

HET REBOUND EFFECT BIJ DE CONSUMPTIE VAN WATER IN DE LANDBOUWSECTOR

Aantal woorden: 19860

Elke Dejaeghere

Stamnummer : 01413623

Promotor: Prof. Dr. Johan Albrecht

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van:

Master of Science in de Bedrijfseconomie

Afstudeerrichting: Bedrijfseconomie

Academiejaar: 2020-2021

SAMENVATTING

Voor deze masterproef werd ervoor gekozen om de consumptie van water specifiek af te bakenen tot de consumptie van water in de landbouwsector. Het doel van deze masterproef is om te achterhalen of de toepassing van efficiënte technologieën zal leiden tot een absolute daling in het verbruik van de schaarse grondstof water.

Het eerste deel van deze masterproef bestaat uit een literatuurstudie waarin er eerst en vooral een beschrijving wordt gegeven van het rebound effect dat in de literatuur voornamelijk gekend is in de energiesector. Het is dan de bedoeling van dit onderzoek om te kijken of het rebound effect ook bestaat bij de consumptie van water in de landbouw. Er wordt dus nagegaan als diezelfde definitie van het eerder beschreven rebound effect kan toegepast worden voor landbouwsectoren die water consumeren voor de productie van hun goederen en diensten. Om dit na te gaan worden enkele empirische casestudies besproken. Er wordt in dit onderzoek ook gezocht naar mogelijke manieren om het rebound effect in de energiesector te minimaliseren en aan te pakken. Er wordt onderzocht welke mogelijke oplossingen er bestaan en dit zowel met tussenkomst van de overheid als gedragswijzigingen die noodzakelijk zijn voor de consument. Aan de hand van de besproken casestudies wordt gekeken of gelijkaardige oplossingen voor de minimalisatie van het rebound effect bij de consumptie van water kunnen toegepast worden.

Het rebound effect bij de consumptie van water kan eigenlijk slechts optreden indien gewerkt wordt met efficiëntere technologieën die worden toegepast naar aanleiding van schaarse grondstoffen. In het laatste deel van de literatuurstudie wordt de waterproblematiek daarom nog eens specifiek voor Vlaanderen besproken, zodat de waterschaarste kan aangetoond worden. Nadien volgt nog een opsomming van mogelijke efficiënte technieken voor de toepassing van water in de landbouw.

VOORWOORD

Voor u ligt de masterproef 'Het rebound effect bij de consumptie van water in de landbouwsector'. Deze masterproef is geschreven in het kader van het behalen van het diploma voor de opleiding Bedrijfseconomie, afstudeerrichting Bedrijfseconomie aan de Universiteit Gent. Met deze masterproef rond ik mijn masteropleiding af.

In dit voorwoord wil ik graag een aantal mensen bedanken die mij geholpen en gesteund hebben bij het realiseren van deze masterproef. In eerste instantie had ik graag mijn promotor Johan Albrecht willen bedanken voor alle hulp en advies. Verder had ik ook mijn ouders willen bedanken voor de steun gedurende de volledige opleiding en omdat zij mij de kans gegeven hebben om deze opleiding te volgen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	I
Voorwoord	II
Lijst van gebruikte afkortingen	V
Figurenlijst	VI
Tabellenlijst	VII
1. Inleiding	1
2. Literatuurstudie	2
2.1. <i>Het rebound effect voor de vraag naar energie</i>	2
2.1.1. Definitie van het rebound effect.....	2
2.1.2. Soorten rebound effect.....	4
2.1.3. Rebound effect bij energieverbruik waarnemen	6
2.1.4. Empirisch bewijs en omvang van het rebound effect bij de vraag naar energie	8
2.1.5. Hoe kan het rebound effect geminimaliseerd worden?	10
2.2. <i>Het rebound effect voor de vraag naar water</i>	20
2.2.1. Efficiënter gebruik van irrigatiewater.....	21
2.2.2. Beschrijving van het direct en het economisch rebound effect bij de vraag naar water in de landbouwsector	26
2.2.3. Rebound effect bij waterverbruik waarnemen.....	27
2.2.4. Nood aan beleid bij de consumptie van irrigatiewater.....	29
2.3. <i>Empirische casestudies naar het rebound effect voor de vraag naar water in de landbouwsector</i>	31
2.3.1. Het belang van water in de landbouwsector	31
2.3.2. Casestudie rebound effect na irrigatiemodernisering in Spanje	33
2.3.3. Casestudie rebound effect na efficiëntieverbeteringen in Duitsland.....	44
2.3.4. Casestudies rebound effect in China.....	45
2.3.5. Casestudie rebound effect na de omschakeling naar efficiënte irrigatietechnologie in Kansas	57

2.3.6. Overzicht van de besproken casestudies	58
2.4. <i>Specifieke kenmerken voor de vraag naar water in Vlaanderen</i>	61
2.4.1. Waterproblematiek in Vlaanderen	61
2.4.2. Hoe wordt er op een efficiëntere en duurzame manier omgegaan met water in de verschillende landbouwsectoren?	68
3. Conclusie	72
3.1. <i>Future research</i>	75
Referenties	VII
Bijlagen	XIV
<i>Bijlage 1</i>	XIV
<i>Bijlage 2</i>	XVI

LIJST VAN GEBRUIKTE AFKORTINGEN

LEPA	Low energy precision application
LESA	Low elevation spray application
DI	Deficit irrigatie
RS	Remote sensing
WRE	Water rebound effect
PET	Potentiële evapotranspiratie
MAP	Mestactieprogramma

FIGURENLIJST

<i>Figuur 2-1 Grafische voorstelling van het rebound effect (Deurinck, Mieke, & Parys, 2008)</i>	2
<i>Figuur 2-2 Schatting van de potentiële besparingen als gevolg van efficiëntieverbeteringen in een productieproces en identificatie en kwantificering van het rebound effect.</i>	6
<i>Figuur 2-3 Drie opeenvolgende stappen bij het waarnemen van een rebound effect en de identificatie van de logica van het effect.</i>	7
<i>Figuur 2-4 Beregeningskanon (links) en beregeningsboom (rechts) (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-i)</i>	23
<i>Figuur 2-5 LEPA-systeem (links) en LESA-systeem (rechts) (Peters, R. T., Neibling, H., & Stroh, 2016)</i>	23
<i>Figuur 2-6 Kwantificering van de waterbesparing a.d.h.v. traditionele methode (links) en een gedetailleerde methode (rechts).</i>	28
<i>Figuur 2-7 Efficiëntieverbetering en vraag naar water (Gómez et al., 2011)</i>	29
<i>Figuur 2-8 Percentages van de wateronttrekking per continent (FAO, 2015).</i>	32
<i>Figuur 2-9 DPSIR-analytisch kader (Berbel et al., 2019)</i>	34
<i>Figuur 2-10 Grafische weergave van resultaten voor WRE voor verschillende provincies en gemiddeldes per regio in China (Song et al., 2018)</i>	48
<i>Figuur 2-11 U-vormig verband tussen rebound effect en beschikbaarheid van irrigatiegebied (Fang et al., 2020).</i>	53
<i>Figuur 2-12 Grafische weergave van resultaten voor WRE voor de regio Tianshan (Wang et al., 2020).</i>	55
<i>Figuur 2-13 De evolutie van de jaarlijkse potentiële evapotranspiratie, gemeten in Ukkel van 1901 tot 2014 (Brouwers et al., 2015)</i>	62
<i>Figuur 2-14 De jaargemiddelde temperatuur, gemeten in Ukkel van 1833 tot 2014 en uitgedrukt als afwijking tegenover de gemiddelde in de periode 1850-1899 (Brouwers et al., 2015)</i>	62
<i>Figuur 2-15 Weergave van neerslag per jaar en per decennium. Gemeten in Ukkel van 1833 tot 2014 (Brouwers et al., 2015)</i>	63
<i>Figuur 2-16 Statistische analyse van de evolutie van de jaarlijkse neerslag. Gemeten in Ukkel van 1833 tot 2014 (Brouwers et al., 2015)</i>	64
<i>Figuur 2-17 De hoeveelheid neerslag per seizoen. Gemeten in Ukkel van 1833 tot 2014 (Brouwers et al., 2015).</i>	64
<i>Figuur 2-18 Voorspelde verandering in de jaarlijkse neerslag (links) en de neerslag in de zomer (rechts) voor de periode 2071-2100 in vergelijking met 1971-2000 (Brouwers et al., 2015)</i>	65
<i>Figuur 2-19 Bodemerrosie op globale schaal (Borrelli et al., 2012)</i>	66
<i>Figuur 2-20 De gemiddelde gevoeligheid voor bodemerrosie voor elke Vlaamse gemeente (Vlaanderen-Databank Ondergrond Vlaanderen, n.d.)</i>	66

TABELLENLIJST

<i>Tabel 2-1 Toegepast voorbeeld transport op de soorten rebound effecten</i>	5
<i>Tabel 2-2 Omvang van het rebound effect bij de vraag naar energie volgens empirisch onderzoek</i>	8
<i>Tabel 2-3 Beleidstrajecten voor reboundminimalisatie volgens het type instrument en de strategie</i>	12
<i>Tabel 2-4 Studies die de daling van energie- en waterverbruik door gebruik van slimme meters of uitgebreide facturering aantonen</i>	14
<i>Tabel 2-5 Studies die toenemende irrigatie-efficiëntie aantonen</i>	35
<i>Tabel 2-6 Studies die de verminderde wateronttrekking aantonen</i>	36
<i>Tabel 2-7 Studie die de vermindering van meststoffen aantoont</i>	37
<i>Tabel 2-8 Studies die de verbeterde waterkwaliteit aantonen</i>	37
<i>Tabel 2-9 Studies die de toenemende productiewaarde aantonen</i>	38
<i>Tabel 2-10 Studie die de toenemende waterproductiviteit aantoont</i>	39
<i>Tabel 2-11 Studies die rebound effect aantonen</i>	40
<i>Tabel 2-12 Vier verschillende scenario's voor het rebound effect in Spanje</i>	42
<i>Tabel 2-13 Resultaten voor water rebound effect voor verschillende provincies en regio's in China</i>	47
<i>Tabel 2-14 Resultaten voor water rebound effect voor verschillende provincies en regio's in China</i>	50
<i>Tabel 2-15 Resultaten voor water rebound effect voor de regio Tianshan</i>	54
<i>Tabel 2-16 Overzicht van de besproken casestudies</i>	58

1. INLEIDING

Er is nood aan voedsel en proper water om dat voedsel te kunnen produceren. Tegenwoordig heerst er een stijgende vraag naar dat proper water, maar aan de andere kant is het door de klimaatverandering moeilijk om in deze stijgende waterbehoefte te voorzien. Bovendien geraakt het nodige water vervuild, waardoor de kwaliteit niet volstaat om voedsel mee te produceren. Hoe kunnen we doorgaan met het verbouwen van voedsel, zonder dat de natuur omkomt van de dorst? (Europees Milieu Agentschap, 2012) Er is nood aan een efficiënter watergebruik in de landbouw, om op een duurzame manier met water om te gaan zodat de watervoorraden niet uitgeput geraken en de kwaliteit van het water niet nog meer verslecht. Nadelig aan de invoering van dergelijke technologieën is het ontstaan van een rebound effect, voornamelijk gekend in de energiesector. Aan de hand van een literatuurstudie wordt daarom het rebound effect eerst besproken en gedefinieerd in de energiesector, om vervolgens te onderzoeken of dit effect ook optreedt in de landbouwsector bij de consumptie van water. Het doel van deze masterproef is namelijk om te achterhalen of de toepassing van efficiënte technologieën zal leiden tot een absolute daling in het verbruik van de schaarse grondstof water.

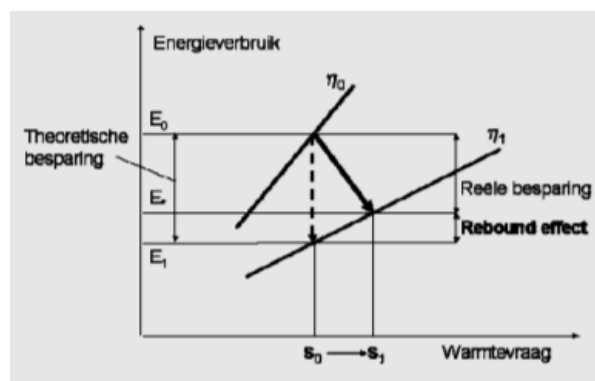
2. LITERATUURSTUDIE

2.1. Het rebound effect voor de vraag naar energie

2.1.1. Definitie van het rebound effect

Het rebound effect is voornamelijk gekend bij energiebesparende maatregelen. Het omschrijft hierbij het effect waarbij de potentiële energiebesparing als gevolg van een efficiëntie-investering, teniet wordt gedaan door een consument in de vorm van een hoger verbruik. Dit kan zowel door meer gebruiksuren of het nastreven van een hogere kwaliteit van de energiedienst. De lagere kosten van energie diensten die ontstaan door de toegenomen energie-efficiëntie of efficiëntieverbeteringen heeft dus invloed op consumentengedrag (Herring & Roy, 2007). Het waargenomen gedrag van de consument is een logisch gevolg van de wet van de vraag, een basiswet van de economie. Veranderingen in efficiëntie zullen ertoe leiden dat economische agenten reageren op zodanige wijze dat het oorspronkelijke doel om het gebruik van de productiefactoren te verminderen uiteindelijk kan leiden tot een toename van de vraag (Dumont, Mayor, & López-Gunn, 2013).

Ter verduidelijking wordt deze definitie in Figuur 2-1 grafisch voorgesteld. Door een efficiëntieverbetering van niveau η_0 naar η_1 , zou volgens de theorie het energieverbruik dalen van E_0 naar E_1 . Er is dus een theoretische of potentiële energiebesparing van $E_0 - E_1$. Dit zal leiden tot een lagere kostprijs. Maar in realiteit zal door deze verlaagde kostprijs de vraag naar energie stijgen van niveau s_0 naar s_1 . Dit zal resulteren in een kleinere daling in energieverbruik, namelijk van E_0 naar E_x in plaats van E_1 . Dit zorgt ervoor dat een kleinere energiebesparing $E_0 - E_x$ zal ontstaan. Het verloren deel van de energiebesparing, namelijk $E_1 - E_x$, ten gevolge van de stijgende vraag, is het rebound effect (Haas & Biermayr, 2000).



Figuur 2-1 Grafische voorstelling van het rebound effect (Deurinck, Mieke, & Parys, 2008)

Een voorbeeld van dit rebound effect is dat bewoners na een energie-efficiënte ingreep, bijvoorbeeld de woning beter isoleren, meer of langer hun woning zullen verwarmen. Ze hebben namelijk een verlangen naar meer comfort, doordat het verwarmen van de woning nu goedkoper geworden is (Deurinck, Mieke, & Parys, 2008). Hierdoor gaat een deel van de theoretisch mogelijke energiebesparing verloren.

Een ander voorbeeld van het rebound effect uit de technologische wereld is het ontstaan van efficiëntere wagens met een kleinere CO₂-uitstoot. Bij deze wagens wordt de CO₂-uitstoot per gereden kilometer gereduceerd. Het wordt goedkoper om met dergelijke wagen een bepaalde afstand af te leggen, omdat er minder brandstof wordt verbruikt (Deurinck, Mieke, & Parys, 2008). Als een persoon hierdoor nu meer kilometers zal afleggen in vergelijking met zijn oudere wagen, zal de technologische milieuwinst teniet gedaan worden door de stijgende autoconsumptie (Tom Jones, De Meyere, & Keytsman, 2009, Deel 1) en krijg je dus het rebound effect.

Rebound effecten kunnen berekend worden op basis van het verschil tussen de besparing van de grondstoffen die in een ceteris paribus situatie door technische verbeteringen zouden bereikt kunnen worden, met andere woorden de theoretische besparingen, en de daadwerkelijk waargenomen besparingen van de grondstoffen. De formule wordt weergegeven in vergelijking 1 (Paul, Tegen, Robinson, & Helming, 2019). Als het gebruik van grondstoffen van de consument door adaptief gedrag resulteert in een netto toename dan zal de werkelijke besparing van de grondstoffen negatief worden. Het rebound effect wordt dan groter dan 100%. Dit is de definitie van de 'Jevons paradox' of 'backfire'.

$$\text{Rebound effect [\%]} = \left(\frac{\text{Theoretische besparingen} - \text{werkelijke besparingen}}{\text{Theoretische besparingen}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Het is duidelijk dat enkel eco-efficiëntie, "eenzelfde hoeveelheid nuttige output produceren met een veel kleinere input aan grondstoffen en (fossiele) energie (Tom Jones et al., 2009, Deel 1)", niet voldoende is om een bepaalde of opgelegde reductie van grondstoffen of (fossiele) energie te realiseren. Er is ook nood aan efficiëntie. Hiermee wordt bedoeld dat mensen anders en minder moeten consumeren. Gedragwijzigingen van consument en producent zijn dus zeker noodzakelijk.

2.1.2. Soorten rebound effect

Volgens Greening (2000) zijn er 3 soorten effecten die ervoor zorgen dat de totaal bereikte energiebesparing verminderd wordt, namelijk de directe rebound effecten, secundaire of indirecte effecten en economische effecten (Greening, Greene, & Difulio, 2000).

Bij directe rebound effecten wordt er gesproken over een verbeterde energie-efficiëntie voor een bepaalde energieservice die wordt verkregen door een technologische verbetering. (Greening et al., 2000). Dit leidt vervolgens tot een daling van de effectieve prijs van deze energiedienst. Dit moet leiden tot een toename van het verbruik van die dienst door een toenemende vraag. De reductie in energieverbruik door de efficiëntie verbetering wordt hierdoor voor een deel teniet gedaan (Sorrell & Dimitropoulos, 2008).

Het is ook mogelijk dat door de lagere effectieve prijs van de energiedienst er meer vraag is naar andere goederen, diensten en productiefactoren door een stijging van het reële inkomen (Greening et al., 2000). Deze goederen, diensten en productiefactoren verbruiken op hun beurt ook energie om de consument te kunnen voorzien. In dit geval wordt gesproken over indirecte of secundaire effecten (Sorrell & Dimitropoulos, 2008). De toenemende efficiëntie in een proces leidt dus tot een toenemende vraag naar andere processen die dezelfde grondstof verbruiken (Paul et al., 2019).

Als laatste zijn er nog de economische effecten. Deze effecten zijn te wijten aan een daling van de reële prijs van energiediensten waardoor de prijs van intermediaire- en eindproducten kan dalen in de hele economie. Een afname van de prijs van energiediensten zal leiden tot een verhoging van de omvang van de industrie en een toename van de vraag naar brandstof (Greening et al., 2000). De drijvende kracht achter de algemene economische productiviteit is de toegenomen efficiëntie. Dit resulteert in een toename van de macro-economische groei en de consumptie op macro-economisch niveau (Dumont et al., 2013). Met andere woorden de economische markten worden geconfronteerd met lagere kosten door de toegenomen efficiëntie. Als gevolg van de vrijemarktwerking zullen hierdoor nieuwe producten en diensten gecreëerd of gekocht worden. Zo hebben energienutsbedrijven gezocht naar efficiëntieverbeteringen om de kosten van hun product te verlagen. Het is namelijk rendabeler om veel elektriciteit met een lage marge te verkopen dan weinig met een hoge marge. Dit resulteert in een groeiende markt voor elektriciteit en de voortdurende ontwikkeling van nieuwe elektrische producten en diensten (Herring & Roy, 2007). Het economisch rebound effect impliceert dus eigenlijk veranderingen in de prijzen, het aanbod en de vraag in het hele economische systeem (Freire-González, 2019).

Deze drie soorten rebound effecten kunnen toegepast worden op het voorbeeld transport om het verschil duidelijk te maken. Dit wordt in Tabel 2-1 weergegeven.

Tabel 2-1 Toegepast voorbeeld transport op de soorten rebound effecten

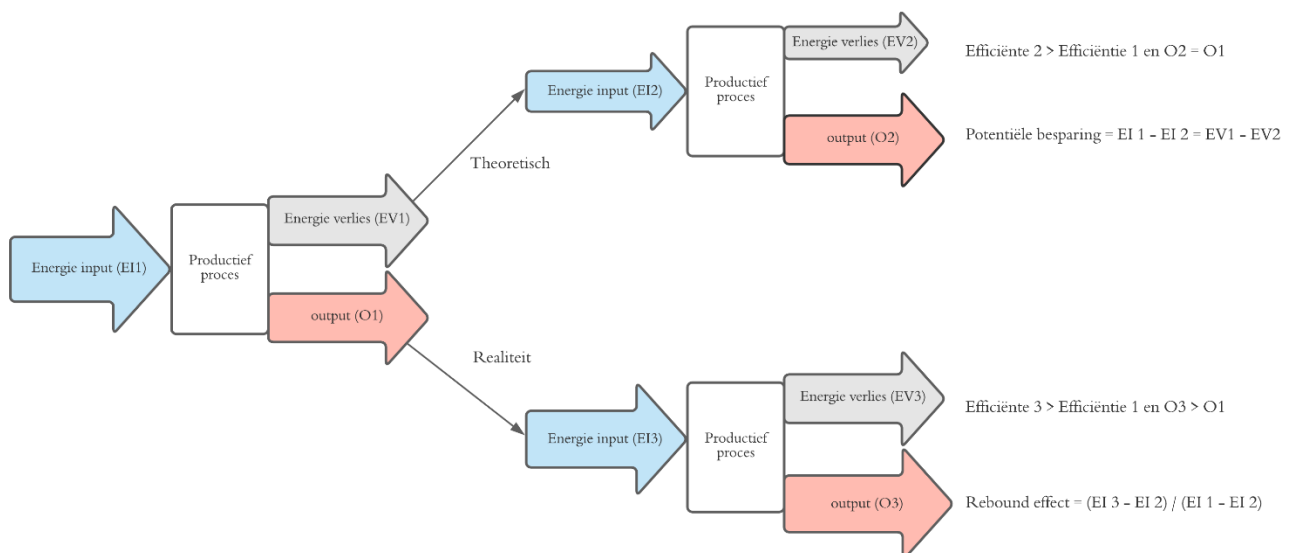
Soort rebound effect	Toegepast voorbeeld
Direct rebound effect	de auto wordt vaker gebruikt of gebruikt om grotere afstanden mee te rijden, omdat de kosten per gereden kilometer gedaald zijn (Dumont et al., 2013).
Indirect rebound effect	De kostenbesparing verkregen door het gebruik van een efficiëntere wagen met een lagere CO ₂ -uitstoot of door goedkoper openbaar vervoer, wordt gebruikt om een extra vliegvakantie te boeken (Dumont et al., 2013).
Economisch rebound effect	Als gevolg van een dalende prijs voor elektriciteit worden meer elektrische auto's geproduceerd.

De directe rebound effecten omvatten vanuit economisch oogpunt inkomens- en substitutie-effecten. Het inkomenseffect bij de producent kan verklaard worden doordat de efficiëntieverbeteringen zullen leiden tot lagere productiekosten van de grondstoffen. Dit zal de producent motiveren om zijn aanbod uit te breiden. Het inkomenseffect in het oogpunt van de consument betekent dat de consument zal reageren op de lagere prijzen met een groter verbruik van het efficiëntere product. Dit is wel afhankelijk van de vraagelasticiteit van de prijs. Het substitutie-effect ontstaat dan als de producent en de consument ervoor kiezen om het efficiëntere productieproces te gebruiken ter vervanging van andere soorten productie (Paul et al., 2019). Het substitutie-effect hangt samen met de prijselasticiteit. Hoe hoger de waargenomen prijselasticiteit van energiediensten hoe groter het rebound effect. Dit leidt tot een paradoxale situatie bij de heffing van energie- of koolstofkosten. Het doel om het energieverbruik te verminderen zal afgezwakt worden door het rebound effect indien de consumenten een hogere prijselasticiteit hebben en dus bereid zijn om meer te betalen voor de energie die ze nodig hebben of willen consumeren (Herring & Roy, 2007).

Er gaat ook een sociaal psychologisch aspect gepaard met het direct rebound effect. De diensten die processen gebruiken die minder grondstoffen of middelen verbruiken worden als positiever ervaren dan diensten die op conventionele wijze worden geproduceerd. Dit geldt als deze diensten dan als sociaal of milieuvriendelijk worden bestempeld. Als consumenten hun consumptie beperken omdat ze zich bewust zijn van de gevolgen van het gebruik van de grondstoffen, zullen ze minder aarzelen om diensten met efficiëntere processen, die dus de sociaal of milieuvriendelijke stempel bezitten, te consumeren. Hierdoor ontstaat een extra vraag (Paul et al., 2019).

2.1.3. Rebound effect bij energieverbruik waarnemen

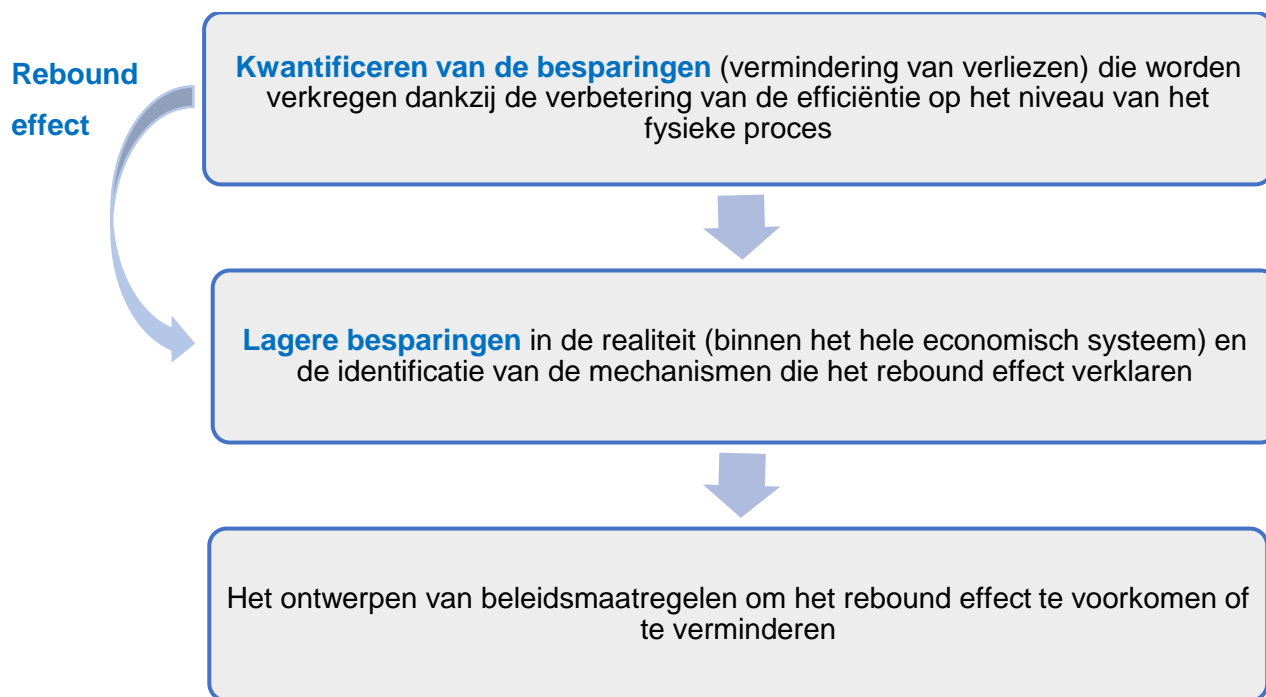
Om het bestaan van het rebound effect waar te nemen of te bewijzen zijn drie verschillende stappen noodzakelijk. De eerste stap is het identificeren van de potentiële of theoretische besparingen die verkregen moeten worden door het toepassen van efficiëntieverbeteringen. Voor eenzelfde output is nu een kleinere input van productiefactoren nodig. Dit verschil in input van de productiefactoren is gelijk aan de potentiële besparingen. Het kan ook berekend worden door het verschil in energieverliezen. Deze verliezen worden ook gereduceerd door de efficiëntieverbeteringen. Deze redenering wordt grafisch weergegeven in Figuur 2-2 (Dumont et al., 2013).



