

## Huishoudelijk regenwaterhergebruik



## Huishoudelijk regenwaterhergebruik

## Huishoudelijk regenwaterhergebruik

### Trefwoorden

Regenwaterhergebruik, Rainwater Harvesting, RWH, strategische voorraden, schaalniveau

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	0.1
<b>Datum</b>	26-07-2023
<b>Projectnummer</b>	11208014-029
<b>Document ID</b>	11208014-029-BGS-0001
<b>Pagina's</b>	58
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

<b>Daan Rooze</b>		
<b>Laura Nougues</b>		
<b>Frans van de Ven</b>		

# Samenvatting

In het licht van grotere grondwatertekorten zijn drinkwaterbedrijven bang in de toekomst niet voldoende water meer te kunnen leveren. Met klimaatverandering is de verwachting dat de zomers in de toekomst nog droger zullen worden (KNMI) terwijl de vraag naar drinkwater toeneemt (van der Aa et al., 2015). De sector en de overheid waarschuwen dat niet alle functies altijd en overal kunnen rekenen op voldoende drinkwater. Daarnaast schrijft de beleidsbrief “Water en Bodem sturend” van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (Harbers et al., 2022) een reductie van 20% van het gebruik per hoofd van de bevolking in 2035 voor. Het opvangen en hergebruiken van afstromend regenwater wordt vaak genoemd als een mogelijke manier om het drinkwaterverbruik van burgers en bedrijven te verminderen.

Het Nederlandse klimaat kent op jaarbasis een neerslagoverschot, maar tijdens de zomer is er sprake van een neerslagtekort. Het gegeven dat er gedurende een normaal klimatologisch jaar zowel een neerslagoverschot als neerslagtekort voorkomt, is een sterk argument om in tijden van overvloed afstromend regenwater vast te houden voor periodes van droogte.

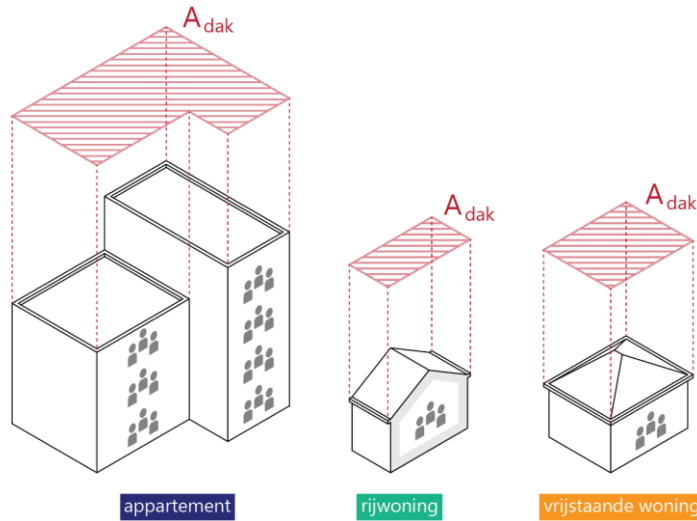
In deze studie is onderzocht **of en in welke vorm het oogsten van regenwater substantieel kan bijdragen aan waterbeschikbaarheid in droge perioden**. Hierbij is het leveringsgebied van Vitens gebruikt als casus, maar wordt ook de verbinding gelegd met het schaalniveau van individuele gebouwen. Daartoe worden drie representatieve woningtypologieën uitgewerkt: een appartementencomplex, rijwoning en vrijstaande woning.

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden zijn er scenario's gedefinieerd aan de hand van diverse thema's, waaronder meteorologie, watervraag, wateropslag en besparingsambities. Deze scenario's zijn aan de hand van een statistisch model doorgerkend om de dynamiek van het waterniveau in de regentank te analyseren. Hierbij wordt de benodigde tankgrootte voor drie representatieve woningtypologieën uitgedrukt als functie van de beoogde besparing, uitgaande van een gestelde norm (zie Figuur S.1).

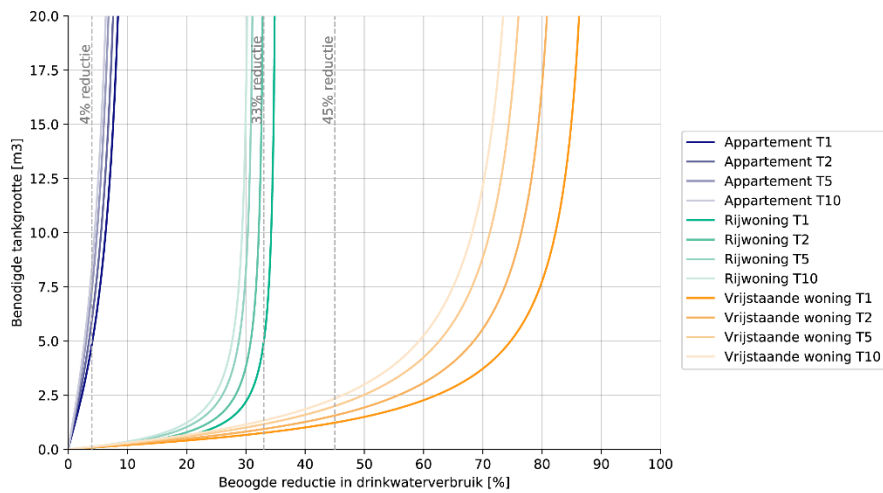
Zoals Figuur S.2 laat zien zijn er zeer grote verschillen tussen de besparingsmogelijkheden tussen verschillende woningtypen. Waar een vrijstaande woning voldoende heeft aan een tank van 5 m<sup>3</sup> om tot 75% op de jaarlijkse drinkwatervraag (82 m<sup>3</sup>/jaar per huishouden) te besparen (eens per jaar meer dan 7 opeenvolgende dagen zonder water in de tank), lijkt voor een gemiddeld appartementencomplex de maximale besparing rond de 8% (9 m<sup>3</sup>/jaar per huishouden) te liggen vanwege het relatief kleine aangesloten dakoppervlak.

De besparingscurves voor het hele leveringsgebied van Vitens (Figuur S.3) laten zien dat er aanzienlijke besparingsmogelijkheden zijn voor de huishoudelijke drinkwatervraag. Daarmee komt het gestelde doel van een besparing van 20% uit de beleidsbrief “Water en Bodem sturend” binnen bereik. Voor een strenge norm (de kans dat eens per 10 jaar de regentank voor meer dan 7 opeenvolgende dagen leeg staat) is een totale opslag van 8 miljoen m<sup>3</sup> nodig voor het spoelen van toiletten en irrigeren van tuinen.

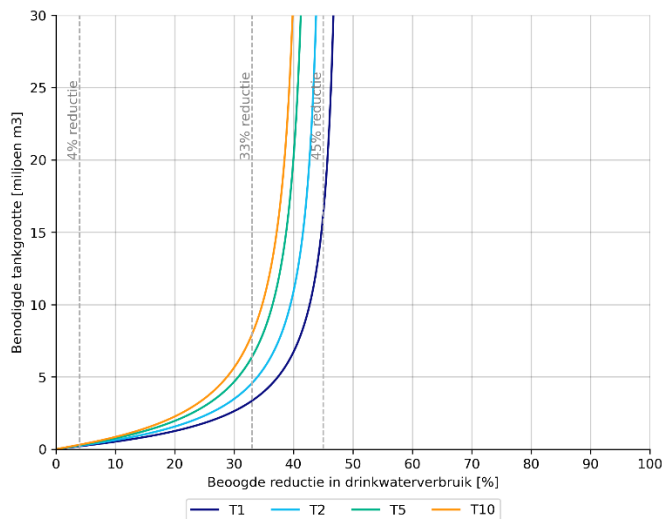
Dit onderzoek toont aan dat het oogsten van regenwater een substantiële bijdrage kan leveren aan de waterbeschikbaarheid tijdens droge perioden. Daarbij zijn twee factoren van belang: 1) de keuze van het juiste schaalniveau voor regenwateropslag (in hoog stedelijke gebieden zou gekeken kunnen worden naar mogelijkheden om andere verharde oppervlaktes aan te sluiten op de regentank) en 2) de strengheid van de gestelde norm (het geaccepteerde aantal opeenvolgende dagen dat de tank leeg staat en de statistische kans dat dit voorkomt).



Figuur S.1: Drie representatieve gebouwtypologieën die geanalyseerd zijn in deze studie.



