natuurlijke processen die leiden over het algemeen matige landverzakking, echter zorgen antropogene factoren ervoor dat dit proces versnelt (Akter et al., 2015). Volgens Akter et al., (2015) zorgen natuurlijke processen voor een landverzakking van 1 tot 10 millimeter. De cijfers van de hoeveelheid landverzakking in de delta verschillen nogal per gebied (Schiermeier, 2014). Volgens Pethick & Oxford (2013) verschilt het wegzakken van de grond van 2 millimeter per jaar tot wel 18 millimeter per jaar in de verschillende gebieden in de delta. Volgens Schiermeier (2014) wijzen satellietbeelden uit dat dit verschilt van 8 tot 18 millimeter per jaar, echter moet dit bevestigd worden door grondmetingen. Volgens Singh (2002) zakt er meer land weg in het oosten van de delta dan in het westen. In het Zuidwesten van de delta is de landverzakking minder extreem dan in het Zuidoosten. Hiernaast is de landverzakking in gebieden van steden erger dan op het platteland (Brown & Nicholls, 2015). Landverzakking is een directe waterbedreiging voor de landbouw in de context van de Ganges-Brahmaputra delta, maar ook indirect omdat het leidt tot meer overstromingen. Het is dus ook een oorzaak van de overstromingen in de delta, echter wordt het in dit onderzoek behandeld als een directe waterbedreiging voor de landbouw.

### Impact van landverzakking op de landbouwsector:

Er zijn drie soorten impact van landverzakking op de landbouwsector. Ten eerste heeft landverzakking als gevolg dat er sprake is van kusterosie in de delta waardoor vruchtbaar landbouwgrond verloren gaat. Ten tweede ontstaat er meer ongelijkheid tussen boeren door alternatieve landbouwmethoden. Ten derde kan er schade aan gebouwen en infrastructuur ontstaan. Producten kunnen minder goed vervoerd worden en boerderijen zullen verloren gaan.

Om te beginnen leidt landverzakking tot kusterosie waardoor vruchtbare landbouwgrond verdwijnt. Landverzakking zorgt in combinatie met de stijging van de

zeespiegel voor *effective sea level rise* (ESLR) (Brown & Nicholls, 2015). Dit houdt in dat door het stijgen van de zeespiegel en het krimpen van de delta, de Ganges-Brahmaputra delta langzaam verdwijnt. Door de kusterosie stroomt er meer zout water landinwaarts waardoor vruchtbare landbouwgrond verloren gaat (Allison, 2012). Er ontstaan meer zoute uiterwaarden (Islam et al., 2015). Door zout water indringing kunnen sommige gewassen minder goed verbouwd worden in delta (Sarwar, 2005). Hiernaast is er minder zoet water in de grond waardoor grondwater voor irrigatie en huishoudelijke doeleinden onbruikbaar wordt.

Een tweede impact van landverzakking is dat er meer ongelijkheid ontstaat tussen boeren in het kustgebied. Door de afname van vruchtbare landbouwgrond in het kustgebied, moeten er alternatieve landbouwmethoden ontwikkeld worden. Echter, niet alle boeren in het gebied hebben geld om deze alternatieve methoden toe te kunnen passen. Zo is volgens (Islam et al., 2015) het kweken van garnalen een alternatieve methode voor boeren om aan geld te komen, maar niet elke boer kan zich dit veroorloven. Voor de garnalenboeren is het kweken van garnalen een goed alternatief, maar de arme boeren kunnen zich niet aanpassen. De verschillen tussen rijke en arme boeren zullen groter worden naarmate de vruchtbare ‘zoete’ landbouwgrond afneemt. Er moet volgens Johnson et al., (2016) per locatie gekeken worden naar wat een goede aanpassingsstrategie is voor verschillende boeren voor de afname van vruchtbare landbouwgrond.

Ten derde kan de waterbedreiging ‘landverzakking’ volgens Stouthamer & van Asselen (2015) leiden tot schade aan gebouwen en infrastructuur. Door het wegzakken van grond zullen delen van wegen en volledige funderingen van huizen het begeven. Boerderijen en infrastructuur zullen verloren gaan in het kustgebied. Hierdoor zal de bereikbaarheid binnen het gebied afnemen, waardoor landbouwproducten minder goed vervoerd kunnen worden. Veel boeren zullen hun huizen moeten verlaten.

### Oorzaken van de waterbedreiging ‘landverzakking’ in de bredere context:

Er is één grote oorzaak van de waterbedreiging ‘landverzakking’ in de bredere context van de Ganges-Brahmaputra delta.

Verschillende bronnen wijzen uit dat in de delta in Bangladesh de bouw van dammen stroomopwaarts voor verschillende doeleinden een grote oorzaak is voor het verzakken van land in de Ganges-Brahmaputra delta (Dandekar & Thakkar, 2014; Higgins et al., 2014; Sarwar, 2005, Schiermeier, 2014). Volgens Brown & Nicholls (2015) vervoeren de Ganges en de Brahmaputra jaarlijks 1 biljoen ton aan sediment per jaar, wat ongeveer 10% van al het sediment

is wat jaarlijks over de wereld door rivieren wordt vervoerd. Normaal gesproken zorgen de grote rivieren voor een enorme toevoer aan sedimenten in de delta. Deze toevoer aan sedimenten compenseert over het algemeen de landverzakking, echter wordt dit proces steeds meer verstoord door de bouw van dammen. Door de bouw van dammen en dijken stroomt het water minder snel waardoor sedimenten eerder naar de bodem van de rivier zakken (Schiermeier, 2014; Brown & Nicholls, 2015). Het ophopen van sediment op de bodem leidt tot meer ophoping waardoor de rivier langzamer gaat stromen en er nog meer sediment naar de bodem zakt. Bovendien houden dammen sediment tegen. Dammen worden stroomopwaarts gebouwd om water te behouden voor de landbouw of om overstromingen te voorkomen (Danekar & Thakkar, 2014; Higgins et al., 2014, Syvitski et al., 2009). Het natuurlijke sediment afvoersysteem wordt door menselijke activiteiten verstoord.

### Oorzaken van de waterbedreiging ‘landverzakking’ in de directe context:

Er zijn drie oorzaken van de waterbedreiging ‘landverzakking’ in de directe context. Ten eerste verdichten sedimenten waardoor de deklaag zwaarder wordt. Ten tweede wordt er water en gas opgepompt uit de grond waardoor de grond langzaam wegzakt. Tenslotte verdwijnt er veel bos. De wortels van de bomen in (mangrove)bossen houden de bodem op zijn plaats, en kunnen verzakkingen voorkomen.

Een eerste, natuurlijke oorzaak voor het wegzakken van de grond in directe context van de delta is dat sedimenten verdichten (Akter et al., 2015). Volgens het artikel van Dasgupta et al., (2015) beweren deskundigen dat de landverzakking in de delta ook wordt veroorzaakt door natuurlijke processen. Sedimenten op een deltavlake zijn rijk aan ontbindend organisch materiaal dat verdicht als gevolg van ontwatering en dit verzwaart het gewicht van de deklaag. Bij veel delta's is er sprake van landverzakking vanwege het gewicht van de dikke sediment laag, dit is ook het geval in de Ganges-Brahmaputra. Verzakking samen met de verdichting vermindert de landhoogte ten opzichte van de stijgende zeespiegel (Khalequzzaman, 1994). Het verdichten van de sedimenten is een natuurlijk proces maar deze activiteiten wordt versneld door menselijke invloeden.

Een tweede oorzaak in de directe context van de delta is dat er grondwater uit de grond wordt gepompt en dat er aardgas en aardolie gewonnen wordt in de delta (Syvitski et al., 2009; Allison, 2012; Brammer, 2014). Deze activiteiten versnellen het verdichtingsproces van sedimenten waardoor het land in de delta sneller wegzakt (Syvitski et al., 2009). Water wordt

tussen de lagen weggepompt waardoor de grond langzaam wegzakt. Volgens Allison (2012) wordt er veel grondwater opgepompt als drinkwater en voor irrigatie van de landbouw. Het oppompen van grondwater en het winnen gas aardgas en olie zorgt voor het wegzakken van grond in de delta.

Ten derde is het verdwijnen van (mangrove)bossen een oorzaak voor landverzakking in de delta (Vyas & Sengupta, 2012). Er verdwijnen er veel (mangrove)bossen ten behoeve van landbouwgrond, maar ook door meer zout water indringing waardoor bepaalde boomsoorten niet meer kunnen groeien (Vyas & Sengupta, 2012). De wortels van bomen stimuleren landaanwas en houden de bodem op zijn plaats. Met het verdwijnen van deze bossen, komt de grond los te liggen. Hierdoor zal de kans op landverzakkingen en erosie toenemen.



## Waterbedreiging in de Ganges-Brahmaputra delta Bangladesh: overstromingen

Een overstroming ontstaat wanneer de hoeveelheid water te groot is voor de capaciteit van de rivier waardoor het water hoger gelegen oppervlaktes overspoelt (Khalequzzaman, 1994). Hiernaast kan de zee ook hogere oppervlaktes overspoelen in de kustgebieden. De afgelopen jaren zijn het aantal overstromingen in de delta flink toegenomen (Khalequzzaman, 1994). Volgens het artikel van Khalequzzaman (1994) zijn er twee verschillende soorten overstromingen die plaatsvinden in Bangladesh: de jaarlijkse overstromingen (Barsha) en de minder voorkomende overstromingen van grote omvang (Bonna). De jaarlijkse overstromingen zitten in het systeem van de bewoners in de delta en zijn van essentieel belang voor de verbouwing van bepaalde gewassen. De weinig voorkomende overstromingen van grote omvang komen onverwachts en hebben soms een vernietigende impact op levens en eigendommen. Jaarlijks sterven er gemiddeld 6000 mensen aan stormen of overstromingen in het land (Schiermeier, 2014). De afgelopen jaren is het aantal weinig voorkomende overstromingen van grote omvang flink gestegen (Khalequzzaman, 1994). De delta in Bangladesh is gevoelig voor overstromingen omdat het op een laaggelegen continentaal platform ligt. De oppervlakte ligt gemiddeld 2 meter boven de zeespiegel (Schiermeier, 2014). Bovendien draagt de trechtervormige kust van Bangladesh bij aan de kans op overstromingen (Karim & Mimura, 2008). Door de groeiende bevolking in het land zullen meer mensen de impact voelen van het toenemende aantal overstromingen (Schiermeier, 2014). De overstromingen vormen een waterbedreiging voor de landbouwsector in de context van de Ganges-Brahmaputra delta.

### Impact overstromingen op de landbouwsector:

De overstromingen in de delta hebben op verschillende manieren impact op de landbouwsector. Ten eerste stroomt er zout water het land in, wat ten koste gaat van vruchtbare landbouwgrond en gewassen. Ten tweede leidt het tot schade aan eigendommen van boeren waardoor ze gedwongen moeten migreren.