Figuur 2-2 Schatting van de potentiële besparingen als gevolg van efficiëntieverbeteringen in een productieproces en identificatie en kwantificering van het rebound effect.

In de tweede stap moet bewijs gezocht worden voor een hoger inputniveau in vergelijking met de noodzakelijke input volgens stap 1. Dit is het rebound effect en wordt ook in Figuur 2-2 weergegeven. Ook de reden voor deze toename van input moet onderzocht worden (Dumont et al., 2013). Vervolgens moet het soort rebound effect worden vastgesteld, waarna doeltreffende beleidsmaatregelen onderzocht worden om ervoor te zorgen dat de potentiële besparingen van het verbruik, als gevolg van efficiëntieverbeteringen worden gerealiseerd. Of om er zeker voor te zorgen dat het rebound effect beperkt wordt tot een minimum. Bij micro-economische effecten wordt gewoonlijk voorgesteld om de energieprijzen te verhogen. Hierdoor wordt de daling van de kosten gecompenseerd. Toegepast op het voorbeeld van transport kan dat een invoering van een belasting op brandstof zijn als reactie op efficiëntere auto's.

De drie verschillende stappen worden in Figuur 2-3 weergegeven. Tevens wordt de logica van het rebound effect op deze figuur aangeduid, namelijk het verschil tussen de oorspronkelijke geprojecteerde resultaten op het niveau van het fysieke proces en de waargenomen resultaten binnen het economisch systeem (Dumont et al., 2013).



Figuur 2-3 Drie opeenvolgende stappen bij het waarnemen van een rebound effect en de identificatie van de logica van het effect

2.1.4. Empirisch bewijs en omvang van het rebound effect bij de vraag naar energie

Er werden al veel empirische onderzoeken uitgevoerd naar het bestaan en de omvang van het rebound effect voor verschillende goederen en diensten en voor verschillende landen. Hieruit blijkt dat verschillende onderzoekers het eens zijn over het feit dat het rebound effect bestaat en dat het gevolgen heeft voor het energiebesparingsbeleid. Echter zijn ze het niet altijd eens over de precieze omvang van het effect (Deurinck, Mieke, & Parys, 2008). Dit wordt in Tabel 2-2 geïllustreerd. De verschillende uitkomsten van de onderzoeken zijn het gevolg van verschillende modellen die toegepast worden om tot het resultaat te komen. Er gaan verschillende assumpties aan deze modellen vooraf. Dit leidt tot verschillende resultaten. Zo zijn de resultaten bijvoorbeeld afhankelijk van de aannames over de elasticiteit van de vervanging van energie door andere productiefactoren. Hoe groter de elasticiteit hoe groter het rebound effect (Herring & Roy, 2007).

Tabel 2-2 geeft een overzicht van de conclusies van verschillende onderzoeken. Zo werd bijvoorbeeld het rebound effect als gevolg van de impact van het consumentengedrag ten aanzien van het energieverbruik voor de verwarming in residentiële gebouwen in Oostenrijk onderzocht door Reinhard Haas en Peter Biermayr. Ze leveren empirisch bewijs van een rebound effect tussen 20 en 30%. Dit leidt tot de conclusie dat de energiebesparing die in de praktijk wordt bereikt (en dus de vermindering van de CO₂-uitstoot) als gevolg van thermische aanpassingen, lager zal zijn dan diegene die berekend is in technische conservatiestudies. Ook andere resultaten zijn in de tabel weergegeven.

Tabel 2-2 Omvang van het rebound effect bij de vraag naar energie volgens empirisch onderzoek

Auteur en referentie	Onderzoeksonderwerp	Land	Omvang van rebound effect
(Haas & Biermayr, 2000)	Energieverbruik voor de woningverwarming van residentiële gebouwen.	Oostenrijk	20 – 30%
(Sorrell, Dimitropoulos, & Sommerville, 2009)	Huishoudelijke energiediensten	OESO landen	Persoonlijk autotransport: 10 – 30% Verwarming: 10 – 30% Koeling: 1 – 26%
(Galvin, 2014)	Energieverbruik voor de woningverwarming van 3 appartementsgebouwen	Duitsland	Gebouw 1: 29,9% Gebouw 2: 40,0% Gebouw 3: 66,0%

(Lin & Liu, 2015)	Totale energieverbruik voor stedelijke en landelijke residentiële gebouwen.	China	Stedelijk: 66,5 – 88,5% Landelijk: 127 – 236,3%
(Grossmann, Galvin, Weiss, Madlener, & Hirschl, 2016)	Energieverbruik in niet-residentiële openbare dienstgebouwen	Duitsland	Kantoor-/administratiegebouwen: -5,5 – 4,9% Muziekacademie: -113%
(Liu, Sun, Lu, Zhang, & Sun, 2016)	Verbruik voor huishoudelijke airconditioners	China	67%
(Schmitz & Madlener, 2018)	Verschillende energiebrandstoffen die door huishoudens gebruikt worden	Duitsland	Elektriciteit: 6,4 – 20,3% Gas: -7,3 – 9,8% Vloeibare brandstoffen: -6,6 – 3,4% Andere brandstoffen: 47 – 64,1% Voertuigbrandstoffen: 59 – 121,1%
(Dimitropoulos, Oueslati, & Sintek, 2018)	Mata-analyse van verschillende empirische studies rond rebound effect in wegtransport		Korte termijn: 10 – 12% Lange termijn: 26 – 29%
(Jin, 2019)	Elektriciteitsverbruik van huishoudelijke apparaten	Zuid-Korea	Televisie: 0% Koelkasten: 83 – 109% Wasmachines: -35 – (-17%) Airconditioners: 14 – 19%
(Su, 2019)	Residentiële elektriciteitsvraag	Taiwan	Airconditioners: 72% Verlichting: 11% Televisie: 3% Koelkasten: 70%
(Belaïd, Youssef, & Lazaric, 2020)	Residentiële elektriciteitsvraag	Frankrijk	38 – 86 %

Worden er vergelijkbare conclusies, zoals deze uit Tabel 2-2, bekomen voor het rebound effect bij het verbruik van andere schaarse grondstoffen? In deze masterproef wordt dit nagegaan voor de grondstof water. Zal het rebound effect ook optreden indien efficiëntere technieken voor de toepassing van water gebruikt worden. Zal de consument eigenlijk meer water verbruiken door de toepassing van deze technieken? Dit wordt in paragrafen 2.2 en 2.3 van dit onderzoek verder besproken.

2.1.5. Hoe kan het rebound effect geminimaliseerd worden?

Nu is het van belang dat de inspanningen die geleverd worden om efficiënter met energie om te gaan, niet teniet worden gedaan door opnieuw een grotere hoeveelheid energie te gebruiken. Met andere woorden, er mag geen rebound effect ontstaan door op een duurzamere manier om te gaan met energie. Hiervoor is een adequaat beleid van de overheid nodig, maar ook het gedrag van de gebruikers moet aangepast worden. Dit wordt in volgende paragrafen besproken aan de hand van strategieën die gevonden werden in de literatuur rond het rebound effect bij de vraag naar energie.

2.1.5.1. *Mogelijke strategieën om het rebound effect te beperken*

Er bestaan drie strategieën om het rebound effect te beperken. De eerste bestaat erin om de eco-efficiëntie te laten toenemen in de verschillende consumptiesectoren. De tweede betreft een verschuiving naar groenere consumptiepatronen en de derde houdt een inkrimping van de consumptie in (Font Vivanco, Kemp, & van der Voet, 2016). De strategieën kunnen eenvoudiger omschreven worden door 'efficiënter consumeren', 'anders consumeren' en 'minder consumeren'.

2.1.5.1.1. Efficiënter consumeren

De strategie 'efficiënter consumeren' heeft als doel de totale omvang van rebound effecten te verminderen, door de druk op het milieu door de gehele consumptie te verminderen via technologie. Bijvoorbeeld door de invoering van een verbetering van de energie-efficiëntie, zoals een nieuwe transportbrandstof. Hierdoor zou dan de energie-intensiteit van alle sectoren verlagen. De rebound effecten van andere sectoren, bijvoorbeeld verwarming, zouden dan een kleinere omvang hebben omdat de impactintensiteit van het vrijgekomen inkomen zal afnemen en dus een lagere capaciteit zal hebben om de milieuwinst te compenseren. Het gaat hier om een efficiëntie gerichte maatregel, waardoor extra rebound effecten kunnen gecreëerd worden door een extra vraag. De doeltreffendheid van deze strategie is afhankelijk van het feit of er een algemene milieuwinst zal worden behaald. Zullen de extra rebound effecten, met andere woorden relatief kleiner zijn dan de rebound effecten die gereduceerd worden (Font Vivanco et al., 2016).

2.1.5.1.2. Anders consumeren

Ook de strategie 'anders consumeren' is erop gericht om de omvang van het rebound effect te verminderen, maar dan door veranderingen in het consumptiepatroon teweeg te brengen in de richting van producten met een lagere druk op het milieu. Bijvoorbeeld elektriciteit die uitsluitend uit hernieuwbare energieën wordt verkregen. Hierdoor zal het indirecte rebound effect van andere technologische veranderingen naar verwachting afnemen. Bovendien kan het veranderingen in inkomen teweegbrengen, waardoor het eigen rebound effect geminimaliseerd kan worden of zelfs kan worden omgekeerd. Zo zullen de kosten van elektriciteit waarschijnlijk stijgen wanneer die overschakelt op hernieuwbare bronnen, waardoor het inkomen daalt en bijgevolg ook het verbruik. Een nadeel van deze strategie is dat er geen innovatie plaatsvindt. De minimalisatie van de rebound effecten wordt beperkt door de huidige technologievoorraad en de mogelijkheid om over te schakelen naar andere consumptieproducten (Font Vivanco et al., 2016).

2.1.5.1.3. Minder consumeren

De laatste strategie 'minder consumeren' heeft als doel het inkrimpen van de individuele consumptie. Er wordt getracht om het rebound effect te vermijden of tot een minimum te beperken door het vermijden van de rebound effecten als gevolg van de consumptie van nieuwe of verbeterde producten of het indirecte rebound effect tot een minimum te beperken door de koopkracht te beperken. Dit kan op vrijwillige basis worden bereikt door vrijwillig zuinig gedrag of door onvrijwillige middelen die resulteren in effectieve vermindering van de koopkracht. Echter is deze strategie niet immuun voor nieuwe rebound effecten en lijkt het een strategie die beter geschikt is voor de rijken, aangezien alleen zij voldoende financiële zekerheid hebben om afstand te doen van hun niet-essentiële welvaart (Font Vivanco et al., 2016).

2.1.5.2. *Verschillende beleidstrajecten*

Er worden nu enkele beleidstrajecten opgesomd met bijhorende toe te passen instrumenten om deze strategieën te verwezenlijken. In Tabel 2-3 worden deze beleidstrajecten en de bijhorende instrumenten opgelijst en wordt aangeduid op welke strategie ze inwerken (Font Vivanco et al., 2016).

Tabel 2-3 Beleidstrajecten voor reboundminimalisatie volgens het type instrument en de strategie

	Rebound reducerende strategie		
Type beleidstraject	Efficiënter consumeren	Anders consumeren	Minder consumeren
Beleidsontwerp	- Erkenning en instrumenten om inschattingen en beoordelingen te maken		
Duurzame consumptie en gedrag		- Consumptie informatie - Identiteitssignalisatie - Standaardisatie	- Vrijwillig zuinig gedrag
Innovatie	- Gerichte technologische innovatie		
Economisch milieubeleid	- Milieuheffingen - Bonus-malusregelingen - Quota en verhandelbare rechten - Kortingen en subsidies		
Nieuwe bedrijfsmodellen	- Productdienstverlenings-systemen		

2.1.5.2.1. Beleidsontwerp

Eerst en vooral is het zeer belangrijk dat het rebound effect erkend wordt door de overheid. De erkenning van de energiebesparingen en de bredere milieubesparingen die door het rebound effect verloren gaan, kan helpen om de milieudoelstellingen van de beleidsmaatregelen te bereiken. Dit kan door extra middelen toe te wijzen, ofwel door verschillende technologieën met lagere rebound effecten te bevorderen.

Om de rebound effecten van het beleid vervolgens in te schatten is er behoefte aan relatief eenvoudige, transparante en kant- en-klare instrumenten. Een voorbeeld van dergelijk instrument is het instrument ontwikkeld door het Britse ministerie van Energie en Klimaatverandering. Zij maken een schatting van het directe rebound effect in de beleidsevaluatie aan de hand van een openbaar toegankelijke spreadsheet die gebruikers in staat stellen om schattingen van directe rebound effecten in te voeren voor verschillende grondstoffen zoals elektriciteit, gas en wegvervoer voor huishoudelijk, commercieel en industrieel gebruik (Font Vivanco et al., 2016).

Elke technologische verandering of innovatie heeft potentieel om tot rebound effecten te leiden. De omvang van een bepaald rebound effect berekenen aan de hand van een bepaald model kan heel intensief zijn, omdat dit ook heel veel data vraagt. Het is een uitdaging om te bepalen welke innovaties tot de meest schadelijke rebound effecten kunnen leiden, zonder alle benodigde gegevens voor het uitvoeren van dergelijk model te moeten verzamelen. Een manier om meerdere innovaties te screenen en te beoordelen op hun relevantie is om te bepalen welke parameters de grootste invloed hebben op de schattingen van de omvang en alleen voor die parameters gegevens te verzamelen. Zo werd een verbetering/compenserende potentiële indicator ontwikkeld. Innovaties worden hierbij tweedimensionaal gerangschikt volgens (1) de verandering in het beschikbare inkomen door het gebruik van een innovatie en (2) het verschil tussen de milieu-intensiteit van de innovatie en die van de algemene consumptie. Door het hierboven beschreven instrument toe te passen, kunnen innovaties die nood hebben aan beleidsaandacht, gemakkelijker geïdentificeerd worden (Font Vivanco et al., 2016).

2.1.5.2.2. Duurzame consumptie en gedrag

Consumptie informatie

Om het rebound effect te minimaliseren, moet het milieubewustzijn van de consument worden vergroot. Dit kan door de consumenten te confronteren met hun individuele consumptieniveau, bijvoorbeeld door slimme meters of uitgebreide facturering met aanvullende informatie over het verbruik. Deze blijken niet-essentiële energie- en waterverbruik in huishoudens te verminderen zoals weergegeven in Tabel 2-4 (Font Vivanco et al., 2016).

Tabel 2-4 Studies die de daling van energie- en waterverbruik door gebruik van slimme meters of uitgebreide facturering aantonen

Auteur en referentie	Onderzoeksonderwerp	Resultaat
(Darby, 2006)	Energiebesparing door gebruik van slimme meters	5-15%
(Darby, 2006)	Energiebesparing door gebruik van uitgebreide facturering	10%
(Wright et al, 2000)	Energiebesparing door gebruik van uitgebreide facturering	10% (Font Vivanco et al., 2016)
(House, 2010)	Daling van waterverbruik door gebruik van slimme watermeters	17% (Font Vivanco et al., 2016)

Het is belangrijk om van zowel huishoudens als bedrijven het bewustzijn te vergroten, zodat de vermindering van de consumptie van de meer efficiënte producten, welke tot het direct rebound effect leiden, niet wordt geïnvesteerd in milieu-intensieve consumptiecategorieën (Bijvoorbeeld vliegvlagen).

Bovendien moeten advertenties, die onbewust de rebound effecten negatief beïnvloeden, worden tegengegaan. Een voorbeeld hiervan is een energiebedrijf dat klanten aanmoedigde om de energiebesparingen van spaarlampen te gebruiken om het verlichtingsgebruik te verhogen. Er is dus nood aan beleid gericht op de correctie van zulke reclamecampagnes in combinatie met verbruiksvoorlichtingsacties om de gewenste milieubesparing te bereiken (Font Vivanco et al., 2016).

Identiteitssignalisatie

Consumptie is ook gericht op het versterken van opvattingen over identiteit. Producten worden als het ware een symbool om de individuele waarden te communiceren of te signaleren aan anderen. Om de consumptie van producten met een lager rebound effect te bevorderen, kan het signaleren van milieuwaarden een effectieve manier zijn bij mensen met een milieugerichte identiteit. Hierbij is zichtbaarheid cruciaal. Anderen moeten de consumptie van het product kunnen waarnemen. Om de zichtbaarheid van producten zoals elektriciteit te vergroten kan gebruik gemaakt worden van bijvoorbeeld een sticker, een deurplaat of een magneet als welkomstgeschenk. Uit onderzoek bleek dat door het gebruik van deze middelen de vraag naar hernieuwbare energie steeg met 10 tot 14% ten opzichte van een controlegroep (Font Vivanco et al., 2016).

Standaardisatie

Standaardisatie of normeringen blijken succesvol om het gedrag naar duurzamere consumptiepatronen vorm te geven. Het kan dus worden gebruikt om de omvang van het rebound effect van efficiëntiegerichte innovaties te verminderen. Er zijn twee mogelijkheden, namelijk de technische normen en de etiketteringsnormen. Voorbeelden van technische normen zijn deze voor energietransmissie van glas in gebouwen (EN 410 en ISO 9050) of de thermische prestaties van zonnecollectoren (ISO 9459). Voorbeelden van etiketteringsnormen zijn het Europees ecolabel, het EMAS en het Europees energielabel.

Vrijwillig zuinig gedrag

Het vrijwillig zuinig gedrag is gebaseerd op het principe van sufficiëntie, dat gebaseerd is op het terughouden en matigen van de consumptie. Het wordt gedreven door milieumotivatie. Sufficiëntie kan bereikt worden door de koopkracht te verminderen, door minder te werken of te verdienen. De rebound effecten worden dan gereduceerd door het reële inkomen te beperken, wat resulteert in een kleiner effect van herbesteding. De doeltreffendheid van sufficiënte maatregelen in termen van een verminderde druk op het milieu door de consumptie en andere sociale voordelen, werd in ontwikkelde landen aangetoond door het verminderen van werkuren. Er zijn echter belangrijke barrières voor deze effectieve manier om het rebound effect te minimaliseren, namelijk de maatschappelijke acceptatie van deze sufficiënte maatregelen door consumptiegewoonten die moeilijk te veranderen zijn. Om tot sociale aanvaarding te komen, zijn 'collectieve overeengekomen doelstellingen, prioriteiten, procedures en beperkingen' nodig die geïnstitutionaliseerd moeten worden door overheidsmaatregelen. Deze strategieën zijn niet immuun voor nieuwe rebound effecten omdat de daling van de vraag naar sommige producten kan leiden tot een daling van de prijs, waardoor een extra vraag kan ontstaan (Font Vivanco et al., 2016).

2.1.5.2.3. Gerichte technologische innovatie

Het bestaan van het rebound effect mag geen belemmering vormen voor de technologische ontwikkeling die gericht is op het vergroten van de eco-efficiëntie van producten. Rebound effect is meestal groter voor technologieën voor algemene doeleinden, zoals brandstoffen. Deze zijn namelijk sterk complementair met bestaande en nieuwe technologieën en worden in verschillende sectoren toegepast, waardoor ze leiden tot economische rebound effecten. Bovendien zijn innovaties die grote kostenbesparingen met zich meebrengen ook gevoelig voor grotere rebound effecten. Het beleid moet er dus op gericht zijn om innovaties die leiden tot gematigde kostenreducties of zelfs kostenstijgingen te stimuleren zodat grote rebound effecten worden voorkomen (Font Vivanco et al., 2016).

2.1.5.2.4. Instrumenten voor economisch milieubeleid

Milieuheffingen

Prijsmechanismen kunnen succesvol zijn om het gedrag van consumenten en bedrijven in de richting van duurzame praktijken te sturen, als ze op de juiste manier worden toegepast. De populairste belastingen zijn energie- en koolstofbelastingen. Er kunnen twee soorten belastingen geïdentificeerd worden in de context van het rebound effect. De eerste soort is een product- of sectorspecifieke belasting en de tweede soort betreft een overkoepelende belasting voor alle economische sectoren. De eerste soort heeft als hoofddoel het direct rebound effect van specifieke producten of sectoren te beperken, terwijl de tweede soort eerder gericht is op het beperken van zowel directe als indirecte effecten door middel van algemene verbeteringen in de druk op het milieu voor de gehele economie.

Aangezien het rebound effect door een prijsdaling wordt veroorzaakt, kan het rebound effect geminimaliseerd worden door deze prijsdaling teniet te doen door het invoeren van een extra belasting. De belasting op de energiedrager zorgt voor een lager energieverbruik, omdat de belasting het (gebruik van een) goed duurder zal maken. Dit zorgt op zijn beurt voor een extra stimulans voor energie- of milieubesparende maatregelen toe te passen, omdat het besparingspotentieel groter wordt. Vervangbare of herlokaliserbare goederen zijn hier een uitzondering op. Het belasten van goederen die eenvoudig kunnen worden vervangen door goederen die niet belast worden en dus goedkoper zijn, is niet efficiënt. Wanneer bijvoorbeeld een energie- of milieubelasting wordt ingevoerd voor de industrie in een bepaald land, kan de industrie hun productie verplaatsen naar een land waar geen belastingen gelden. Het energie- of milieuverbruik zal dan wel lokaal verdwijnen, maar het blijft in het andere land wel bestaan (Delhaye et al., 2013).

In een Spaanse studie (Freire-González, 2020) werd het economische rebound effect gevonden na een verbetering van de energieproductiviteit met 5%. Het rebound effect daalde, naarmate het belastingtarief steeg en verdween volledig bij een belastingtarief van 3,76%.

Bonus-malusregelingen

Bonus-malusregelingen worden ook wel hypothecaire belastingen genoemd. Het is een variant op de milieubelastingen. De belastingopbrengsten worden gebruikt om duurzamere keuzes te stimuleren, bijvoorbeeld door middel van subsidies. Doordat ze zowel prikkels als ontmoedigingen bieden, worden de bonus-malusregelingen als een flexibeler instrument voor de reductie van de rebound effecten gezien dan belastingen.

Echter blijkt het succes van dit instrument beperkt te zijn. Een voorbeeld waarbij dit werd toegepast was de aankoop van nieuwe auto's in Frankrijk. De kopers van CO₂-intensieve auto's kregen een belasting opgelegd. De opbrengst van deze belasting werd geïnvesteerd in subsidies voor auto's die minder koolstofintensief zijn. Deze regel leek gunstig voor het milieu in het opzicht van de CO₂-uitstoot per kilometer van nieuwe voertuigen, maar er werd geconcludeerd dat deze regeling niet het gewenste doel bereikte omdat het leidde tot een algemene stijging van de absolute CO₂-uitstoot. Dit kwam voornamelijk door de stijging van het aantal voertuigen die geproduceerd werden en toename van het direct rebound effect. De verhouding tussen de sancties (belasting) en de stimulansen (subsidie) werd niet correct vastgesteld, waardoor een heraanpassing zou kunnen leiden tot een algemene daling van de CO₂-uitstoot. Bonus-malusregelingen kunnen dus de effectiviteit van de belastingen verhogen, maar zorgen ook voor extra complexiteit bij het ontwerp van de regelgeving (Font Vivanco et al., 2016).

Quota en verhandelbare rechten

Het instellen van een quota en verhandelbare rechten hebben gemeenschappelijke eigenschappen met milieubelastingen. Het belangrijkste verschil is dat belastingen een prijs voor een bepaald product bepalen en de markt nadien de hoeveelheid van de bijbehorende druk op het milieu bepaalt, terwijl er bij het instellen van een quota een plafond vastgesteld wordt voor een bepaalde hoeveelheid druk op het milieu. Alle bedrijven mogen dezelfde bepaalde hoeveelheid pollutie uitstoten. De markt bepaalt vervolgens de prijs voor die druk en uiteindelijk de prijs van de producten. Quota en verhandelbare rechten zijn aantrekkelijker dan belastingen omdat ze gericht zijn op het gewenste doel, bijvoorbeeld een afname van de absolute druk op het milieu, in plaats van potentieel problematische middelen zoals de verhoogde eco-efficiëntie (Font Vivanco et al., 2016).

Een voorbeeld is het Europees emissiehandelssysteem (EU-ETS). Hierbij blijven de rechten constant, ongeacht de totale efficiëntie van het betrokken systeem. Als een efficiëntie van het betrokken systeem wordt doorgevoerd door een economische agent, dan komen er emissierechten vrij en zijn deze beschikbaar voor andere economische agenten. Deze economische agent kan deze rechten dan kopen van de andere economische agent zodat hij meer kan uitstoten dan het vastgestelde plafond. Er wordt voor deze grotere uitstoot betaald, omdat dit goedkoper is dan reductie-inspanningen. Hierdoor denken sommige onderzoekers dat het EU-ETS de invoering van efficiëntieverbeteringen ontmoedigt.

Kortingen en subsidies

Milieukortingen en -subsidies stimuleren veranderingen in de consumptie door consumenten te belonen die voor milieuvriendelijke producten kiezen. Dit kan in de vorm van terugbetalingen of verlagingen van de effectieve prijs van producten. Kortingen en subsidies worden maatschappelijk meer geaccepteerd dan andere instrumenten zoals de belastingen of emissierechten (Font Vivanco et al., 2016). Een belasting is echter doeltreffender dan een subsidie, omdat een subsidie resulteert in een lagere energiekost en dit kan bijgevolg leiden tot een rebound effect (Delhaye et al., 2013). Met subsidies kunnen veranderingen in de consumptie teweeg gebracht worden, maar het potentieel om nieuwe rebound effecten te creëren is groot, tenzij de inkomsten voor deze subsidies afkomstig zijn van een belasting op milieuschadelijke activiteiten. De verantwoordelijkheid voor de wijze waarop de extra uitgaven worden besteed bij subsidies liggen nu bij de consument en niet bij de overheid, wat het geval is bij milieubelastingen. Het totale voordeel zou dus moeten afhangen van de vraag of de nieuwe rebound effecten groter of kleiner zijn dan de afname van de bestaande (Font Vivanco et al., 2016).

2.1.5.2.5. Nieuwe bedrijfsmodellen – productdienstverleningssystemen

Productdienstverleningssystemen worden gedefinieerd als een verhandelbare reeks producten en diensten die gezamenlijk in de behoeften van een gebruiker kunnen voorzien. Enkele voorbeelden zijn: het systeem van autodelen of wasserijdiensten. De productdienstverleningssystemen hebben potentieel om de indirecte effecten te verminderen, omdat consumenten in staat worden gesteld om met minder grondstof intensieve opties in hun behoeften te voorzien. Productdienstverleningssystemen zullen succesvol zijn in het reduceren van het rebound effect voor zover er geen significante nieuwe rebounds worden geïnduceerd als gevolg van de toename van de eco-efficiëntie van het verlenen van diensten. Deze systemen zouden moeten gecombineerd worden met andere instrumenten zoals deze gebaseerd op het gedrag van de consument (zie paragraaf 2.1.5.2.2) of economische instrumenten (zie paragraaf 2.1.5.2.4) (Font Vivanco et al., 2016).