Figuur S.2: Besparingscurves voor de drie representatieve gebouwtypologieën. De norm is maximaal 7 opeenvolgende dagen dat de tank leeg staat, weergegeven voor vier herhalingsstijden (eens per jaar, eens per 2 jaar, eens per 5 jaar en eens per 10 jaar).



Figuur S.3: Besparingscurves voor het gehele Vitens leveringsgebied. De norm is maximaal 7 opeenvolgende dagen dat de tank leeg staat, weergegeven voor vier herhalingsstijden (eens per jaar, eens per 2 jaar, eens per 5 jaar en eens per 10 jaar).

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>8</b>
1.1	Context	8
1.2	Scope	10
1.3	Onderzoeksvraag	11
1.4	Leeswijzer	11
1.5	Verklarende begrippenlijst	12
<b>2</b>	<b>Methodologie</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>Scenario's</b>	<b>14</b>
3.1	Meteorologie en hydrologie	14
3.1.1	Neerslag en verdamping	14
3.1.2	Representativiteit van datareeks	15
3.2	Wateraanbod	16
3.2.1	Grootte van de regentank	16
3.2.2	Toeleverend oppervlak	16
3.3	Watervraag	17
3.3.1	Totale waterleverantie door Vitens	17
3.3.2	Waterverbruik door huishoudens	18
3.3.3	Seizoendynamiek	19
3.3.4	Voorraadafhankelijke gebruiksdynamiek	20
3.4	Specifieke watervraag	20
3.4.1	Verdeling van bouwtypologieën in het Vitens gebied	21
3.4.2	Aggregatie tot Vitens-gebied	22
3.4.3	Representatieve bouwtypologieën	22
3.5	Ambitieniveau	23
3.5.1	Beoogde besparing	23
3.5.2	Aantal opeenvolgende dagen met een lege tank	24
3.6	Overzicht van scenario's	24
<b>4</b>	<b>Modellering</b>	<b>25</b>
4.1	Modelbeschrijving	25
4.2	Modelresultaten	27
4.2.1	Tankdynamiek	27
4.2.2	Systeemcurves	30
4.2.3	Besparingscurves per bouwtypologie	32
4.2.4	Resultaten voor gehele leveringsgebied van Vitens	33
<b>5</b>	<b>Discussie</b>	<b>34</b>
5.1	Scenario's en onzekerheden	34

5.1.1	Vorraadafhankelijke gebruiksdynamiek	34
5.1.2	Aanleverend oppervlak	35
5.1.3	Tankdynamiek in de praktijk	35
5.2	Andere overwegingen	36
5.2.1	Piekgebruik in leidingnetwerk	36
5.2.2	Waterkwaliteit	36
5.2.3	Ruimtelijke inpasbaarheid	36
5.2.4	Kosten-baten	37
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>38</b>
6.1	Conclusies	38
6.2	Aanbevelingen	39
<b>7</b>	<b>Literatuurlijst</b>	<b>40</b>
<b>A</b>	<b>Bestaande modellen</b>	<b>42</b>
<b>B</b>	<b>Berekening seizoendynamiek</b>	<b>44</b>
<b>C</b>	<b>Modeluitvoer</b>	<b>45</b>
<b>D</b>	<b>Fitten van data</b>	<b>56</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Context

In het licht van grotere grondwatertekorten zijn drinkwaterbedrijven bang in de toekomst niet voldoende water meer te kunnen leveren. In 2022 had Vitens hier nadrukkelijk last van (NOS, 2022). Met klimaatverandering is de verwachting dat de zomers in de toekomst nog droger zullen worden (KNMI, z.d. a) terwijl de vraag naar drinkwater toeneemt (van der Aa et al., 2015). “Niet alle functies kunnen altijd en overal op voldoende drinkwater rekenen” waarschuwen sector en overheid (Harbers et al., 2022). De sector verkent daarom oplossingen zoals de inzet van 'strategische grondwatervoorraden' voor de productie van drinkwater, vermindering van het gebruik, meer water oppompen bij bestaande drinkwaterwinningen, of meer leveringen van gebieden met overschotten naar gebieden met tekorten.

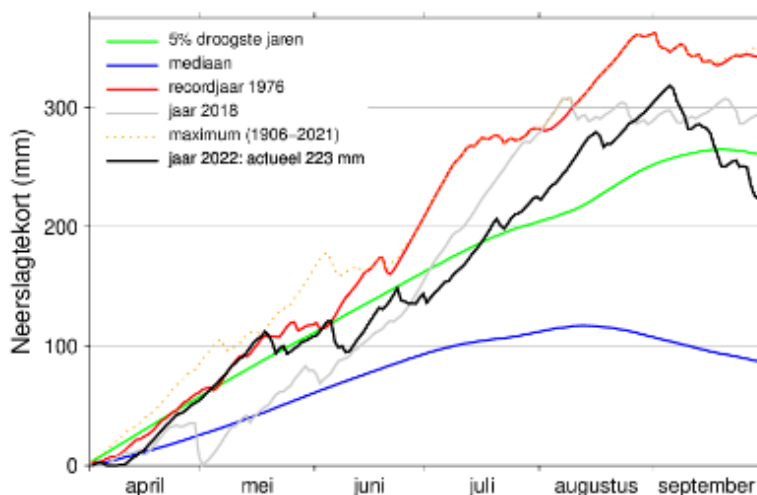
Vermindering van het drinkwatergebruik – dus van de te onttrekken hoeveelheid grondwater – is om diverse redenen een strategisch interessante keuze. De verdroging van natuur en landbouw in de invloedzones van de onttrekkingen wordt erdoor beperkt, de natuurlijke grondwatersystemen worden minder verstoord en bedreigende verontreinigingen blijven langer en beter op afstand. Bovendien hoeven de installaties voor onttrekking, zuivering en levering (vrijwel) niet in capaciteit te worden uitgebreid en hoeven geen of minder nieuwe onttrekkingslocaties te worden ontwikkeld. De vraag is dan ook hoe tot een substantiële vermindering van de te leveren hoeveelheid drinkwater gekomen kan worden.

In de beleidsbrief “Water en Bodem sturend” van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (Harbers et al., 2022) wordt aangekondigd dat de rijksoverheid samen met de partners zoals VEWIN gaan werken aan een nationaal plan van aanpak voor drinkwaterbesparing, op basis van de verkenning naar maatregelen en instrumenten voor bewust en zuinig drinkwaterverbruik. Zij stellen daarbij als doel een reductie van 20% van het gebruik per hoofd van de bevolking in 2035 - van 125 naar 100 liter/dag -, ook voor grootverbruikers en het beperken van het laagwaardig gebruik.

Afstromend regenwater opvangen en gebruiken wordt regelmatig genoemd als mogelijkheid om het drinkwaterverbruik van burgers en bedrijven in te perken. In het verleden beschikten veel woningen in Nederland over een regenput. Nu mag het hier geen gemeengoed meer zijn, bij onze Vlaamse zuiderburen is het sinds 2014 een verplichting (Vlaanderen, z.d. a). Zo moet bij nieuwbouw of herbouw van een eengezinswoning met een oppervlakte groter dan 40 m<sup>2</sup> een regenwaterput van ten minste 5.000 liter worden aangelegd. Voor andere gebouwen geldt een norm van 50 liter per vierkante meter dakoppervlakte, tot een maximum van 10.000 liter. Dit water kan worden gebruikt voor het doorspoelen van toiletten, het sproeien van de tuin, de wasmachine en schoonmaakwerkzaamheden. Het hoofdelijk waterverbruik in Vlaanderen ligt op 85 liter per dag, dus ruim 30% onder dat in Nederland, maar daarbij moet worden aangetekend dat in Vlaanderen de waterzuiveringsheffing is opgenomen in de prijs van het drinkwater.

Het Nederlandse klimaat wordt gekenmerkt door een neerslagoverschot op jaarbasis (KNMI, 2023a). Echter, gedurende de zomer is er sprake van een neerslagtekort (KNMI, 2023b). Het gegeven dat er gedurende een *normaal* klimatologisch jaar zowel een neerslagoverschot als neerslagtekort voorkomt, is een sterk argument om in tijden van overvloed afstromend regenwater vast te houden voor periodes van droogte. Figuur 1 geeft een indicatie van het neerslagtekort in 2022.





Figuur 1: Neerslagtekort in Nederland in 2022 (Bron: IenW, 2023).