Volgens Brammer (2014) en Sarwar (2005) zorgen overstromingen ervoor dat het zoute water steeds verder het land indringt. Door de zout water overstromingen in het kustgebied, gaat vruchtbare landbouwgrond verloren. De voedzame bodemlaag wordt weggespoeld en verzilte grond blijft over. Bovendien kunnen bepaalde gewassen niet tegen het zoute water waardoor er minder verschillende soorten gewassen in het gebied gekweekt kunnen worden.

De hoeveelheid zout in de bodem zorgt voor een slechtere kiemkracht van verschillende soorten (Sarwar, 2005). Een andere manier waarop instroom van zout water de landbouw beïnvloed is via inmenging. Door inmenging van het zoute water met het grondwater, nemen de zoetwater voorraden af. Als al het grondwater verzilt is in een gebied, kan het zelfs zo zijn dat zoetwater voorraden ontbreken in die regio. Het zoete water zal dan van buiten het gebied geïmporteerd moeten worden. Dit werkt verdere afhankelijkheid en nieuwe complicaties in de hand. De landbouw ondervindt dus op verschillende manieren negatieve gevolgen van het zoute zeewater. De negatieve gevolgen zijn: landdegradatie door verzilting, het afnemen van variëteit van gewassen en het afnemen of ontbreken van zoetwater voorraden (Sarwar, 2005).

Ten tweede verwoesten overstromingen eigendommen van boeren waardoor ze gedwongen worden om te migreren. Door de overstromingen aan de kust worden vele opgebouwde garnalenboerderijen en boerderijen geruïneerd (Sarwar, 2005). Gewassen worden volledig weggespoeld. Vissers en garnalenboeren kunnen minder goed geholpen worden omdat de overstromingen vele centrale visservices van de overheid vernielen (Sarwar, 2005). Vooral door overstromingen, maar ook door de populatiegroei in de delta, worden boeren gedwongen te migreren (Islam et al., 2010; Schiermeier, 2012). Volgens Szabo et al., (2016) vindt er op grote schaal migratie plaats binnen de delta en trekken mensen weg van de kustgebieden naar minder ramp-gevoelige en economisch kwetsbare plekken. Volgens Szabo et al., (2016) vindt de migratie vooral plaats naar steden buiten de delta. Deze migratiebeweging is sterk toegenomen in de afgelopen jaren. Dit komt vooral door de beperkte of afwezige mogelijkheden om inkomen te genereren en door het grote verlies van gewassen door overstromingen in het deltagebied. Migratie wordt gezien als een manier om te reageren op de toenemende overstromingen (Szabo et al., 2016). Mensen zijn gedwongen te migreren door de overstromingen, aangezien de problemen in de delta aanhouden.

Kortom hebben de overstromingen vooral invloed op de landbouwgrond door de indringing van het zoute water en het wegspoelen van de gewassen. Sommige gewassen kunnen niet tegen het zoute water, andere gewassen worden volledig weggespoeld. Hiernaast zorgen de overstromingen voor schade aan eigendommen en een grote migratiestroom naar steden en naar andere gebieden buiten de delta.

### Oorzaken van de waterbedreiging ‘overstromingen’ in de bredere context:

Er zijn verschillende oorzaken te detecteren van de overstromingen in de directe en de bredere context van de Ganges-Brahmaputra delta in Bangladesh. De oorzaken van de overstromingen

zijn vooral te vinden in de bredere context van de delta. Een eerste oorzaak in de bredere context is klimaatverandering (zeespiegelstijging en meer stormen). Ten tweede leidt ontbossing stroomopwaarts tot overstromingen. Ten derde kan de bouw van dammen resulteren in overstromingen stroomafwaarts. De vierde oorzaak is inadequaat waterbeheer wat zich bijvoorbeeld uit in het gebrekkig baggeren van rivierbeddingen.

Volgens Karim & Mimura (2008) ontstaan er steeds meer overstromingen door zeespiegelstijging en door opwarming van het oppervlaktewater van de zee. Door de stijging van de zeespiegel staat het water hoger ten opzichte van de kust. De zeespiegel stijgt ongeveer 1 of 2 millimeter per jaar, echter ligt het aantal millimeter in Bangladesh hoger. In een onderzoek naar drie kustgebieden in de delta kwam er naar voren dat de zeespiegelstijging op de drie plaatsen 4, 6 en 7.8 millimeter was (Karim & Mimura, 2008). De snellere stijging van de zeespiegel ten opzichte van het land kan verklaard worden doordat er ook land wegzakt in de delta. Er wordt gekeken naar de *relative sea-level rise* (RSLR). Er wordt naar de zeespiegelstijging ten opzichte van het land gekeken (Aker et al., 2015). De relatieve zeespiegelstijging in Bangladesh is dus hoger dan de absolute, omdat het land ook indaalt.

Door het warmere oppervlaktewater van de zee, ontstaan er ook meer stormen die leiden tot overstromingen (Karim & Mimura, 2008). Extremere stormen brengen onverwachte hoeveelheden water in korte tijd. Hierdoor neemt het aantal overstromingen toe. De zeespiegelstijging en opwarming van het oppervlaktewater zijn oorzaken van de overstromingen in de bredere context van de delta. Het zijn gevolgen van het smelten van de poolkappen door de opwarming van de aarde (Michener et al., 1997; Nicholls & Cazenave, 2010).

Een tweede oorzaak is de bouw van dammen in stroomopwaarts gelegen gebieden. De onderzoeken van Dandekar & Thakkar (2014) en Khalequzzaman (1994) wijzen uit dat er door dammen stroomopwaarts in de rivier minder snel slib en sediment vervoerd wordt naar de stroomafwaarts gelegen delta. Het afdammen van een rivier vermindert de snelheid van de waterstroom stroomafwaarts van de dam. Als gevolg van de verminderde snelheid dalen de sedimenten die door de rivier worden meegevoerd sneller naar de bodem (Khalequzzaman, 1994). Door het sneller dalen van de sedimenten worden ze niet goed afgevoerd naar de zee waardoor de rivier minder diep wordt. Uiteindelijk zal er minder capaciteit in de rivier zijn voor water waardoor er makkelijker overstromingen ontstaan. De overstromingen ontstaan vaak ook boven de dammen omdat dammen sedimentaanvoer tegenhouden. Een voorbeeld van een dergelijke dam is de Farakka dam stroomopwaarts in de Ganges (Zaman, 1993). Door de dam zakken veel sedimenten sneller naar de bodem. Bovendien wordt de waterstroom voor

stroomafwaarts gelegen gebieden in droge delen van het jaar beperkt, maar in het regenseizoen verhoogd. Hierdoor ontstaan de overstromingen in het regenseizoen nog sneller in de delta.

Een derde oorzaak van de toenemende overstromingen zijn de ontbossingen in de stroomopwaarts gelegen gebieden in de Himalaya (Khalequzzaman, 1994; Ives, 1989). Na 1950 is er een enorme populatiegroei ontstaan in de landen waar de Himalaya in ligt. Hierdoor worden er steeds meer bomen omgehakt voor levensonderhoud en voor de economie (Ives, 1989). Volgens Khalequzzaman (1994) wordt het hout van de bossen vooral gebruikt als brandstof. De ontbossingen van steile hellingen in de Himalaya in Nepal, kunnen ervoor zorgen dat er versnelde bodemerosie en aardverschuivingen ontstaan. Bovendien wordt er meer sediment door de ontbossingen vervoerd door de rivieren. Meer sediment in combinatie met de bouw van dammen zorgt ervoor dat capaciteit van de rivier om water te dragen minder wordt (Khalequzzaman, 1994; Wescoat, 1992). Zo kunnen ontbossingen direct leiden tot verwoestende overstromingen in stroomafwaarts gelegen gebieden zoals in de Ganges-Brahmaputra delta (Khalequzzaman, 1994). Volgens Sarwar (2005) leiden ontbossingen ook indirect tot meer overstromingen. Zo zorgt de ontbossing uiteindelijk voor meer Co<sub>2</sub> in de lucht waardoor de zeespiegel sneller stijgt. Het hout wordt vooral verbrand waardoor er meer Co<sub>2</sub> in de lucht komt. Er zijn echter ook onderzoeken die ontbossing niet als grote oorzaak zien. Zo beweert Zaman (1993) dat de ontbossing in de Himalaya niet van een dusdanig grote omvang is dat het invloed heeft op de overstromingen stroomafwaarts. Bovendien komen er ook weer meer bomen bij in het gebied waardoor dit niet een doorslaggevende oorzaak kan zijn (Zaman, 1993).

Een vierde oorzaak zou kunnen zijn dat er te weinig gedaan wordt om de overstromingen te voorkomen. Volgens Gain et al., (2017) heeft de complexiteit van de processen in de delta ervoor gezorgd dat er slechte management in het gebied van de delta is. Een voorbeeld hiervan wordt genoemd in het onderzoek van Zaman (1993). Zo zou gebrekkig baggeren van rivierbeddingen in de delta ervoor kunnen zorgen dat er sneller overstromingen ontstaan. Wateroverlast moet voorkomen worden door de oorzaken te herkennen en deze te verbeteren. De oplossing voor overstromingen zou '*tidal river management*' (TRM) kunnen zijn (Gain et al., 2017; Mutahara et al., 2018). TRM houdt in dat rivieren verschillend beheerd worden gedurende de verschillende getijden. De lokale bevolking presenteert vanuit hun eigen, lokale ervaring en observatie plannen aan de waterbeheerders (Gain et al., 2017). Er worden polders doorbroken of juist gesloten bij de verschillende getijden. TRM wordt al uitgevoerd op verschillende plaatsen, maar het blijft moeilijk toe te passen door de complexe interacties binnen een delta.

## Oorzaken van de waterbedreiging ‘overstromingen’ in de directe context:

Er zijn ook processen die de intensiteit van overstromingen doen toenemen in de directe context, echter zijn dit niet directe oorzaken van overstromingen.

Ten eerste is volgens Khalequzzaman (1994) de overstromingspiek van de drie grote rivieren in de delta precies op hetzelfde moment van het jaar. Omdat de grote rivieren op hetzelfde moment overstromen, zullen de overstromingen heftiger zijn.

Ten tweede is er sprake van een groeiende bevolking en verstedelijking in de delta (Rahman, 2004). Door de verstedelijking versteend de grond waardoor het water minder goed afgevoerd kan worden. Normaal gesproken neemt de grond een groot deel van het water op, echter door de verstening van het oppervlak, zakt het water minder makkelijk weg. Hierdoor neemt de intensiteit van de overstromingen toe.