2.1.5.3. Een effectief rebound beleid

Er werden een aantal beleidstrajecten opgesomd en ingedeeld volgens drie verschillende strategieën. Deze kunnen door de overheid toegepast worden, om op die manier het rebound effect aan te pakken. Echter bestaat er geen één optimaal instrument. Het is dus cruciaal om combinaties van beleidstrajecten te voorzien, om zo tot effectief reboundbeleid te komen. De ideale combinatie van beleidstrajecten moet trachten om alle beschikbare strategieën te gebruiken en compromissen te vermijden, zodat hun effectiviteit gemaximaliseerd kan worden (Font Vivanco et al., 2016).

2.1.5.4. Wat doet de overheid nu?

De wetenschappelijke gemeenschap is erin geslaagd de aandacht te vestigen op het rebound effect in de wetenschap en in beleidskringen, maar is er niet in geslaagd de beleidsmakers ertoe te bewegen maatregelen te nemen om de rebound effecten in te dammen en te voorkomen. Rebound effecten worden in de meeste milieubeoordelingen voor het beleid niet in aanmerking genomen. De kwestie van het rebound effect is nog lang geen geconsolideerde, prioritaire kwestie op de Europese beleidsagenda en er is nog geen juridisch bindend rechtsbesluit over deze kwestie afgedwongen. Deze passiviteit kan veralgemeend worden (Font Vivanco et al., 2016). Zo levert het zoeken naar de term 'rebound effect' in de United States Code of the U.S. House of Representatives (2014), de geconsolideerde database van algemene en permanente wetten van de Verenigde Staten (VS), geen resultaten op. Ook dezelfde zoekopdracht in de "ComLaw" database van de Australische regering (2014), een uitgebreide verzameling van wetgeving van het Gemenebest, levert geen resultaten op. Redenen voor dergelijk gebrek aan actie die vaak genoemd worden zijn de lopende academische debatten over de definitie en de onzekerheden en complexiteit van de reboundomvang en inschattingen (Font Vivanco et al., 2016).

Er worden wel op mondiaal en nationaal beleidsniveau efficiëntiedoelstellingen geformuleerd (Paul et al., 2019), zowel voor energie als voor de natuurlijke hulpbron water. Op mondiaal niveau moet met doelstelling 3 van doelstelling 7 'Toegang tot betaalbare, betrouwbare, duurzame en moderne energie voor iedereen garanderen', tegen 2030 de globale snelheid van de verbetering in energie-efficiëntie verdubbeld worden. Met Doelstelling 2 van doelstelling 12 'Duurzame consumptie en productie' wordt gestreefd naar duurzaam beheer en efficiënt gebruik van natuurlijke hulpbronnen tegen 2030 (United Nations, 2015). De Europese Unie streeft naar 'schone energie voor alle Europeanen'. Hier worden doelstellingen aan gekoppeld tegen 2030 op het gebied van energie-efficiëntie. Bovendien is er de Europese Green Deal, waarbij gestreefd wordt naar een hulpbronnenefficiënte economie (Europese Commissie, 2020). Ook in databases van de Verenigde Staten of China worden efficiëntiedoelstellingen gevonden.

2.2. Het rebound effect voor de vraag naar water

Eerder werd het rebound effect beschreven bij de vraag naar energie. Er wordt in dit onderzoek bewijs gezocht of dit effect ook ontstaat bij de consumptie van water in de landbouwsector. Dit is namelijk een belangrijk onderzoekscriteria, omdat water net zoals energie een schaarse grondstof is. Tegenwoordig worden we namelijk geconfronteerd met een groei van de wereldbevolking (Schoenmaeckers, 2011). Door deze toename is er nood aan een stijgende voedselproductie (Schoors, Albrecht, Defloor, Goeminne, & Merlevede, 2017) en bijgevolg stijgt ook de vraag naar water. Anderzijds is het zeer moeilijk om in deze waterbehoefte te voorzien door de klimaatverandering, bijvoorbeeld veranderende neerslagpatronen (Europees Milieu Agentschap, 2012), waardoor de reserves aan grondwater zullen dalen. Er is dus meer water nodig, maar minder water beschikbaar. Ook door de slechte kwaliteit van het water, wordt water een schaars goed. Hierdoor is er klaarblijkelijk nood aan efficiënter en duurzamer watergebruik om de grondwaterbestanden of zuiver oppervlaktewater niet volledig uit te putten.

Het is namelijk zo dat efficiëntiemaatregelen gewoonlijk worden beschouwd als een effectieve manier om met een lagere hoeveelheid onttrokken water hetzelfde niveau van waterdiensten te bereiken en een betere ecologische kwaliteit van de waterbronnen te verkrijgen. De impliciete veronderstelling dat waterbesparingen door de uitvoering van efficiëntiemaatregelen zich automatisch zullen vertalen in een vermindering van de wateronttrekking is echter niet noodzakelijkerwijs correct. Het effect op de wateronttrekking is afhankelijk van de manier waarop de economische agenten reageren. In feite is het verhogen van de efficiëntie gelijk aan het verhogen van de waterproductiviteit en vervolgens de vraag naar water als productiemiddel (Gómez, M, & Gutierrez, 2011).

In paragraaf 2.3 zal gezocht worden naar bewijs voor dit rebound effect bij de vraag naar water. Omdat de literatuur voor het rebound effect in de landbouwsector zich focust op dit effect na toepassing van de efficiëntieverbetering van irrigatiesystemen, wordt eerst besproken hoe efficiënter met irrigatiewater kan worden omgegaan. Vervolgens wordt een beschrijving gegeven van hoe het direct en het economisch rebound effect zou kunnen optreden bij de vraag naar water in de landbouwsector. Bovendien worden enkele verschillen met het rebound effect bij vraag naar energie weergegeven en wordt de noodzaak voor een beleid bij de consumptie van irrigatiewater aangegeven. Is de evolutie van de vraag naar water al dan niet even belangrijk in het internationale milieubeleid als de vraag naar energie in het internationale klimaatbeleid, waardoor het noodzakelijk wordt om ook het rebound effect bij de vraag naar water te erkennen?

2.2.1. Efficiënter gebruik van irrigatiewater

Bij het fenomeen van waterschaarste is het zeer belangrijk dat de irrigatie-efficiëntie verbeterd wordt. Een hoog rendement komt namelijk overeen met een verhoogd nuttig gebruik van het water. Hierbij zijn ook volgende doelstellingen van belang (Pereira, Oweis, & Zairi, 2002) die de basis zullen vormen van de efficiëntere irrigatiemethoden:

Er moet controle verkregen worden op de nutteloze consumptieve toepassingen, namelijk het verbruik van water door evapotranspiratie van onkruid die overtollig irrigatiewater inwinnen.

Evapotranspiratie is een samentrekking van de woorden transpiratie, namelijk de verdamping via het gewas, en evaporatie. Dit laatste is de verdamping via het bodemoppervlak (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-d). Ook andere overtollige verdamping van de bodem, waar bijvoorbeeld geen teeltgewassen staan, moet vermeden worden.

Bovendien moet de hoeveelheid niet-herbruikbaar water dat naar het betrokken irrigatiesysteem of subsysteem wordt omgeleid, geminimaliseerd worden.

Het is ook van belang dat overtollig water niet in het naastgelegen kanaal gemorst wordt, want dit heeft negatieve gevolgen zoals wateroverlast, verlies van voedingsstoffen en landbouwchemicaliën, verontreiniging van water die voor menselijke consumptie gebruikt worden en het veroorzaken van opbrengst- en inkomensverliezen.

Er wordt veel belang gehecht aan de afstemming tussen het aanbod en de vraag naar water, zodat de draagkracht van het watersysteem niet overstegen wordt. (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-g). De strategieën die worden toegepast voor het aanbodbeheer zijn onder andere (Pereira et al., 2002):

- Het voorzien van een grotere opslagcapaciteit
- Verbeterde systemen voor het transport en de distributie van irrigatiewater die zorgen voor een grotere flexibiliteit van de toelevering en de verspillingen van het water verminderen. Bij deze strategie worden de termen watertransportefficiëntie en waterverstrekkingsefficiëntie gebruikt. De eerste term duidt het percentage aan van het onttrokken water dat als irrigatiewater op het veld komt. De andere term duidt het percentage van het irrigatiewater aan dat door het gewas wordt opgenomen (Europees Milieu Agentschap, 2012).
- Een betere exploitatie en een beter onderhoud, waarbij de opleiding voor landbouwers met betrekking tot irrigatiemiddelen moet overwogen worden.
- Nieuwe bronnen voor watervoorziening ontwikkelen zoals behandeld afvalwater, zout grondwater en drainagewater. Dit wordt later in paragraaf 2.4.2.3 besproken.

Voor het beheer van de vraag naar irrigatie zijn de doelstellingen gebaseerd op (Pereira et al., 2002):

- De vermindering van de irrigatiebehoefte
- Praktijken toepassen die leiden tot waterbehoud en besparingen op het gebied van irrigatie. Zo daalt de vraag naar water en neemt de opbrengst per gebruikt eenheid water toe.

Er bestaan verschillende irrigatietechnieken die rekening houden met deze strategieën voor het beheer van het aanbod en de vraag en de afstemming ervan. De traditionele oppervlakte-irrigatie wordt dan omgezet naar meer efficiëntere methoden. Ze worden in volgende paragrafen besproken.

Een irrigatietechniek kan goed worden gedefinieerd aan de hand van de irrigatie-efficiëntie. Dit is de verhouding tussen de hoeveelheid water die effectief door de gewassen wordt opgenomen, dit wordt het effectief water genoemd, en de hoeveelheid water die onttrokken wordt om op het perceel toe te passen. Dit laatste wordt het toegepast water genoemd (Gómez et al., 2011). De verhouding wordt weergegeven in vergelijking 2.

$$\text{Irrigatie – efficiëntie} = \frac{\text{Hoeveelheid effectief water}}{\text{Hoeveelheid toegepast water}} \quad (2)$$

Efficiëntere irrigatiesystemen verhogen deze verhouding, waardoor er voor een bepaalde opbrengst minder water moet worden toegepast (Pfeiffer & Lin, 2014).

2.2.1.1.1. Haspel of sprinklers irrigatie

Bij deze techniek wordt gebruik gemaakt van beregeningssystemen. Dit kan zowel een beregeningsboom of een beregeningskanon zijn (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-i). De beregeningsboom bestaat eigenlijk uit lange slangen met sproeiërs in de lengte. Het beregeningskanon is een centraal draaiend systeem dat een cirkel in de velden doorkruist. Het betreffen sproeiërs onder hoge druk. Beide systemen worden afgebeeld op Figuur 2-4, ze worden ook wel de conventionele centrale sproeisystemen genoemd.



Figuur 2-4 Beregeningskanon (links) en beregeningsboom (rechts) (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-i)

Deze vorm van irrigatie kan efficiënter gemaakt worden door het bevestigen van lage druk sproeiers of lage energie precisie toepassing (LEPA) aan de centrale draaipunten (Pfeiffer & Lin, 2014) of lineair bewegende machines. LEPA minimaliseert de verdamping en windverliezen door het water direct onder zeer lage druk op het bodemoppervlak te laten lopen. Een andere manier om sprinkler irrigatie efficiënter te maken is door toepassing van LESA (Low elevation spray application). Het is gelijkaardig aan LEPA, waarbij gebruik gemaakt wordt van een hangende sproeikop die zeer dicht bij het grondoppervlak geplaatst wordt. Ook hier worden verdamping en windverliezen geminimaliseerd (Peters, R. T., Neibling, H., & Stroh, 2016). Beide systemen worden afgebeeld op Figuur 2-5.



Figuur 2-5 LEPA-systeem (links) en LESA-systeem (rechts) (Peters, R. T., Neibling, H., & Stroh, 2016)

De efficiëntie van de irrigatie varieert naar gelang de milieuomstandigheden, maar over het algemeen wordt aangenomen dat oppervlakte-irrigatiesystemen 65-75% efficiënt zijn. Conventionele centrale sproeisystemen verhogen de efficiëntie tot 80-90%, en centrale sproeisystemen met LEPA of andere types van verlaagde sproeiers zijn 95-98% efficiënt (Pfeiffer & Lin, 2014).

2.2.1.1.2. Druppelirrigatie

Met druppelirrigatie, ook wel gekend als micro-irrigatie (Pereira et al., 2002), wordt water efficiënter op de gewassen aangebracht in vergelijking met de conventionele centrale sproeisystemen. Sprinkler irrigatie is minder efficiënt, omdat een groot deel van het water dat in de lucht wordt geschoten, verdampt of verloren gaat door wind. Bij druppelirrigatie wordt water onder lage druk naar beneden op de planten gespoten in plaats van hoog in de lucht te worden geschoten, zoals bij conventionele centrale sproeisystemen (Water Science School, n.d.-b).

Bij druppelbevloeiing wordt het water door buizen, met gaten er in, geleid. Deze buizen zijn ofwel begraven ofwel zijn ze bovengronds, naast de gewassen gelegen. Het water druppelt langzaam op de wortels en de stengels van het gewas. Water kan alleen naar de gewassen die het nodig hebben, waardoor minder water wordt verspild (Water Science School, n.d.-a). Uit een specifiek onderzoek bleek dat de irrigatie-efficiëntie door toepassing van druppelirrigatie van 40% naar 80% steeg in vergelijking met oppervlakte-irrigatie (Raеisi, Morid, Delavar, & Srinivasan, 2019) voor dat specifieke geval.

2.2.1.1.3. Deficit irrigatie

Deficit irrigatie (DI) is een waterbesparende strategie, waarbij minder irrigatiewater wordt toegepast dan de volledige gewaswaterbehoefte. Zo wordt bijvoorbeeld een watertekort van 0%, 20%, 40%, 80% of 100% toegepast. 0% betekent dan dat er volledige irrigatie plaatsvindt, terwijl 100% enkel watertoevoer via neerslag betreft (Raеisi et al., 2019). Er wordt irrigatiewater toegepast tijdens de meest droogtegevoelige groeifasen (vaak de vegetatieve fase) van het gewas en de irrigatie wordt beperkt of kan zelfs helemaal afwezig zijn buiten deze periodes, als de regenval een minimale watervoorziening garandeert. De periodes waarin gebruik gemaakt wordt van de watertekorten beperken zich tot de droogtetolerantie van de gewassen. De totale toegepaste hoeveelheid irrigatiewater is dus niet evenredig met de behoefte aan irrigatiewater gedurende de gehele teeltcyclus. Dit leidt tot droogtestress bij de gewassen en dus tot productieverlies (Geerts, 2008). Met andere woorden de oogst is wat lager, maar de opbrengst per gebruikte eenheid water (de waterproductiviteit) stijgt en het totale waterverbruik daalt drastisch (Raes, Geerts, & Vanuytrecht, 2009).

De droogtetolerantie is sterk afhankelijk van het genotype en de groeifase. Hierdoor vereist DI een nauwkeurige kennis van de reactie van het gewas op droogtestress voor elk van de groeistadia (Geerts, 2008).

2.2.1.1.4. Irrigatieplanning/-sturing

Het is van groot belang om elke toegepaste hoeveelheid irrigatiewater maximaal te laten renderen, want een overdosis aan irrigatiewater zorgt voor nutteloze verspilling van water, mineralen en energie. Bovendien kan het een opbrengstdaling tot gevolg hebben (Bodemkundige dienst van België, 2009).

Er bestaan effectieve managementmethoden en -instrumenten die ervoor zorgen dat de irrigatie optimaal is voor de gewassspecifieke en locatiespecifieke eisen van geïrrigeerde gewassen. Deze methoden en instrumenten informeren de land- of tuinbouwer over het tijdstip van irrigatie en over de hoeveelheid toe te passen water (Incrocci et al., 2020).

Een eerste voorbeeld van zo een instrument is de bodemvochtsensor. Deze sensoren meten ofwel de vochtspanning ofwel het vochtgehalte. Een voorbeeld van dergelijke sensor die de vochtspanning meet is de tensiometer. De vochtspanning is de onderdruk in de bodem waarmee het water wordt vastgehouden. De plant moet minstens een gelijke tegendruk ontwikkelen om het vocht uit de bodem te kunnen opnemen. Er kan dan beslist worden om irrigatiewater toe te passen als een bepaalde onderdruk bereikt wordt (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-e). Nadelig is dat de afwijkingen van dergelijke meter ten opzichte van rechtstreekse bodemvochtbepalingen sterk kunnen zijn. De vochtspanning van de bodem kan ook op een andere manier gebeuren, namelijk via de elektrische geleidbaarheid in de bodem. Dergelijke sensor is vrij accuraat. Sensoren die anderzijds het vochtgehalte in de bodem meten, doen dat op basis van elektromagnetische straling. Onderzoek heeft aangetoond dat de nauwkeurigheid van desbetreffende meting niet voldoet aan de aansturing van de berekening. In 83% van de metingen zou dit resulteren in een te vroege berekening.

Een ander voorbeeld is een adviessysteem zoals dat van 'De Bodemkundige Dienst van België'. Hierdoor wordt het mogelijk om permanent de vochttoestand van de bodem en de irrigatiebehoefte van het gewas te bepalen. De landbouwer moet over een regenmeter beschikken. De landbouwer krijgt adviezen doorgestuurd zoals de datum waarop irrigatie kan of moet aanvangen, de hoeveelheid toe te passen water en omstandigheden waarbij irrigatie eventueel moet uitgesteld worden. De adviezen worden afgeleid uit een bodemwaterbalansmodel waarmee de vochttoestand van de deelnemende percelen dag na dag wordt gevolgd. (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-a). Bovendien wordt ook een weervoorspelling gegeven voor de komende vijf à zeven dagen met neerslagverwachtingen, gewasverdamping, temperatuur en windsnelheden (Bodemkundige dienst van België, 2009).

Als laatste kan ook remote sensing (RS) toegepast worden. Er worden satellietbeelden of foto's genomen, waarmee het visuele licht en de infraroodstraling die gereflecteerd wordt door het gewas, gemeten worden. Aan de hand van deze gegevens kan de bodembedekkingsgraad, de totale biomassa of zelfs de verdamping van het gewas afgeleid worden. Zo kan bijvoorbeeld berekend worden waar op het perceel zich een verdampingstekort bevindt. RS-informatie kan heel duidelijk de ruimtelijke variatie van een perceel weergeven (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-j).

2.2.2. Beschrijving van het direct en het economisch rebound effect bij de vraag naar water in de landbouwsector

Door de verbeterde irrigatietechnologie zal er een direct rebound effect ontstaan in de landbouwsector. De verbeterde irrigatietechnologieën worden voor het grootste deel financieel geïnvesteerd door de overheid (dit is bijvoorbeeld het geval in China en Spanje). De productiekosten van de landbouwers zullen hierdoor dalen als het waterverbruik per eenheid gewasopbrengst daalt, of als de waterproductiviteit dus stijgt. De landbouwers worden eigenlijk rijker door de lagere kosten, waardoor ze door het 'inkomenseffect' (besproken in paragraaf 2.1.2) getriggerd zullen worden om hun landbouwproductie uit te breiden, zodat het waterverbruik in de landbouw toeneemt of constant blijft indien er een limiet geldt op het de geïrrigeerde oppervlakte. Anderzijds wordt watervoorziening door deze lagere kosten goedkoper in vergelijking met andere inputfactoren zodat het 'substitutie-effect' (besproken in paragraaf 2.1.2) zal leiden tot een toename van het waterverbruik in de landbouw. Door een beperkte vervangingscapaciteit zal het waterverbruik in de landbouw misschien niet veranderen of zelfs afnemen (Fang, Wu, Yu, & Zhang, 2020).

Het effect van de verbetering van de irrigatietechnologie zal zich via het economisch systeem naar andere sectoren verspreiden. Het 'spillover' effect verhoogt de productiviteit van de hele economie. Enerzijds leidt de snelle economische groei tot een 'schaaleffect', waardoor de vraag naar landbouwproducten zal toenemen. Hierdoor zal het waterverbruik in de landbouw toenemen. Anderzijds kunnen de mensen, naarmate ze rijker worden, vragen om hoogwaardige en gediversifieerde landbouwproducten. De consumptie van gewassen op kasbasis, zoals groenten en fruit, neemt toe ten opzichte van de traditionele graangewassen. Het waterverbruik in de landbouw neemt dus toe als gevolg van een grotere waterbehoefte voor gewassen op kasbasis (Fang et al., 2020).

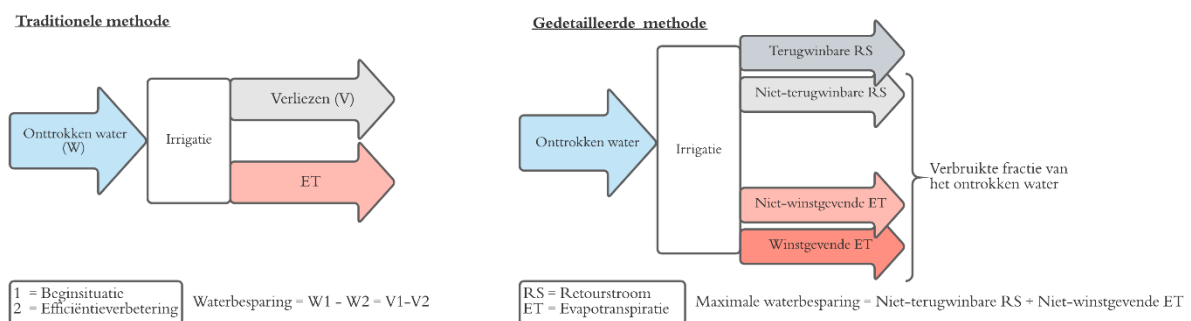
2.2.3. Rebound effect bij waterverbruik waarnemen.

Eerder werd het rebound effect beschreven met als referentiekader energieverbruik. Als de methode voor het berekenen van de potentiële energiebesparing uit paragraaf 2.1.3 wordt toegepast voor het bepalen van de waterbesparingen, dan is in het voorbeeld van irrigatie de input factor gelijk aan de onttrokken hoeveelheid water, de output is dan de evapotranspiratie en het resterende deel zijn dan waterverliezen. Dit wordt weergegeven in het linker deel van Figuur 2-6 (Dumont et al., 2013). Net zoals de potentiële energiebesparing is de waterbesparing dan gelijk aan het verschil in input, namelijk de onttrokken hoeveelheid water, voor hetzelfde niveau van output na een verhoging van de efficiëntie. Dit is dan ook gelijk aan het verschil in de verliezen van water.

Echter is er een fundamenteel verschil tussen water en energie, waardoor deze methode eigenlijk niet volledig correct is. Energie die namelijk niet wordt omgezet in een nuttige output, gaat echt verloren en wordt dus verbruikt. Bijvoorbeeld verlies door wrijving en warmte. Voor water daarentegen geldt niet noodzakelijk dat al het onttrokken water ook effectief verbruikt wordt. In het geval van irrigatie zal slechts een deel van het water worden verbruikt, hetzij productief of winstgevend door evapotranspiratie van het gewas en niet-productief of niet-winstgevend door bijvoorbeeld de verdamping van de natte bodem of evapotranspiratie van omliggend onkruid. Het resterende deel van het onttrokken water zal terugvloeien in het irrigatiekanaal of de rivier door afvloeiing en drainage, of het sijpelt in de grond waarna het de watervoerende lagen weer zal aanvullen. Deze retourstromen mogen dus niet geheel als verliezen gekwalificeerd worden, omdat ze uiteindelijk nog waarde kunnen genereren voor andere gebruikers, de rivierstromen in stand houden of de watervoerende lagen weer kunnen aanvullen. De waterverliezen moeten dus opgedeeld worden in terugwinbare retourstromen en niet-terugwinbare retourstromen. De terugwinbare retourstromen verwijzen naar de fractie van het totale water die stroomafwaarts beschikbaar zal zijn voor hergebruik. Echter kunnen niet alle retourstromen hergebruikt worden. Zo kunnen retourstromen in zoute of vervuilde watervoerende lagen terechtkomen, of kunnen ze naar een locatie stromen waar het niet makkelijk hergebruikt kan worden. Deze fractie van de retourstromen zijn dan de niet-terugwinbare. Het is dus belangrijk dat de herbruikbaarheid van de retourstromen wordt beoordeeld voor de kwantificering van de waterbesparing. Potentiële waterbesparingen kunnen dan berekend worden op niveau van de niet-terugwinbare retourstromen en de niet-winstgevende evapotranspiratie. Deze meer gedetailleerde methode voor de kwantificering van de waterbesparing wordt in het rechterdeel van Figuur 2-6 weergegeven (Dumont et al., 2013).

Het is dus zeer belangrijk om het verschil te maken tussen het gebruikte water of de totale hoeveelheid onttrokken water en het effectief verbruikte water. Het verbruikt water wordt gevormd door de componenten niet-terugwinbare retourstromen, niet-winstgevende evapotranspiratie, winstgevende evapotranspiratie (Berbel, Gutiérrez-Martín, Rodríguez-Díaz, Camacho, & Montesinos, 2014).

Efficiëntere irrigatiesystemen verminderen het aandeel van het water dat verloren gaat, maar kunnen ook de hoeveelheid water dat beschikbaar is voor de gewassen verhogen. Dit leidt dan tot een hoger verbruik. Een hydrologische paradox kan ontstaan waarbij het watergebruik (het onttrokken water) afneemt door een hogere efficiëntie, maar het waterverbruik toeneemt, waardoor het probleem van de watertekorten verergert. (Paul et al., 2019).