Het oogsten van regenwater (RWH: rainwater harvesting, ook wel rainwater resource utilization genoemd) is al duizenden jaren en over de hele wereld een methode van klimaatadaptatie (Pandey et al., 2003). In lijn met een van de doelen van de Europese Kaderrichtlijn Water, te weten “het bevorderen van het duurzaam gebruik van water, op basis van de beschikbare waterbronnen op lange termijn” hadden 1,8 miljoen Duitse huishoudens al in 2009 een tank, waardoor dat jaar 110 miljoen m<sup>3</sup> drinkwater werd bespaard (Ziegler, z.d.). Frankrijk introduceerde al in 2008 richtlijnen voor het oogsten van regenwater en wereldwijd ondersteunen bijvoorbeeld de Wereldbank, de Asian Development Bank, de African Development Bank en andere financiers veel RWH projecten. In de rijkere ontwikkelde landen als Australië en de Verenigde Staten wint RWH aan populariteit, zeker in gebieden waar het water schaars is, ondanks de hogere kosten per m<sup>3</sup> in vergelijking met drinkwater uit de kraan. Die kosten zijn weer beperkt in vergelijking met de kosten van ontzilt water of het recyclen van afvalwater, zeker wanneer gecentraliseerde, ‘community-based’ regentanks worden gebruikt (Summerville et al., 2019) en het water alleen voor laagwaardige toepassingen wordt gebruikt waardoor de eisen met betrekking tot de waterkwaliteit lager kunnen zijn.

RWH heeft niet alleen een positief effect op de te onttrekken hoeveelheid water voor de drinkwatervoorziening (Santos et al., 2017 & Campisano et al., 2017). Naast een reductie van de negatieve effecten van droogte en hitte kan RWH ook de kans op wateroverlast beperken en bijdragen aan voedselproductie. Ook de sociale effecten, de betrokkenheid van bewoners, de ‘environmental kudos’ die worden ontvangen door de gebruikers zijn positieve prikkels. Geogst regenwater wordt daarom tegenwoordig gezien als een acceptabele bron van niet-drinkbaar water (Egyir et al., 2016).

Toch is er ook scepsis, met name bij de drinkwatersector, zowel in Nederland (Hofman-Caris et al., 2018; KWR, z.d.) als daarbuiten (Santos et al., 2017). De kosten en de risico's voor de volksgezondheid worden vaak aangehaald – hoewel voor dat laatste toch weinig concreet bewijs in de literatuur is te vinden. Regenwater oogsten vergt wel nieuwe kennis en ervaring bij burgers en bedrijven, zowel rond de aanleg van voorzieningen als rond het beheer ervan. De staande praktijk bij onze zuiderburen is geen gemeengoed in Nederland. De ervaringen met de huishoudwatervoorziening-pilot in Leidsche Rijn tonen aan hoe belangrijk een correcte uitvoering is (Raad voor de Transportveiligheid, 2003).

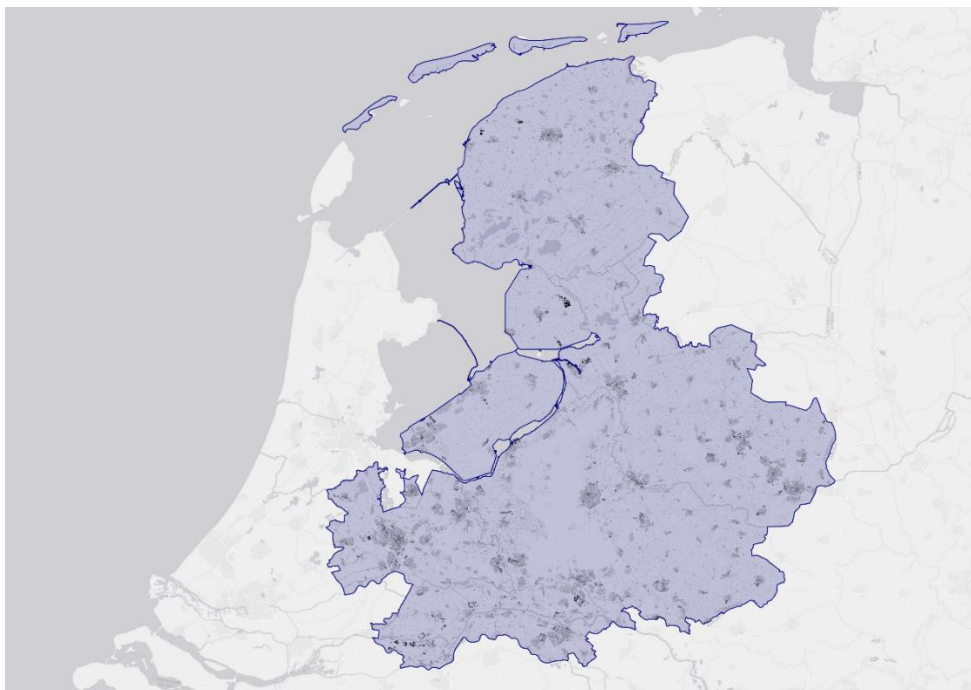
Desalniettemin is het interessant om te onderzoeken in hoeverre de drinkwaterbronnen kunnen worden ontlast en het reductiedoel van 20% kan worden gerealiseerd door het introduceren van RWH op grote schaal. Wat kan de invloed zijn van RWH op de totale watervraag en de waterbalans? De ruimtelijke schaal is dan een belangrijk aspect. Het vraagstuk kan worden beschouwd vanuit het perspectief van strategische drinkwatervoorraden op nationaal niveau tot de schaal van regenwateropvang op particulier terrein.

De voorliggende studie gebruikt een conceptuele methodiek om te onderzoeken of het alternatief RWH een substantiële bijdrage kan leveren aan de benodigde ontlasting van de drinkwaterbronnen. Die uitwerking is beperkt tot een kwantitatieve analyse van de mogelijke effecten. Andere effecten – ruimtelijk, sociaal, gezondheid, biodiversiteit, wateroverlast, financieel etc. – worden alleen in de discussie kort aangestipt. Dit geldt ook voor beleidsmatige aspecten en regelgeving rond de watervoorziening en de stedelijke waterhuishouding. Het onderzoek van Witteveen+Bos (Phernambucq et al, 2023), uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, biedt een uitgebreidere reflectie op de bijkomende aspecten rondom het hergebruik van regenwater, waaronder aanleg- en onderhoudskosten, waterkwaliteit en regelgeving. Daarmee is dat rapport een goede kwalitatieve aanvulling op de kwantitatieve analyse in de voorliggende studie.

## 1.2 Scope

### Onderzoeksgebied

Het leveringsgebied van Vitens dient als casus voor de interactie tussen het grote, strategische schaalniveau en het objectniveau. De analyse begint met een onderzoek naar de mogelijkheden van RWH op het kleinste schaalniveau, het gebouw (met daarin een of meerdere verblijfsobjecten); om van daaruit op te schalen naar het leveringsgebied. Figuur 2 laat het Vitens leveringsgebied zien. De totale oppervlakte van het leveringsgebied is 1.514.179 hectare en beslaat de provincies Friesland, Flevoland, Overijssel, Gelderland, een groot gedeelte van Utrecht en een klein gedeelte van Drenthe. In 2020, leverde Vitens 283 miljoen kubieke meter water aan 5.807.000 inwoners (VEWIN, 2022).



Figuur 2: Het Vitens-leveringsgebied en de individuele gebouwen als onderzoeksgebied.

### Relatie met andere modellen en software

Er zijn op dit moment al tools beschikbaar die zich richten op RWH. Twee van zulke tools die ontwikkeld zijn voor vergelijkbare omstandigheden als in (hoog) Nederland zijn twee Belgische tools: Groenblauwpeil (Vlaanderen, z.d. b) en Sirio (Sumaqua, z.d.).

Groenblauwpeil is een officiële website van de Vlaamse overheid waar een simpele tool beschikbaar is gemaakt om de optimale regenwatertank voor een huishouden te berekenen. De tool houdt rekening met de aangesloten verhardingen en de toepassingen voor hergebruik, maar geeft ook suggesties ter optimalisatie.

Sirio is een uitgebreider tool om rioleringsontwerpen kwantitatief te evalueren. De tool is opgebouwd uit bakjesmodellen, waar elk reservoir zijn eigen set aan parameters heeft. Sirio heeft een module om berekeningen uit te voeren voor regenwatertanks en het hergebruik van regenwater. Verdere uitleg over de modellen en de benodigde invoerparameters zijn te vinden in Bijlage A.