## Waterbedreiging in de Ganges-Brahmaputra delta Bangladesh: watervervuiling

Hoewel Bangladesh altijd een land met veel rivieren en meren is geweest, is er altijd al een schaarse hoeveelheid aan oppervlaktewater met goede kwaliteit geweest door besmettingen (Mukherjee & Bhattacharya, 2001). Zout water indringing is in veel kustgebieden een probleem en omdat de Ganges-Brahmaputra delta erg laag ligt, heeft het hier nog meer invloed. Een hoog zoutgehalte is een vorm van vervuiling in de delta. Hiernaast wijzen veel onderzoeken uit dat er te veel Arseen in het grondwater en oppervlaktewater in de Ganges-Brahmaputra delta te vinden is (Mukherjee & Bhattacharya, 2001; Bhattacharya et al., 2002). Arseen is een zware metaalsoort dat ooit geprezen werd om de gunstige effecten op de gezondheid, maar wat nu meer berucht staat om de giftigheid (Alam et al., 2002). Er zijn twee verschillende soorten arseen: organisch arseen en niet organisch arseen. De niet organische variant van de metaalsoort is giftiger dan de organische (Fazal et al., 2001). Bangladesh is het meest gevoelige land ter wereld met betrekking tot arseenvergiftiging (Fazal et al., 2001). Volgens Alam et al., (2002) is het grondwater dicht bij het oppervlaktewater meer besmet dan water wat diep in de grond zit, waardoor er dieper geboord moeten worden voor schoon drink- en irrigatiewater. Bij een diepte van 30 meter onder de grond zit over het algemeen het hoogste Arseengehalte (McArthur et al., 2001). Een hoog zoutgehalte en Arseen besmetting van grondwater en oppervlaktewater zijn de grootste soorten vervuiling in de Ganges-Brahmaputra delta. Hieronder zullen de oorzaken uiteengezet worden en zal er gekeken worden naar wat de impact is van de watervervuiling.

### Impact watervervuiling op de landbouwsector:

Er zijn verschillende manieren waarop de watervervuiling in Bangladesh invloed kan hebben op de landbouwsector. Ten eerste zal de opbrengst in de landbouwsector voor boeren minder worden. Ten tweede zal de hoeveelheid arseen en zout in het irrigatiewater de gewassen vergiften wat leidt tot gezondheidsklachten. Ten derde zal de vervuiling een negatieve impact hebben op de biodiversiteit.

Om te beginnen zal de opbrengst van landbouw minder worden door het hoge zoutgehalte en arseengehalte in het water (Baten et al., 2015; Duxbury et al., 2003). Dit komt omdat sommige gewassen niet goed kunnen groeien door een hoog zoutgehalte in het grondwater. Het zoute water gaat bij de wortelzone van gewassen zitten. Hierdoor ontstaat er een disbalans tussen de voedingsstoffen van gewassen (Baten et al., 2015). Bovendien is het

zoute grondwater niet geschikt voor irrigatie. In droge periodes kunnen er minder gewassen verbouwd worden waardoor de opbrengst zal afnemen. Een laatste manier waarop zout water indringing impact zou kunnen hebben op de opbrengst van landbouw is dat het een negatief effect heeft op vee. Dieren die zout water drinken, kunnen minder goede melk produceren (Baten et al., 2015). Hiernaast zal arseen in het grondwater ervoor zorgen dat veel landbouwproducten vergiftigd worden. Door de irrigatie van gewassen met besmet grondwater, zullen gewassen van minder goede kwaliteit zijn (Duxbury et al., 2003). Hierdoor zullen ze minder opleveren.

Als tweede worden gewassen besproeid met water waar Arseen in zit. Mensen die deze gewassen eten, kunnen een overdosis arseen binnenkrijgen op de lange termijn. Ongeveer 25 miljoen mensen in Bangladesh worden blootgesteld aan Arseenvergiftiging via het eten van vergiftigde gewassen, maar ook via drinkwater. Het zal leiden tot gezondheidsproblemen (Alam et al., 2002). Vele mensen in het land lijden aan verschillende ziektes als gevolg van het binnenkrijgen van een te grote hoeveelheid Arseen (Fazal et al., 2001). Hiernaast zorgt ook het hoge zoutgehalte voor gezondheidsproblemen. Volgens Baten et al., (2015) zou het hoge zoutgehalte in drinkwater in verbinding kunnen staan met veel nierklachten en reuma. Door de slechte kwaliteit drink- en irrigatiewater zal het aantal mensen dat in de landbouw werkt afnemen. De impact van de slechte gezondheid van mensen is misschien niet heel groot voor de landbouwsector, echter moet dit wel in de gaten gehouden worden.

Ten derde kan volgens Miah et al., (2011) de watervervuiling ook een negatieve impact hebben op de biodiversiteit in de Ganges-Brahmaputra delta. Zo kunnen er bijvoorbeeld verschillende rijstsoorten verloren gaan door vervuiling van het water (Miah et al., 2011). De diversiteit van rijstsoorten zal afnemen.

### Oorzaken van de waterbedreiging ‘watervervuiling’ in de ruimere context:

Volgens het artikel van Rahman et al., (2000) zijn er menselijke en natuurlijke factoren die invloed hebben op de vervuiling van het water in de Ganges-Brahmaputra delta in Bangladesh.

Ten eerste zou de Farakka dam in India geleid hebben tot een verstoring van de balans tussen zoet en zout water in de Ganges rivier in de delta. Ten tweede leidt slechte management tot slecht gebruik van de natuurbronnen waardoor het zoutgehalte in de grond toeneemt. Ten derde speelt de klimaatverandering een rol in de zout water indringing.

Een eerste oorzaak in de ruimere context zou kunnen zijn dat de Farakka dam stroomopwaarts in India zorgt voor minder zoet water in de droge maanden in de delta,

waardoor er relatief gezien meer zout water in de grond zit en door de rivier stroomt (Rahman et al., 2000). Rahman et al., (2000) beweren dat de Farakka dam in India de verzilting van het water vanuit de delta richting de wateren in het binnenland heeft versneld. Tot aan 1995 was er geen verdrag tussen India en Bangladesh om water van de Ganges in het droge seizoen door te laten naar Bangladesh (Alam et al., 2002). In 1996 werd er een historisch verdrag getekend tussen India en Bangladesh waarin stond dat India een bepaalde hoeveelheid water door zou laten stromen naar Bangladesh in de droge maanden. De onderzoekers die beweren dat dit een oorzaak is van de grote hoeveelheid zout in het water in de delta, zeggen dat dit in de jaren tussen de bouw van de dam en het verdrag is veroorzaakt (Alam et al., 2002). Na 1996 wordt er meer water doorgelaten naar Bangladesh, echter is het evenwicht in de jaren daarvoor verstoord.

Ten tweede hebben onderzoeksresultaten tot nu toe uitgewezen dat het beheer van natuurbronnen in de Ganges-Brahmaputra delta is niet goed gaat (Gain et al., 2017; Islam, 2010, Islam, 2016). Volgens Gain et al., (2017) is er lang niet erkent dat een delta een erg complex systeem is waarbinnen er een complexe dynamiek is tussen sociale en natuurlijke processen. Dit heeft een negatieve impact gehad op adequaat beheer van de natuurbronnen in de delta. Als gevolg van dit inadequate beheer heeft het kustgebied in Bangladesh te maken met verschillende problemen zoals een hoog zoutgehalte in het water (vervuiling). Ook volgens Islam (2010) heeft dit ineffectieve beleid ertoe geleid dat er veel zout water in de grond en rivieren terecht komt in het kustgebied. Volgens Islam (2010) wordt het zoutgehalte te weinig gecontroleerd. Bovendien zijn er geen duidelijke regels omtrent het oppompen van grondwater (Baten et al., 2015). Er is geen effectief beleid omtrent het gebruiken van de natuurbronnen. Er moet met het waterrijke landschap op de juiste manier omgegaan worden, waar een adequaat beheer voor nodig is.

Ten derde zorgen veranderingen in het klimaat ervoor dat de zeespiegel stijgt en dat er meer tropische stormen ontstaan (Baten et al., 2015). Door hogere temperaturen ontstaan er meer stormen. Door de opwarming van de aarde en het smelten van de poolkappen stijgt de zeespiegel. Meer stormen en een hogere zeespiegel leiden tot meer zout water overstromingen in het kustgebied. Hierdoor stroomt er in steeds grotere delen van het kustgebied zout water rivieren en de grond in. Dit is een vorm van vervuiling.



## Oorzaken van de waterbedreiging ‘watervervuiling’ in de directe context:

Een eerste oorzaak van de waterbedreiging ‘watervervuiling’ in de directe context van de Ganges-Brahmaputra delta is dat er zout zeewater indringt in het grond- en oppervlaktewater. Ten tweede zorgt het oppompen van zoet grondwater tot een disbalans tussen zoet en zout water in de grond waardoor een te hoog zoutgehalte ontstaat. Ten derde zorgt de groeiende populatie en industrie voor meer afvalstoffen in het water, waaronder Arseen. Ten vierde zorgt het gebruik van kunstmest voor giftige stoffen in het grond- en rivierwater. Ten vijfde zijn er natuurlijke, geologische processen die voor een grote hoeveelheid Arseen zorgen.

Om te beginnen is er zout water indringing in het grondwater en oppervlaktewater waardoor er minder zoet, bruikbaar water overblijft voor de landbouw en huishoudens (Rahman et al., 2000). Zeewater stroomt de rivieren en het grondwater binnen waardoor het zoutgehalte in de wateren toeneemt.

Ten tweede leidt het oppompen van grondwater tot relatief meer zout water in de grond (Ferguson & Gleeson, 2012; Rahman et al., 2000). Door de populatiegroei is er meer drinkwater en irrigatiewater nodig. Er wordt steeds meer zoet, bruikbaar water uit de grond opgepompt. Door het oppompen van zoet water uit grond, zal het relatieve zoutgehalte in het grondwater toenemen. Er blijft steeds minder bruikbaar water over.

Ten derde is er een groeiende populatie en een groeiende industriële sector in Bangladesh waardoor er meer afvalstoffen in het grond- en rivierwater terechtkomen (Alam et al., 2002). Door de toenemende bevolkingsdichtheid in de delta in Bangladesh is er meer druk op de natuurbronnen komen te staan (Alam et al., 2002). Industrieel afval en afval van steden komt terecht in het water. Arseen komt veel voor in stoffen en spullen die gebruikt worden in de industrie. Door industrieel afval en afval van steden komt er meer arseen in het water. Arseenbesmetting van het water is een vorm van vervuiling.

Ten vierde bedreigingen intensieve landbouwmethoden de vruchtbaarheid van de bodem en het grondwater door het gebruik van kunstmest (Alam et al., 2002). Onder andere Arseen komt veel voor in middelen zoals kunstmest die gebruikt worden voor de landbouw. Verschillende pesticiden en insecticiden bevatten giftige stoffen waaronder arseen (Fazal et al., 2001). Deze giftige landbouwstoffen komen in de grond en in het grondwater terecht. Hierdoor raak het water besmet met giftige stoffen.