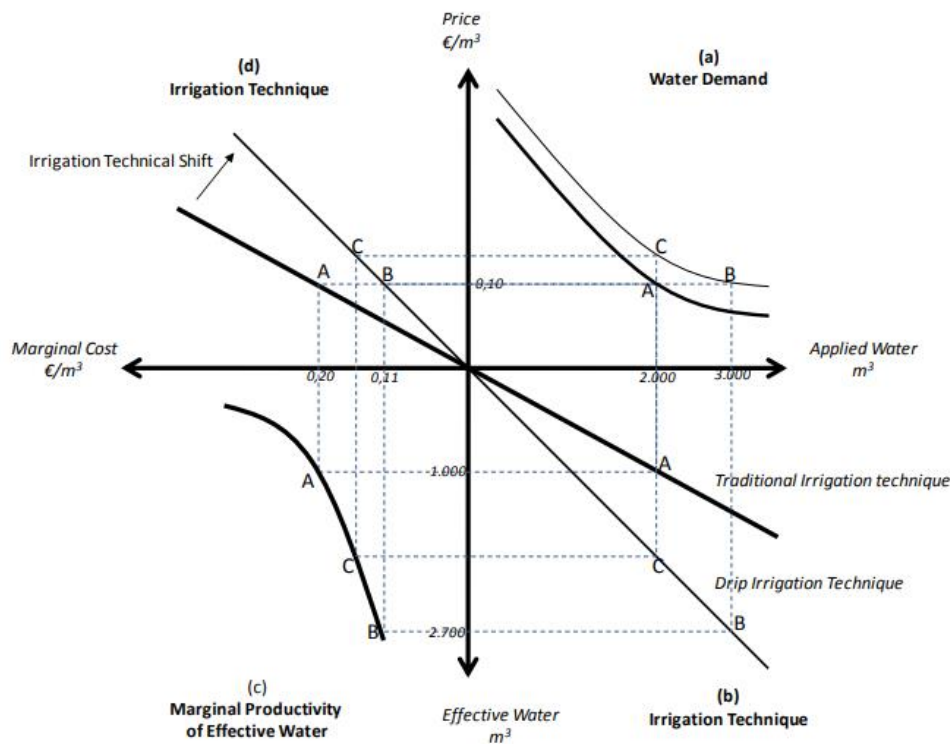
Figuur 2-6 Kwantificering van de waterbesparing a.d.h.v. traditionele methode (links) en een gedetailleerde methode (rechts)

Een ander belangrijk verschil tussen energie en water gaat over de prijselasticiteit. In de landbouwsector beperkt de prijs zelden het watergebruik. De beperkende factor is veeleer de beschikbaarheid van water of de waterrechten. Watergebruik is meestal inelastisch voor prijsveranderingen. Dit betekent dat de daarmee samenhangende beleidsmaatregel om de waterprijs te verhogen als ontmoediging van het watergebruik, zoals dat bij energie meestal wordt gedaan (zie paragraaf 2.1.3), misplaatst of zinloos zou kunnen zijn (Dumont et al., 2013).

Het ontbreken van prijseffecten (vaststellen dat de consumptie van water toeneemt, omdat de prijs daalt na een efficiëntieverbetering) betekent niet dat het verbruik niet toeneemt. Vaak wordt beweerd dat waterrechten herzien zouden moeten worden, volgens de efficiëntieverbeteringen om ervoor te zorgen dat het consumptieve gebruik niet toeneemt. Als er in eerste instantie minder water beschikbaar is voor landbouwers dan de toegelaten hoeveelheid die onttrokken mag worden volgens de rechten (dit is gebruikelijk in Spanje), kan er na de efficiëntieverbetering meer waterconsumptie optreden doordat er meer water beschikbaar is en omdat de rechten voldaan zullen worden (Dumont et al., 2013).

2.2.4. Nood aan beleid bij de consumptie van irrigatiewater

Aan de hand van een grafisch voorbeeld wordt aangetoond dat een hogere efficiëntie voor het gebruik van water bij irrigatie, de druk op de waterecosystemen zou kunnen verhogen (Gómez et al., 2011).



Figuur 2-7 Efficiëntieverbetering en vraag naar water (Gómez et al., 2011)

Er zijn 4 zones op de grafiek waar te nemen. In zone (b) en (d) wordt de irrigatietechniek weergegeven. In zone (b) wordt deze weergegeven als verhouding tussen de hoeveelheid effectief water en de hoeveelheid toegepast water. Dit toont dus de irrigatie-efficiëntie die werd besproken in paragraaf 2.2.1. In zone (d) wordt de irrigatietechniek weergegeven als verhouding tussen de waterprijs van het toegepaste water op de verticale as, dit betreft de marktprijs van het water en de marginale kosten voor het inbrengen van het water in het irrigatiesysteem, en de marginale kosten van het effectieve water op de horizontale as. Figuur 2-7 toont dat een verschuiving naar een beter irrigatietechniek resulteert in een hogere irrigatie-efficiëntie, want voor dezelfde hoeveelheid toegepast water wordt een hogere hoeveelheid effectief water verkregen. De verschuiving leidt ook tot een daling van de marginale kosten van het effectief water.

In zone (c) wordt de marginale productiviteit van effectief water weergegeven. Dit is een afnemende functie die niet afhankelijk is van de gebruikte irrigatietechniek. Een verbetering van de irrigatietechniek zal de productiviteit van het irrigatiesysteem verhogen door de verhouding te verhogen tussen effectief en gebruikt water en door de marginale kosten van effectief water te verminderen. De afgeleide vraag naar water voor irrigatie, zoals weergegeven in zone (a), zal naar buiten verschuiven met elke technische verbetering van de irrigatie (Gómez et al., 2011).

In situatie A op de figuur betaalt de boer een prijs van 10 cent per m^3 en onttrekt $2000 m^3$ water. Deze hoeveelheid water wordt omgevormd met de inefficiënte irrigatietechniek tot $1000 m^3$ die effectief door de gewassen gebruikt worden. Dit resulteert in een marginale kost van 20 cent per m^3 effectief water. Er is namelijk 20 cent vereist om 1 kubieke meter water meer te verkrijgen. Wanneer de irrigatietechniek nu vervangen wordt door een meer efficiënte techniek en de prijs van het water constant blijft, dan zal door de verschuiving van de vraag de hoeveelheid water die onttrokken wordt hoger worden, namelijk $3000 m^3$. Dit is situatie B op de grafiek. Dit water wordt omgezet tot een effectieve hoeveelheid van $2700 m^3$ en de marginale kost van dit effectief water daalt tot 11 cent. Als we nu een situatie C overwegen waarbij de hoeveelheid water die mag onttrokken worden vast staat door het gebruik van eigendomsrechten, zal er door het verbeteren van de irrigatie-efficiëntie een hogere marginale bereidheid ontstaan om te betalen voor de bestaande waterrechten. Dit resultaat toont aan dat als er geen actie wordt ondernomen over waterprijzen of toegelaten hoeveelheden te onttrekken water al het gespaarde water zal gebruikt worden om de marktproductie te verhogen.

2.3. Empirische casestudies naar het rebound effect voor de vraag naar water in de landbouwsector

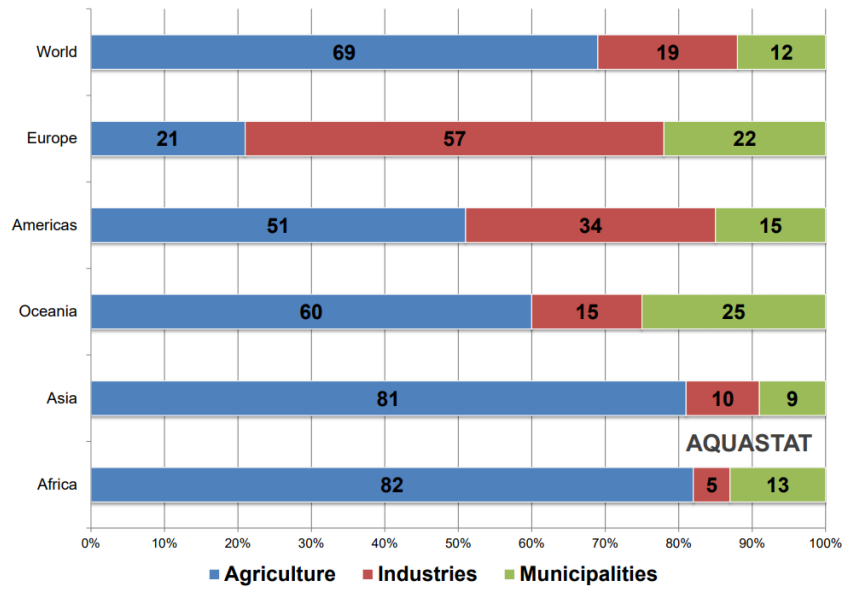
Om te onderzoeken of het rebound effect bij de consumptie van water effectief bestaat werd er gezocht naar uitgevoerde studies binnen Europa. Tijdens deze zoektocht werd vastgesteld dat er echter veel studies over dit onderwerp gevoerd werden in China, dit was ook reeds het geval voor empirische studies naar het rebound effect bij de vraag naar energie. Er werd uiteindelijk gekozen om case studies te bekijken voor Europa en dit werd uitgebreid met China. Bovendien werd ook nog een casestudie uit Kansas toegevoegd. In dit deel van de masterproef worden per casestudie de gevonden resultaten besproken en wordt besproken wat de onderzoeker verklaart en welke suggesties gegeven worden voor het beleid. Op het einde van dit deel wordt alles samengevat in Tabel 2-16 om een duidelijk overzicht weer te geven.

Er werd gekozen om de consumptie van water in de landbouwsector te onderzoeken, omdat de landbouwsector op mondiaal vlak de grootste watergebruiker betreft. Dit volgt uit paragraaf 2.3.1.

2.3.1. Het belang van water in de landbouwsector

De hoeveelheid neerslag bedraagt bijna 110 000 km³ per jaar. Ongeveer 56% van deze neerslag wordt opgenomen door bossen en natuurlijke landschappen, 5% van de neerslag wordt geabsorbeerd door de landbouwgewassen en de resterende 39% (43000 km³/jaar) wordt omgezet in oppervlakte water, die de rivieren en meren voedt, en grondwater (Food and Agriculture Organization of the United Nations, n.d.). Water wordt niet enkel gebruikt als drinkwater, het is ook nodig voor de landbouw, de industrie, verwarming en koeling, toerisme en andere dienstensectoren (European Environment Agency, 2018). Een deel van het oppervlakte- en grondwater wordt verwijderd door wateronttrekking. Globaal gezien is de grootste watergebruiker de landbouwsector. Het onttrekkingspercentage voor de landbouw bedraagt om globaal niveau namelijk 69%, 19% wordt door de industrie onttrokken en 12% door de stedelijke onttrekking (inclusief huishoudelijk). Deze cijfers zijn wat vertekend doordat een beperkt aantal landen over zeer hoge wateronttrekkingen beschikken. In Figuur 2-8 worden deze percentages weergegeven samen met de percentages per continent. Meer specifiek wordt ook nog gekeken naar percentages voor de regio's die in de verschillende casestudies van volgende paragrafen besproken zullen worden. Gegevens van 2012 tonen dat in Spanje 68,20% van al het onttrokken water voor de landbouw werd gebruikt. In Duitsland was in 2010 slechts 0,64% van de totale hoeveelheid onttrokken water voor de landbouw bestemd. In China was in 2015 64% van het totale waterverbruik voor de landbouwsector. Voor de Verenigde Staten was dit 36% in 2010 (The world bank-data, n.d.).

Water withdrawal ratios by continent



Figuur 2-8 Percentages van de wateronttrekking per continent (FAO, 2015)

2.3.2. Casestudie rebound effect na irrigatiemodernisering in Spanje

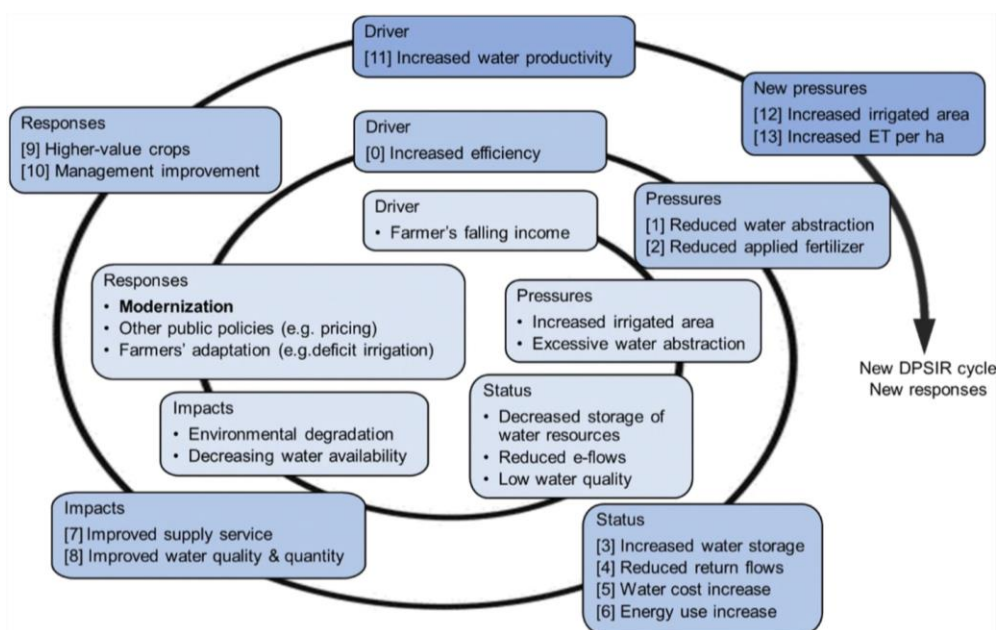
2.3.2.1. *Modernisering van irrigatie*

In het midden van de jaren negentig werd Spanje getroffen door ernstige droogte. Deze periode had een impact op de hele nationale economie. Als reactie hierop, ontstond het Nationaal Irrigatieprogramma (MAPA 2002). Het doel van het plan was om 1,1 miljoen geïrrigeerde hectaren te moderniseren in de periode 2002-2008 door middel van waterbesparende investeringen door efficiëntere irrigatiesystemen te implementeren. Open kanalen en oppervlakte-irrigatie werden omgezet in druppel- of besproeiingsirrigatie (Berbel et al., 2014). Als gevolg van een tweede langdurige droogte in de periode 2005-2008 ontstond een tweede en derde moderniseringsgolf, gekend als het “Shock Plan for Irrigation Modernization” (MAPA 2006) en het “Plan for Irrigation Improvement and Consolidation” (MAPA 2008) (Berbel, Expósito, Gutiérrez-Martín, & Mateos, 2019). De hydrologische plannen in Spanje zijn ontwikkeld in overeenstemming met de kaderrichtlijn water van de Europese commissie (Berbel et al., 2014)

Het initiële doel van dit programma was om waterbesparing te bereiken door de bestaande irrigatie-infrastructuur te verbeteren en te moderniseren. De verwachte waterbesparingen werden vastgelegd op 2,7 km³ per jaar. Dit is een aanzienlijk volume aangezien het totale irrigatieverbruik ongeveer 17 km³ per jaar betreft. Drie extra doelstellingen zorgden ervoor dat de overheidssubsidies voor deze investeringen in modernisering gerechtvaardigd werden. Ten eerste de stimulering van plattelandsontwikkeling, diversificatie van de economie, creatie van werkgelegenheid en de versterking van de concurrentie van geïrrigeerde landbouw door de productie aan te passen aan de marktvaart en aan het landbouwbeleid van de EU. Een volgende doelstelling is de verbetering van de waterkwaliteit door vermindering van de diffuse verontreiniging, dit wordt later in paragrafen 2.4.1.2.3 en 2.4.2.1.1 besproken. De laatste doelstelling was de aanpassing aan de klimaatverandering, waardoor de landbouwsector veerkrachtiger wordt (Berbel et al., 2019).

2.3.2.2. Effecten op de irrigatiemodernisatie in Spanje

De impact van deze modernisering werd onderzocht op basis van het DPSIR (Driving forces, Pressures, States, Impacts, and Responses)-analytisch kader. Het beschrijft de interactie tussen maatschappij en milieu als een keten van causale verbanden die begint met 'drijvende krachten' (bijvoorbeeld menselijke activiteiten, ontwikkeling van economische sectoren) die via 'druk' (onttrekking en vervuiling) op de fysieke, chemische en biologische 'staten' van waterlichamen leiden tot 'effecten' op ecosystemen, menselijke gezondheid en economie. Deze leiden uiteindelijk tot politieke of particuliere 'reacties'. Het analysekader is eerder een cyclisch dan een lineair model (Berbel et al., 2019). Omdat het DPSIR-model de 'oorzaak-gevolgrelaties' tussen de sectoren van sociale, economische en milieusystemen kan vastleggen, is het op grote schaal toegepast om de op elkaar inwerkende processen van mens en milieu te analyseren (Sun et al., 2016). Het model wordt weergegeven in Figuur 2-9.



Figuur 2-9 DPSIR-analytisch kader (Berbel et al., 2019)

Binnen het voorgestelde DPSIR-kader kan de modernisering van irrigatie door centrale en regionale Spaanse overheden beschouwd worden als een 'publieke reactie' op waterschaarste en aantasting van het milieu na een intensieve irrigatie-expansie (druk). Dit moderniseringsproces heeft verschillende effecten gehad, zoals het gunstig effect als ongunstige effecten. Deze waargenomen effecten worden in paragrafen 2.3.2.2.1 en 2.3.2.2.2 besproken, maar ze hebben alvast tot latere DPSIR-cycli geleid zoals weergegeven op Figuur 2-9. Deze nieuwe cycli kunnen opgevat worden als verschillende effecten op het moderniseringsproces van irrigatie in het geval van Spanje en elders.

2.3.2.2.1. Gunstige effecten op de modernisering van de Spaanse irrigatie

In dit onderzoek zijn we enkel geïnteresseerd in het ongunstige rebound effect, maar toch worden de verschillende gunstige effecten die ontstaan door de modernisering in deze paragraaf besproken. Deze gunstige effecten houden namelijk verband met het ontstaan van een mogelijk rebound effect.

Stijging van de irrigatie-efficiëntie

Het hoofddoel van de Spaanse irrigatiemoderniseringsprogramma's was besparen van water door de hoeveelheid onttrokken water te verminderen en dit door middel van een verhoogde irrigatie-efficiëntie. Tabel 2-5 toont verschillende studies die bewijzen dat dit hoofddoel is bereikt (Berbel et al., 2019).

Tabel 2-5 Studies die toenemende irrigatie-efficiëntie aantonen

Auteur en referentie	Regio	Resultaat
(Corominas en Cuevas, 2017)	Andalusië (Zuid-Spanje)	Verhoging van irrigatie-efficiëntie van 65% tot 87 % (Berbel et al., 2019)
(Camacho et al, 2017) (Fernández-Garcia et al, 2014)	Andalusië	Vermindering van waterverbruik als indicatie van de verbetering van de efficiëntie (Berbel et al., 2019)

Vermindering van de wateronttrekking ten gevolge van de verbeterde irrigatie-efficiëntie, met behoud van de evapotranspiratie van gewassen, resulteert in bijkomende positieve effecten. Zowel de retourstromen nemen af als het aandeel opgeslagen water neemt toe.

Verminderde wateronttrekking

Door de modernisering programma's is in heel het land een vermindering van wateronttrekking waargenomen. In Tabel 2-6 worden enkele resultaten weergegeven van studies die de wateronttrekking voor en na het moderniseringsproces tegenover elkaar bekeken (Berbel et al., 2019).

Tabel 2-6 Studies die de verminderde wateronttrekking aantonen

Auteur en referentie	Regio	Resultaat
(Fernández García, Rodríguez Díaz, Camacho Poyato, Montesinos, & Berbel, 2014)	Guadalquivir rivier bekken	- 23 %
(Berbel et al., 2014)	Guadalquivir rivier bekken	- 21%
(Borrego-Marin en Berbel, 2017)	West-Andalusië	- 33% (Berbel et al., 2019)
(Corominas en Cuevas, 2017)	Andalusië	- 33% (Berbel et al., 2019)
(Garcia-Molla et al, 2017)	Regio Valencia	- 40 tot – 60 % (Berbel et al., 2019)
(Estrela, 2017)	Stroomgebied van de Jucar	- 45% (Berbel et al., 2019)
(Del Campo, 2017)	Tagus RB, Canal Estremera	- 39% (Berbel et al., 2019)

Volgens deze studies bedroeg de gemiddelde vermindering van irrigatiewater in Spanje 33%. Echter zijn er onder bepaalde omstandigheden toch rebound effecten in watergebruik vastgesteld. Dit wordt in paragraaf 2.3.2.2.2 besproken.

Vermindering van meststoffen gebruik en verbeterde waterkwaliteit

Volgens het DPSIR – analytisch kader, zie Figuur 2-9, wordt het gebruik van meststoffen in de landbouw beschouwd als een ‘druk’ met een negatieve ‘impact’ op het milieu wanneer een teveel aan chemicaliën leidt tot diffuse verontreiniging. Dit wordt uitgebreider besproken in paragraaf 2.4.1.2.3. Door het moderniseringsbeleid werd niet enkel de kwantitatieve druk, de hoeveelheid onttrokken water, maar ook de kwalitatieve druk verminderd. In Tabel 2-7 wordt het resultaat van een studie naar meststoffengebruik na modernisering van het stroomgebied van de Jucar weergegeven (Berbel et al., 2019).

Tabel 2-7 Studie die de vermindering van meststoffen aantoont

Auteur en referentie	Regio	Resultaat
(Estrela, 2017)	Stroomgebied van de Jucar	Efficiëntie van de bemesting verbetert door hoogfrequente lokale bemesting. Dit resulteert ook in een vermindering van 27% van de gebruikte meststoffen (Berbel et al., 2019).

De vermindering van de bemesting heeft geleid tot het positieve effect van de verbeterde waterkwaliteit. Dit is een impact, weergegeven op Figuur 2-9. Dit positieve effect ontstaat door de combinatie van een verhoogde efficiëntie in het gebruik van nutriënten, wordt later besproken in paragraaf 2.4.2.1.1, en een vermindering van de vervuilde retourstromen.

Tabel 2-8 geeft de resultaten weer van studies met betrekking tot de waterkwaliteit (Berbel et al., 2019).

Tabel 2-8 Studies die de verbeterde waterkwaliteit aantonen

Auteur en referentie	Regio	Resultaat
(Garcia-Garizábel en Causapé, 2010) (Barros et al, 2012) ; (Jiménez-Aguirre en Isidoro, 2018)	Stroomgebied van de Ebro	Verbeterde efficiëntie van irrigatie vermindert het volume van de retourstromen en de hoeveelheid nitraten en zouten in de afwateringskanalen (Berbel et al., 2019).

(López-Gunn, 2017)	Stroomgebied van de Duero (Noordwest-Spanje)	Positieve effecten van modernisering van irrigatie op de waterkwaliteit (Berbel et al., 2019).
(Estrela, 2017)	Stroomgebied van de Jucar (Oost-Spanje)	Als gevolg van moderniseringsmaatregelen is er -10% diffuse stikstofverontreiniging (Berbel et al., 2019)

Verbeterde watervoorziening

De modernisering van de irrigatie heeft een positief effect op de toename van de wateropslag en een verbetering van het aanbod van watervoorzieningsdiensten in zowel flexibiliteit als kwaliteit. Er bestaat een complementaire relatie tussen de investeringen in de capaciteit voor wateropslag en de watergebruiksefficiëntie. Waterbesparingen die namelijk opgeslagen blijven voor toekomstig gebruik, verbeteren de watertoeleveringsgarantie. Guadalquivir Hydrologisch Plan (CHG 2013) schat dat de kans op uitval van het irrigatietoevoersysteem, na de modernisering, daalt van 33% naar 18%. Landbouwers hebben door de verhoogde watertoeleveringsgarantie een relatief hogere betalingsbereidheid (Berbel et al., 2019).

Stijging van productie waarde en waterproductiviteit

Door een grotere flexibiliteit en betrouwbaarheid van de watervoorziening, treden veranderingen in de teeltpatronen op. De teelt van hoogwaardige meerjarige gewassen, zoals citrus- en olijfbomen, en de vervanging van grondstofgewassen zoals katoen, maïs, suikerbieten en granen wordt hierdoor mogelijk. Tabel 2-9 toont resultaten van studies die naar dit fenomeen uitgevoerd zijn (Berbel et al., 2019).

Tabel 2-9 Studies die de toenemende productiewaarde aantonen

Auteur en referentie	Regio	Resultaat
(Castillo et al, 2017)	Guadalquivir-bekken.	Uitbreiding van de citrus- en olijfboomgaarden gaat gepaard met stijging van de opbrengst met ongeveer 10%. Er is geen duidelijke trend waar te nemen in het geval van grondstoffengewassen (Berbel et al., 2019).

(Lecina et al, 2010)	Stroomgebied Ebro	Maïsofbrengrst is toegenomen als gevolg van het moderniseringsproces (Berbel et al., 2019).
----------------------	-------------------	---

De verschuiving naar meerjarige gewassen met een hogere toegevoegde waarde kan wel een verlies van veerkracht tegen periodes van waterschaarste met zich meebrengen. Landbouwers hebben namelijk geen manoeuvreerruimte meer om eenjarige gewassen als buffer te gebruiken, omdat ze nu het water dat vroeger voor eenjarige gewassen werd gebruikt in meerjarige of hoogwaardige gewassen gebruiken. Dit verlies aan veerkracht kan gecompenseerd worden door de grotere hoeveelheid water die kan worden opgeslagen in reservoirs (Berbel et al., 2019).

Het moderniseringsproces leidt ook tot een aanzienlijke groei van de economische productiviteit van het irrigatiewater. De productiviteit van irrigatiewater wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de economische waarde die per irrigatie-eenheid wordt gegenereerd. Het krijgt de eenheid bruto toegevoegde waarde per kubieke meter. In Tabel 2-10 wordt het resultaat van een studie naar de productiviteit van irrigatiewater weergegeven (Berbel et al., 2019).

Tabel 2-10 Studie die de toenemende waterproductiviteit aantoont

Auteur en referentie	Regio	Resultaat
Expósito en Berbel (2017a)	Guadalquivir-bekken.	Gemiddelde productiviteit van het irrigatiewater is gestegen van 0,49 tot 0,60 EUR/ ³

De gestegen waterproductiviteit kan resulteren in een nieuwe cyclus van overmatige wateronttrekking. Er kunnen namelijk stimulansen ontstaan om meer water te gebruiken, zoals de intensivering van de gewassen of de uitbreiding van de geïrrigeerde oppervlakte. Dit potentiële risico tot een verhoogde wateronttrekking, vertaalt zich niet direct in grotere onttrekkingen als er een goed waterbeleid wordt gevoerd (Berbel et al., 2019).

2.3.2.2.2. Ongunstige effecten op de modernisering van de Spaanse irrigatie – verhoogd watergebruik en hogere evapotranspiratie

Verskillende studies hebben de opvatting dat het verbeteren van de efficiëntie van irrigatie door middel van hightech-landbouw zou leiden tot waterbesparing en een duurzamer gebruik van de waterbronnen in twijfel getrokken. Enkele van deze studies worden in Tabel 2-11 weergegeven (Berbel et al., 2019).

Tabel 2-11 Studies die rebound effect aantonen

Auteur en referentie	Regio	Resultaat
(Loch & Adamson, 2015)	Murray–Darling Basin in Australië	Rebound effects are likely
(Perry, Steduto, & Karajeh, 2017)	Verskillende landen	Het voorspelbare effect van “efficiëntere” irrigatie is het verhogen van het huidige verbruik en het verhogen van de vraag naar water. Hierdoor wordt de waterschaarste erger en moeilijker te beheren.
(Scott, Vicuña, Blanco-Gutiérrez, Meza, & Varela-Ortega, 2014)	Het stroomgebied van Guadiana in Spanje; Imperial Valley in Californië; Limari-bekken in Chili	Water “besparen” leidt tot een hoger verbruik, door uitbreiding van de irrigatie

Sommige van deze studies tonen aan dat een irrigatiemodernisering zou resulteren in een hoger waterverbruik omdat het geïrrigeerde gebied gewoonlijk toeneemt. Ook veranderingen in teelt patronen zouden kunnen leiden tot een hoger waterverbruik per oppervlakte-eenheid. Dit zou dus betekenen dat het rebound effect bij de consumptie van water bestaat. Dit rebound effect wordt meestal verklaard door het feit dat de efficiëntie van de irrigatie de gelijkmatigheid en de productiviteit van de gewassen verbeteren. Hierdoor neemt de evapotranspiratie toe. Bovendien vergemakkelijken de flexibiliteit van de watertoelevering en de mogelijkheid om verschillende irrigatiemethoden te gebruiken de gewasdiversificatie en maken ze een langer irrigatieseizoen mogelijk, wat kan bijdragen tot een extra toename van de evapotranspiratie. In bepaalde gevallen wordt water dat dankzij een efficiëntere irrigatietoepassing had kunnen worden bespaard, in plaats daarvan gebruikt om het geïrrigeerde gebied uit te breiden, waardoor de hulpbronnen verder uitgeput raken (Berbel et al., 2019).