Waar Groenblauwpeil en Sirio zich alleen richten op een lokale schaal, wordt er bij deze studie ook gekeken naar de watervraag van een groter gebied, namelijk het Vitens gebied, zoals hierboven toegelicht. Hierbij zal de focus niet op commercieel verkrijgbare regentanks liggen, zoals bij Groenblauwpeil, maar juist gelegd worden op de te behalen potentie van RWH. Daarnaast is de insteek van deze studie om een eenvoudig methodologie te ontwerpen om de potentie van RWH in kaart te brengen, met een tool die toegankelijker is dan de Sirio tool, die niet gratis beschikbaar is.

## 1.3 Onderzoeksvraag

De hoofddoelstelling is om te onderzoeken **of en in welke vorm het oogsten van regenwater substantieel kan bijdragen aan waterbeschikbaarheid in droge perioden**. Dit op de schaal van een leveringsgebied.

## 1.4 Leeswijzer

Dit rapport bestaat uit zes hoofdstukken: inleiding, methode, scenario's, modellering, discussie en conclusies. Hoofdstuk 2 geeft een korte toelichting op de gebruikte methode. In Hoofdstuk 3 worden de diverse scenario's van RWH uiteengezet en een selectie gemaakt van scenario's die doorgerekend worden. In Hoofdstuk 4 staat beschreven hoe het model voor RWH is geschematiseerd en wat de belangrijkste resultaten zijn ten aanzien van tankdynamieken, aantal droge dagen, etc. De geproduceerde resultaten worden onderling vergeleken in Hoofdstuk 5, waarin ook andere aspecten ten aanzien van RWH aangestipt worden. In Hoofdstuk 6 worden de belangrijkste conclusies van dit rapport gepresenteerd.

## 1.5 Verklarende begrippenlijst

Begrip	Betekenis
<b>Besparingscurve</b>	Een curve die de relatie aangeeft tussen de beoogde waterbesparing en benodigde tankgrootte voor een specifieke gebouwtypologie.
<b>Droogte-event</b>	Het leegstaan van de regentank, waardoor er leidingwater gebruikt moet worden.
<b>First flush</b>	De eerste dakafvoer na een lange droge periode.
<b>NIRG</b>	“Het verschil tussen de hoeveel drinkwater die de drinkwaterbedrijven in een jaar in het leidingnet hebben gepompt en de hoeveelheid daarvan die aan de klanten is gefactureerd” (VEWIN, 2022) ofwel het niet in rekening gebracht gebruik.
<b>RWH</b>	Rain Water Harvesting, ofwel hergebruik van regenwater.
<b>Specifieke watervraag</b>	Het drinkwaterverbruik van een huishouden omschreven naar het oppervlak van het dak van de woning. Daarmee wordt de watervraag uitgedrukt in eenheid van hoogte [mm].
<b>Systeemcurve</b>	Een curve die voor de gegeven hydrologische afstroming de relatie aangeeft tussen de specifieke drinkwatervraag en de minimale benodigde tankgrootte.

## 2 Methodologie

Ter beantwoording van de onderzoeksvraag is een modelstudie opgezet waarin de conceptuele aard van het vraagstuk gevat kan worden. Daarbij is een brede blik cruciaal en ligt de focus niet op commercieel verkrijgbare systemen. Het onderzoek is opgebouwd uit drie hoofdonderdelen: 1) definiëren van scenario's, 2) modellering en 3) analyse van de modeluitvoer.

### 1. Definiëren van scenario's

Bij het opstellen van een diverse set scenario's spelen er veel variabelen. Welk klimaat wordt doorgerekend? Gaat het om een gemiddeld klimatologisch jaar, of juist een droog jaar? Welke ambities zijn er ten aanzien van gebruik van regenwater? De breedte van mogelijke scenario's wordt gevat in de volgende variabelen:

- Meteorologie: neerslag en verdamping.
- Aangesloten dakoppervlak: elk gebouw heeft een bepaald dakoppervlak dat aangesloten kan worden op de regentank.
- Grootte van de regentank.
- Aantal opeenvolgende dagen dat de tank leegstaat.
- Herhalingstijd: de kans in jaren dat de tank een aantal opeenvolgende dagen leeg is.
- Waterverbruik: verbruik van huishoudens, uitgesplitst naar het doel.
- Seizoendynamiek: het verbruik is niet constant gedurende het jaar.
- Voorraadafhankelijke gebruiksdynamiek: Bewust verminderd waterverbruik bij een leeglopende tank door geïnformeerde gebruikers.
- Beoogde besparing: Ambitie van vermindering vraag naar drinkwater dat via het leidingnet geleverd moet worden.

### 2. Modellering van scenario's

Aan de hand van een hydrologisch model wordt voor de diverse scenario's doorgerekend hoe het waterniveau in de tank dynamisch verloopt. Op de modelresultaten wordt een statistische analyse toegepast om te bepalen wat de kans is dat er voor een bepaalde periode een watertekort ontstaat. Deze aanpak (statistiek op de uitvoer van het model) verschilt van modellen die gericht zijn op statistiek van de invoer. Een droogteperiode met een herhalingstijd van 10 jaar staat namelijk niet per se gelijk aan een leegstaande tank met een herhalingstijd van 10 jaar.

### 3. Analyse van modeluitvoer

In de discussie worden de diverse scenario's met elkaar vergeleken en worden andere overwegingen ten aanzien van regenwatergebruik kort aangestipt. Er volgen concrete aanbevelingen voor vervolgonderzoek en regelgeving ten aanzien van regenwatergebruik op zowel gebouwniveau als gehele leveringsgebieden.

## 3 Scenario's

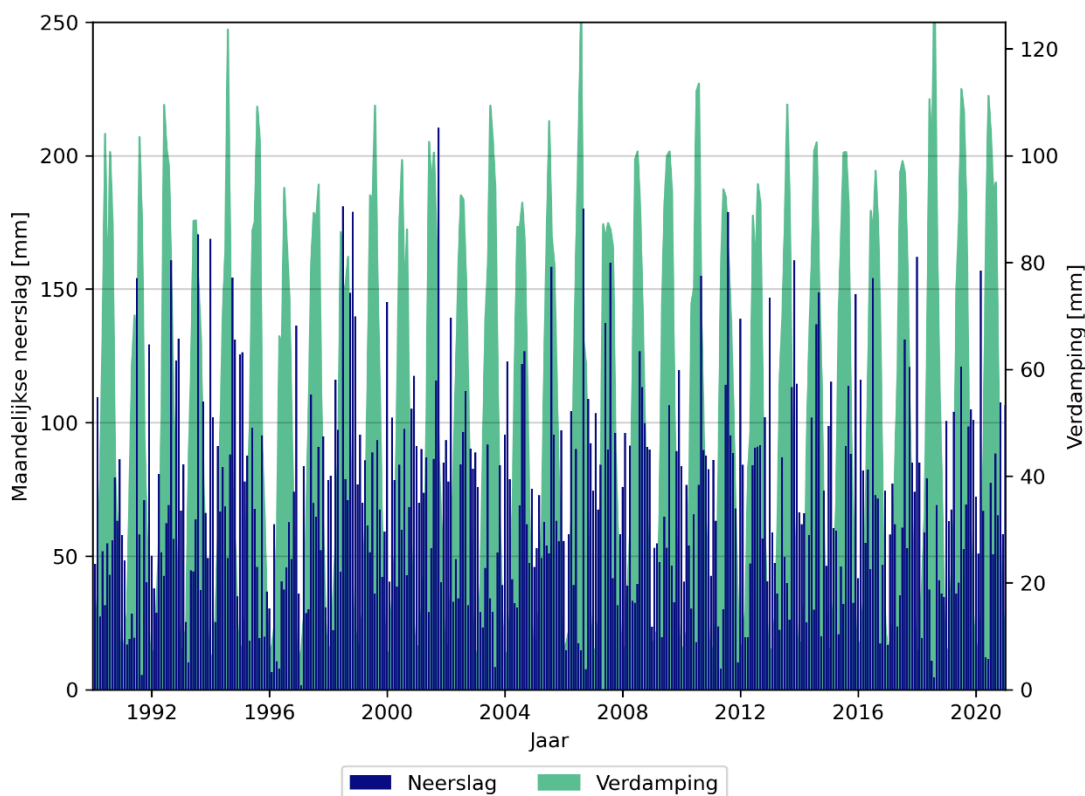
Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag moeten er duidelijke scenario's worden gedefinieerd voordat tot modellering wordt overgegaan. In dit hoofdstuk wordt voor diverse thema's (meteorologie en hydrologie, watervraag, wateropslag en ambitieniveau) uitgelegd hoe deze in dit onderzoek zijn vormgegeven. In sectie 3.6 volgt een samenvatting van de verschillende scenario's.