Het onderzoek van Fazal et al., (2001) beweert ten vijfde dat veel van deze antropogene activiteiten niet alleen de oorzaak zijn van de hoge hoeveelheid Arseen in het water, maar dat het ook geologische processen zijn. Er zijn bepaalde mineralen waarin organisch Arseen

voorkomt. Deze mineralen worden afgezet door sedimenten die door de rivier vervoerd worden (Fazal et al., 2001). Omdat er veel sedimenten zijn en uitkomen in de delta, is er veel organisch arseen in het gebied. Het organische arseen vervuult het water. Bovendien zitten er volgens Hasan et al., (2013) veel verschillende soorten metalen in zeewater. Het is deels een natuurlijk verschijnsel dat deze metalen in het zeewater voorkomen, echter spelen antropogene activiteiten hier ook een rol in. Door het indringen van zeewater in rivier- en grondwater, komen er verschillende soorten metaal in het water terecht. Dit leidt ook tot vervuiling.

Er is nog een laatste factor die een rol speelt in watervervuiling, echter is dit geen directe oorzaak. Zo zijn er drogere periodes die de intensiteit van de watervervuiling doen toenemen (Baten et al., 2015). Er valt minder regen in de wat drogere periodes waardoor de zoutconcentratie arseengehalte van het grond- en oppervlaktewater minder kan worden verlaagd. Bovendien kan er minder zout water weglekken uit de grond (Baten et al., 2015). Volgens Duxbury et al., (2003) leveren de gewassen in de regenperiode daarom ook meer op. Het grondwater wat gebruikt wordt voor irrigatie, is minder besmet met arseen. Hierdoor zijn de gewassen van betere kwaliteit. Echter, er zijn ook artikelen die beweren dat er in periodes van de moesson juist meer vervuiling is in het water (Solaraj et al., 2010; Kumarasamy et al., 2009). Door de regen stromen afvalstoffen de rivier of grond in.

## Discussie:

In dit hoofdstuk zullen de oorzaken van de waterbedreigingen voor de landbouwsector in de context van beide delta's gekoppeld worden aan de theorie van Ostrom (2009). Vervolgens zal er gereflecteerd worden op het gebruik van de theorie van Ostrom (2009) voor dit onderzoek en op de resultaten.

### Cauvery delta:

#### Het conflict in de Cauvery delta:

Door de conflictsituatie in de ruimere context van de Cauvery delta te koppelen aan de theorie van Ostrom (2009), kan de waterbedreiging 'conflict' binnen een theoretisch kader geplaatst worden.

De impact van het conflict is dat het een barrière voor de modernisering van het fysieke irrigatiesysteem vormt. Bovendien rechtvaardigt het conflict het niet-optreden van medewerkers van de irrigatieafdeling (Ferdin et al., 2010). Hiernaast worden financiële middelen niet efficiënt ingezet en biedt het beleidskader geen functionerend institutioneel mechanisme om problemen aan te pakken en conflicten op te lossen. De gevolgen van het conflict hebben een inefficiënte waterverdeling voor onder andere de landbouw tot gevolg (Outcome). Deze inefficiëntie versterkt het conflict weer en daarmee de vier soorten impact hiervan. De oorzaken van de waterbedreiging 'conflict' liggen in het stroomgebied van de Cauvery en daarmee in de ruimere context van de Cauvery delta.

De mensen (Users) in de delta en in het stroomgebied van de Cauvery rivier (Resource system) gebruiken de natuurbron water (Resource Unit) voor de landbouw en voor huishoudelijk gebruik. Oorzaken van het conflict zijn te plaatsen in activiteiten van de mensen (Users) die water gebruiken. Zo is er extreem veel water nodig voor het verbouwen van rijst in de verschillende staten tijdens de zomerperiode. Bovendien is er meer water nodig voor de toenemende rijstproductie. Ten derde zijn er tijdens de groene revolutie nieuwe gewassen geïntroduceerd. Dit leidde tot een meer individualistische benadering van de waterverdeling en tot grotere verschillen tussen boeren. Twee andere oorzaken zijn te vinden binnen het *Governance System*. De lage waterprijs en subsidie op elektriciteit voor het oppompen van water hebben ervoor gezorgd dat de verdeling van water (Resource Unit) nog inefficiënter is geworden. Het managen (Governance System) van de natuurbron is niet goed geregeld in de Cauvery delta volgens Ferdin et al., (2010). Er worden wel 'water use associations' (WUA's)

opgericht, echter wordt er veelal gestreefd naar eigenbelang door deze instanties. Slecht management is een oorzaak van het conflict, maar het conflict leidt ook tot slecht management. De interactie van slecht management, de hierboven beschreven activiteiten van de mens (Users) en de schaarse hoeveelheid water (Resource Unit) in het stroomgebied en in de delta (Resource System), leiden tot een conflict met als uitkomst (Outcome) een nog inefficiëntere en niet duurzame waterverdeling in het gebied. Er is ook een wederzijdse connectie tussen de uitkomst (inefficiënte waterverdeling) en de oorzaak van het conflict; ‘droogte’ (Related Ecosystems, Climate Pattern). Droogte (Climate Pattern) heeft zo weer een invloed op de inefficiënte waterverdeling in het gebied. Dit benadrukt dat er een complexe interactie is tussen een ‘natuurlijke impact’ (droogte, indirect door klimaatverandering) en antropogene activiteiten zoals het gebruik en managen van de bronnen.

### Droogte in de Cauvery delta:

Door de situatie van droogte te koppelen aan de theorie van Ostrom (2009), kan de waterbedreiging ‘droogte’ in de Cauvery in een theoretisch kader geplaatst worden.

Droogte is een waterbedreiging voor de landbouwsector omdat er minder irrigatiewater beschikbaar is en omdat het arme boeren dwingt om een dure transitie door te maken. Bovendien leidt het tot conflicten in het gebied (impact van droogte). De delta heeft altijd te maken gehad met droogte, maar deze wordt de afgelopen tijd extremer door klimaatverandering.

De mensen (Users) in de Cauvery delta (Resource System) gebruiken de schaarse, natuurbron water (Resource Unit) voor de landbouw en voor huishoudelijk gebruik. Droogte komt over het algemeen niet voort uit interacties in de delta (Resource System). De enige oorzaak die te vinden is binnen het sociale subsysteem is de verstening van de bodem waardoor er minder water kan worden vastgehouden in de grond (Users, Governance System). Echter, de waterbedreiging ‘droogte’ heeft vooral invloed van buitenaf op de delta als gerelateerd ecosysteem (Related Ecosystem, Climate Pattern). Zoals hierboven beschreven leidt de interactie van natuurlijke en sociale subsystemen tot een conflict in het gebied met als uitkomst (Outcome) een inefficiënt en niet duurzaam gebruik van de natuurbronnen in het gebied. Droogte heeft hierop invloed als *Climate Pattern*.

## Vervuiling van het water in de Cauvery delta:

Door watervervuiling te koppelen aan de theorie van Ostrom (2009), kan deze waterbedreiging in een theoretisch kader voor het analyseren van sociaalecologische systemen geplaatst worden.

Vervuiling van het water is ook een waterbedreiging voor de landbouwsector in de context van de Cauvery delta. Als het vervuilde water wordt gebruikt voor het irrigeren van gewassen, kan dit leiden tot een slechte oogst en tot kwaliteitsafname. Het water kan minder goed gebruikt worden. Indirect kan vervuiling leiden tot het eten van giftige stoffen en een afname van de volksgezondheid, waardoor er minder arbeidskrachten zijn voor in de landbouwsector. Bovendien kan de biodiversiteit afnemen en daarmee de landbouwsector negatief beïnvloeden (impact watervervuiling, Outcome).

Er zijn sociale invloeden vanuit de mensen (Users) die het water (Resource Unit) in de delta (Resource System) gebruiken voor de landbouw, industrie of huishoudelijke doeleinden. Hierdoor komt de natuur in aanraking met de mens. Oorzaken van de vervuiling van het water vinden plaats in de natuurlijke subsystemen (Resource System, Resource Unit), maar deze vinden ook zeker plaats binnen de sociale subsystemen (Governance System, Users). De volgende oorzaken zijn te plaatsen binnen het natuurlijke subsysteem. In verschillende natuurbronnen zoals stenen en water zitten mineralen waarbij metalen vrij komen. Hiernaast stroomt zout zeewater de delta in waar ook verschillende giftige metalen in zitten. Bovendien zorgt de moesson ervoor dat er afvalstoffen in het grond- en rivierwater terecht komen. Deze oorzaken vallen binnen het natuurlijke subsysteem. Vanuit de sociale subsystemen zijn er ook oorzaken te detecteren. Zo ontstaat de vervuiling in het water door stedelijk of industrieel afval. Bovendien wordt er op grote schaal kunstmest gebruikt door de mensen (Users) waardoor er giftige stoffen in het grondwater en rivierwater terecht komen. Ook binnen het *Governance System* is een oorzaak te vinden. Volgens Solaraj et al., (2010) is er een inadequaat waterbeheer waardoor er bijvoorbeeld te veel kunstmest gebruikt wordt. Regels omtrent het gebruik van kunstmest worden niet nageleefd. Dit leidt ook tot vervuiling van het water in de rivier en het grondwater. Interactie tussen de natuurlijke en antropogene subsystemen zorgen voor de uitkomst dat er geen duurzaam gebruik wordt gemaakt van de natuurbron. Dit kan zich uiten in het verliezen van biodiversiteit (Outcome) in de delta (McLaughlin & Mineau, 1995) (Biodiversity). De zeespiegelstijging is een klimaatpatroon (Climate Pattern) die invloed heeft van buitenaf. De zeespiegelstijging beïnvloed te uitkomst (Outcome).

## Ganges-Brahmaputra delta:

### Landverzakking in de Ganges-Brahmaputra delta:

Door landverzakking te koppelen aan het theoretisch frame van Ostrom (2009) voor het analyseren van een sociaalecologisch systeem, kan landverzakking in de Ganges-Brahmaputra binnen een wetenschappelijk kader geplaatst worden.

Landverzakking in de context van de Ganges-Brahmaputra delta is een grote bedreiging voor de landbouwsector. Het heeft op verschillende manieren impact. Door het wegzakkende land en de stijgende zeespiegel, dringt er meer zout water binnen en stromen steeds grotere delen van het land onder. Dit gaat ten koste van de vruchtbare landbouwgrond. Er zit relatief minder zoet water in de bodem waardoor zoet irrigatiewater zeldzaam wordt. Bovendien kunnen sommige gewassen minder goed verbouwd worden in de delta door de zoute bodem (Sarwar, 2005). Er worden alternatieve methoden gezocht om aan geld te komen zoals de kweek van garnalen (garnalenboeren). Dit leidt tot meer ongelijkheden tussen boeren omdat niet elke boer zich dit kan veroorloven. Als laatste raken infrastructuur en boerderijen beschadigd.