In het geval van Spanje wordt een overzicht gegeven van de mogelijke rebound effecten van de modernisering van irrigatie. Vier verschillende scenario's, weergegeven in Tabel 2-12 (Berbel et al., 2019), worden verduidelijkt.

Het eerste scenario wordt vóór het moderniseringsproces gekenmerkt door een tekort aan water. De waterrechten die de hoeveelheid water bepaalt die mag onttrokken worden liggen lager dan de behoefte aan irrigatiewater. Het geïrrigeerde gebied vergroot niet na het proces. De verbetering van de irrigatie-efficiëntie vermindert het tekort aan water voor de gewassen. De waterbehoefte voor het gewas wordt voldaan. Hierdoor zal de evapotranspiratie stijgen, en is dus met andere woorden het waterverbruik gestegen. Anderzijds blijft de hoeveelheid onttrokken water grotendeels gelijk. Alcón et al. (2017) maken melding van dit resultaat in gebieden in het zuidoosten van Spanje (Berbel et al., 2019).

Bij het tweede scenario heeft het irrigatiesysteem transportverliezen, waardoor de hoeveelheid toegevoegd water lager is dan de behoefte van de gewassen. Hierdoor hebben de gewassen te kampen met watertekorten en/of is de geïrrigeerde oppervlakte kleiner dan de irrigeerbare oppervlakte. De modernisering zorgt voor een efficiëntere distributie en bijgevolg vermindering van het watertekort voor de teelt en een vergemakkelijking van de intensivering van de teelt. Een dergelijke situatie werd door Lecina et al. (2010) gemeld in het irrigatieprogramma voor Riegos del Alto Aragon, gelegen in het stroomgebied van de Ebro, in het noordoosten van Spanje (Berbel et al., 2019).

Bij het derde scenario is er sprake van een irrigatiesysteem dat voldoende water kan voorzien en waarvan de efficiëntie na de modernisering verbeterd is. De hoeveelheid onttrokken water is afgenomen doordat de waterrechten verlaagd werden, maar het is onzeker of het waterverbruik ook is afgenomen. Studies die zich richten op het stroomgebied van de Guadalquivir (Berbel et al. 2015), het stroomgebied van de Ebro (García-Garizábal en Causapé 2010) en de regio Valencia (García-Mollá et al. 2013) maken over het algemeen melding van een daling van de hoeveelheid onttrokken water, met ongeveer 25-30% (Berbel et al., 2019). De daling in hoeveelheid onttrokken water als gevolg van een verbeterd irrigatiesysteem kan gepaard gaan met een kleine toename van de evapotranspiratie als de verbeterde systemen resulteren in productievare gewassen. Als gevolg van de complexiteit van evapotranspiratie-metingen en de beïnvloeding van andere factoren tijdens het moderniseringsproces is het echter moeilijk om dit effect waar te nemen.

Bij het laatste scenario worden de waterbesparingen gebruikt om de geïrrigeerde oppervlakte uit te breiden (López-Gunn et al. 2012; Scott et al. 2014). Door het geïrrigeerde gebied uit te breiden zal er meer consumptief gebruik plaatsvinden. Dit fenomeen kan worden toegeschreven aan het moderniseringsprogramma zelf en het gebrek aan beleidsmaatregelen.

Tabel 2-12 Vier verschillende scenario's voor het rebound effect in Spanje

	Voor modernisering: tekort aan irrigatiewater / gelijkblijvende waterrechten na modernisering	Voor modernisering volwaardige irrigatie / Verlaagde waterrechten na modernisering
Geïrrigeerde oppervlakte blijft behouden	Scenario 1: - Hoeveelheid onttrokken water: kleine reductie of gelijkblijvend - Waterverbruik: Stijging - Alcón et al. (2017)	Scenario 3: - Hoeveelheid onttrokken water: reductie (25-30%) - Waterverbruik: Geen wijziging - (Berbel et al. 2015) ; (García-Garizábal en Causapé 2010) ; (García-Mollá et al. 2013)
Geïrrigeerde oppervlakte neemt toe	Scenario 2: - Hoeveelheid onttrokken water: kleine reductie of gelijkblijvend - Waterverbruik: Stijging - Lecina et al. (2010)	Scenario 4: - Hoeveelheid onttrokken water: kleine reductie - Waterverbruik: Stijging - (López-Gunn et al. 2012) ; (Scott et al. 2014)

2.3.2.3. **Conclusie**

In een eerdere casestudie van Guadalquivir rivier bekken in Spanje werd vastgesteld dat er geen sprake was van een rebound effect. Dit komt omdat de landbouwers voldeden aan de wettelijke voorwaarden, namelijk strikte beperkingen van de omvang van het geïrrigeerde oppervlak en de vermindering van de vroegere waterrechten om de milieudoelstellingen te bereiken (Berbel et al., 2014). Er kan dus geconcludeerd worden dat indien traditionele oppervlakte-irrigatiesystemen worden vervangen door sproei- en druppelirrigatiesystemen, die worden gekenmerkt door een hoge efficiëntie van de watertoepassing, de wateronttrekking onder alle omstandigheden afneemt. Tenzij het geïrrigeerde gebied wordt uitgebreid of de evapotranspiratie kan worden verhoogd als gevolg van veranderingen in de teeltpatronen. Namelijk de omschakeling naar gewassen met een hogere waterbehoefte of productievare gewassen. In deze gevallen kan een rebound effect optreden.

Het uiteindelijke effect van de modernisering van het waterverbruik is onzeker, aangezien de verschillen in de kenmerken van het irrigatiesysteem, de verandering in de vruchtwisseling, de introductie van nieuwe gewassen met een hogere of lagere waterbehoefte een gecombineerd globaal effect zullen hebben dat het waterverbruik op de lange termijn kan doen toenemen of afnemen (Berbel et al., 2014).

Wanneer geïrrigeerde grond ongecontroleerd is, zal de modernisering waarschijnlijk leiden tot nieuwe ongecontroleerde wateronttrekking, waardoor een vicieuze cirkel kan ontstaan waarin geïrrigeerde grond zich uitbreidt terwijl de watervoorraden overmatig worden geëxploiteerd. Daarom moeten waterbesparende maatregelen gepaard gaan met instrumenten om de wateronttrekking en de uitbreiding van geïrrigeerde grond te controleren (Berbel et al., 2014). Een andere mogelijke oplossing om het rebound effect te voorkomen, is het opleggen van plafonds voor het onttrekken van water. Met andere woorden invoeren van een vermindering van het recht op de hoeveelheid water die mag onttrokken worden. Om de doeltreffendheid van deze beleidsmaatregelen te garanderen, zijn nog verdere evaluaties vereist. Er moet namelijk inzicht verkregen worden in de langetermijneffecten van deze beleidsmaatregelen, de veranderingen in het gedrag van irrigatiebedrijven en de dynamiek van de sociaal-economische en hydrologische systemen (Berbel et al., 2019).

2.3.3. Casestudie rebound effect na efficiëntieverbeteringen in Duitsland

Deze casestudie vormt zowat een gelijke conclusie als de casestudie besproken in paragraaf 2.3.2, namelijk dat efficiëntere irrigatiesystemen waarschijnlijk zullen leiden tot directe rebound effecten, omdat een hogere waterproductiviteit een economische stimulans is voor landbouwers om hun geïrrigeerde oppervlakte uit te breiden en niet-geïrrigeerde gewassen te vervangen door geïrrigeerde gewassen, wat leidt tot hogere inkomsten. Dit is het substitutie-effect zoals besproken in paragraaf 2.1.2. Hoewel in tal van studies is onderzocht of efficiëntieverbeteringen leiden tot een vermindering of een toename van het totale watergebruik, is in slechts weinig studies getracht de omvang van het effect te kwantificeren (Paul et al., 2019).

Zonder beleidsmaatregelen zullen efficiëntieverbeteringen in de landbouwirrigatie waarschijnlijk leiden tot grote rebound effecten en mogelijk tot de Jevons paradox. Bij gebrek aan controle op de watertoewijzing zal de situatie na efficiëntieverbeteringen van de irrigatiesystemen gewoonlijk verergeren. Het verbruik per oppervlakte-eenheid neemt toe door de omschakeling naar gewassen met een hogere watervraag, de geïrrigeerde oppervlakte neemt toe en de landbouwers zullen geneigd zijn om meer water uit steeds diepere bronnen te pompen. De omvang van het effect hangt af van randvoorwaarden die beleidsmaatregelen kunnen beïnvloeden. Een uitbreiding van de geïrrigeerde oppervlakte vereist in het algemeen de beschikbaarheid van extra productiefactoren. Als de te irrigeren grond niet beschikbaar is als gevolg van wettelijke beperkingen, zal dit soort rebound effect niet optreden (Paul et al., 2019).

De verbetering van de bestaande irrigatie-infrastructuur in Duitsland zou naar verwachting geen sterke rebound effecten hebben, omdat de omvang in de irrigatie op nationaal niveau slechts gering is, namelijk 2,7% in 2016. De technologische vooruitgang kan wel de kosten van de irrigatie verlagen en de bijbehorende waterproductiviteit verhogen. Deze beide factoren zullen waarschijnlijk de opname van de irrigatie bevorderen en het gebruik van irrigatiewater in Duitsland doen toenemen, wat een rebound effect zou betekenen (Paul et al., 2019).

2.3.4. Casestudies rebound effect in China

2.3.4.1. Casestudie in regio Bayannur

Bij de eerste casestudie werd onderzoek gedaan naar de regio Bayannur, gelegen in Inner Mongolia in Noordwest-China. De belangrijkste bron voor water in deze regio is de 'Gele Rivier'. Er wordt ook gebruik gemaakt van het DPSIR-analytisch kader. Er wordt geconcludeerd dat de 'druk' op de lokale watersystemen tijdens de onderzoeksperiode is toegenomen door een toename van 'driver'-indicatoren, namelijk een uitbreiding van landbouw- en industriële productie, een stijging van de levensstandaard van bewoners en een toename van de landbouwoppervlakte. De druk op de lokale watersystemen neemt bijgevolg toe door een stijgend watergebruik in de landbouw en industrie en een toenemende toepassing van chemische meststoffen en pesticiden tijdens de landbouwproductie. De 'druk' factoren bestaan dus zowel uit de vraag naar water als de watervervuiling. Als 'reactie' op deze druk op water, werden een reeks maatregelen genomen. De maatregelen omvatten een verhoging van de investeringen in waterbesparing en een verbetering van de efficiëntie van het watergebruik bij de productie (Sun et al., 2016). Hoewel de maatregelen de efficiëntie van het watergebruik hebben verbeterd, heeft de schaalvergroting geleid tot een toename van het verbruik van water. Dit wijst op het rebound effect. In sommige gevallen is het gebruik zelfs toegenomen, in plaats van afgenomen. Dit is dus een rebound effect, groter dan 100%, ook gekend als de Jevons paradox. De resultaten van deze studie tonen aan dat de efficiëntieverbeteringen van het watergebruik niet worden benut om water te besparen, maar om de productieschaal te verhogen. De verbetering van de efficiëntie van het watergebruik is dus een middel om tot een duurzamer gebruik van de watervoorraden te komen, maar moet ook worden gekoppeld aan maatregelen die de verdere groei van de vraag beperken (Sun et al., 2016).

2.3.4.2. **Casestudie naar omvang van rebound effect voor het hele land gedurende de periode 1998-2014**

De Chinese regering steunt sterk de ontwikkeling van irrigatietechnologie en heeft veel waterbesparende irrigatiemaatregelen genomen met als doel de waterproductiviteit te verbeteren en het waterverbruik in de landbouw te verminderen (Song, Guo, Wu, & Sun, 2018).

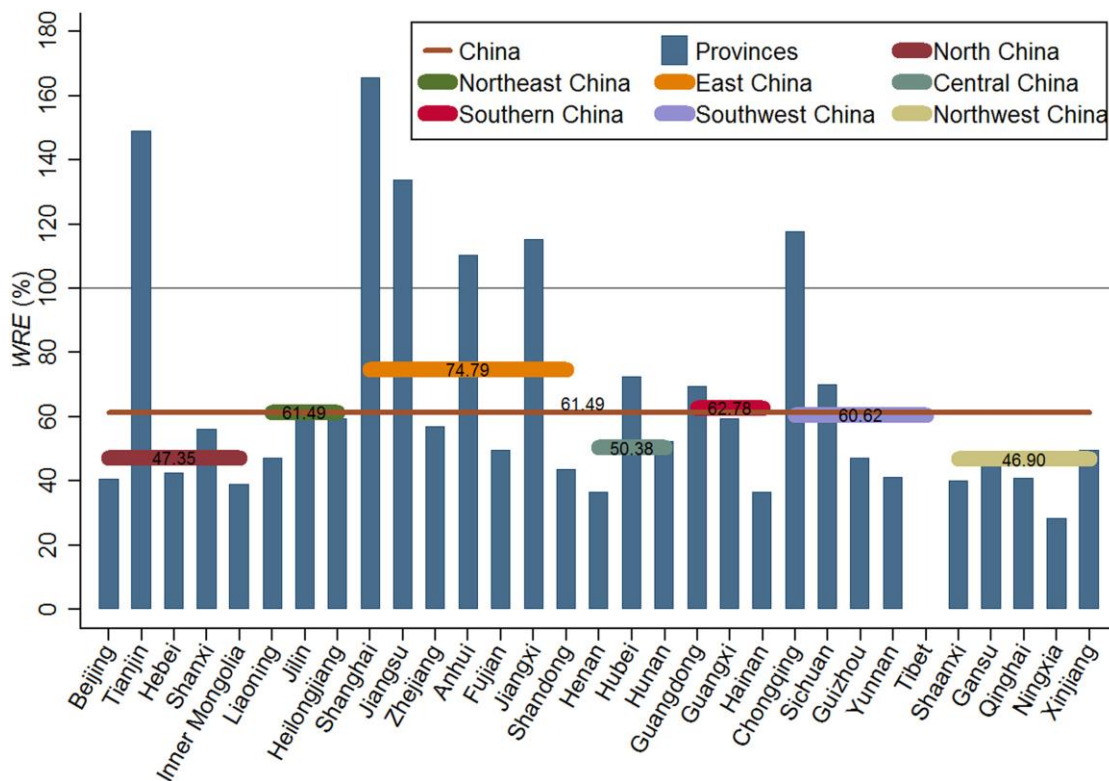
Deze studie (Song et al., 2018) richt zich op het water rebound effect (WRE) met volgende redenering: een efficiëntere irrigatietechnologie verhoogt over het algemeen de 'efficiëntie' van een eenheid water (waterproductiviteit: output verkregen per volume watergebruik), maar het verandert ook het winstmaximalisatieprobleem van een landbouwer en kan leiden tot veranderingen in opbrengsten, gewaskeuzes, vruchtwisselingspatronen en/of een uitgebreider geïrrigeerd gebied, d.w.z. meer waterverbruik. De WRE voor de landbouw meet het waterverbruik in verhouding tot de potentiële waterbesparing door de verbetering van de waterproductiviteit als gevolg van de verbetering van de irrigatietechnieken. De WRE voor de landbouw kan direct gemeten worden als het verschil tussen de verwachte en de werkelijke waterbesparing door de waterproductiviteitsverbeteringen. De formule hiervoor wordt weergegeven in vergelijking 3. Een WRE van 10% geeft aan dat 10% van de verwachte waterbesparing wordt gecompenseerd door een verhoogd waterverbruik. Als de WRE gelijk is aan 0% dan duidt dat op het volledig bereiken van de waterbesparing. Daarentegen betekent een WRE van 100% het volledig mislukken van waterbesparing. Als $WRE > 100\%$ verhoogt het watergebruik door de maatregelen om irrigatie-efficiëntie te verhogen. Dit wordt ook wel het backfire effect of Jevons paradox genoemd. Deze vergelijkingsmethode is niet helemaal nauwkeurig, maar ze kan gebruikt worden om het rebound effect in te schatten.

$$WRE = \frac{\text{verwachte waterbesparing} - \text{werkelijke waterbesparing}}{\text{verwachte waterbesparing}} \times 100\% \quad (3)$$

De studie berekende de WRE voor verschillende provincies gelegen in verschillende regio's van China en dit voor de periode van 1998 tot 2014. De studie kwam tot de resultaten (Song et al., 2018) weergegeven in Tabel 2-13. Deze resultaten worden door de onderzoeker grafisch weergegeven in Figuur 2-10.

Tabel 2-13 Resultaten voor water rebound effect voor verschillende provincies en regio's in China

Regio	Provincie	Resultaat WRE
Noord China	Beijing	40,83%
	Tianjin	149,17%
	Hebei	42,68%
	Shanxi	56,21%
	Inner Mongolia	39,20%
Noordoost China	Liaoning	47,21%
	Jilin	59,24%
	Heilongjiang	59,56%
Oost China	Shanghai	165,71%
	Jiangsu	133,82%
	Zhejiang	57,16%
	Anhui	110,33%
	Fujian	49,89%
	Jiangxi	115,24%
	Shandong	43,88%
Centraal China	Henan	36,47%
	Hubei	72,63%
	Hunan	52,47%
Zuid China	Guangdong	69,40%
	Guangxi	59,63%
	Hainan	36,46%
Zuidwest China	Chongqing	117,70%
	Sichuan	70,26%
	Guizhou	47,32%
	Yunnan	41,33%
	Tibet	-429,95%
Noordwest China	Shaanxi	40,08%
	Gansu	47,45%
	Qinghai	40,89%
	Ningxia	28,29%
	Xinjiang	49,56%



Figuur 2-10 Grafische weergave van resultaten voor WRE voor verschillende provincies en gemiddeldes per regio in China (Song et al., 2018)

De empirische resultaten geven aan dat er een rebound effect ontstaat voor het Chinese waterverbruik in de landbouw. Dit rebound effect heeft een omvang voor het hele land van 61,49%. Dit betekent dus dat 61,49% van de verwachte waterbesparing door de efficiëntieverbeteringen gecompenseerd zou kunnen worden door een toename van het waterverbruik voor de groei van de landbouwproductie als gevolg van de technologische verbeteringen. De noordelijke en westelijke regio's van China hebben een lager rebound effect dan de zuidelijke en oostelijke regio's. Dit kan verklaard worden doordat de waterschaarste ernstiger is en de groei van het waterverbruik in de noordelijke en westelijke regio's bijgevolg beperkter is (Song et al., 2018).

Net zoals andere studies worden conclusies gemaakt over noodzakelijke beleidsmaatregelen. De resultaten uit de studie geven aan dat een waterbesparingsbeleid dat gericht is op het verbeteren van de waterproductiviteit, niet zo effectief is als verwacht. Een waterbesparende irrigatietechnologie mag niet beschouwd worden als enige manier om de doelstellingen inzake waterbesparing te bereiken of waterschaarsteproblemen op te lossen. Er moet rekening gehouden worden met het rebound effect in het beleid.

China hanteerde een lage vaste waterprijs voor de landbouw, maar dit is in strijd met de inspanningen die het land onderneemt om water te besparen. Het maakt het moeilijk de doelstellingen inzake waterbesparing voor de landbouw te bereiken. De waterprijs voor de landbouw moet de werkelijke kosten en de schaarste van het water weerspiegelen. Bovendien is een beleid van controle van de landbouwwaterquota van fundamenteel belang voor een duurzaam watergebruik in China, omdat het land de waterproductiviteit wil bevorderen. Volgens Song et al zouden de stijgingen in waterproductiviteit automatisch volgen, indien quota zouden gelden. Er werd namelijk waargenomen dat de WRE lager is in regio's met ernstigere waterschaarste. Dit wil dus zeggen dat er in die gebieden minder water ter beschikking is. Indien er dus een limiet op het te onttrekken water gelegd wordt, dus een quota wordt ingevoerd, dan kan het rebound effect voor het landbouwwater beperkt worden en kan er gegarandeerd worden dat water wordt bespaard door efficiëntieverbeteringen van de irrigatiesystemen.

2.3.4.3. **Casestudie naar omvang van rebound effect voor het hele land gedurende de periode 1998-2016**

In deze studie wordt gesteld dat de efficiëntere irrigatietechnologie niet alleen het waterverbruik in de landbouw zal verminderen, maar dat ook de landbouwproductie zal uitbreiden. Dit zal resulteren in een extra vraag naar water voor de landbouw. Als deze extra watervraag groter is dan de potentiële besparing van het waterverbruik in de landbouw door de technologische verbetering, dan zal er een rebound effect optreden (Fang et al., 2020).

Deze studie verschilt van de studie van Song et al (2018), omdat ze andere methodes toepassen. Er wordt een methode toegepast die de technologische vooruitgang onderscheidt van de totale factorproductiviteit. Dit wordt niet bij de studie van Song et al gedaan. Deze studie zal meetvertekeningen voorkomen en het effect van de technologische vooruitgang nauwkeuriger inschatten. Er wordt ook een model toegepast om het effect van de verandering in gewassen te elimineren. Met dit laatste wordt in de meeste studies geen rekening gehouden (Fang et al., 2020).

Deze studie vindt de resultaten voor het WRE (Fang et al., 2020) die weergegeven zijn in Tabel 2-14.

Tabel 2-14 Resultaten voor water rebound effect voor verschillende provincies en regio's in China

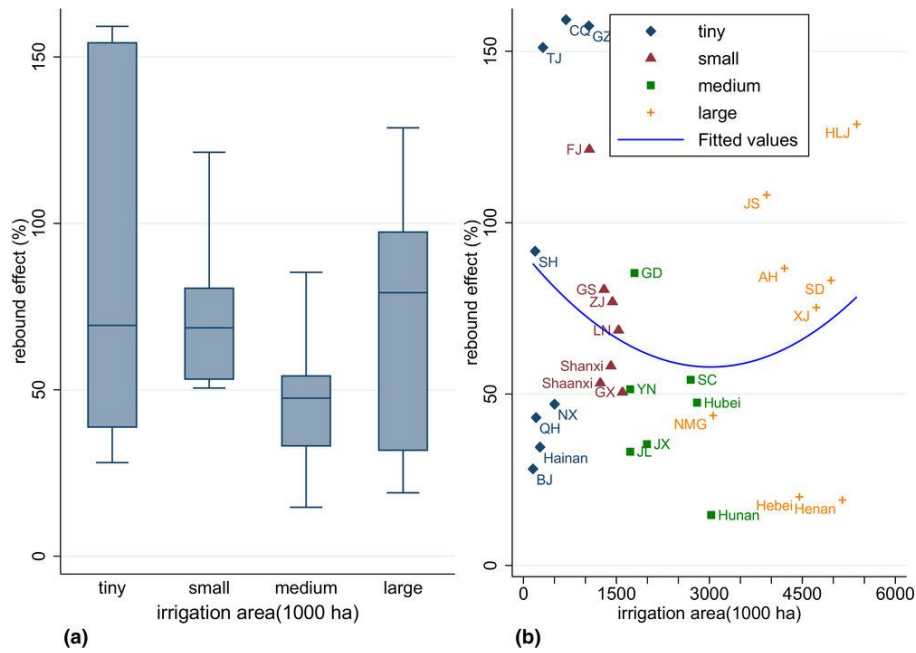
Regio	Provincie	Resultaat WRE	
Yellow river	Beijing	Laag gedeeltelijk rebound effect (WRE ≤ 35%)	19,1% - 151,1% Gemiddelde = 59%
	Henan		
	Hebei		
	Shaanxi	Gemiddeld gedeeltelijk rebound effect (35% < WRE < 55%)	
	Shandong	Hoog gedeeltelijk rebound effect (55% ≤ WRE ≤ 100%)	
	Shanxi		
Tianjin	Backfire (WRE > 100%)		
Noordoost China	Jilin	Laag gedeeltelijk rebound effect (WRE ≤ 35%)	33,2% - 128,7% Gemiddelde = 76,8%
	Liaoning	Hoog gedeeltelijk rebound effect (55% ≤ WRE ≤ 100%)	
	Heilongjiang	Backfire (WRE > 100%)	

Yangtze river	Hunan	Laag gedeeltelijk rebound effect (WRE \leq 35%)	14,7%- 108,1% Gemiddelde = 65,8%
	Hubei	Gemiddeld gedeeltelijk rebound effect (35% < WRE < 55%)	
	Jiangxi		
	Shanghai	Hoog gedeeltelijk rebound effect (55% \leq WRE \leq 100%)	
	Zhejiang		
	Anhui		
	Jiangsu	Backfire (WRE > 100%)	
Zuidkust	Hainan	Laag gedeeltelijk rebound effect (WRE \leq 35%)	34,5% - 121,4% Gemiddelde = 72,9%
	Guangxi	Gemiddeld gedeeltelijk rebound effect (35% < WRE < 55%)	
	Guangdong	Hoog gedeeltelijk rebound effect (55% \leq WRE \leq 100%)	
	Fujian	Backfire (WRE > 100%)	
Zuidwest China	Sichuan	Gemiddeld gedeeltelijk rebound effect (35% < WRE < 55%)	51,4% - 159,2% Gemiddelde = 105,5%
	Yunnan		
	Guizhou	Backfire (WRE > 100%)	
	Chongqing		
Noordwest China	Inner Mongolia	Gemiddeld gedeeltelijk rebound effect (35% < WRE < 55%)	43,1% - 80,5% Gemiddelde = 57,9%
	Qinghai		
	Ningxia		
	Gansu	Hoog gedeeltelijk rebound effect (55% \leq WRE \leq 100%)	
	Xinjiang		

De studie vindt een gemiddelde rebound effect voor de periode 1998-2016 gelijk aan 70,3%. Dat wil zeggen dat meer dan 70% van de besparing op het watergebruik als gevolg van de verbetering van de technologie wordt gecompenseerd door de extra vraag naar water als gevolg van de totale groei van de landbouwsector. De waterbesparing als gevolg van de verbeterde irrigatietechnologie wordt niet volledig benut. Dit gemiddeld resultaat voor de omvang van het water rebound effect is gelijkaardig met het resultaat uit de eerdere studie van Song et al. (2018). Echter kan worden opgemerkt dat de afzonderlijke resultaten per provincie wel afwijken van de resultaten van Song. Verder concludeert Fang et al (2020) dat de rebound effecten van de zes verschillende regio's heel verschillend zijn. Bovendien is de kloof binnen één regio ook groot, dit is te zien in Tabel 2-14. De regionale verschillen zijn toe te schrijven aan verschillen in beschikbaarheid van water en irrigatiegrond. Zo is de watervoorraad per capita in de provincie Jiangsu bijvoorbeeld lager dan de provincies Hubei en Hunan. Bovendien is de beschikbare irrigatiegrond in bijvoorbeeld Heilongjiang groter dan in de provincie Jilin.