### 3.1 Meteorologie en hydrologie

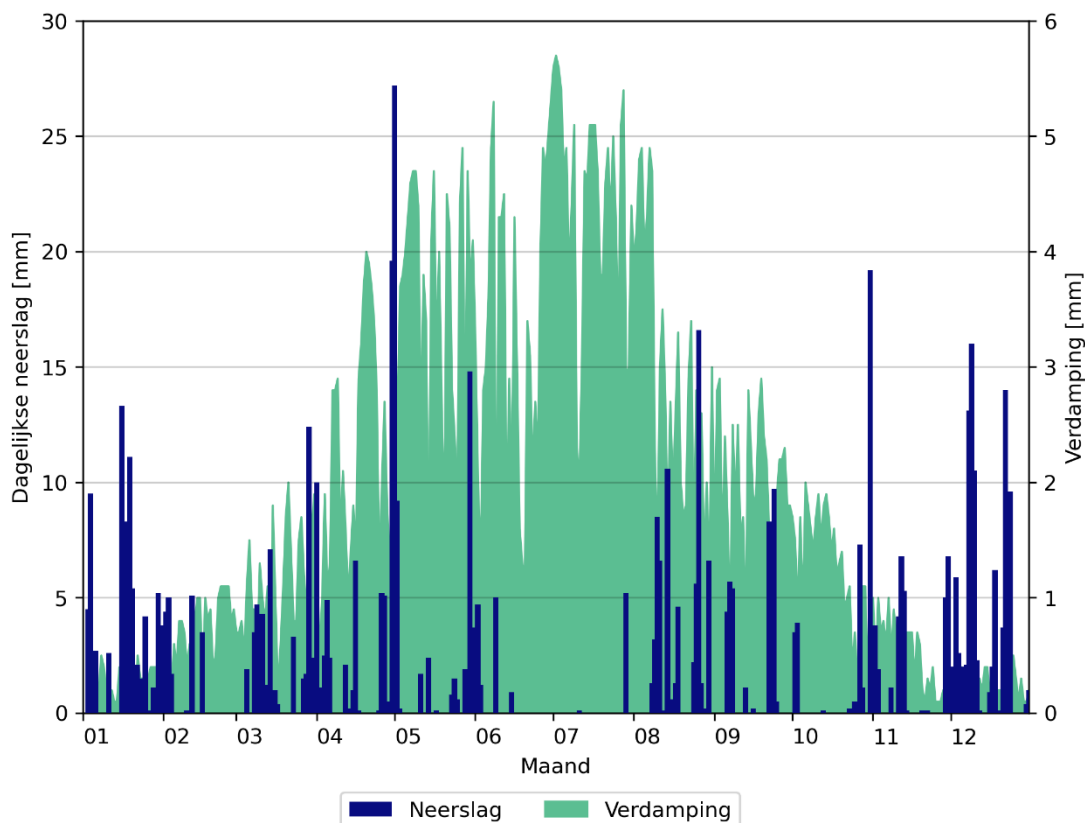
#### 3.1.1 Neerslag en verdamping

De gebruikte neerslag- en verdampingswaarden voor de modelberekeningen zijn opgevraagd bij het KNMI (KNMI, 2023c). Voor een betrouwbare statistische analyse zijn lange meetreeksen van zowel neerslag als verdamping nodig. Er wordt gerekend met een tijdserie van 32 jaar aan neerslag en verdamping. Voor dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van de meetreeksen van KNMI station De Bilt.

In Figuur 3 wordt de neerslag en verdamping weergegeven van het meetstation De Bilt voor de periode van 1 januari 1990 t/m 31 december 2021. Hierin zijn duidelijk de droge en natte periodes zichtbaar. Figuur 4 laat een uitsnede zien van het jaar 2018, wat een extreem droog jaar was. Daarin is de tendens van neerslagoverschot in de winter en neerslagtekort in de zomer goed zichtbaar.



Figuur 3: Gebruikte neerslag- en verdampingsreeksen van 1990 t/m 2021.

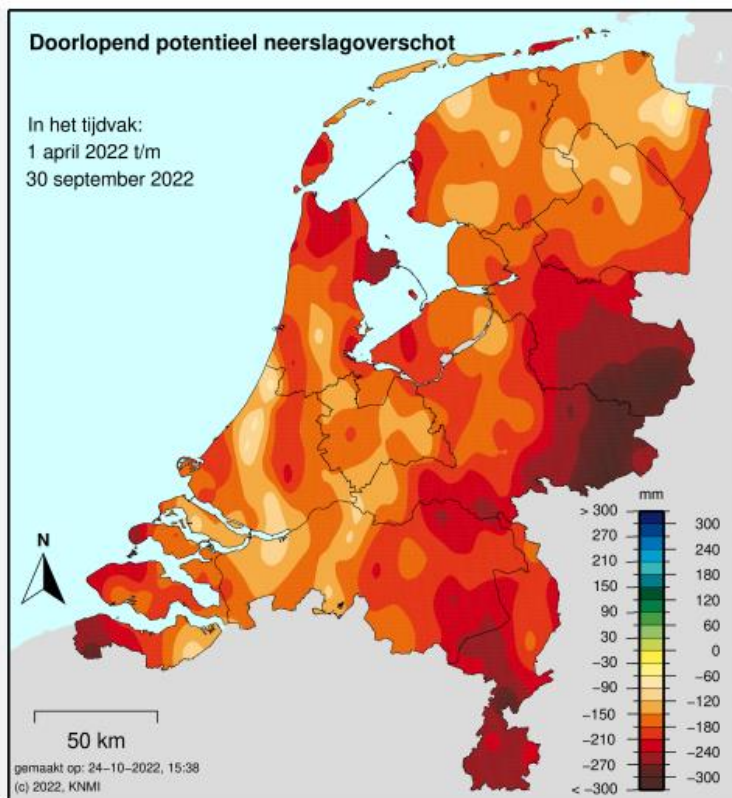


Figuur 4: Uitsnede van de gebruikte neerslag- en verdampingsreeks voor het (droge) jaar 2018.

### 3.1.2 Representativiteit van datareeks

Neerslag en verdamping is niet uniform over Nederland. In Figuur 5 wordt als voorbeeld het doorlopende neerslagoverschot weergegeven in de periode 1 april 2022 t/m 30 september 2022. Het is duidelijk zichtbaar dat binnen Nederland, maar ook het Vitens leveringsgebied, grote ruimtelijke verschillen zijn.

In dit verkennend onderzoek is een aanname dat het meetstation De Bilt representatief is voor het gehele Vitens leveringsgebied. Een belangrijke reden voor deze aanname is de beschikbaarheid van een lange reeks (gehomogeniseerde) neerslag en verdamping. Deze aanname maakt de resultaten van deze studie niet zonder kanttekening bruikbaar in gebieden die natter of droger zijn dan de Bilt. Regentanks in Twente en de Achterhoek zullen in het getoonde tijdvak van Figuur 3 minder worden aangevuld dan regentanks in bijvoorbeeld Noord-Groningen. Ook is nog geen rekening gehouden met de effecten van klimaatverandering op het weer, terwijl toch de verwachting is dat de zomers droger zullen worden. De mate waarin dit zal gebeuren is echter nog onzeker.



Figuur 5: Ruimtelijke variabiliteit in neerslagtekort voor het jaar 2022 (bron: KNMI, z.d. b).

## 3.2 Wateraanbod

Afgezien van de neerslag en verdamping is het potentiële regenwateraanbod dat gebruikt kan worden afhankelijk van twee factoren:

1. De grootte van de regentank;
2. De grootte en hydrologie van het toeleverend dakoppervlak.

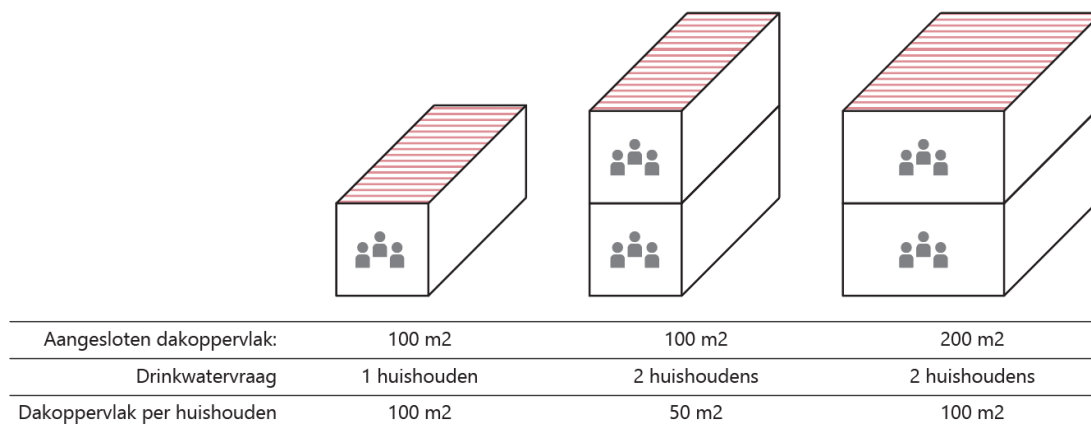
### 3.2.1 Grootte van de regentank

De onderzoeksvraag van dit rapport is van strategische aard: het doel is om te achterhalen of en in welke vorm het oogsten van regenwater substantieel kan bijdragen aan de waterbeschikbaarheid in droge perioden. De grootte van de tank wordt daarom niet beperkt tot commercieel verkrijgbare modellen, maar wordt doorgerekend als een continue reeks aan groottes.