In het sociaalecologische systeem interacteren de mens en natuur met elkaar. In de delta (Resource System) wordt de hoeveelheid zoet, bruikbaar water (Resource Unit) minder. Oorzaken van de landverzakking, zijn te vinden in antropogene activiteiten, maar ook in natuurlijke processen. Zo zorgen natuurlijke processen in de natuurlijke subsystemen (Resource System, Resource Unit) voor het verdichten van sedimenten wat ervoor zorgt dat land zwaarder en compacter wordt. Bovendien blijft er van nature een bepaalde hoeveelheid sediment op de bodem van de rivier liggen waardoor het niet naar de delta doorstroomt. Sediment draagt bij aan het behoud van land in de delta. Naast deze oorzaken zijn er ook oorzaken vanuit de sociale subsystemen (Governance System, Users). Ten eerste worden er, stroomopwaarts door instanties (Governance System), dammen gebouwd voor het behoud van water, echter wordt hierdoor de natuurlijke aanvoer van sediment verstoord. Ten tweede zorgt het oppompen van grondwater en gas in de delta (Governance System, Users) er ook voor dat natuurlijke processen zoals sedimentverdichting versnellen. Ten derde gaan mangrovebossen verloren door over het algemeen antropogene activiteiten waardoor land sneller kan wegzakken. De interactie tussen de oorzaken in het sociale subsysteem en natuurlijke subsysteem leidt tot de uitkomst (Outcome) dat de delta niet duurzaam wordt gebruikt. Deze uitkomst (in de vorm van landverzakking), in combinatie met de zeespiegelstijging (Related Ecosystem, Climate Pattern), zal leiden tot versnelde kusterosie in de delta (impact). Dit leidt vervolgens weer tot overstromingen wat aangeeft dat een delta een erg complex systeem is.

## Overstromingen in de Ganges-Brahmaputra delta:

De toenemende overstromingen in de Ganges-Brahmaputra delta zullen hieronder gekoppeld worden aan de theorie van Ostrom (2009).

Overstromingen in de context van de Ganges-Brahmaputra delta zijn een grote bedreiging voor de landbouwsector in de delta. Gewassen worden overspoeld door het water en zout water dringt de grond en rivieren binnen waardoor gewassen verloren gaan. Veel boeren moeten hierdoor migreren naar landinwaarts gelegen plaatsen.

Er zijn sociale oorzaken van de overstromingen die in het sociale subsysteem plaatsvinden, echter zijn overstromingen ook een natuurlijk verschijnsel. De delta Resource System) heeft al decennialang te maken met overstromingen, maar het wordt extremer. Er wordt gebruik gemaakt (Users) van de hoeveelheid water (Resource Unit) van het rivierensysteem in de delta (Resource System) waardoor de natuur interacteert met de mens. Oorzaken van de overstromingen zijn vooral te vinden in sociale activiteiten in de bredere context van de delta. Ontbossing voor brandstof in de Himalaya (Users van de natuurbron hout) zorgt voor meer sediment in de rivier waardoor er minder capaciteit voor water in de rivier overblijft. Bovendien zorgt de bouw van dammen voor waterbehoud ervoor dat de rivier stroomafwaarts minder snel stroomt waardoor sediment op de bodem blijft liggen. Volgens Gain et al., (2017) leidt het inadequate beheer van de natuurbronnen in Bangladesh tot wateroverlast (Governance System). Deze activiteiten vinden plaats in het sociale subsysteem, met als gevolg de grotere kans op overstromingen. De interactie van deze antropogene activiteiten met de natuurbronnen (Resource Units) in de delta (Resource system), leiden tot een uitkomst van niet duurzaam gebruik van de delta omdat het leidt tot meer overstromingen. Deze uitkomst (Outcome), in combinatie met de zeespiegelstijging en landverzakking (Related Ecosystem; Climate Pattern), zal leiden tot meer overstromingen. De toenemende, tropische stormen zullen ook impact hebben.

## Vervuiling van het water in de Ganges-Brahmaputra delta:

Door vervuiling van het water in de Ganges-Brahmaputra delta te koppelen aan het theoretisch frame van Ostrom (2009), kan de waterbedreiging in een wetenschappelijk kader geplaatst worden.

Vervuiling van het water in de context van de Ganges-Brahmaputra delta is een waterbedreiging voor de landbouwsector omdat de gewassen van minder goede kwaliteit zijn waardoor de opbrengst van landbouwproducten minder wordt. Veel gewassen kunnen niet

tegen het hoge zout- en arseengehalte van het grond- en irrigatiewater. De irrigatie van gewassen met het vergiftigde grondwater of rivierwater kan op den duur leiden tot gezondheidsproblemen onder boeren en andere mensen. Hierdoor zijn er minder arbeidskrachten beschikbaar voor de landbouwsector. Watervervuiling zal ook impact hebben op de biodiversiteit in het gebied, waardoor soorten rijstgewassen op den duur verloren gaan (Outcome).

Er zijn sociale oorzaken die in het sociale subsysteem plaatsvinden, echter zijn er ook natuurlijke factoren die ervoor zorgen dat het water vervuild is in de delta (Rahman et al., 2001). In het natuurlijke subsysteem zitten er mineralen die arseen bevatten in sedimenten die naar de delta stromen (Resource System, Resource Units). Ook zitten er vanuit de natuur al metalen in zout zeewater, wat steeds verder landinwaarts trekt (Resource Unit). De vervuiling wordt versterkt door de interactie met processen die plaatsvinden in het sociale subsysteem. Zo ontstaat er binnen het sociale subsysteem (Governance System, Users) vervuiling in het water door stedelijk of industrieel afval in het water. Bovendien wordt er op grote schaal kunstmest gebruikt door de mensen (Users) waardoor er giftige stoffen (arseen) in het grond- en rivierwater terecht komen. Daarnaast leidt het oppompen van bruikbaar, zoet grondwater tot relatief meer zout in het grondwater. Een andere oorzaak in de bredere context van de delta is de bouw van de Farakka dam stroomopwaarts in de Ganges rivier in India (Governance System). Hierdoor stroomde er minder zoet water naar de delta waardoor er relatief meer zout water in het water kwam te zitten. Er wordt nu wel weer genoeg water doorgelaten door India, echter is het evenwicht in de voorgaande jaren verstoord. Een laatste oorzaak zou nog het inadequate waterbeheer in Bangladesh kunnen zijn. Volgens Gain et al., (2017) heeft dit geleid tot veel zout water indringing. De interactie tussen de processen in het natuurlijke subsysteem en het sociale subsysteem leiden tot het niet duurzaam (Outcome) gebruiken van de natuurbron in de delta. Bovendien uit deze uitkomst zich in verlies van biodiversiteit (Outcome, Biodiversity) (Miah et al., 2011). Op deze uitkomst hebben klimaatpatronen weer invloed (Related Ecosystems, Climate Patterns). Zo heeft de zeespiegelstijging weer effecten op de watervervuiling omdat er zout water indringt.



## Reflectie op de theorie en resultaten:

### Reflectie theorie:

Onder dit kopje zal er gereflecteerd worden op het gebruik van de theorie van Ostrom (2009) in dit onderzoek. Een eerste reflectiepunt op de theorie van Ostrom (2009) is dat het niet geheel duidelijk is waar de grenzen van het sociaalecologische systeem liggen. Zo is een oorzaak van de overstromingen in de Ganges-Brahmaputra delta te vinden in de Himalaya. Er worden bomen (natuurbronnen) omgehakt door mensen onder andere voor brandstof. Er vindt een interactie tussen de natuur en de mens plaats. Dit lijkt een nieuw sociaalecologisch systeem, echter heeft het invloed op de lageregelegen delta. Deze mensen veroorzaken door het kappen van bossen overstromingen. Het zijn geen lokale gebruikers in de delta, echter zijn het gebruikers van hout in de ruimere context van de delta. Hetzelfde geldt voor de waterbedreiging 'droogte'. Droogte wordt veroorzaakt door de klimaatverandering (Climate Pattern). De klimaatverandering wordt veroorzaakt omdat er bijvoorbeeld te veel auto wordt gereden waardoor er veel CO<sub>2</sub> uitstoot is. Zijn die mensen over de wereld die vervuilen ook een oorzaak voor de droogte in de Cauvery delta? Het roept de vraag op waar de grenzen van het sociaalecologische systeem van Ostrom (2009) liggen. Welke oorzaken liggen nog binnen het sociaalecologische systeem en welke niet?

Een tweede punt van kritiek is dat volgens de theorie klimaatverandering alleen als directe oorzaak impact heeft op de uitkomst (Related Ecosystems, Climate Pattern). Klimaatpatronen zoals droogte en zeespiegelstijging zijn in dit onderzoek als oorzaken geplaatst binnen *climate pattern* in de theorie van Ostrom (2009). Echter, klimaatverandering heeft niet alleen als oorzaak invloed op de uitkomst, maar het heeft ook directe invloed op oorzaken die leiden tot de uitkomst. Droogte heeft niet alleen invloed op de uiteindelijke uitkomst in het systeem, maar het heeft bijvoorbeeld ook invloed op de oorzaak dat er in de zomerperiode in het stroomgebied van de Cauvery tegelijkertijd veel water nodig is voor de rijstproductie. Klimaatverandering heeft niet alleen direct te maken met de uitkomst (Related Ecosystems, Climate Pattern), maar het heeft ook direct te maken met oorzaken binnen sociaalecologische systeem.

### Reflectie resultaten:

Een eerste reflectiepunt op de resultaten is dat 'droogte' als directe waterbedreiging niet goed binnen het theoretisch frame van Ostrom (2009) past. In dit onderzoek is gekeken naar wat grote waterbedreigingen zijn voor de landbouwsector. Droogte vormt een grote bedreiging voor

de landbouwsector. De waterbedreiging ‘droogte’ komt echter niet echt voort uit een interactie tussen natuur en mens in het sociaalecologische systeem, maar is meer een klimaatpatroon (Climate Pattern). Het zou misschien beter gezien kunnen worden als een oorzaak van, of als meespelende factor in andere waterbedreigingen, dan als waterbedreiging op zich. Zo kan het leiden tot een conflict en kan het bijdragen aan ergere watervervuiling. Zeespiegelstijging is eenzelfde soort klimaatpatroon, echter wordt dit fenomeen in dit onderzoek niet gezien als een waterbedreiging, maar als oorzaak en meespelende factor (Climate Pattern).

Ten tweede zijn niet alle waterbedreigingen in de context van de delta's meegenomen in dit onderzoek. Zo is er wel sprake van landverzakking in de Cauvery delta, echter heeft deze waterbedreiging relatief minder impact dan de andere waterbedreigingen in de Cauvery delta. In de Ganges-Brahmaputra is landverzakking wel een grote waterbedreiging omdat de delta extreem laag ligt. Hierdoor wordt landverzakking wel onderzocht als grote waterbedreiging in de context van de Ganges-Brahmaputra delta, maar niet in de Cauvery delta.

Ten derde is in dit onderzoek geprobeerd om ook de interacties binnen het systeem bloot te leggen, echter zijn deze interacties heel complex. Waterbedreigingen kunnen oorzaken zijn, maar het zijn ook directe waterbedreigingen voor de landbouwsector in de context. Zo is de waterbedreiging ‘droogte’ een oorzaak van conflict, maar ook een directe waterbedreiging op zich voor de landbouwsector. Hiernaast is de waterbedreiging ‘landverzakking’ een oorzaak van overstromingen, terwijl het ook een directe waterbedreiging is voor de landbouwsector.