Opvallend is dat er een tegengestelde conclusie wordt gemaakt in vergelijking met de studie van Song et al (2018). Er wordt namelijk verklaard dat er een negatieve correlatie bestaat tussen de watervoorziening en het rebound effect van het water in de landbouw. Als de watervoorziening per capita toeneemt, wordt het rebound effect kleiner (Fang et al., 2020). Met andere woorden als de regionale vraag naar water niet wordt voldaan, dan zal een technologische vooruitgang een grootschalig rebound effect teweegbrengen. Het rebound effect zal kleiner worden wanneer de waterbehoefte bijna voldaan is.

Aanvullend wordt geconcludeerd dat er een U-vormig verband bestaat tussen het water rebound effect en de beschikbaarheid van irrigatiegebied, zoals weergegeven in Figuur 2-11. Er wordt waargenomen dat het algemene niveau van het rebound effect daalt naarmate het beschikbare irrigatiegebied groter wordt, indien het irrigatiegebied niet groot is. Bij een stijging van het irrigatiegebied van middelgroot naar groot, neemt het rebound effect toe.



Figuur 2-11 U-vormig verband tussen rebound effect en beschikbaarheid van irrigatiegebied (Fang et al., 2020)

Dit onderzoek geeft ook suggesties voor een aanvullend beleid die de regering moet invoeren zodat het rebound effect beperkt kan worden. Ten eerste moet de regering de landbouwprijzen voor water hervormen. Bovendien moet een systeem worden ingevoerd voor de overdracht en handel van waterrechten, om zo de regionale doelstellingen inzake waterbehoud te bereiken. Als laatste moeten de natuurlijke geografische omstandigheden tussen de regio's in aanmerking genomen worden bij het vorm geven van een waterbesparingsbeleid op subregionaal niveau (Fang et al., 2020).

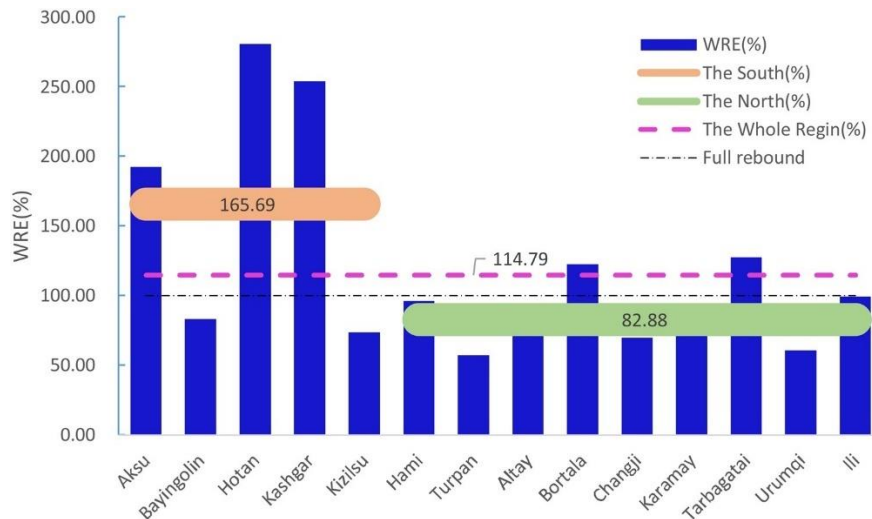
2.3.4.4. **Casestudie naar omvang van rebound effect voor de regio Tianshan gedurende de periode 1996-2015**

Deze studie (Wang et al., 2020) veronderstelt dat het waterbesparingseffect van een efficiëntere irrigatietechnologie gedeeltelijk wordt gecompenseerd door nieuw waterverbruik of waterconsumptie, wat leidt tot een rebound effect. In deze studie wordt opnieuw gebruik gemaakt van vergelijking 3 om het rebound effect te berekenen. Om het werkelijke waterverbruik te berekenen wordt gebruik gemaakt van de landbouwwatervoetafdruk. Deze wordt berekend met behulp van gewas- en bodemevapotranspiratie, verminderd met de retourstromen.

Het Tianshan-gebergte deelt de onderzochte regio Tianshan op in twee delen, namelijk het zuidelijke deel (= 'Tarim Basin') en het noordelijke deel (= 'Junggar Basin'). Het zuidelijke deel heeft een warm gematigd droog klimaat en het noordelijke deel heeft een gematigd droog en semi-droog klimaat. De resultaten (Wang et al., 2020) worden weergegeven in Tabel 2-15 en worden ook grafisch weergegeven in Figuur 2-12.

Tabel 2-15 Resultaten voor water rebound effect voor de regio Tianshan

Regio	Departement	Resultaat WRE
Het zuiden van Tianshan	Aksu	192%
	Bayingolin	83%
	Hotan	281%
	Kashgar	254
	Kizilsu	74%
	Hami	96%
	Turpan	57%
	Altay	73%
	Bortala	123%
Het noorden van Tianshan	Changji	70%
	Karamay	72%
	Tarbagatai	128%
	Urumqi	61%
	Ili	99%



Figuur 2-12 Grafische weergave van resultaten voor WRE voor de regio Tianshan (Wang et al., 2020)

Er wordt een totaal rebound effect voor de regio Tianshan gevonden van 114,79%. Voor het zuidelijke gedeelte werd een rebound effect van 165,69% gevonden en voor het noordelijke gedeelte een rebound effect van 82,88%.

In de studie wordt geconcludeerd dat er een negatieve correlatie bestaat tussen het verwachte waterbesparingsratio van de efficiëntere irrigatietechniek en het waterverbruik in de landbouw. Met andere woorden hoe hoger de verwachte waterbesparing, hoe lager het water rebound effect (Wang et al., 2020).

Het totale rebound effect van het zuidelijke deel is hoger dan van het noordelijke deel, dit kan deels verklaard worden doordat het landbouwoppervlakte in het zuidelijke deel na 2006 sneller groeide dan in het noordelijke deel, waardoor de landbouwoppervlakte in het zuiden van de Tianshanberg groter is dan in het noorden. Een toename van de landbouwoppervlakte zorgt voor een toename in waterverbruik. Een andere verklaring voor het rebound effect is de toename van de productie per oppervlakte-eenheid, omdat het waterverbruik in de landbouw stijgt door deze toename. Ook de verandering in de verhouding tussen 'graan en economie' in de gewasstructuur is een belangrijke reden voor het ontstaan van het rebound effect. Deze verhouding is voornamelijk gedaald

Om echt een waterbesparing te realiseren die op grondstoffen is gebaseerd, moet er enerzijds gebruik gemaakt worden van ingenieursmiddelen, om zo efficiënte waterbesparingsmiddelen in de landbouw te bevorderen en te promoten. Anderzijds moet er ook gebruik gemaakt worden van niet-ingenieursmiddelen, zoals het verminderen van de landbouwoppervlakte, het aanpassen van de structuur van de gewassen en het aandeel hoogrenderende gewassen verminderen en een gematigde nastreving van de opbrengst per oppervlakte-eenheid. Om de landbouwoppervlakte te verkleinen in sommige gebieden moet er een gezamenlijke toewijzing van water en grond uitgevoerd worden. Zo moet er in gebieden waar de landbouwoppervlakte snel groeit en de waterbronnen ontbreken of niet overvloedig aanwezig zijn, de bouw van waterbesparende irrigatieprojecten enerzijds worden bevorderd en anderzijds moet de agrarische lay-out rationeel gepland worden volgens de lokale watervoorraden en moet ongeordende ontginning van landbouwgrond beperkt worden.

2.3.5. Casestudie rebound effect na de omschakeling naar efficiënte irrigatietechnologie in Kansas

In deze studie (Pfeiffer & Lin, 2014) worden veranderingen in irrigatiegedrag geëvalueerd na de omschakeling naar efficiënter irrigatietechnologie, namelijk van conventionele hogedruk centrale sproeisystemen (beregeningsskanon zoals besproken in paragraaf 2.2.1.1.1) naar centrale draaisystemen met verlaagde, hoog rendement sproeiers. Heeft de omschakeling het effect gehad dat het totaal onttrokken grondwater voor irrigatie is afgenomen? Dit wordt in het Westen van Kansas onderzocht voor de periode 1996 tot 2005.

De resultaten van de studie tonen aan dat de totale grondwateronttrekking gemiddeld is toegenomen als gevolg van omzettingen van centrale sprinklers naar verlaagde sproeiers. De toename betreft ongeveer 3% ten opzicht van de gemiddelde totale jaarlijkse onttrekkingen met behulp van de standaard centrale pivot systemen. Er wordt geconcludeerd dat dit bijgevolg een rebound effect betreft dat groter is dan 100% (Pfeiffer & Lin, 2014). De landbouwers gebruiken hun efficiënte 'besparing' dus niet om grondwater te sparen, maar om de geïrrigeerde oppervlakte uit te breiden of om meer water per hectare toe te dienen. Het gemiddeld percentage aan geïrrigeerd gebied is namelijk met 1% gestegen. Velden worden minder braak gelegd of met andere woorden ze worden minder niet geïrrigeerd. En als ze geïrrigeerd werden, dan werd een groter percentage geïrrigeerd. Het toegepast water per hectare met toepassing van de verlaagde sproeiers stijgt met 2,5% ten opzicht van de conventionele sproeisystemen. De toename in water dat per hectare wordt toegepast, kan ontstaan doordat landbouwers hun gewasmix hebben aangepast aan meer water intensieve gewassen (zoals maïs, luzerne en sojabonen) of variëteiten, of doordat de opbrengst is toegenomen. De opbrengsten zullen ook toenemen doordat de waterbehoefte van het gewas nauwkeuriger kan worden afgestemd op de behoefte aan water.

Als bescherming van de waterbronnen echt het doel is, moet het beleid dat is ontworpen om de efficiëntie van de irrigatie te verhogen kritisch bekeken worden, met aandacht voor de optredende gedragsreacties. Om de waterbronnen in stand te houden moet een verhoging van de irrigatie-efficiëntie gepaard gaan met overeenkomstige verlaging van de hoeveelheid water die een gebruiker mag winnen. Dit kan door een verlaging van het wettelijke waterrecht, een belasting op de waterwinning, regulering van gewas- en braakcycli aan de hand van eigendomsrechten en effectieve systemen van rapportage en handhaving (Pfeiffer & Lin, 2014).

2.3.6. Overzicht van de besproken casestudies

De besproken casestudies worden nu samengevat in Tabel 2-16 om een duidelijk overzicht te geven.

Tabel 2-16 Overzicht van de besproken casestudies

Auteur en referentie	Land/Regio	Resultaat voor Rebound effect	Verklaringen voor het rebound effect	Suggesties voor beleid
(Berbel et al., 2019)	Spanje	Rebound effect kan optreden.	<ul style="list-style-type: none"> - Geïrrigeerd gebied wordt uitgebreid - Evapotranspiratie kan worden verhoogd (door omschakeling naar water intensievere gewassen, productievere gewassen, langer irrigatieseizoen door gewasdiversificatie) 	<ul style="list-style-type: none"> - Waterbesparende maatregelen moeten gepaard gaan met instrumenten om wateronttrekking en uitbreiding van geïrrigeerde gronden te controleren - Plafonds opleggen voor hoeveelheid water die mag onttrokken worden
(Paul et al., 2019)	Duitsland	Directe rebound effecten zullen waarschijnlijk ontstaan, maar in Duitsland zullen dat geen sterke effecten zijn	<ul style="list-style-type: none"> - Door grotere waterproductiviteit en dalende kosten van irrigatie wordt landbouwer gestimuleerd om geïrrigeerde oppervlakte uit te breiden - Verbruik per oppervlakte-eenheid stijgt door omschakeling naar gewassen met grotere watervraag 	<ul style="list-style-type: none"> - Wettelijke beperkingen moeten ingevoerd worden zodat irrigatiegrond niet beschikbaar is en uitbreiding ervan niet mogelijk is

(Sun et al., 2016)	Bayannur	Er wordt een stijging van waterverbruik waargenomen dat wijst op rebound effecten, in sommige gevallen zelf rebound effecten groter dan 100%	<ul style="list-style-type: none"> - Uitbreiding van de landbouwproductie 	<ul style="list-style-type: none"> - Efficiëntieverbeteringen moeten gekoppeld worden aan maatregelen die een verdere groei van de vraag beperken
(Song et al., 2018)	China	61,49%	<ul style="list-style-type: none"> - Veranderingen in opbrengsten - Veranderingen in gewaskeuzes - Uitgebreider geïrrigeerd gebied - Hoe erger het probleem van waterschaarste hoe kleiner het rebound effect 	<ul style="list-style-type: none"> - Waterprijs moet de werkelijke kost en schaarste van water weerspiegelen - Invoeren van landbouwwaterquota
(Fang et al., 2020)	China	70,3%	<ul style="list-style-type: none"> - Hoe lager de watervoorraad/capita, hoe groter het rebound effect - U-vormig verband tussen rebound effect en beschikbaarheid van irrigatiegebied 	<ul style="list-style-type: none"> - Landbouwprijzen hervormen - Systeem invoeren voor overdracht en handel van waterrechten

Tegengesteld



(Wang et al., 2020)	Tianshan	Ganse regio: 114,79% Zuiden: 165,69% Noorden: 82,88%	<ul style="list-style-type: none"> - Grootschalige uitbreiding van geïrrigeerde oppervlakte - Verandering in verhouding 'graan/economie' in de gewasstructuur - Toegenomen productie per oppervlakte 	<ul style="list-style-type: none"> - Efficiënte waterbesparingsmiddelen blijven promoten - Reduceren van de landbouwoppervlakte door gezamenlijke toewijzing van water en grond - Structuur van gewassen aanpassen en verminderen van aandeel hoogrendement gewassen - Gematigde nastreving van opbrengst per oppervlakte-eenheid
(Pfeiffer & Lin, 2014)	Kansas	Grondwateronttrekking is gestegen dus rebound effect is grotere dan 100%	<ul style="list-style-type: none"> - Uitbreiden van geïrrigeerde oppervlakte - Meer water per hectare toedienen door verandering naar water intensievere gewassen 	<ul style="list-style-type: none"> - Beleid voor verhogen van irrigatie-efficiëntie moet aandacht hebben voor gedragsreacties - Verlaging wettelijk waterrecht - Belasting op het onttrekken van water - Regulering gewas- en braakcycli adhv eigendomsrechten

2.4. Specifieke kenmerken voor de vraag naar water in Vlaanderen

Er werden geen casestudies gevonden voor het rebound effect bij de vraag naar water in de Vlaamse landbouwsector. Echter is het water in Vlaanderen ook schaars en worden er ook maatregelen getroffen om op een efficiëntere en duurzamere manier om te gaan met water. In de literatuur zijn enkel studies naar rebound effect verricht na het toepassen van efficiëntere irrigatiesystemen. Echter zijn er nog bijkomende mogelijkheden om op een efficiëntere en duurzamere manier om te gaan met water in de landbouwsector die bijgevolg ook tot een rebound effect kunnen leiden. Deze maatregelen worden in paragraaf 2.4.2 besproken voor Vlaanderen. Eerst wordt nog eens specifiek ingegaan op de waterproblematiek in Vlaanderen, om het belang van de omschakeling naar efficiëntere en duurzamere watertoepassingen aan te tonen die bijgevolg ook tot het reeds aangetoonde rebound effect kunnen leiden in Vlaanderen.

2.4.1. Waterproblematiek in Vlaanderen

Eerder werd in paragraaf 2.2 gezegd dat het door de klimaatverandering zeer moeilijk is om te voldoen aan de vraag naar water en dat water van slechte kwaliteit is, waardoor water schaars is. Dit wordt in deze paragraaf verder besproken. Als de waterproblematiek gekend is kunnen specifieke manieren besproken worden om op een efficiënte manier met het schaarse water te kunnen omgaan.

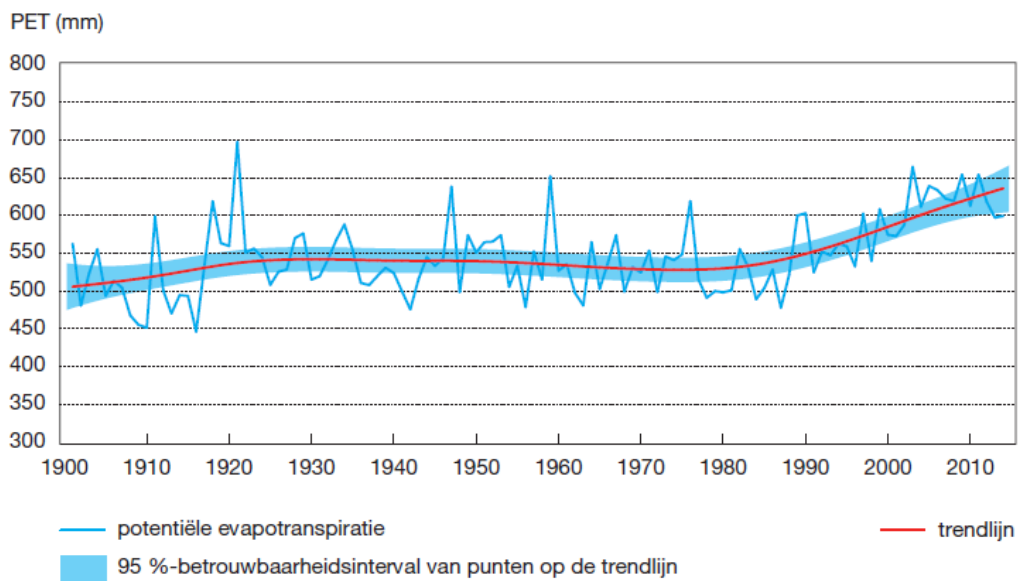
2.4.1.1. *Impact van klimaatverandering op neerslag en evapotranspiratie*

Neerslag en evapotranspiratie zijn belangrijk voor de waterbeschikbaarheid, daarom wordt bekeken welke invloed klimaatverandering heeft op deze twee factoren.

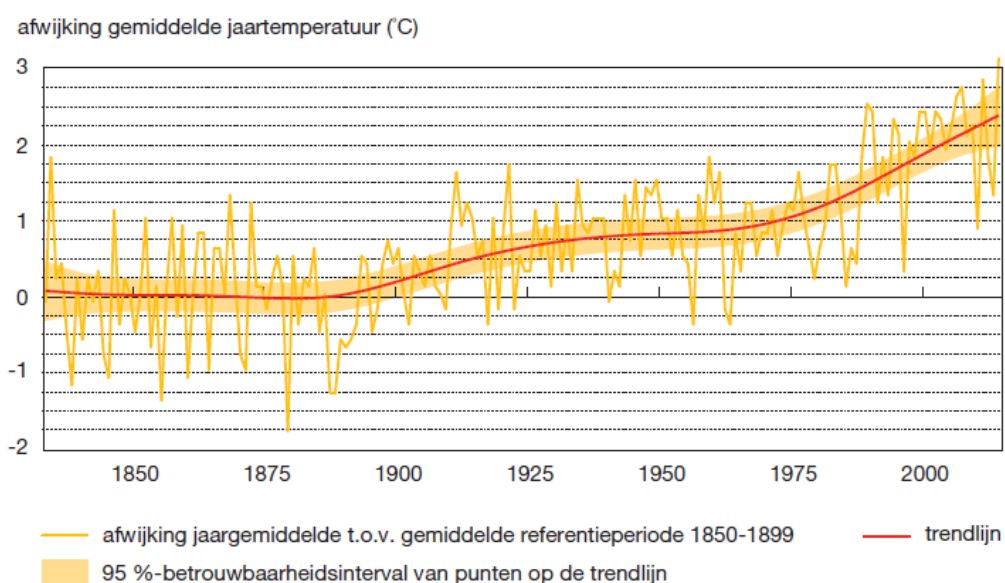
2.4.1.1.1. Evapotranspiratie

Om een wijzigende klimaattrend waar te nemen wordt gebruik gemaakt van de factor potentiële evapotranspiratie (PET). Deze heeft als eenheid mm neerslag per jaar. Deze factor omschrijft de evapotranspiratie die maximaal mogelijk is in het geval dat er telkens voldoende water beschikbaar zou zijn in de bodem of aan het oppervlak. Gedurende een drogere periode is er bijgevolg niet altijd voldoende water beschikbaar, zodat deze maximale evapotranspiratie niet kan plaatsvinden. De werkelijke evapotranspiratie is bijgevolg lager dan de potentiële (Brouwers et al., 2015).

In Figuur 2-13 wordt een trendanalyse uitgevoerd van de potentiële evapotranspiratie van 1901 tot 2014. Deze trendlijn evenaart de trendlijn van de jaargemiddelde temperatuur, die is weergegeven in Figuur 2-14. Dit is logisch omdat temperatuur een invloed heeft op verdamping (Brouwers et al., 2015). Uit deze trendanalyses wordt er over 100 jaar een toename verwacht van de potentiële evapotranspiratie in overeenstemming met de temperatuurstijging. Gemiddeld zal deze stijging zich voor de winterperiode tussen de +2% en +35% bevinden en voor de zomerperiode tussen de +2% en +47% (Brouwers et al., 2015). Deze stijgende evapotranspiratie is nadelig voor de waterbeschikbaarheid.



Figuur 2-13 De evolutie van de jaarlijkse potentiële evapotranspiratie, gemeten in Ukkel van 1901 tot 2014 (Brouwers et al., 2015)

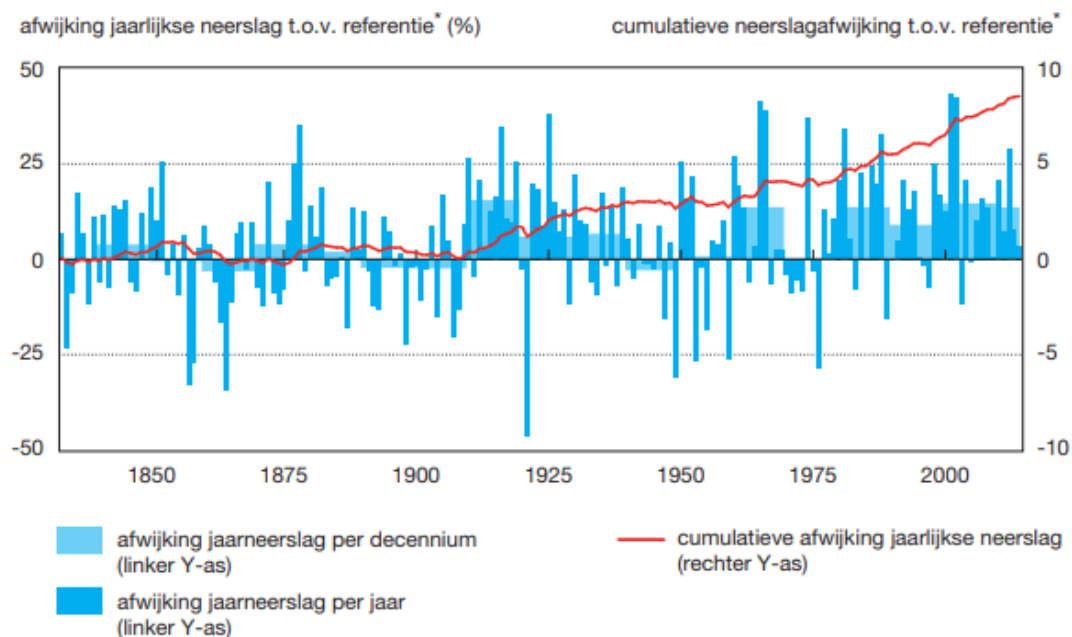


Figuur 2-14 De jaargemiddelde temperatuur, gemeten in Ukkel van 1833 tot 2014 en uitgedrukt als afwijking tegenover de gemiddelde in de periode 1850-1899 (Brouwers et al., 2015)

2.4.1.1.2. Neerslag

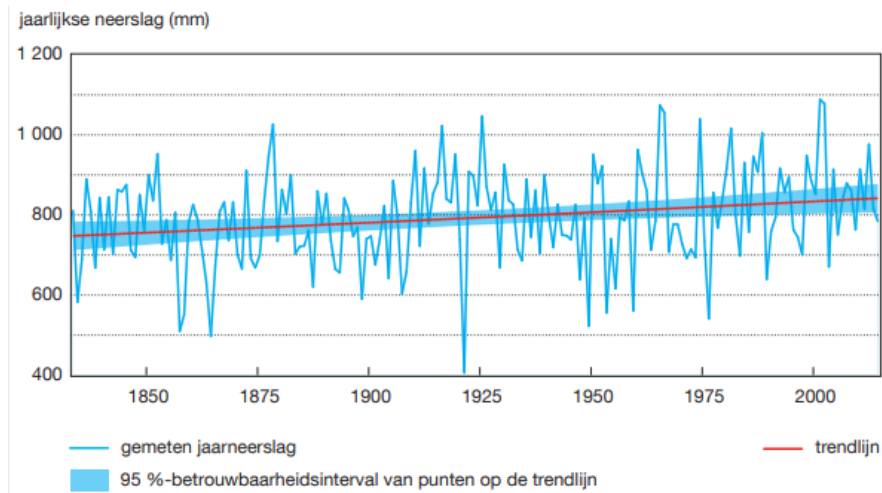
Er wordt voorspeld dat er, ten gevolge van de klimaatverandering, in Vlaanderen gemiddeld meer regen zal vallen. De verdeling ervan zal per seizoen wijzigen. De zomers zullen droger worden en de winters natter. Hierdoor zal het niveau van het grondwater in de droge zomers dalen, maar er zal ook minder regenwater en oppervlaktewater ter beschikking zijn (Vlaamse Milieumaatschappij, n.d.-b). Deze voorspellingen worden aan de hand van onderstaande cijfers uit het klimaatrapport bevestigd.

In Figuur 2-15 is het reeds waar te nemen dat er in ons land steeds meer neerslag valt. De afwijking van de jaarlijkse hoeveelheid neerslag wordt vergeleken met de gemiddelde hoeveelheid (758 mm/jaar) tijdens de referentieperiode van 1850 tot 1899. Het is voornamelijk de lijn die de gecumuleerde afwijking voorstelt die de trend naar nattere jaren duidelijk maakt. Er is een duidelijke toename waar te nemen sinds het begin van de 20^{ste} eeuw. Dit wordt tevens nog versterkt vanaf de jaren 70 (Brouwers et al., 2015).



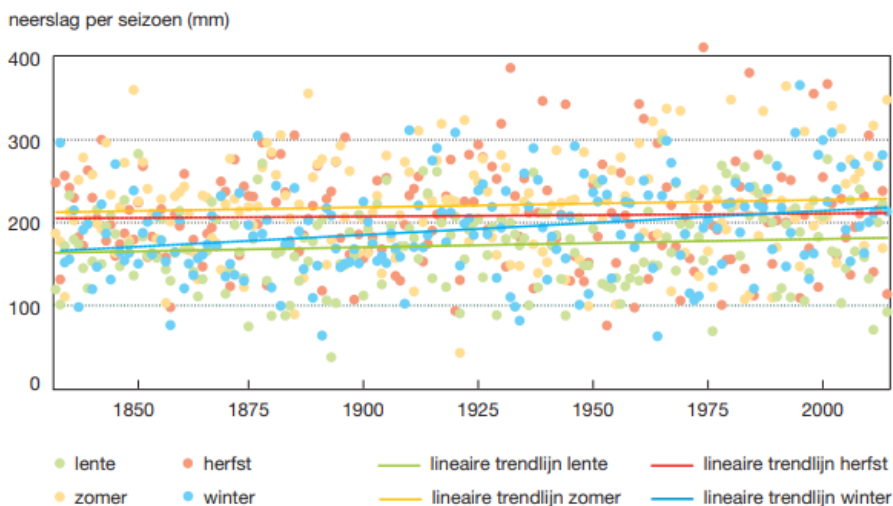
Figuur 2-15 Weergave van neerslag per jaar en per decennium. Gemeten in Ukkel van 1833 tot 2014 (Brouwers et al., 2015)

Uit een statistische analyse van de vorige datareeks blijkt dat België een langzame, maar significante stijging van de jaarlijkse neerslag kent. Dit is zichtbaar in Figuur 2-16. Het betreft een aanhoudende stijging van 0,55 mm per jaar (Brouwers et al., 2015).