### 3.2.2 Toeleverend oppervlak

Aangenomen is dat alleen regenwater dat afstroomt van het dak kan worden geoogst. Het toeleverend dakoppervlak is dus bepalend voor de hoeveelheid regenwater dat in potentie kan worden opgeslagen. De relatie tussen de potentiële wateropslagcapaciteit en watervraag van het gebouw bepaalt vervolgens de mogelijkheid om droge periodes te overbruggen. Deze relatie is voor elk gebouw uniek: elk gebouw heeft namelijk een ander beschikbaar dakoppervlak en verbruik. Hetzelfde aantal huishoudens in een ruimer gebouw geeft meer mogelijkheden tot overbrugging van periodes zonder neerslag dan wanneer deze huishoudens in een kleiner gebouw zouden wonen. Het kan ook voorkomen dat het toeleverend dakoppervlak niet voldoende is om aan de watervraag in het gebouw te voorzien. Figuur 6 geeft weer hoe de relatie tussen vraag en aanbod verandert naarmate het dakoppervlak of de watervraag kleiner of groter worden.





Figuur 6: Illustratie van de verhouding tussen de watervraagvraag en het toeleverend oppervlak van een gebouw.

In deze studie zijn er twee aannames gemaakt ten aanzien van het toeleverend oppervlak. Ten eerste is aangenomen dat 100% van het dak aangesloten is op het RWH-systeem. Daarnaast is er in deze studie geen onderscheid gemaakt tussen verschillende daktypen, omdat deze gegevens niet beschikbaar zijn voor de gebouwen in het Vitens gebied. Er wordt uitgegaan van hellende daken.

### 3.3 Watervraag

Voor het in kaart brengen van de watervraag is de koppeling van het totale Vitens leveringsgebied (grote schaal) met de watervraag van individuele gebouwen (kleine schaal) van groot belang.

Eerst wordt een overzicht gegeven van de totale drinkwaterleverantie aan huishoudens in het Vitens leveringsgebied. Daarna wordt de drinkwatervraag uitgesplitst naar huishoudens en gebruik. Vervolgens wordt een uitspraak gedaan over de seizoendynamiek van het waterverbruik. Tenslotte wordt het gedrag van de gebruikers meegenomen door het definiëren van een voorraadafhankelijke gebruiksdynamiek.

#### 3.3.1 Totale waterleverantie door Vitens

Het totaal geproduceerde drinkwater wordt geleverd aan huishoudens en aan de zakelijke markt. In deze studie wordt echter alleen gekeken naar het drinkwater dat wordt geleverd aan en gebruikt door huishoudens, dus niet naar het industriële waterverbruik op de zakelijke markt. Het industriële waterverbruik valt buiten de scope van deze studie. In Tabel 1 wordt het totale volume aan gedistribueerd drinkwater voor verschillende gebieden weergegeven.

Het overgrote deel van het gewonnen water in het gebied is grondwater. Van de totale waterwinning in 2020 in het Vitens leveringsgebied is 381 miljoen m<sup>3</sup> grondwater en 13 miljoen m<sup>3</sup> oevergrondwater (VEWIN, 2022).

Tabel 1: Overzicht van jaarlijkse drinkwaterlevering in 2020 door verschillende drinkwaterbedrijven in miljoen m<sup>3</sup> (bron: VEWIN, 2022)

Drinkwaterbedrijf	Huishoudens	Zakelijke markt	Totaal
Brabant Water	116	71	187
Dunea	66	11	77
Evides Waterbedrijf	111	47	158
Oasen	37	12	49
PWN	89	20	109
Vitens	283	80	363
Waternet	48	21	69
Waterbedrijf Groningen	26	20	46
WMD Drinkwater	25	5	30
WML	55	17	72
Nederland	855	303	1.159

In het jaar 2020 leverde Vitens 283 miljoen m<sup>3</sup> drinkwater aan 2,6 miljoen huishoudens (VEWIN, 2022). Het gemiddelde drinkwaterverbruik per huishouden wordt daarmee:

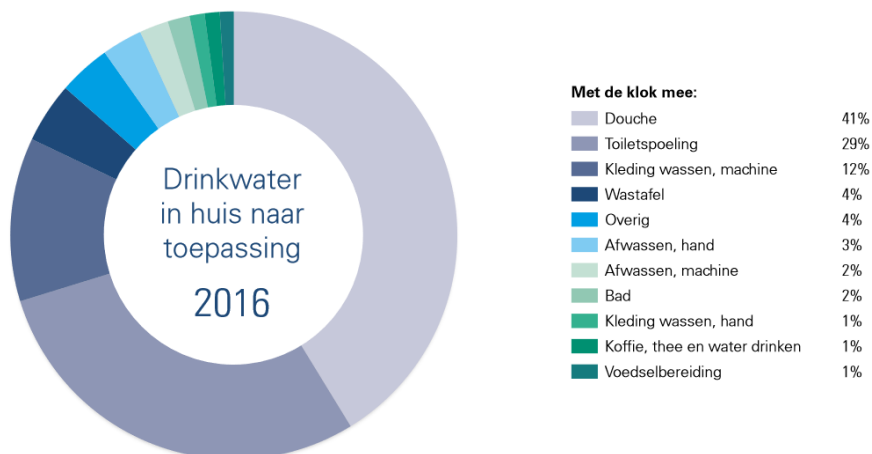
$$\frac{283 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar}}{2,6 \text{ miljoen huishoudens}} = 108,8 \text{ m}^3 \text{ per huishouden per jaar}$$

Belangrijk om hier bij op te merken is dat de resultaten van deze studie gebaseerd zijn op het geleverde drinkwater, en niet op de daadwerkelijk geproduceerde hoeveelheden. Hoewel het grootste deel van het totale geproduceerde drinkwater geleverd wordt aan huishoudens en industrieën, gaat er ook een deel verloren door bijvoorbeeld distributieverliezen, spoelverliezen en illegale onttrekkingen. Het niet in rekening gebracht gebruik (NIRG) is de afgelopen jaren licht gestegen en bedraagt in 2020 6% van de totale waterbehoefte (VEWIN, 2022). Aangezien het implementeren van RWH alleen invloed heeft op het huishoudelijk verbruik richt deze studie zicht enkel op (de mogelijkheden tot reductie van) het daadwerkelijk geleverde drinkwater.

### 3.3.2 Waterverbruik door huishoudens

Figuur 7 laat voor het huishoudelijke drinkwaterverbruik een uitsplitsing zien naar toepassing. Hieruit is zichtbaar dat het meeste water wordt gebruikt voor douchen. Toiletspoeling is ook een groot aandeel van het drinkwaterverbruik.

Het valt op dat de categorie 'overige', waaronder het irrigeren van de tuin, slechts 4% uitmaakt van het jaarlijkse drinkwaterverbruik. Een kanttekening hierbij is dat niet elke woning een tuin heeft, maar ook dat het irrigeren van een tuin voornamelijk plaatsvindt in de droogste maanden van het jaar. Tijdens die zomerperiode is dit onderdeel meer dan 4% van het jaarlijkse drinkwaterverbruik.



Figuur 7: Drinkwaterverbruik uitgesplitst naar toepassing (bron: Vewin, 2022).