Naast het punt dat oorzaken van waterbedreigingen ook directe waterbedreigingen voor de landbouwsector op zich kunnen zijn, zijn er ook oorzaken van waterbedreigingen die ook een gevolg van waterbedreiging kunnen zijn. Zo is bijvoorbeeld het inadequate beheer van de waterbronnen een oorzaak van het conflict in de bredere context van de Cauvery delta, echter leidt het conflict ook weer tot minder goed beheer van de waterbronnen. Dit kan gezien worden als een negatieve spiraal. Een ander voorbeeld hiervan is dat het gebruik van kunstmest in de landbouwsector een oorzaak is van verlies aan biodiversiteit. Het verlies aan biodiversiteit heeft weer een negatieve impact op de eigenschappen van gewassen.

Hiernaast zijn er ook oorzaken naast elkaar gezet, terwijl ze ook veel met elkaar te maken hebben. Zo zijn het slechte beheer van de natuurbronnen (Governance System) en het gebruik van kunstmest aparte oorzaken van de waterbedreiging ‘watervervuiling’, echter zijn de oorzaken met elkaar verweven. Er worden bijvoorbeeld wel regels opgesteld voor het gebruik van kunstmest, echter wordt er niet op toegezien of deze regels worden nageleefd. Hetzelfde geldt voor slecht beheer en het oppompen van grondwater, wat in dit onderzoek ook twee verschillende oorzaken zijn van de waterbedreiging ‘watervervuiling’. Deze oorzaken

staan eveneens met elkaar in verband. Er moet nog verder gekeken worden naar wat de verhouding en interactie is tussen de verschillende oorzaken.

De bovenstaande punten geven de complexiteit van het sociaalecologische systeem weer. Directe waterbedreigingen, oorzaken en gevolgen kunnen door elkaar heen lopen. Om overzicht te creëren zijn de oorzaken in dit onderzoek vooral uit elkaar getrokken. Verder onderzoek zou dieper in kunnen zoomen op deze complexe interacties. De complexe interacties in de context van delta's moeten nog beter onderzocht worden om de juiste oplossingen te kunnen implementeren. Er zou nog beter naar de interactie tussen één oorzaak en een waterbedreiging gekeken kunnen worden. Bijvoorbeeld hoe leidt niet-optreden van waterbeheer instanties tot een overmatig gebruik aan kunstmest of hoe leidt ontbossing in de Himalaya uiteindelijk tot overstromingen stroomafwaarts. Door meer gedetailleerde kennis te genereren over één interactie, kan nog specifiek, lokaal beleid opgesteld worden.

## Conclusie:

De verschillende oorzaken die een antwoord vormen op de hoofdvraag: wat zijn de oorzaken van de grootste waterbedreigingen voor de landbouwsector in de Cauvery delta en de Ganges-Brahmaputra delta, zijn uiteengezet. Er kan gezegd worden dat de verschillende oorzaken van de waterbedreigingen vooral te vinden zijn binnen het sociale subsysteem (antropogene activiteiten), maar ook in het natuurlijke subsysteem zijn er enkele oorzaken te vinden. Binnen *climate pattern* zijn ook oorzaken gedetecteerd. De volgende oorzaken zijn gevonden: de bouw van dammen, het oppompen grondwater olie en gas, het verdwijnen van mangrove, ontbossing, slecht waterbeheer, bemesting, industriële activiteit, verstedelijking, verstening, het verbouwen van rijst in dezelfde periode, de toenemende rijstproductie, de groene revolutie, de verdichting van sedimenten, hogere temperaturen, minder regen, hogere zeespiegel, droogte, zout water indringing, de moesson en andere chemische natuurlijke processen. Door de interacties van deze processen (oorzaken), raakt het sociaalecologische systeem uit balans. De interacties van de activiteiten leiden vaak tot een niet duurzame uitkomst, wat impliceert dat de bronnen in de delta niet duurzaam onderhouden en gebruikt worden. Deze uitkomst heeft invloed op de landbouwsector.

Er wordt tegenwoordig uitgegaan van een *bottom-up* benadering binnen het waterbeheer (Pahl-Wostl et al., 2007). Dit onderzoek draagt hieraan bij. *Bottom-up* wordt in het huidige paradigma als de beste benadering van (water)planning gezien. Dit komt omdat *bottom up* planning bijdraagt aan het vergaren van lokale kennis en burgerparticipatie verschaft. Het

kennen van gebiedsspecifieke oorzaken van waterbedreigingen, kan helpen bij het inkaderen van de door burgers naar voren gebrachte inzichten. Een andere manier waarop de kennis over oorzaken voor de overheid nuttig kan zijn, is voor risicomitigatie. Hiernaast kunnen private partijen de informatie gebruiken om afwegingen te maken voor het doen van investeringen. Ten slotte draagt het bij aan de publieke discussie over watermanagement en ecologisch beheer.

Verschillende delta's wereldwijd te kampen hebben met nieuwe, verschillende bedreigingen. Om deze waterbedreigingen aan te kunnen pakken aan de hand van waterinfrastructuur, moeten de verschillende delta's in de eigen, veranderende context gezien worden (Keskinen et al., 2010). Om de grootste waterbedreigingen eventueel in de kern aan te kunnen pakken, is er in dit onderzoek naar de oorzaken gekeken. De oorzaken kunnen namelijk gezien worden als een drijvende kracht achter het uit balans raken van het sociaalecologische systeem en de waterhuishouding in dit systeem.

## Literatuurlijst:

- Akter, J., Sarker, M. H., Popescu, I., & Roelvink, D. (2015). Evolution of the Bengal Delta and its prevailing processes. *Journal of Coastal Research*, 32(5), 1212-1226. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00232.1>
- Alam, M. (1996). Subsidence of the Ganges—Brahmaputra Delta of Bangladesh and Associated Drainage, Sedimentation and Salinity Problems. *Sea-level rise and coastal subsidence*, 2, 169–192. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-8719-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-94-015-8719-8_9)
- Alam, M. G. M., Allinson, G., Stagnitti, F., Tanaka, A., & Westbrooke, M. (2002). Arsenic contamination in Bangladesh groundwater: a major environmental and social disaster. *International Journal of Environmental Health Research*, 12(3), 235-253. <https://doi.org/10.1080/0960312021000000998>
- Allison, M. A. (2012). Geologic framework and environmental status of the Ganges-Brahmaputra Delta. *Journal of Coastal Research*, 14(3), 826-836. Verkregen van: [file:///C:/Users/Lenovo/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge\\_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/80669-91317-1-PB%20\(1\).PDF](file:///C:/Users/Lenovo/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/80669-91317-1-PB%20(1).PDF)
- Ambirajan, S. (1999). State Government Subsidies: The Case of Tamil Nadu. *Economic and Political Weekly*, 34(14), 811-821. Verkregen van: <http://www.jstor.org/stable/4407819>
- Anand, P. B. (2004). Water and Identity: An analysis of the Cauvery River water dispute. *BCID Research*, (3), 1–41. Verkregen van: <http://hdl.handle.net/10454/2893>
- Annalakshmi, G., & Amsath, A. (2012). Nutrient status of Arasalar River, a tributary of the Cauvery river at Tanjore district of Tamilnadu, India. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 2(2), 214-222. Verkregen van: [http://www.ijpaes.com/admin/php/uploads/176\\_pdf.pdf](http://www.ijpaes.com/admin/php/uploads/176_pdf.pdf)
- Annalakshmi, G., & Amsath, A. (2012). An assessment of water quality of river cauvery and its tributaries arasalar with reference to physico-chemical parameters at Tanjore DT, Tamilnadu, India. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*, 3(1), 269-279. Verkregen van: [http://www.ijabpt.com/pdf/63039-ANNALAKSHMI\[1\].pdf](http://www.ijabpt.com/pdf/63039-ANNALAKSHMI[1].pdf)
- Baten, M.A., Seal, L. & Lisa, K.S. (2015) Salinity Intrusion in Interior Coast of Bangladesh: Challenges to Agriculture in South-Central Coastal Zone. *American Journal of Climate Change*, 4, 248-262. <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2015.43020>

- Begum, A., Ramaiah, M., Khan, I., & Veena, K. (2009). Heavy metal pollution and chemical profile of Cauvery River water. *Journal of Chemistry*, 6(1), 47-52. Verkregen van: [file:///C:/Users/Lenovo/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge\\_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/154610%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Lenovo/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/154610%20(1).pdf)
- Bhatia, R., Briscoe, J., Malik, R. P. S., Miller, L., Misra, S., Palainisami, K., & Harshadeep, N. (2006). Water in the economy of Tamil Nadu, India: more flexible water allocation policies offer a possible way out of water-induced economic stagnation and will be good for the environment and the poor. *Water Policy*, 8(1), 1-13. <https://doi.org/10.2166/wp.2006.0001>
- Bhattacharya, P., Jacks, G., Ahmed, K. M., Routh, J., & Khan, A. A. (2002). Arsenic in groundwater of the Bengal Delta Plain aquifers in Bangladesh. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 69(4), 538-545. <https://doi.org/10.1007/s00128-002-0095-5>
- Bianchi, T. S., & Allison, M. A. (2009). Large-river delta-front estuaries as natural “recorders” of global environmental change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(20), 8085-8092. <https://doi.org/10.1073/pnas.0812878106>
- Biggs, D., Miller, F., Hoanh, C. T., & Molle, F. (2009). The delta machine: water management in the Vietnamese Mekong Delta in historical and contemporary perspectives. *Contested waterscapes in the Mekong region: Hydropower, livelihoods and governance*, 203-225. Verkregen van: [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers16-05/010050315.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-05/010050315.pdf)
- Brammer, H. (2014). Bangladesh’s dynamic coastal regions and sea-level rise. *Climate Risk Management*, 1, 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2013.10.001>
- Boeije H., 't Hart & J. Hox, (2009). *Onderzoeksmethoden*. Den Haag: Boom Lemma Uitgevers.
- Brown, S., & Nicholls, R. J. (2015). Subsidence and human influences in mega deltas: the case of the Ganges–Brahmaputra–Meghna. *Science of the Total Environment*, 527, 362-374. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.124>
- Chakravarti, A. K. (1973). Green revolution in India. *Annals of the Association of American Geographers*, 63(3), 319-330. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1973.tb00929.x>
- Coleman, J. M., Huh, O. K., & Braud, D. (2003). *Major world deltas: A perspective from space*. Louisiana State University. 1-238. Verkregen van: <http://cires1.colorado.edu/science/groups/wessman/projects/wdn/papers/colemanManuscript.pdf>