Figuur 2-16 Statistische analyse van de evolutie van de jaarlijkse neerslag. Gemeten in Ukkel van 1833 tot 2014 (Brouwers et al., 2015)

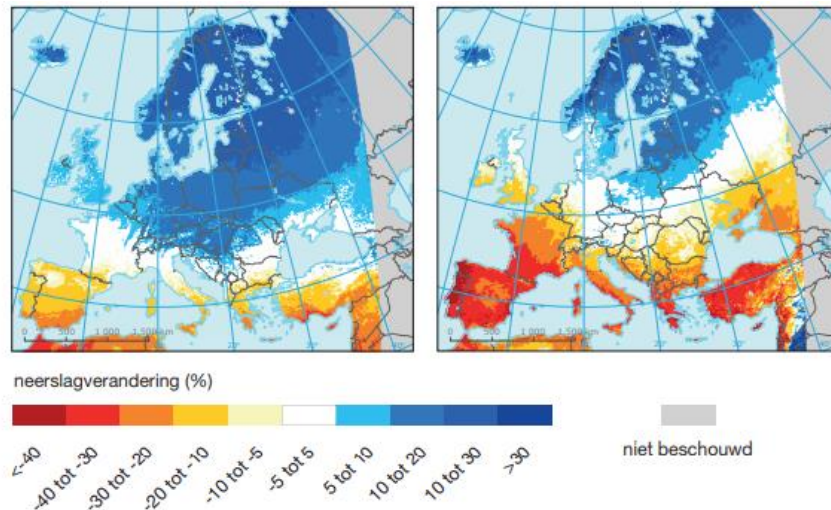
Ook de veranderingen in neerslag per seizoen zijn reeds waarneembaar. Voor West- en Noord-Europa treden deze wijzigende neerslagen het meest op tijdens de wintermaanden, namelijk + 20 à 40 %. Dit is ook waar te nemen uit Figuur 2-17. Hieruit blijkt dat in België enkel tijdens de winter de hoeveelheid neerslag significant toeneemt. Voor andere seizoenen verandert de hoeveelheid neerslag niet of nauwelijks (Brouwers et al., 2015).



Figuur 2-17 De hoeveelheid neerslag per seizoen. Gemeten in Ukkel van 1833 tot 2014 (Brouwers et al., 2015)

Voor de toekomstige evolutie tot 2100 wordt er een toename van de neerslag tot 30% verwacht in Noord- en Centraal-Europa. In Zuid-Europa wordt een afname tot 40% verwacht.

Deze veranderingen hangen samen met wat er zich de laatste 50 jaar in Europa heeft voorgedaan (Brouwers et al., 2015). Uit Figuur 2-18 kan voor België bijgevolg een toekomstige nattere winter en drogere zomers met een lichte toename in jaargemiddelde neerslag afgeleid worden.



Figuur 2-18 Voorspelde verandering in de jaarlijkse neerslag (links) en de neerslag in de zomer (rechts) voor de periode 2071-2100 in vergelijking met 1971-2000 (Brouwers et al., 2015)

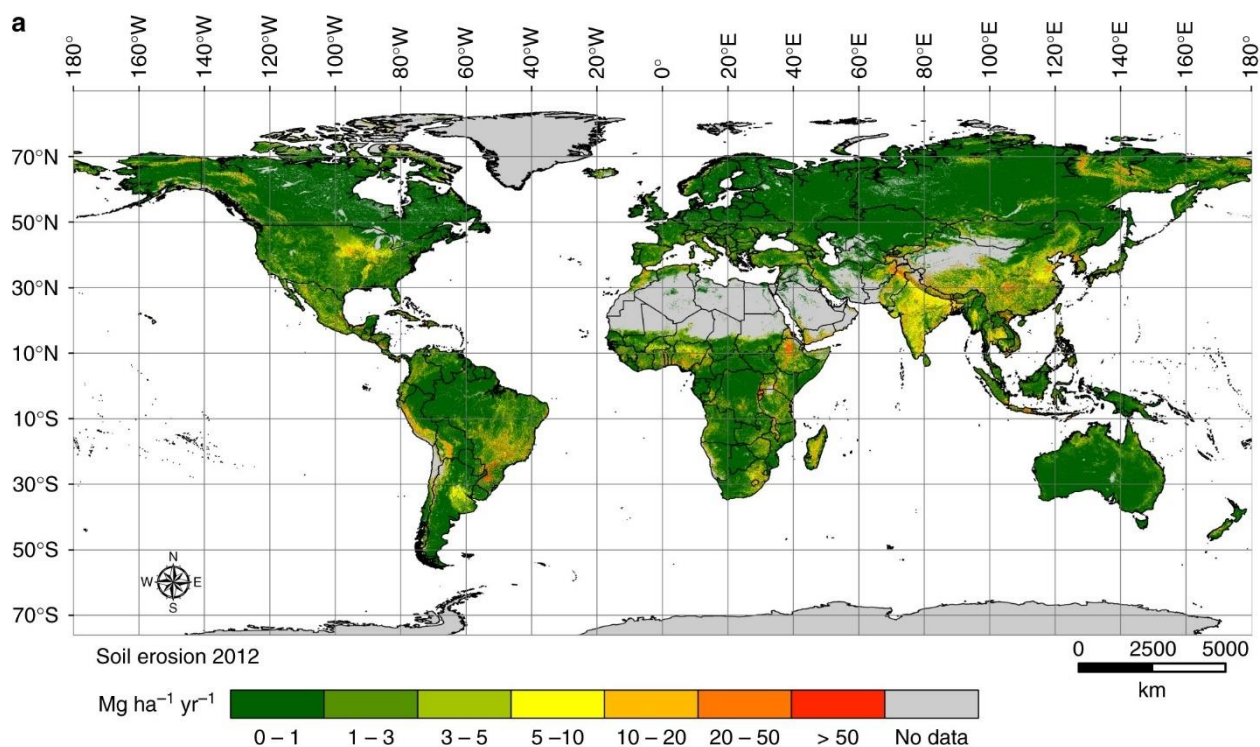
2.4.1.2. **Kwaliteit van het beschikbare water**

Het water in Europa is bovendien van slechte kwaliteit. Één van de belangrijkste oorzaken hiervan is de verontreiniging door meststoffen en pesticiden die in de landbouw gebruikt worden (Europees Milieu Agentschap, 2012). Ook dit zorgt ervoor dat water een schaars product is.

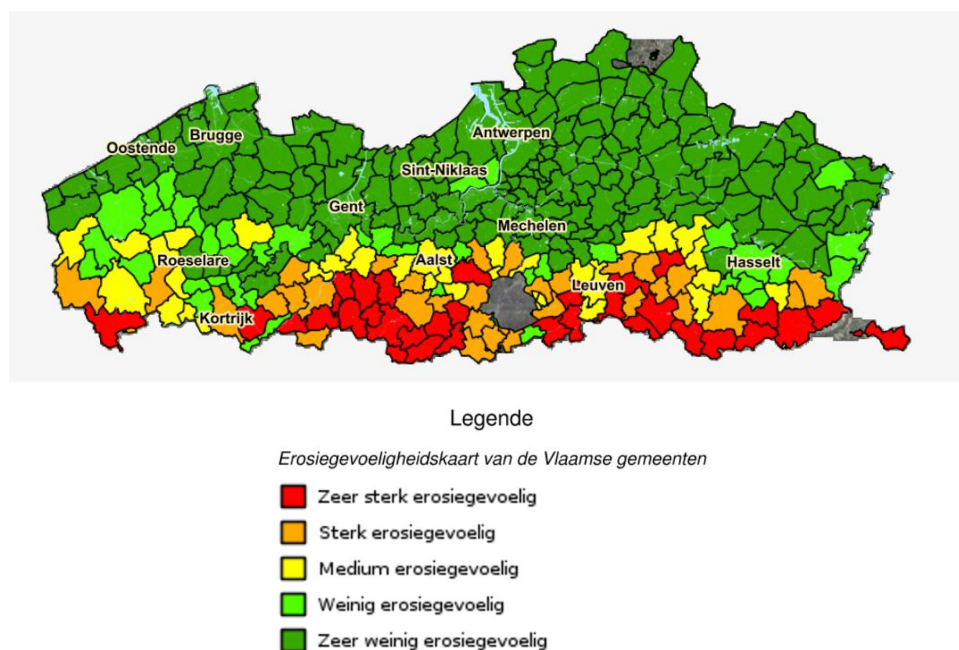
2.4.1.2.1. De gevolgen van bodemerosie

Bodemerosie door water is het proces waarbij bodemdeeltjes geleidelijk worden losgemaakt en getransporteerd (Vlaanderen-Databank Ondergrond Vlaanderen, n.d.). Dit gebeurt onder de invloed van regendruppels en afstromend water. Door de bewerking van de bodem kan dit proces nog gaan versnellen (Vanhaecke et al., 2015).

In Figuur 2-19 wordt het ruimtelijk patroon van bodemerosie weergegeven. Deze gegevens dateren wel uit 2012, maar dit geeft een beeld over de locatie van lage erosie gebieden en de gebieden met hogere erosiewaarden. Zo valt waar te nemen dat de gebieden Kansas, China, en Spanje, van de besproken casestudies, toch erosiegevoeliger zijn dan Vlaanderen en Duitsland. Dit wil niet zeggen dat Vlaanderen niet erosiegevoelig is. Op Figuur 2-20 kunnen de erosiegevoelige gebieden in Vlaanderen gelokaliseerd worden. De grootste risicogebieden voor bodemerosie situeren zich vooral in Haspengouw, het Hageland, het Pajottenland en de Vlaamse Ardennen (Vanhaecke et al., 2015).



Figuur 2-19 Bodemerosie op globale schaal (Borrelli et al., 2012)



Figuur 2-20 De gemiddelde gevoeligheid voor bodemerosie voor elke Vlaamse gemeente (Vlaanderen-Databank Ondergrond Vlaanderen, n.d.)

Door het fenomeen van bodemerosie kunnen regelmatig modderstromen ontstaan in bepaalde gebieden. De weerstand van de bodem is dan zwakker dan inslaande regen of afstromend water. Hierdoor geraken sediment, nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen in de waterlopen (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-h).

2.4.1.2.2. Waterverontreiniging ontstaan door nutriënten

Als er te veel nutriënten, voornamelijk stikstof- en fosforverbindingen, in waterlopen terechtkomen dan ontstaat er eutrofiëring. Er zullen zich namelijk door de aanwezige nutriënten waterplanten gaan ontwikkelen en algenbloei zal optreden (Vlaamse Milieumaatschappij, n.d.-a). Dit zal ertoe leiden dat doorzichtigheid van het water zal verminderen. Bovendien kan er 's nachts een tekort aan zuurstof ontstaan in het water en anderzijds, overdag een oververzadiging. Dit veroorzaakt een slechtere biologische en chemische kwaliteit van de waterlopen. Het visbestand wordt beschadigd of verdwijnt en diversiteit aan planten daalt (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-l).

2.4.1.2.3. Waterverontreiniging ontstaan door gewasbeschermingsmiddelen

De Vlaamse Milieumaatschappij treft jaarlijks een te hoge concentratie van gewasbeschermingsmiddelen aan in oppervlakte- en grondwater. Deze middelen zijn deels afkomstig van niet-landbouwkundig gebruik zoals particulieren, industrie, parkeerterreinen,... Ze zijn ook deels van de land- en tuinbouw afkomstig. Er zijn twee soorten vervuiling te onderscheiden van het oppervlaktewater, namelijk de diffuse vervuiling en de puntvervuiling (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-k).

Ongeveer 20 à 40% van de vervuiling door gewasbeschermingsmiddelen wordt veroorzaakt door de diffuse vervuiling. Deze vervuiling ontstaat wanneer spuitvloeistof ongewenst in beken terechtkomt ten gevolge van de wind. Dit fenomeen is gekend onder de naam drift. Ook door afspoeling en doorspoeling via drainage na de behandeling op het veld ontstaat diffuse vervuiling van het grondwater (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-k).

De puntvervuiling is voornamelijk verantwoordelijk voor de verontreiniging van beken en rivieren door gewasbeschermingsmiddelen (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-k). Puntvervuiling kan ontstaan door het morsen van producten tijdens het vullen van de spuittoestellen. Als deze toestellen op een verharde oppervlakte gevuld worden stijgt de kans op afspoeling naar riool en oppervlakte water in vergelijking met het vullen op het veld, omdat de gewasbeschermingsmiddelen op het veld op een natuurlijke manier kunnen afbreken. Als de spuittoestellen gereinigd worden kunnen restproducten mee afgevoerd worden.

2.4.2. Hoe wordt er op een efficiëntere en duurzame manier omgegaan met water in de verschillende landbouwsectoren?

Om op een efficiëntere en duurzamere wijze met het schaarse water om te gaan, kunnen er waterbesparende maatregelen genomen worden. Er kan ook een wateraudit uitgevoerd worden en alternatieve waterbronnen kunnen gebruikt worden.

2.4.2.1. Welke waterbesparende maatregelen bestaan er in de verschillende landbouwsectoren?

Er moet niet enkel gezocht worden naar manieren om zuiniger met water om te kunnen gaan, wat kan door de reeds besproken efficiënter irrigatiesystemen (zie paragraaf 2.2.1). Er moet ook gekeken worden naar de optie om water te kunnen hergebruiken of waterverontreiniging tegen te kunnen gaan.

2.4.2.1.1. Waterverontreiniging tegengaan

Waterverontreiniging ontstaan door nutriënten

Vlaanderen wil een reductie van nutriëntenverliezen uit de land- en tuinbouw nastreven om zo de waterkwaliteit overeen te laten stemmen met de Europese doelstellingen. Om die waterkwaliteit te verbeteren loopt momenteel het 6de mestactieprogramma (MAP) (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-l). Het MAP is geldig voor de periode 2019 tot 2022 en het moet ervoor zorgen dat er minder nitraten en fosfaten afkomstig van meststoffen in het water belanden. Het programma benadrukt de uitvoering van goede bemestingspraktijken volgens het '4J – principe'. Dit houdt in dat er bemest moet worden met de juiste dosis, met de juiste mestsoort, op het juiste tijdstip en met de juiste bemestingstechniek (Vlaamse Land Maatschappij, n.d.-a).

Waterverontreiniging ontstaan door gewasbeschermingsmiddelen

Om de problemen van diffuse vervuiling, zoals besproken in paragraaf 2.4.1.2.3, tegen te gaan kan gebruik gemaakt worden van driftreducerende technieken. Er bestaan driftreducerende doppen waarmee grovere druppels geproduceerd worden. Deze grovere druppels zijn minder gevoelig voor drift (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-f). Er kunnen ook driftreducerende spuittoestellen gebruikt worden, zoals spuittoestellen met luchtondersteuning of met een afgeschermd spuitboom.

Naast deze driftreducerende technieken kunnen ook de aanbevolen bufferzones gerespecteerd worden om diffuse vervuiling tegen te gaan. Een bufferzone is een strook van een veld die gelegen is nabij een wateroppervlak. Deze zone wordt niet behandeld met gewasbeschermingsmiddelen om de aanwezige waterorganismen te beschermen van de drift (Nuyttens, Huyghebaert, & Jaeken, n.d.). De toe te passen breedte van de bufferzone komt overeen met de minimale afstand die gerespecteerd moet worden tussen laatste rij van het veld die met gewasbeschermingsmiddelen bespoten werd en de oever van het nabijgelegen wateroppervlak. De breedte van de bufferzone is afhankelijk van het risico van het gewasbeschermingsmiddel voor de waterorganismen (Nuyttens et al., n.d.)

Een derde maatregel die toegepast kan worden is het aanbrengen van schermen of het aanplanten van hagen langs de aanwezige waterlopen (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-k).

De na te leven breedte van de bufferzone en het te behalen driftreducerend percentage worden aangeduid op het etiket van het gewasbeschermingsproduct. Als er reeds driftreducerende technieken toegepast worden en/of schermen of hagen voorzien worden dan kan de breedte van de bufferzone ingeperkt worden ten opzichte van wat er op het etiket van het product beschreven staat (Nuyttens et al., n.d.).

Het bestrijden van bodemerosie

Gewasbeschermingsmiddelen en nutriënten kunnen ook in het water terechtkomen door het eerder beschreven probleem van bodemerosie. Erosie bestrijden is dus ook een techniek om waterverontreiniging ontstaan door gewasbeschermingsmiddelen tegen te gaan. Er worden enkele voorbeelden gegeven van technieken die hiervoor gebruikt kunnen worden.

Door de bodemstructuur te stabiliseren en te versterken zal de bodem minder erosiegevoelig worden. Dit kan door er voor te zorgen dat er voldoende organisch materiaal in de bodem aanwezig is en door kalk toe te voegen. Bovendien zal het risico op bodemerosie dalen als de bodem meer door vegetatie wordt beschermd. Afstromend water wordt dan afgeremd, waardoor minder bodemdeeltjes getransporteerd worden, en water zal makkelijker in de bodem infiltreren. Er kan dus gebruik gemaakt worden van groenbedekkers, tijdens de perioden waar geen hoofdteelt aanwezig is. Ook de techniek 'mulchen' kan toegepast worden. Hierbij wordt de bodem bedekt door vegetatieresten die na de oogst blijven liggen (Inagro, n.d.)

2.4.2.2. Wat houdt een wateraudit in?

Een wateraudit wordt uitgevoerd om een kritische analyse uit te voeren op alle toepassingen van water binnen een bepaald landbouwbedrijf. De huidige waterstromen en de nodige waterbehoefte worden tijdens zo een wateraudit in kaart gebracht. Daarenboven wordt gezocht naar mogelijke waterbesparingsmaatregelen die van toepassing zouden kunnen zijn voor dat landbouwbedrijf. Als laatste wordt ook bekeken of de grondwaterwinning of de waterfactuur kan worden afgebouwd en kan worden vervangen door andere waterbronnen. Dit zowel op technisch als economisch vlak (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-m). De wateraudit zorgt voor de ontwikkeling van een langetermijnvisie voor de inschakeling van waterbesparingsmaatregelen en alternatieve waterbronnen op het landbouwbedrijf. Dit is eigenlijk een kennisuitwisselingsprogramma. Efficiënter watergebruik en kostenbesparingen zouden ook gerealiseerd kunnen worden via andere opleidings- en kennisuitwisselingsprogramma's (Europees Milieu Agentschap, 2012).

2.4.2.3. Welke alternatieve waterbronnen kunnen gebruikt worden?

2.4.2.3.1. Afvalwater

Afvalwater kan gebruikt worden voor de irrigatie van de landbouw. Hierdoor kan een groter deel van de zoetwatervoorraden beschikbaar gemaakt worden voor andere gebruikers (Europees Milieu Agentschap, 2012). Het afvalwater moet hiervoor eerst gezuiverd worden zodat gezondheidsrisico's en schade aan het natuurlijke milieu vermeden worden. De vereiste kwaliteit van het gezuiverde afvalwater is afhankelijk van het beoogde watergebruik, de te bevoeien gewassen, de bodemgesteldheid en het irrigatiesysteem (Pereira et al., 2002).

Afvalwaterzuiveringssystemen worden opgedeeld in twee soorten systemen, namelijk extensieve systemen en de mechanische of compactsystemen. De extensieve systemen worden ook plantensystemen genoemd. Er worden namelijk stengels en/of een wortelgestel gebruikt die samen met een dragermateriaal een aanhechtingsplaats vormen voor micro-organismen. De micro-organismen zorgen bijgevolg voor een biologische zuivering (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-b).

2.4.2.3.2. Zout grondwater

In verzilte gebieden, zoals de polders, kan zout grondwater ook worden gebruikt indien er structurele watertekorten zijn waardoor deze verzilting niet kan worden tegengegaan. In dit geval wordt dan gezocht naar variëteiten van traditionele landbouwgewassen die zouttoleranter zijn, bijvoorbeeld aardappelen, groenten, granen. Het is belangrijk dat deze variëteiten ook in niet zilte omstandigheden een aanvaardbare productiviteit hebben. De landbouwer kan er dan toch voor kiezen om te beregenen met zout water als er geen alternatief beschikbaar is (Vlaamse Land Maatschappij, n.d.-b). Dit biedt een oplossing voor gebieden waar verzilting periodiek optreedt en ook waar verzilting structureel aanwezig is.

2.4.2.3.3. Drainagewater

In gebieden die buiten het teeltseizoen met een neerslagoverschot worden geconfronteerd, worden de landbouwgronden gedraineerd met een kunstmatig drainagestelsel. Dit wordt gedaan om te natte bodemomstandigheden te vermijden. Een groot deel van de neerslag verlaat de percelen via dit drainage systeem en is dan niet meer beschikbaar voor de (volgende) teelt. Echter kan dit drainagewater gerecupereerd worden door het te laten uitmonden in een verzamelput. Dit water kan dan later, tijdens de teeltperiode, ook dienst doen als een alternatieve waterbron (Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij, n.d.-c).

3. CONCLUSIE

Er zijn al een aantal empirische studies uitgevoerd naar het rebound effect bij de consumptie van water in de landbouwsector die aantonen dat het rebound effect bestaat wanneer efficiëntiemaatregelen genomen worden en indien hier geen beleid aan wordt gekoppeld. Echter zijn er slechts enkele die de omvang van dit rebound effect berekenen. Er zijn minder empirische studies te vinden voor het rebound effect bij de consumptie van water dan naar de vraag naar energie. Bij de enkele uitgevoerde studies naar de omvang van het rebound effect bij de consumptie van water is het duidelijk dat er verschillende resultaten optreden. Dit is ook het geval bij de empirische studies naar de omvang van het rebound effect in de energiesector. Dit komt in beide gevallen omdat er gebruik gemaakt wordt van verschillende modellen en waarbij verschillende assumpties gemaakt moeten worden. Het is wel opvallend dat de waardes voor de omvang van het rebound effect bij de vraag naar energie lager zijn dan deze bij de consumptie van water. Uit Tabel 2-2 wordt waargenomen dat de omvang van het rebound effect bij de vraag naar energie in de meeste gevallen gelegen is tussen de 10 en 60 procent. Enkele waardes liggen buiten dit bereik. Het water rebound effect daarentegen toont gemiddelde waardes die hoger zijn dan 60 procent. Er worden zelfs vele waardes gevonden die groter zijn dan 100 procent. Dit zijn extreme rebound effecten, ook gekend onder de naam 'Jevons paradox' of 'backfire effect', waarbij de consumptie van water door de efficiëntere technologieën niet daalt maar stijgt in de plaats. Er wordt dus meer water onttrokken dan voor de omschakeling naar efficiëntere technologieën. De hypothese dat de toepassing van efficiënte technologieën zal leiden tot een absolute daling in het verbruik van de schaarse grondstof water, kan dus verworpen worden. Deze is niet correct aangezien rebound effecten optreden.

Het is duidelijk dat er nog veel onderzoek moet worden verricht naar het rebound effect bij de consumptie van water, meerbepaald naar de omvang van het effect zodat doeltreffende beleidsmaatregelen kunnen gevormd worden. Naast de verschillende resultaten voor de omvang van het water rebound effect uit de verschillende empirische onderzoeken, vinden de verschillende auteurs over het algemeen wel dezelfde verklaringen voor dit rebound effect en suggereren ze dezelfde aanpak die de overheid zou moeten ondernemen om tot een doeltreffend beleid te komen om op die manier het doel te bereiken om water te besparen als efficiëntere irrigatietechnieken worden toegepast.

De verschillende onderzoeken verklaren dat het water rebound effect in de landbouwsector ontstaat omdat landbouwers geneigd zijn hun geïrrigeerde oppervlakte uit te breiden, doordat er een grotere waterproductiviteit en lagere kosten ontstaan na de omschakeling naar efficiëntere watertoepassingen. Bovendien wordt er overgeschakeld naar gewassen die meer water vereisen, het zijn water intensievere gewassen die zorgen voor een grotere opbrengst voor de landbouwer. Het waterverbruik per oppervlakte-eenheid zal hierdoor stijgen. De structuur van de gewassen wordt soms ook aangepast. Er wordt namelijk meer gediversifieerd tussen verschillende gewassen waardoor een langer irrigatieseizoen mogelijk wordt. Doordat de gewassen meer in hun waterbehoefte worden voldaan na de toepassing van efficiëntere irrigatiesystemen, worden productievere gewassen verkregen. De productie per oppervlakte-eenheid zal hierdoor toenemen en bijgevolg ook het aandeel toegepast water.

Er was een opvallende tegengestelde verklaring op te merken in twee onderzoeken. Song et al verklaart namelijk dat hoe schaarser het water is, in een bepaalde regio, hoe kleiner het rebound effect zal zijn. In tegenstelling hiervan verklaart Fang et al dat hoe lager de watervoorraad per capita is, dus hoe schaarser het water, hoe groter het rebound effect zal zijn. Omdat dit dus geen eenduidige verklaring betreft, moet hier zeker nog onderzoek naar verricht worden.

In het algemeen zijn de onderzoekers het er over eens dat waterbesparende maatregelen en efficiëntieverbeteringen verder gepromoot moeten worden, maar dat ze wel aan maatregelen en instrumenten moeten worden gekoppeld zodat wateronttrekking en de uitbreiding van geïrrigeerde gebieden gecontroleerd kan worden. Zo wordt voorgesteld dat waterrechten moeten worden ingevoerd of indien deze reeds ingevoerd geweest zijn, ze verlaagd moeten worden na de invoering van efficiëntieverbeteringen. Op die manier mag slechts een bepaalde hoeveelheid water worden onttrokken. Er moet samen met de invoering van deze waterrechten een duidelijk systeem ontwikkeld worden voor de overdracht en handel van waterrechten. Een andere suggestie is het invoeren van belastingen op het onttrekken van water. Verder wordt aangewezen om wettelijke beperkingen in te stellen zodat de irrigatiegrond niet beschikbaar is of de uitbreiding ervan niet mogelijk wordt. Als laatste stellen enkele onderzoeken voor om landbouwwaterprijzen te hervormen zodat de werkelijke kost en de schaarste van het water wordt weerspiegeld. Echter verklaart Dumont et al dat het watergebruik meestal inelastisch is voor prijsveranderingen, waardoor de beleidsmaatregel om de waterprijs te verhogen als ontmoediging van het watergebruik, in tegenstelling tot de energiesector, zinloos zou kunnen zijn. Hier is dus opnieuw een tegenstrijdige verklaring te vinden die verder onderzocht en bewezen moet worden.