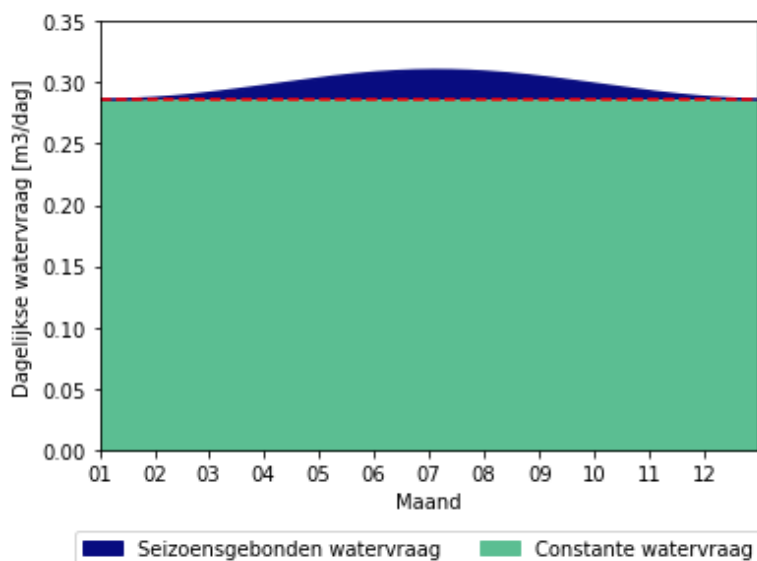
### 3.3.3 Seizoendynamiek

Seizoendynamiek in het waterverbruik speelt een cruciale rol in de jaarlijkse watervraag. In tijden van de grootste vraag (warme, droge periodes) is het aanbod het meest schaars. Voor dit onderzoek wordt uitgegaan van een dynamiek op dagbasis. Omdat de dynamiek van drinkwaterlevering niet bekend is voor tientallen jaren terug, wordt een inschatting gemaakt van de seizoendynamiek aan de hand van een gemodelleerde bodemvocht reeks.

Een aanname is dat de seizoensgebonden variatie in drinkwater samenhangt met de behoefte om beplanting te irrigeren, oftewel:

- De seizoensgebonden variatie in watervraag wordt alleen beïnvloed door **het irrigeren van de tuin** (4% van de jaarlijkse watervraag, zie sectie 3.3.2) en **niet door toiletspoeling, douchen of kleding wassen** (overige 96%) wat over het jaar heen een constant verbruik heeft.

De methodiek om de fluctuerende seizoendynamiek te bepalen op basis van het bodemvochtgehalte wordt verder uitgewerkt in Bijlage B. In Figuur 8 wordt de gemiddelde dagelijkse watervraag weergegeven voor een jaarlijks totale watervraag van 108.8 m<sup>3</sup> gedurende een periode van een jaar. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de constante watervraag en de seizoensgebonden watervraag.



Figuur 8: Gemiddelde dynamiek tussen 01/01/1992 en 31/12/2022 van de dagelijkse watervraag.

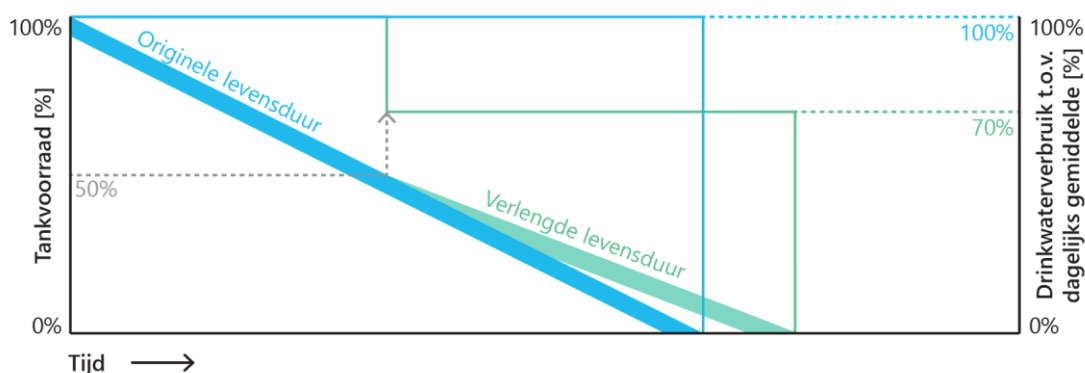
### 3.3.4 Voorraadafhankelijke gebruiksdynamiek

Naast seizoendynamiek kan het gedrag van de gebruikers ook een grote invloed hebben op de beschikbare watervoorraad in de opslagfaciliteit. In dit onderzoek worden twee varianten gedefinieerd:

1. Gelijkblijvend verbruik;
2. Voorraadafhankelijke gebruiksdynamiek.

Het eerste gebruiksscenario gaat uit van een gelijkblijvende watervraag ongeacht de beschikbare hoeveelheid water in de tank. Dit scenario wordt gebruikt als uitgangspunt en geeft het hoogst mogelijke verbruik.

Het tweede gebruiksscenario gaat uit van gedragsverandering dat resulteert in minder waterverbruik wanneer de tankvoorraad afneemt. De onderbouwing is dat mensen zich geen zorgen maken om hun waterverbruik, tenzij er schaarste ontstaat. Het bepalen van de mogelijke afname van waterverbruik bij een teruglopende watervoorraad in de tank is lastig te onderbouwen met literatuur. Echter, het gaat in dit rapport om het verkennen van de mogelijke impact van zulk gedrag. Daarom wordt er uitgegaan van een arbitraire afname van het dagelijks gebruik met 30% zodra de tank minder dan 50% gevuld is. Het verbruik is dus maximaal, totdat de tank voor minder dan de helft gevuld is waarna het verbruik afneemt tot 70% van de originele vraag. Dit principe wordt weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9: Verlengde levensduur van de tank door besparing.

Voor de beantwoording van de onderzoeksvraag wordt alleen uitgegaan van een gelijkblijvend verbruik. In de discussie volgt een vergelijking tussen een gelijkblijvend waterverbruik en voorraadafhankelijk verbruik en de invloed op de uitkomsten.

## 3.4 Specifieke watervraag

Zoals eerder beschreven in sectie 3.2.2, is de relatie tussen de potentiële drinkwateropslag en de drinkwatervraag van een gebouw bepalend voor de lengte van droge periodes die kunnen worden overbrugd.

Vanwege de grote variatie in bouwtypen, dakoppervlaktes en het aantal huishoudens in het Vitens-gebied, is het noodzakelijk om een uniforme maat te hanteren om de drinkwatervraag te kunnen vergelijken. Het drinkwaterverbruik van een huishouden wordt in deze studie daarom omschreven naar het oppervlak van het dak van de woning en uitgedrukt in eenheid van hoogte. Dit wordt aangeduid als de specifieke watervraag.

De verhouding tussen de watervraag [m<sup>3</sup>/jaar] en het toeleverend oppervlak [m<sup>2</sup>] wordt gedefinieerd als de **specifieke watervraag** [mm/jaar].

Voor het uitrekenen van de specifieke watervraag is het waterverbruik op gebouwniveau nodig. Idealiter wordt daarvoor de exacte leveringsdata van elk woongebouw in het Vitens leveringsgebied gebruikt. Echter, deze data is privacygevoelig en daarom niet beschikbaar. In dit onderzoek wordt daarom geredeneerd vanuit de totale drinkwaterlevering door Vitens aan huishoudens. Door de totale geleverde hoeveelheid drinkwater aan huishoudens te delen door het aantal aangesloten huishoudens wordt een gemiddeld verbruik per huishouden berekend, zie sectie 3.3.1. Het aantal verblijfsobjecten per gebouw is publieke informatie. Met de aanname dat in woongebouwen één verblijfsobject gelijkstaat aan één huishouden, kan per gebouw worden berekend wat de drinkwatervraag per jaar is. Vervolgens kan met het bekende dakoppervlak (publieke informatie) per gebouw het jaarlijkse drinkwaterverbruik worden uitgedrukt in mm/jaar.

### 3.4.1 Verdeling van bouwtypologieën in het Vitens gebied

Voor het bepalen van de specifieke drinkwatervraag is een overzicht nodig van de (woon)gebouwen in het Vitens gebied. Dit overzicht is gecreëerd met behulp van de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) uit het jaar 2023 (PDOK, z.d.). De BAG is allereerst uitgesneden voor het Vitens leveringsgebied.