- Dandekar, P., & Thakkar, H. (2014). Shrinking and Sinking Deltas: Major role of Dams in delta subsidence and effective sea level rise. *South Asia Network on Dams Rivers and People*, 1-14. Verkregen van: [http://admin.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/Shrinking\\_and\\_sinking\\_delta\\_major\\_role\\_of\\_Dams\\_May\\_2014.pdf](http://admin.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/Shrinking_and_sinking_delta_major_role_of_Dams_May_2014.pdf)
- Dasgupta, S., Huq, M., Khan, Z. H., Sohel Masud, M., Ahmed, M. M. Z., Mukherjee, N., & Pandey, K. (2011). Climate proofing infrastructure in Bangladesh: the incremental cost of limiting future flood damage. *The Journal of Environment & Development*, 20(2), 167-190. <https://doi.org/10.1177/1070496511408401>
- Dasgupta, S., Akhter Kamal, F., Huque Kahn, Z., Choudhury, S., & Nishat, A. (2015). Effective sea-level rise and deltas: causes of change and human dimension implications. *Global and Planetary Change*, 50(1-2), 63–82. [https://doi.org/10.1142/9789814578622\\_0031](https://doi.org/10.1142/9789814578622_0031)
- Dettinger, M., & Cayan, D. R. (2014). Drought and the California delta—A matter of extremes. *San Francisco Estuary and Watershed Science*, 12(2), 1-6. Verkregen van: <https://escholarship.org/uc/item/88f1j5ht>
- Dhanakumar, S., Murthy, K. R., Solaraj, G., & Mohanraj, R. (2013). Heavy-metal fractionation in surface sediments of the Cauvery River Estuarine Region, Southeastern Coast of India. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 65(1), 14-23. <https://doi.org/10.1007/s00244-013-9886-4>
- Duxbury, J. M., Mayer, A. B., Lauren, J. G., & Hassan, N. (2003). Food chain aspects of arsenic contamination in Bangladesh: effects on quality and productivity of rice. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 38(1), 61-69. <https://doi.org/10.1081/ESE-120016881>
- Elumalai, V., Brindha, K., & Elango, L. (2017). Regional and temporal variation in minor ions in groundwater of a part of a large river delta, southern India. *Environmental monitoring and assessment*, 189(7), 305. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6006-3>
- Epstein, G., Vogt, J. M., Mincey, S. K., Cox, M., & Fischer, B. (2013). Missing ecology: integrating ecological perspectives with the social-ecological system framework. *International journal of the Commons*, 7(2), 432-453. Verkregen van: <https://www.jstor.org/stable/26523137>

- Fazal, M. A., Kawachi, T., & Ichion, E. (2001). Extent and severity of groundwater arsenic contamination in Bangladesh. *Water International*, 26(3), 370-379.  
<https://doi.org/10.1080/02508060108686929>
- Ferdin, M., Görlitz, S., & Schwörer, S. (2010). Water stress in the Cauvery basin, south India. How current water management approaches and allocation conflict constrain reform. *German Journal for Politics, Economy and Culture*, 117, 27-44. Verkregen van: [http://asien.asienforschung.de/wpcontent/uploads/sites/6/2014/04/ASIEN\\_117\\_Ferdin-Goerlitz-Schworer.pdf](http://asien.asienforschung.de/wpcontent/uploads/sites/6/2014/04/ASIEN_117_Ferdin-Goerlitz-Schworer.pdf)
- Ferguson, G., & Gleeson, T. (2012). Vulnerability of coastal aquifers to groundwater use and climate change. *Nature Climate Change*, 2(5), 342.  
<https://doi.org/10.1038/nclimate1413>
- Fleischli, S. (2006). Gender Relevance in Environmental Conflicts: A Gender Analysis of the Cauvery Dispute in South India. *and Sustainable Development*, 189-205. Verkregen van: [http://www.sampark.org/images/books/books/Gender\\_Book.pdf#page=187](http://www.sampark.org/images/books/books/Gender_Book.pdf#page=187)
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global environmental change*, 16(3), 253-267.  
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Folke, S. (1998). Conflicts over water and land in South Indian agriculture: a political economy perspective. *Economic and Political Weekly*, 33 (7), 341-349. Verkregen van: <http://www.jstor.org/stable/4406406>
- Gain, A. K., Benson, D., Rahman, R., Datta, D. K., & Rouillard, J. J. (2017). Tidal river management in the south west Ganges-Brahmaputra delta in Bangladesh: moving towards a transdisciplinary approach? *Environmental Science & Policy*, 75, 111-120.  
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.05.020>
- Geethalakshmi, V., Lakshmanan, A., Rajalakshmi, D., Jagannathan, R., Sridhar, G., Ramaraj, A. P. & Anbazzhagan, R. (2011). Climate change impact assessment and adaptation strategies to sustain rice production in Cauvery basin of Tamil Nadu. *Current Science(Bangalore)*, 101(3), 342-347. Verkregen van: <http://sa.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/rice.pdf>
- Ghosh, N., & Bandyopadhyay, J. (2009). A scarcity value-based explanation of trans-boundary water disputes: the case of the Cauvery River Basin in India. *Water Policy*, 11(2), 141-167. <https://doi.org/10.2166/wp.2009.017>



- Giosan, L., Syvitski, J., Constantinescu, S., & Day, J. (2014). Climate change: protect the world's deltas. *Nature News*, *516*(7529), 31-33. doi:10.1038/516031a
- Greenhalgh, T., & Peacock, R. (2005). Effectiveness and efficiency of search methods in systematic reviews of complex evidence: audit of primary sources. *Bmj*, *331*(7524), 1064-1065. <https://doi.org/10.1136/bmj.38636.593461.68>
- Halim, M. A., Majumder, R. K., Nessa, S. A., Hiroshiro, Y., Uddin, M. J., Shimada, J., & Jinno, K. (2009). Hydrogeochemistry and arsenic contamination of groundwater in the Ganges Delta Plain, Bangladesh. *Journal of hazardous materials*, *164*(2-3), 1335-1345. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.09.046>
- Hasan, A. B., Kabir, S., Reza, A. S., Zaman, M. N., Ahsan, M. A., Akbor, M. A., & Rashid, M. M. (2013). Trace metals pollution in seawater and groundwater in the ship breaking area of Sitakund Upazilla, Chittagong, Bangladesh. *Marine pollution bulletin*, *71*(1-2), 317-324. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.028>
- Higgins, S. A., Overeem, I., Steckler, M. S., Syvitski, J. P., Seeber, L., & Akhter, S. H. (2014). InSAR measurements of compaction and subsidence in the Ganges-Brahmaputra Delta, Bangladesh. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, *119*(8), 1768-1781. Verkregen van: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/2014JF003117>
- Islam, S. N. (2016). Deltaic floodplains development and wetland ecosystems management in the Ganges–Brahmaputra–Meghna Rivers Delta in Bangladesh. *Sustainable Water Resources Management*, *2*(3), 237-256. <https://doi.org/10.1007/s40899-016-0047-6>
- Islam, S. N. (2010). Threatened wetlands and ecologically sensitive ecosystems management in Bangladesh. *Frontiers of Earth Science in China*, *4*(4), 438-448. <https://doi.org/10.1007/s11707-010-0127-0>
- Islam, S. N., & Gnauck, A. (2008). Mangrove wetland ecosystems in Ganges-Brahmaputra delta in Bangladesh. *Frontiers of Earth Science in China*, *2*(4), 439-448. <https://doi.org/10.1007/s11707-008-0049-2>
- Islam, G. T., Islam, A. S., Shopan, A. A., Rahman, M. M., Lázár, A. N., & Mukhopadhyay, A. (2015). Implications of agricultural land use change to ecosystem services in the Ganges delta. *Journal of environmental management*, *161*, 443-452. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.018>

- Islam, S. N., Singh, S., Shaheed, H., & Wei, S. (2010). Settlement relocations in the charlands of Padma River basin in Ganges delta, Bangladesh. *Frontiers of Earth Science in China*, 4(4), 393-402. <https://doi.org/10.1007/s11707-010-0122-5>
- Ives, J. D. (1989). Deforestation in the Himalayas: the cause of increased flooding in Bangladesh and northern India? *Land Use Policy*, 6(3), 187-193. [https://doi.org/10.1016/0264-8377\(89\)90051-3](https://doi.org/10.1016/0264-8377(89)90051-3)
- Janakarajan, S. (1999). Conflicts over the invisible resource in Tamil Nadu. *Marcus Moench, Elisabeth Caspari, and Ajaya Dixit (eds.)*, 123-158. Verkregen van: <https://www.ircwash.org/sites/default/files/Moench-1999-Rethinking.pdf#page=132>
- Johnson, F. A., Hutton, C. W., Hornby, D., Lázár, A. N., & Mukhopadhyay, A. (2016). Is shrimp farming a successful adaptation to salinity intrusion? A geospatial associative analysis of poverty in the populous Ganges–Brahmaputra–Meghna Delta of Bangladesh. *Sustainability Science*, 11(3), 423-439. doi: 10.1007/s11625-016-0356-6
- Karim, M. F., & Mimura, N. (2008). Impacts of climate change and sea-level rise on cyclonic storm surge floods in Bangladesh. *Global Environmental Change*, 18(3), 490-500. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.05.002>
- Keskinen, M., Chinvanno, S., Kumm, M., Nuorteva, P., Snidvongs, A., Varis, O., & Västilä, K. (2010). Climate change and water resources in the Lower Mekong River Basin: putting adaptation into the context. *Journal of Water and Climate Change*, 1(2), 103-117. <https://doi.org/10.2166/wcc.2010.009>
- Khalequzzaman, M. D. (1994). Recent floods in Bangladesh: possible causes and solutions. *Natural Hazards*, 9(1-2), 65-80. <https://doi.org/10.1007/BF00662591>
- Korus, J. T., & Fielding, C. R. (2015). Asymmetry in Holocene river deltas: patterns, controls, and stratigraphic effects. *Earth-Science Reviews*, 150, 219-242. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.07.013>
- Kuehl, S. A., Allison, M. A., Goodbred, S. L., Kudrass, H. E. R. M. A. N. N., Giosan, L., & Bhattacharya, J. P. (2005). The Ganges-Brahmaputra Delta. *Special Publication- SEPM*, 83, 413-434. Verkregen van: [https://www.researchgate.net/profile/Steven\\_Goodbred/publication/285077587\\_The\\_Ganges-Brahmaputra\\_Delta/links/5698de0208ae34f3cf207452/The-Ganges-Brahmaputra-Delta.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Steven_Goodbred/publication/285077587_The_Ganges-Brahmaputra_Delta/links/5698de0208ae34f3cf207452/The-Ganges-Brahmaputra-Delta.pdf)
- Kumar, R., Singh, R. D., & Sharma, K. D. (2005). Water resources of India. *Current science*, 89(5), 794-811. Verkregen van: <https://www.jstor.org/stable/24111024>