De doeltreffendheid van al deze suggesties die gegeven worden voor het vormen van een beleid moeten nog onderzocht worden op lange termijn. Er werd in de verschillende studies geen bewijs gevonden dat deze maatregelen het water rebound effect effectief minimaliseren. Er kunnen eventueel ook bijkomende nadelen verbonden zijn aan deze suggesties voor een doeltreffend beleid die nu nog niet zichtbaar zijn op korte termijn. Het is dus noodzakelijk om in de toekomst verder onderzoek te doen naar dit onderwerp en te kijken of de beleidsmaatregelen hun doel kunnen verwezenlijken en als er geen andere negatieve effecten optreden. Bovendien moet onderzocht worden of eventueel andere mogelijke beleidsinstrumenten een positief effect hebben op de daling van het watergebruik bij de toepassing van efficiëntere watertechnologieën, zoals consumptieinformatie, bonus-malus regelingen of andere die werden besproken in paragraaf 2.1.5.2.

Het rebound effect wordt nog niet door overheid in een beleid besproken, maar er worden wel efficiëntiedoelstellingen geformuleerd. En dit zowel voor energie-efficiëntie als voor natuurlijke hulpbron water. De empirische studies willen het rebound effect aantonen en bewijzen, maar het is nu aan de overheid om dit probleem aan te pakken en het rebound effect te voorkomen of te minimaliseren. De overheid moet dit aanpakken door effectief rebound beleid te voeren, door een combinatie van de drie mogelijke strategieën, namelijk efficiënter consumeren, anders consumeren en minder consumeren. Dit kan uitgewerkt worden aan de hand van een combinatie van verschillende beleidstrajecten zoals, duurzame consumptie en gedrag, gerichte technologische innovatie en andere beleidsinstrumenten zoals besproken werd in paragraaf 2.1.5.2.

3.1. Future research

Er werden geen casestudies gevonden voor de Vlaamse landbouwsector. Uit eigen interesse wou ik zelf even uitzoeken bij Vlaamse landbouwers of dit rebound effect bij hen ontstaat. Ik had enkel interviews afgenomen (te vinden in bijlagen van deze masterproef), maar dit volstaat natuurlijk niet. De interne boekhouding van de landbouwer zou bekeken moeten worden en het watergebruik zou op de voet gevolgd moeten worden. In de context van deze masterproef is zo een onderzoek helaas niet mogelijk. Echter bleek wel dat zij al met problemen van waterschaarste geconfronteerd werden en gebruik maken van waterbesparende technieken. Daarom werd de waterproblematiek in Vlaanderen aangetoond, waarna specifieke technologieën voor efficiënter en duurzamer watergebruik werden besproken, naast de efficiëntere irrigatiemethoden. Volgens de empirische casestudies ontstaan rebound effect na de toepassing van zulke efficiënte technieken. We zouden kunnen afleiden dat de redeneringen voor het water rebound effect, die besproken werden in de verschillende casestudies, ook van toepassing kunnen zijn voor Vlaanderen. Dit zou in de toekomst verder onderzocht kunnen worden aan de hand van een specifieke casestudie in Vlaanderen.

REFERENTIES

- Belaïd, F., Youssef, A. Ben, & Lazaric, N. (2020). Scrutinizing the direct rebound effect for French households using quantile regression and data from an original survey. *Ecological Economics*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106755>
- Berbel, J., Expósito, A., Gutiérrez-Martín, C., & Mateos, L. (2019). Effects of the Irrigation Modernization in Spain 2002–2015. *Water Resources Management*, 33(5), 1835–1849. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02215-w>
- Berbel, J., Gutiérrez-Martín, C., Rodríguez-Díaz, J. A., Camacho, E., & Montesinos, P. (2014). Literature Review on Rebound Effect of Water Saving Measures and Analysis of a Spanish Case Study. *Water Resources Management*, 29(3), 663–678. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0839-0>
- Bodemkundige dienst van België. (2009). Irrigatiesturing. Retrieved December 24, 2020, from <https://www.bdb.be/Productendiensten/Dienstenpakketten/Irrigatiesturing/tabid/123/language/nl-BE/Default.aspx>
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., ... Panagos, P. (2012). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>
- Brouwers, J., Peeters, B., Van Steertegem, M., Van Lipzig, N., Wouters, H., Beullens, J., ... Cauwenberghs, K. (2015). *MIRA-klimaatrapport 2015-Over waargenomen en toekomstige klimaatveranderingen*. Vlaamse Milieu Maatschappij. Retrieved from <https://www.milieurapport.be/publicaties/2015/klimaatrapport-2015-over-waargenomen-en-toekomstige-klimaatveranderingen>
- Darby, S. (2006). The effectiveness of feedback on energy consumption-A review for defra of the literature on metering, billing and direct displays. <https://doi.org/10.1051/orthodfr/2015025>
- Delhaye, E., Heyndrickx, C., Frederix, R., Van Zeebroeck, B., Rousseau, S., & Proost, S. (2013). Rebound effect met impact op het milieu.
- Deurinck, Mieke, & Parys, W. (2008). Isoleren: Minder energie of meer comfort? *Nederlands Vlaamse Bouwfysica Vereniging*, 19, 1–8. Retrieved from <https://nvbv.org/>
- Dimitropoulos, A., Oueslati, W., & Sintek, C. (2018). The rebound effect in road transport: A meta-analysis of empirical studies. *Energy Economics*, 75, 163–179. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.07.021>
- Dumont, A., Mayor, B., & López-Gunn, E. (2013). Is the Rebound Effect or Jevons Paradox a Useful Concept for better Management of Water Resources? Insights from the Irrigation Modernisation Process in Spain. *Aquatic Procedia*, 1, 64–76. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2013.07.006>

- European Environment Agency. (2018). Water use in Europe - Quantity and quality face big challenges. Retrieved November 3, 2020, from <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2018-content-list/articles/water-use-in-europe-2014>
- Europees Milieu Agentschap. (2012). Water voor de landbouw. Retrieved October 26, 2020, from <https://www.eea.europa.eu/nl/articles/water-voor-de-landbouw>
- Europese Commissie. (2020). Verordening van het Europees parlement en de raad. Retrieved January 2, 2021, from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX:52020PC0080>
- Fang, L., Wu, F., Yu, Y., & Zhang, L. (2020). Irrigation technology and water rebound in China's agricultural sector. *Journal of Industrial Ecology*, 24(5), 1088–1100. <https://doi.org/10.1111/jiec.13001>
- FAO. (2015). Water withdrawal ratios by continent. Retrieved December 17, 2020, from https://firebasestorage.googleapis.com/v0/b/fao-aquastat.appspot.com/o/PDF%2FTABLES%2FWithRatio_eng.pdf?alt=media&token=a60bcdc2-6656-4d7c-b11d-b578fff8cc53
- Fernández García, I., Rodríguez Díaz, J. A., Camacho Poyato, E., Montesinos, P., & Berbel, J. (2014). Effects of modernization and medium term perspectives on water and energy use in irrigation districts. *Agricultural Systems*, 131, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.08.002>
- Font Vivanco, D., Kemp, R., & van der Voet, E. (2016). How to deal with the rebound effect? A policy-oriented approach. *Energy Policy*, 94, 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.054>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). AQUASTAT - FAO's Global Information System on Water and Agriculture. Retrieved December 17, 2020, from <http://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use>
- Freire-González, J. (2019). Does Water Efficiency Reduce Water Consumption? The Economy-Wide Water Rebound Effect. *Water Resources Management*, 33(6), 2191–2202. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02249-0>
- Freire-González, J. (2020). Energy taxation policies can counteract the rebound effect: analysis within a general equilibrium framework. *Energy Efficiency*, 13(1), 69–78. <https://doi.org/10.1007/s12053-019-09830-x>
- Galvin, R. (2014). Making the “rebound effect” more useful for performance evaluation of thermal retrofits of existing homes: Defining the “energy savings deficit” and the “energy performance gap.” *Energy and Buildings*, 69, 515–524. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.004>
- Geerts, S. (2008). Deficit irrigation strategies via crop water productivity modeling : Field research of quinoa in the Bolivian Altiplano. *Status: Published*, (814), 237. Retrieved from <https://lirias.kuleuven.be/handle/123456789/199404>

- Gómez, C. M., M, C. G., & Gutierrez, C. (2011). Enhancing Irrigation Efficiency but Increasing Water Use : The Jevons ' Paradox Universidad de Alcala and IMDEA Water Foundation Universidad de Cordoba Enhancing Irrigation Efficiency but Increasing Water Use : The Jevons ' Paradox University of Alcalá Un. *EAAE 2011 Congress Change and Uncertainty*, (August 2016), 16. Retrieved from <http://econpapers.repec.org/RePEc:ags:eaae11:114622>
- Greening, L. A., Greene, D. L., & Difiglio, C. (2000). Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey. *Energy Policy*, 28(6–7), 389–401. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00021-5](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00021-5)
- Grossmann, D., Galvin, R., Weiss, J., Madlener, R., & Hirschl, B. (2016). A methodology for estimating rebound effects in non-residential public service buildings: Case study of four buildings in Germany. *Energy and Buildings*, 111(2016), 455–467. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.063>
- Haas, R., & Biermayr, P. (2000). The rebound effect for space heating empirical evidence from Austria. *Energy Policy*, 28(6–7), 403–410. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00023-9)
- Herring, H., & Roy, R. (2007). Technological innovation, energy efficient design and the rebound effect. *Technovation*, 27(4), 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2006.11.004>
- Inagro. (n.d.). Bodemerosie. Retrieved December 25, 2020, from https://www.inagro.be/DNN_DropZone/Publicaties/465/werkpakket_bodemerosie_11MB.pdf
- Incrocci, L., Thompson, R. B., Fernandez-Fernandez, M. D., De Pascale, S., Pardossi, A., Stanghellini, C., ... Gallardo, M. (2020). Irrigation management of European greenhouse vegetable crops. *Agricultural Water Management*, 242(July), 106393. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106393>
- Jin, S. H. (2019). Home appliances' rebound effects estimated by a modified nonlinear model: an empirical study in South Korea. *Energy Efficiency*, 12(8), 2187–2199. <https://doi.org/10.1007/s12053-019-09795-x>
- Lin, B., & Liu, H. (2015). A study on the energy rebound effect of China's residential building energy efficiency. *Energy and Buildings*, 86, 608–618. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.049>
- Liu, J., Sun, X., Lu, B., Zhang, Y., & Sun, R. (2016). The life cycle rebound effect of air-conditioner consumption in China. *Applied Energy*, 184, 1026–1032. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.100>
- Loch, A., & Adamson, D. (2015). Drought and the rebound effect: a Murray–Darling Basin example. *Natural Hazards*, 79(3), 1429–1449. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1705-y>
- Nuytens, D., Huyghebaert, B., & Jaeken, P. (n.d.). *Maatregelen ter beperking van de verontreiniging van oppervlaktewater door gewasbeschermingsmiddelen*. FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de voedselketen en Leefmilieu. Retrieved from https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth_theme_file/16623

87/brochure oppervlaktewater.pdf

- Paul, C., Techen, A. K., Robinson, J. S., & Helming, K. (2019). Rebound effects in agricultural land and soil management: Review and analytical framework. *Journal of Cleaner Production*, 227, 1054–1067. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.115>
- Pereira, L. S., Oweis, T., & Zairi, A. (2002). Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management*, 57(3), 175–206. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00075-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00075-6)
- Perry, C., Steduto, P., & Karajeh, F. (2017). *Does improved irrigation technology save water? A review of the evidence*. Cairo: FAO.
- Peters, R. T., Neibling, H., & Stroh, R. (2016). Low Energy Precision Application (LEPA) and Low Elevation Spray Application (LESA) Trials in the Pacific Northwest. *Proceedings of 2016 California Alfalfa and Forage Symposium*, 1–21. Retrieved from [https://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/2016/PDFfiles/6 Peters Troy.pdf](https://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/2016/PDFfiles/6%20Peters%20Troy.pdf)
- Pfeiffer, L., & Lin, C. Y. C. (2014). Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? Empirical evidence. *Journal of Environmental Economics and Management*, 67(2), 189–208. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2013.12.002>
- Raeisi, L. G., Morid, S., Delavar, M., & Srinivasan, R. (2019). Effect and side-effect assessment of different agricultural water saving measures in an integrated framework. *Agricultural Water Management*, 223(July). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105685>
- Raes, D., Geerts, S., & Vanuytrecht, E. (2009). *Zuiniger irrigatie is broodnodig*. K.U. Leuven.
- Schmitz, H. mname, & Madlener, R. mname. (2018). Direct and Indirect Rebound Effects in German Households: A Linearized Almost Ideal Demand System Approach. *SSRN Electronic Journal*, (10). <https://doi.org/10.2139/ssrn.3098700>
- Schoenmaeckers, R. (2011). De groei van de wereldbevolking. Is het einde in zicht? Misschien, maar zeker niet zonder eerst nog een forse aangroei. Retrieved October 26, 2020, from <https://www.vlaanderen.be/publicaties/de-groei-van-de-wereldbevolking-is-het-einde-in-zicht-misschien-maar-zeker-niet-zonder-eerst-nog-een-forse-aangroei>
- Schoors, K., Albrecht, J., Defloor, B., Goeminne, S., & Merlevede, B. (2017). *Wegwijs in economie* (3rd ed.). Gent: Borgerhoff & lamberigts.
- Scott, C. A., Vicuña, S., Blanco-Gutiérrez, I., Meza, F., & Varela-Ortega, C. (2014). Irrigation efficiency and water-policy implications for river basin resilience. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(4), 1339–1348. <https://doi.org/10.5194/hess-18-1339-2014>
- Song, J., Guo, Y., Wu, P., & Sun, Sh. (2018). The Agricultural Water Rebound Effect in China. *Ecological Economics*, 146(November 2016), 497–506. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.12.016>
- Sorrell, S., & Dimitropoulos, J. (2008). The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions. *Ecological Economics*, 65(3), 636–649.

- <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.08.013>
- Sorrell, S., Dimitropoulos, J., & Sommerville, M. (2009). Empirical estimates of the direct rebound effect: A review. *Energy Policy*, 37(4), 1356–1371. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.026>
- Su, Y. W. (2019). Residential electricity demand in Taiwan: Consumption behavior and rebound effect. *Energy Policy*, 124(October 2018), 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.09.009>
- Sun, S., Wang, Y., Liu, J., Cai, H., Wu, P., Geng, Q., & Xu, L. (2016). Sustainability assessment of regional water resources under the DPSIR framework. *Journal of Hydrology*, 532, 140–148. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.028>
- The world bank-data. (n.d.). Annual freshwater withdrawals, agriculture (% of total freshwater withdrawal). Retrieved December 24, 2020, from <https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWAG.ZS?end=2010&locations=DE&start=1991&view=chart>
- Tom Jones, P., De Meyere, V., & Keytsman, E. (2009). *Terra reversa: de transitie naar rechtvaardige duurzaamheid*. Nederland: Jan Van Arkel.
- United Nations. (2015). 17 sustainable development goals. Retrieved December 31, 2020, from <https://sdgs.un.org/goals>
- Vanhaecke, H., Hernalsteen, H., Vanoost, K., Vandekerckhove, L., Colpaert, H., Huybrechts, M., & Pauwelyn, E. (2015). *Praktijkgids water in de land- en tuinbouw katern erosie*. Vlaanderen - Departement Landbouw en Visserij. Retrieved from <https://www.vlaanderen.be/publicaties/praktijkgids-water-in-de-land-en-tuinbouw-katern-erosie>
- Vlaamse Land Maatschappij. (n.d.-a). Groen licht voor MAP 6: wat betekent dit nu? Retrieved November 17, 2020, from <https://www.vlm.be/nl/nieuws/Pages/Groen-licht-voor-MAP-6-wat-betekent-dit-nu.aspx>
- Vlaamse Land Maatschappij. (n.d.-b). Salfar. Retrieved December 27, 2020, from <https://www.vlm.be/nl/projecten/Paginas/SALFAR.aspx>
- Vlaamse Milieumaatschappij. (n.d.-a). Eutrofiëring. Retrieved November 17, 2020, from <https://www.vmm.be/woordenboek/eutrofiëring>
- Vlaamse Milieumaatschappij. (n.d.-b). Impact droogte op grondwater. Retrieved October 29, 2020, from <https://www.vmm.be/water/droogte/impact-droogte-op-grondwater>
- Vlaanderen-Databank Ondergrond Vlaanderen. (n.d.). Bodemerosie. Retrieved November 14, 2020, from <https://www.dov.vlaanderen.be/page/bodemerosie>
- Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij. (n.d.-a). Adviesverlening. Retrieved December 27, 2020, from <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkgidsen/water/duurzaam-watergebruik-de-openluchtgroenteteelt-9>

- Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij. (n.d.-b). Afvalwaterzuiveringssysteem. Retrieved December 27, 2020, from <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkgidsen/water/tegengaan-van-waterverontreiniging-veroorzaakt-0>
- Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij. (n.d.-c). Alternatieve waterbronnen voor irrigatie. Retrieved December 27, 2020, from <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkgidsen/water/duurzaam-watergebruik-de-openluchtgroenteteelt-1>
- Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij. (n.d.-d). Berekening irrigatiebehoefte per seizoen. Retrieved October 29, 2020, from <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkgidsen/water/duurzaam-watergebruik-de-openluchtgroenteteelt-5>
- Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij. (n.d.-e). Bodemvochtsensoren. Retrieved December 27, 2020, from <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkgidsen/water/duurzaam-watergebruik-de-openluchtgroenteteelt-7>
- Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij. (n.d.-f). *Bufferzones en driftreducerende technieken*. Retrieved from https://lv.vlaanderen.be/sites/default/files/attachments/folder_driftreductie_-_spuithulp-definitief.pdf
- Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij. (n.d.-g). Duurzaam watergebruik in de land- en tuinbouw - Algemeen. Retrieved October 27, 2020, from <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkgidsen/water/duurzaam-watergebruik-algemeen>
- Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij. (n.d.-h). Erosie. Retrieved November 14, 2020, from <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkgidsen/water/erosie>
- Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij. (n.d.-i). Irrigatie met haspels. Retrieved December 17, 2020, from <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkgidsen/water/duurzaam-watergebruik-de-openluchtgroenteteelt-12>
- Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij. (n.d.-j). Remote sensing. Retrieved December 27, 2020, from <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkgidsen/water/duurzaam-watergebruik-de-openluchtgroenteteelt-10>
- Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij. (n.d.-k). Tegengaan van waterverontreiniging veroorzaakt door gewasbeschermingsmiddelen. Retrieved November 17, 2020, from <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkgidsen/water/tegengaan-van-waterverontreiniging-veroorzaakt-21>
- Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij. (n.d.-l). Tegengaan van waterverontreiniging veroorzaakt door nutriënten. Retrieved November 17, 2020, from <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkgidsen/water/tegengaan-van-waterverontreiniging-veroorzaakt-20>
- Vlaanderen-Departement Landbouw & Visserij. (n.d.-m). Wateraudit. Retrieved December 27,

2020, from <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkgidsen/water/duurzaam-watergebruik-algemeen/wateraudit>

Wang, Y., Long, A., Xiang, L., Deng, X., Zhang, P., Hai, Y., ... Li, Y. (2020). The verification of Jevons' paradox of agricultural Water conservation in Tianshan District of China based on Water footprint. *Agricultural Water Management*, 239(August 2019). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106163>

Water Science School. (n.d.-a). irrigation: drip or microirrigation. Retrieved December 24, 2020, from https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/irrigation-drip-or-microirrigation?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

Water Science School. (n.d.-b). Spray or Sprinkler irrigation. Retrieved December 18, 2020, from https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/irrigation-spray-or-sprinkler-irrigation?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

BIJLAGEN

Bijlage 1: Interview Landbouwer X – communicatie op 23/10/2020

- **Had u gewenst om anoniem te blijven?**

Ik wens graag anoniem te blijven

- **Heeft u ooit het met het probleem van waterschaarste of water tekort moeten werken? Of heb je hier moeilijkheden door gekend?**

Ja in het droge seizoen heb ik dit weldegelijk gekend. Er was dan geen opbrengst omdat er te weinig vocht was.

- **In de krant las ik over de toegepaste techniek van sensoren in de grond die de waterstand in de gaten houden zodat de gps-gestuurde sproeiers weten waar water nodig is.**

- 1) **Zorgt deze techniek voor waterbesparing? Zo ja, heeft u een idee van een hoeveelheid, heeft u hier misschien cijfers over?**

Ja de besparing is vooral het niet dubbel of buiten het perceel sproeien. Door te meten hebben we ook de hoeveelheid per keer beregenen verkleind omdat we zagen dat onze bodem grote giften water niet kan vasthouden. Besparing totaal per ton geproduceerde aardappelen ligt rond 25 a 30 %

- 2) **Gebruikt u nog andere technieken om water te besparen?**

Ja we zijn aan het testen met variabel beregenen. Dit houdt in dat de watergift niet gelijk is voor het hele veld maar dat deze binnen het veld in zones wordt aangepast aan de bodem capaciteit om water vast te houden en aan gewasbehoefte die ook binnen het veld kan verschillen.

- 3) **Kent u nog andere technieken die u misschien niet gebruikt?**

Met druppelsslagen zou er ook water bespaart kunnen worden maar dit is erg kostelijk en is gevoeliger voor storingen zoals slang breuk.

- **Is de kostprijs van uw watergebruik gedaald door het gebruik van deze waterbesparende technieken? Zou u hier eventueel ook een cijfer kunnen opplakken?**

Nee de kostprijs is gestegen omdat er apparatuur extra voor is aangeschaft. Je moet hierbij denken een gps systeem op beregeningsinstallatie (7500€) weer en bodemvochtstations (2500€) en dan de jaarlijkse abonnementen van deze systemen (1500€)

- **Gebruikt u enkel het noodzakelijke water voor uw akkers? Ga je op een even zuinige manier om met water als toen u met waterschaarste te maken had?**

Door in kaart te brengen wat de water behoefte van de plant werkelijk is kom je er achter dat deze in de droge periode extra groot is. Dit is door de meeste boeren onderschat waardoor ons water gebruik totaal is gestegen per ha. Als je het waterverbruik echter terug rekent naar de productie van 1 kg aardappelen dan zie je dat er een waterbesparing plaats vind van 20%

- **Is er volgens de theorie een bepaald percentage waarin u in water zou moeten besparen bij het gebruik van deze waterbesparende technieken die u gebruikt? Wordt er bijvoorbeeld gezegd door het gebruik van deze techniek bespaart u 20% water?**

bij een gps gestuurde kanon sproeier (raindancer) is dit het geval door de overlap weg te halen. Bij weer en bodemvochtstations is het maar net hoe je de data interpreteert.

- **Gebruikt u naast uw landbouwactiviteiten andere extra functies die water vereisen sinds de toepassing van de waterbesparende maatregelen? Bijvoorbeeld het vullen van een zwembad, meer van uw machines wassen dan voorgeen?**

Ja op ons bedrijf hebben we een groot regenwater bassin die alle regenwater van de daken opvangt en dit water wordt gebruikt voor de bespuitingen van onze gewassen. Ook voor het wassen van onze aardappelen bij aflevering gebruiken we een gesloten watersysteem met een waterzuiveringsinstallatie. Er wordt dus geen water verbruikt maar het zelfde water wordt altijd hergebruikt.

- **Kent u collega's of mensen van een andere landbouwsector die ook bezig zijn met zulke waterbesparende maatregelen.**

In de fruitteelt sector worden ook veel proeven gedaan met beregening. (pcfruit)

Bijlage 2: Interview proefcentrum Hoogstraten – communicatie op: 29/10/2020

- **Hadden jullie gewenst om anoniem te blijven?**

nee

- **Heeft het proefcentrum in het verleden, voor er met waterbesparende maatregelen gewerkt werd, moeilijkheden gekend door water tekort?**

Nee, maar we gebruikten de jongste twee jaar in de zomer wel putwater door regenwater tekort

- **Welke technieken worden gebruikt om water te besparen?**

1. Alle drainwater wordt opgevangen, ontsmet en herbruikt als voedingswater. Dit geldt voor alle teelten op substraat, ook de opkweek van plantmateriaal op het trayveld
2. We druppelen in aardbei op basis van drain% en straling, zo druppelen we nooit meer dan nodig. Dit valt automatisch in te stellen op eender welke klimaatscomputer (bij ons Priva)
3. Biofilter en fytobak om spoelwater van spuitmachines op te vangen en terug bruikbaar te maken voor irrigatie

- **Hebben jullie een idee over de hoeveelheid water die met deze technieken in de praktijk wordt gespaard? Hebben jullie hier misschien cijfers over?**

Exacte cijfers duurt te lang om op te zoeken. Ruwweg berekend: 1ha productieteelten onder glas van aardbei heeft geschat 700 l/m² nodig, gemiddeld 30% is hergebruikte drain, dus 2100 m³/ha door hergebruik drain per jaar. Voor het trayveld is dat ongeveer een 8000 m³/ha per jaar de laatste 2 jaar (dit weet ik wel vrij precies aangezien hier een project genaamd RECUPA rond loopt)

- **Kennen jullie nog andere waterbesparende technieken die jullie niet testen of gebruiken?**

We zouden individueel aan te sturen druppelaars moeten hebben die gekoppeld zijn met sensoren per teeltbak, zodat de juiste hoeveelheid water gegeven kan worden per druppelaar.

- **Daalt de kostprijs van het watergebruik door de waterbesparende technieken? Hebben jullie hier eventueel cijfers van?**

Nee, daar heb ik geen cijfers van

- **Gebruiken jullie enkel het noodzakelijke water voor de gewassen? Wordt er op een even zuinige manier omgegaan met water als toen jullie eventueel met waterschaarste geconfronteerd werden?**

We zijn een praktijkcentrum. We streven steeds naar de meest duurzame aanpak. Dit doen we los of er nu water teveel of tekort is. Wat we nog zouden moeten doen in periodes dat we water teveel hebben, is water infiltreren om de grondwatertafel aan te vullen. Maar dit is momenteel giswerk, aangezien er geen goede 3-4 maand neerslag voorspellingen beschikbaar zijn.

- **Is er volgens de theorie een bepaald percentage waarin jullie in water zouden moeten besparen bij het gebruik van deze waterbesparende technieken die getest worden? Wordt er bijvoorbeeld gezegd door het gebruik van deze techniek bespaart u 20% water?**

Dat wordt gezegd, maar in aardbei is elk teeltsysteem anders en zal ook dat percentage verschillen. Dit gaan we uiteraard na.

- **Gebruiken jullie naast de landbouwactiviteiten andere extra functies die water vereisen sinds de toepassing van de waterbesparende maatregelen? Een verregaand voorbeeld is bijvoorbeeld het vullen van een zwembad, nieuwe machines die gewassen moeten worden.**

Ja, wij gebruiken water voor onze serres en burelen proper te houden en voor spuitmachines te spoelen. Ook de mensen die bij ons werken mogen water van het centrum drinken. Maar meeste van water is natuurlijk voor irrigatie en koeling van de teelten.

- **Kennen jullie collega's of landbouwers van een andere landbouwsector of dezelfde sector die ook bezig zijn met zulke waterbesparende maatregelen?**

Ja, ongeveer elke aardbeienteler op substraat is hiermee bezig. Het drainwatergebruik in productieteelten is reeds ingeburgerd. De trayvelden worden nu massaal omgebouwd om in orde te zijn met MAP6 tegen 1 januari 2021.