- Kumarasamy, P., Vignesh, S., Arthur James, R., Muthukumar, K., & Rajendran, A. (2009). Enumeration and identification of pathogenic pollution indicators in Cauvery River, South India. *Research Journal of Microbiology*, 4(12), 540-549. DOI: 10.3923/jm.2009.540.549
- Lambs, L. (2004). Interactions between groundwater and surface water at river banks and the confluence of rivers. *Journal of Hydrology*, 288(3-4), 312-326. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.10.013>
- Ludwig, W., & Probst, J. L. (1998). River sediment discharge to the oceans; present-day controls and global budgets. *American Journal of Science*, 298(4), 265-295. doi: 10.2475/ajs.298.4.265
- McArthur, J. M., Ravenscroft, P., Safiulla, S., & Thirlwall, M. F. (2001). Arsenic in groundwater: testing pollution mechanisms for sedimentary aquifers in Bangladesh. *Water Resources Research*, 37(1), 109-117. <https://doi.org/10.1029/2000WR900270>
- McLaughlin, A., & Mineau, P. (1995). The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 55(3), 201-212. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(95\)00609-V](https://doi.org/10.1016/0167-8809(95)00609-V)
- Miah, M. G., Bari, M. N., & Rahman, M. A. (2011). Agricultural activities and their impacts on the ecology and biodiversity of the Sundarbans area of Bangladesh. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 31(1-2), 175-199. Verkregen van: [file:///C:/Users/Lenovo/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge\\_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/3032-10552-1-PB%20\(6\).pdf](file:///C:/Users/Lenovo/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/3032-10552-1-PB%20(6).pdf)
- Michener, W. K., Blood, E. R., Bildstein, K. L., Brinson, M. M., & Gardner, L. R. (1997). Climate change, hurricanes and tropical storms, and rising sea level in coastal wetlands. *Ecological Applications*, 7(3), 770-801. Verkregen van: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1890/1051-0761%281997%29007%5B0770%3ACCHATS%5D2.0.CO%3B2>
- Molle, F. (2009). River-basin planning and management: The social life of a concept. *Geoforum*, 40(3), 484-494. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2009.03.004>
- Mukherjee, A. B., & Bhattacharya, P. (2001). Arsenic in groundwater in the Bengal Delta Plain: slow poisoning in Bangladesh. *Environmental Reviews*, 9(3), 189-220. <https://doi.org/10.1139/a01-007>
- Mutahara, M., Warner, J. F., Wals, A. E., Khan, M. S. A., & Wester, P. (2018). Social learning for adaptive delta management: Tidal River Management in the Bangladesh

Delta. *International journal of water resources development*, 34(6), 923-943.

<https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1326880>

- Nagarajan, R., Rajmohan, N., Mahendran, U., & Senthamilkumar, S. (2010). Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Thanjavur city, Tamil Nadu, India. *Environmental monitoring and assessment*, 171(1-4), 289-308. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1279-9>
- Nathan, K. K. (1995). Assessment of Recent Droughts in Tamil Nadu". *Drought Network News (1994-2001)*, 57. Verkregen van: <http://digitalcommons.unl.edu/droughtnetnews/57>
- Nathan, K. K. (1998). Droughts in Tamil Nadu: A qualitative and quantitative appraisal. *Drought Network News (1994-2001)*, 62, 2-6. Verkregen van: <http://digitalcommons.unl.edu/droughtnetnews/62>
- Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *science*, 328(5985), 1517-1520. DOI: 10.1126/science.1185782
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419-422. DOI: 10.1126/science.1172133
- Pahl-Wostl, C. (2007). Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. *Water resources management*, 21(1), 49-62. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9040-4>
- Pahl-Wostl, C., Craps, M., Dewulf, A., Mostert, E., Tabara, D., & Taillieu, T. (2007). Social learning and water resources management. *Ecology and society*, 12(2). Verkregen van: <https://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art5/main.html#INTRODUCTION5>
- Parasuraman, P. (2009). Assessment of drought and flood in Cauvery Delta Zone of Tamil Nadu. *Mysore Journal of Agricultural Sciences*, 43(2), 218-221. Verkregen van: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20103065205>
- Pethick, J., & Orford, J. D. (2013). Rapid rise in effective sea-level in southwest Bangladesh: its causes and contemporary rates. *Global and Planetary Change*, 111, 237-245. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.09.019>
- Praveen, D., Ramachandran, A., Jaganathan, R., Krishnaveni, E., & Palanivelu, K. (2016). Projecting droughts in the purview of climate change under RCP 4.5 for the Coastal Districts of South India. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(6), 1-6. DOI: 10.87677/ijst/2016/v9i6/87677

- Ramasamy, S. M., Saravanavel, J., & Selvakumar, R. (2014). Late Holocene geomorphic evolution of Cauvery delta, Tamil Nadu. *JOURNAL GEOLOGICAL SOCIETY OF INDIA*, 67, 649-657. Verkregen van:  
[http://14.139.186.108/jspui/bitstream/123456789/15976/1/pp649-658%20\(1\).pdf](http://14.139.186.108/jspui/bitstream/123456789/15976/1/pp649-658%20(1).pdf)
- Rahman, M. M. (2004). Regionalization of urbanization and spatial development: planning regions in Bangladesh. *J Geo-Environ*, 4, 31-46. Verkregen van:  
<https://pdfs.semanticscholar.org/26c7/4a448a221860dfa14c3e472d5db88d79d788.pdf>
- Rahman, M. M., Hassan, M. Q., Islam, M. S., & Shamsad, S. Z. K. M. (2000). Environmental impact assessment on water quality deterioration caused by the decreased Ganges outflow and saline water intrusion in south-western Bangladesh. *Environmental Geology*, 40(1-2), 31-40. <https://doi.org/10.1007/s002540000152>
- Ramyapriya, R., & Elango, L. (2018). Evaluation of geogenic and anthropogenic impacts on spatio-temporal variation in quality of surface water and groundwater along Cauvery River, India. *Environmental earth sciences*, 77(1), 1-17.  
<https://doi.org/10.1007/s12665-017-7176-6>
- Reddy, V. R., & Behera, B. (2006). Impact of water pollution on rural communities: An economic analysis. *Ecological economics*, 58(3), 520-537.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.07.025>
- Sarwar, M. G. M. (2005). *Impacts of Sea Level Rise on the Coastal Zone of Bangladesh*. Geraadpleegd:  
[vanhttp://fs.wa4.lucklaboratories.com/placemarks/files/225/golam\\_sarwar.pdf](http://fs.wa4.lucklaboratories.com/placemarks/files/225/golam_sarwar.pdf)
- Shah, T. (2009). Climate change and groundwater: India's opportunities for mitigation and adaptation. *Environmental Research Letters*, 4(3), 1-13. doi:10.1088/1748-9326/4/3/035005
- Schiermeier, Q. (2014). Floods: holding back the tide. *Nature News*, 508(7495), 164.  
doi:10.1038/508164a
- Sebesvari, Z., Renaud, F. G., Haas, S., Tessler, Z., Hagenlocher, M., Kloos, J. & Kuenzer, C. (2016). A review of vulnerability indicators for deltaic social–ecological systems. *Sustainability Science*, 11(4), 575-590. doi: 10.1007/s11625-016-0366-4
- Shinn, J. E. (2016). Adaptive environmental governance of changing social-ecological systems: Empirical insights from the Okavango Delta, Botswana. *Global Environmental Change*, 40, 50-59. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.011>

- Singh, O. P. (2002). Spatial variation of sea level trend along the Bangladesh coast. *Marine Geodesy*, 25(3), 205-212. <https://doi.org/10.1080/01490410290051536>
- Solaraj, G., Dhanakumar, S., Murthy, K. R., & Mohanraj, R. (2010). Water quality in select regions of Cauvery Delta River basin, southern India, with emphasis on monsoonal variation. *Environmental monitoring and assessment*, 166(1-4), 435-444. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1013-7>
- Stouthamer, E., & Van Asselen, S. (2015). Future Deltas Utrecht University research focus area: towards sustainable management of sinking deltas. Dept. of Physical Geography, 372, 179–182. <https://doi.org/10.5194/piahs-372-179-2015>
- The Source of India's Water Wars. (2016, 20 september). Geraadpleegd 26 juni 2019, Verkregen van: <https://worldview.stratfor.com/article/source-indias-water-wars>
- Syvitski, J. P., Kettner, A. J., Overeem, I., Hutton, E. W., Hannon, M. T., Brakenridge, G. R., & Nicholls, R. J. (2009). Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience*, 2(10), 681-686. <https://doi.org/10.1038/ngeo629>
- Szabo, S., Brondizio, E., Renaud, F. G., Hetrick, S., Nicholls, R. J., Matthews, Z. & Da Costa, S. (2016). Population dynamics, delta vulnerability and environmental change: comparison of the Mekong, Ganges–Brahmaputra and Amazon delta regions. *Sustainability science*, 11(4), 539-554. <https://doi.org/10.1007/s11625-016-0372-6>
- Taniguchi, M., Burnett, W. C., Cable, J. E., & Turner, J. V. (2002). Investigation of submarine groundwater discharge. *Hydrological Processes*, 16(11), 2115-2129. <https://doi.org/10.1002/hyp.1145>
- Thakkar, H. (2014, 4 juli). *How do dams affect a river?* Geraadpleegd 26 juni 2019. Verkregen van: <https://sandrp.in/2014/07/04/how-do-dams-affect-a-river/>
- Vetrimurugan, E., Brindha, K., Elango, L., & Ndwandwe, O. M. (2017). Human exposure risk to heavy metals through groundwater used for drinking in an intensively irrigated river delta. *Applied Water Science*, 7(6), 3267-3280. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0472-6>
- Vetrimurugan, E., & Elango, L. (2015). Groundwater chemistry and quality in an intensively cultivated river delta. *Water Quality, Exposure and Health*, 7(2), 125-141. <https://doi.org/10.1007/s12403-014-0133-7>
- Vijayasathy, K., & Ashok, K. R. (2015). Climate adaptation in agriculture through technological option: determinants and impact on efficiency of production. *Agricultural Economics Research Review*, 28(1), 103-116. DOI: 10.5958/0974-0279.2015.00008.

- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P. & Davies, P. M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555-561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- Vyas, P., & Sengupta, K. (2012). Mangrove conservation and restoration in the Indian Sundarbans. *Sharing Lessons on Mangrove Restoration*, 93-101. Verkregen van: [http://www.environmentportal.in/files/file/Sharing%20Lessons%20on%20Mangrove%20Restoration\\_0.pdf#page=95](http://www.environmentportal.in/files/file/Sharing%20Lessons%20on%20Mangrove%20Restoration_0.pdf#page=95)
- Wassmann, R., Hien, N. X., Hoanh, C. T., & Tuong, T. P. (2004). Sea level rise affecting the Vietnamese Mekong Delta: water elevation in the flood season and implications for rice production. *Climatic change*, 66(1-2), 89-107. <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000043144.69736.b7>
- Wescoat Jr, J. L. (1992). Six comments on the Bangladesh flood action plan. *Natural Hazards*, 6, 287-298. <https://doi.org/10.1007/BF00129514>
- Zaman, M. Q. (1993). Rivers of life: living with floods in Bangladesh. *Asian Survey*, 33(10), 985-996. DOI: 10.2307/2645097
- Zhang, Q., Gemmer, M., & Chen, J. (2008). Climate changes and flood/drought risk in the Yangtze Delta, China, during the past millennium. *Quaternary International*, 176, 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.11.004>