Omdat dit onderzoek alleen gaat om huishoudelijk drinkwaterverbruik waren er stappen nodig om gebouwen met andere functies uit de dataset te filteren. Daarvoor zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

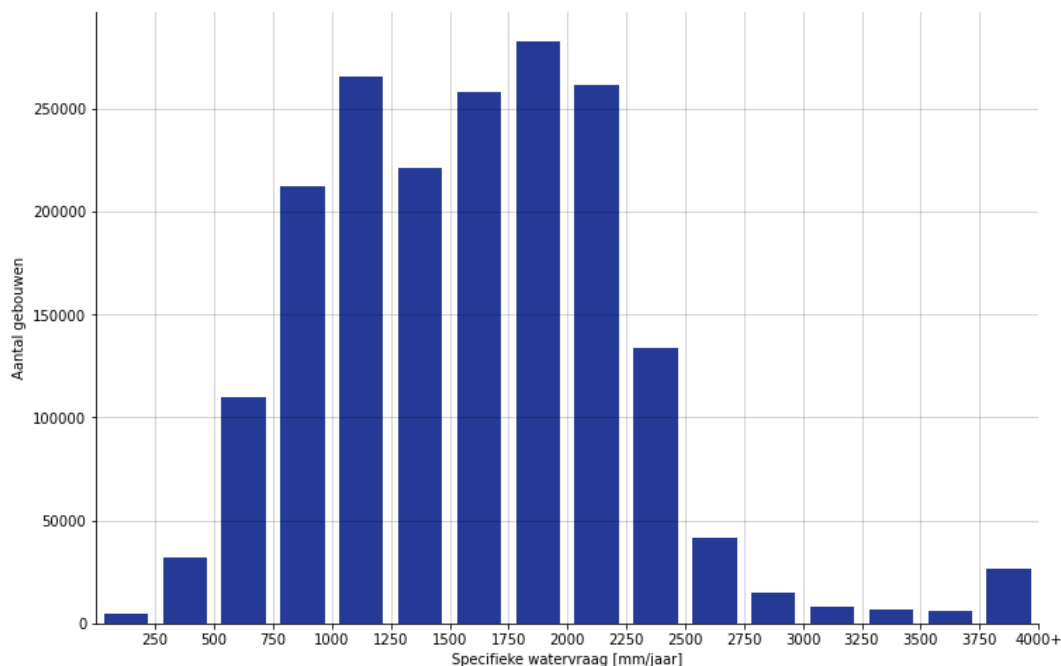
- Alleen gebouwen met 1) *woonfunctie* of 2) *overige functie + woonfunctie* zijn gebruikt voor de analyse. Door deze randvoorwaarde worden gebouwen met gemengde functies (zoals combinatie van supermarkt met woningen) uit de selectie gefilterd. Deze gebouwen zouden het huishoudelijke drinkwaterverbruik vertekenen. Echter, woongebouwen met andere functies die geen drinkwater gebruiken (zoals parkeergarage) worden op deze manier wél bij de selectie betrokken.
- Alleen bestaande panden zijn meegenomen in de selectie. Panden die in aanbouw zijn worden niet meegenomen.
- Alleen panden die momenteel in gebruik zijn worden meegenomen in de selectie. Van leegstaande panden wordt aangenomen dat hun drinkwaterverbruik 0 is.

Uitgaande van bovenstaande aannames blijven er 1.886.168 gebouwen over in het Vitens gebied. Tabel 2 geeft een overzicht van de belangrijkste kenmerken.

Tabel 2: Kentallen van totale Vitens gebied.

Aspect	Waarde
Totaal aantal woningen	1.886.168
Totaal dakoppervlak van alle woongebouwen [m <sup>2</sup> ]	171.341.956
Gemiddelde dakoppervlak van woongebouwen [m <sup>2</sup> ]	91
Minimale specifieke watervraag [mm/jaar]	3
Gemiddelde specifieke watervraag [mm/jaar]	1.620
Maximale specifieke watervraag [mm/jaar]	643.455

Figuur 10 geeft een overzicht van de verdeling van alle woongebouwen in het Vitens leveringsgebied.



Figuur 10: Verdeling van alle woongebouwen in het Vitens gebied op basis van de specifieke watervraag.

### 3.4.2 Aggregatie tot Vitens-gebied

Door alle individuele woongebouwen in het Vitens gebied te combineren tot één fictief dak en van de totale waterlevering aan woningen uit te gaan (283 miljoen m<sup>3</sup>/jaar), is het mogelijk om het gehele leveringsgebied te abstraheren tot één specifieke drinkwatervraag.

Het totale dakoppervlak van alle 1.886.168 woningen is 171.341.956 m<sup>2</sup>. De totale watervraag van woongebouwen in het Vitens gebied is eerder bepaald op 283 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Daarmee kan de watervraag van huishoudens in het Vitens gebied worden uitgedrukt in:

$$Q = \frac{283.000.000}{171.341.956} = 1,652 \text{ m} = 1652 \text{ mm}$$

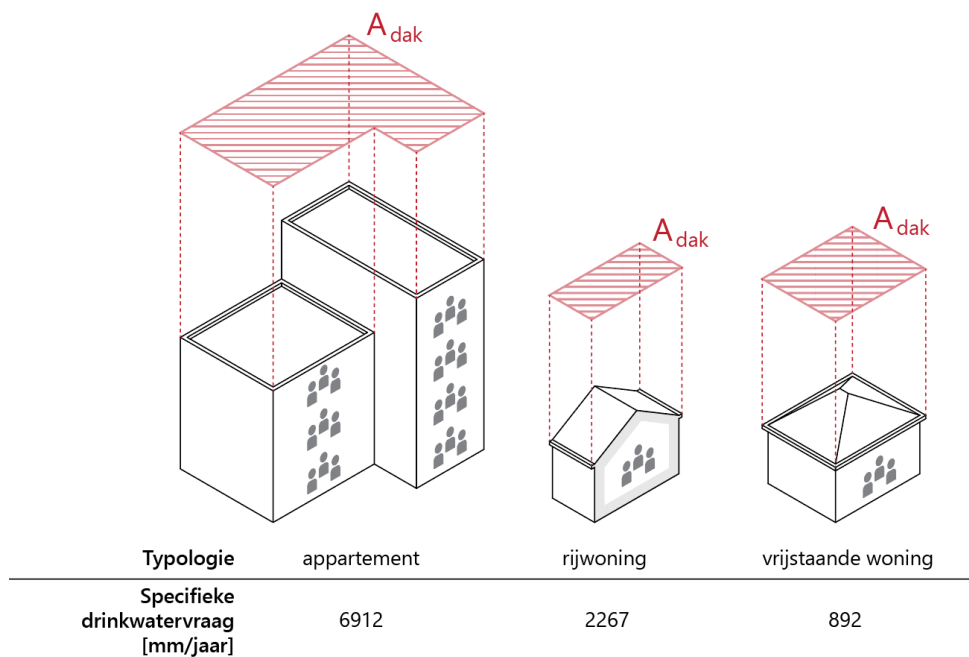
### 3.4.3 Representatieve bouwtypologieën

Voor de beantwoording van de onderzoeksvraag is het interessant om op het schaalniveau van het volledige Vitens leveringsgebied te kijken, maar ook om in te zoomen op individuele gebouwen. Voor ontwikkelaars is het relevant om een aantal representatieve bouwtypologieën uit te werken.

De drie representatieve bouwtypologieën zijn weergegeven in Tabel 3 en worden gevisualiseerd in Figuur 11.

Tabel 3: Representatieve woningtypologieën.

Woningtype	Aantal huishoudens	Drinkwatervraag [m <sup>3</sup> /jaar]	Dakoppervlak [m <sup>2</sup> ]	Specifieke drinkwatervraag [mm/jaar]
Appartement	54	5875,2	850	6912
Rijwoning	1	108,8	48	2267
Vrijstaande woning	1	108,8	122	892



Figuur 11: Drie representatieve woningtypologieën met een andere verhouding tussen waterverbruik en dakoppervlak.

## 3.5 Ambitieniveau

### 3.5.1 Beoogde besparing

Kijkend naar het uitgesplitste huishoudelijke waterverbruik zoals weergegeven in Figuur 7 zijn er meerdere ambities ten behoeve van regenwater hergebruik denkbaar. Deze ambitie is afhankelijk van lokale omstandigheden en de inzet van beleidsmakers. Een ambitie kan bijvoorbeeld zijn om in de volledige drinkwaterbehoefte te kunnen voorzien (volledig onafhankelijk). De ambitie kan ook veel lager liggen, door bijvoorbeeld alleen in te zetten op irrigatie van de tuin met opgeslagen regenwater.

Om een toekomstige invulling van het gebruik van opgeslagen regenwater niet te beperken tot een aantal vooraf gedefinieerde gebruiksscenario's, wordt het volledige verbruik doorgerekend in het model. Daardoor kan voor elk gewenste reductie in drinkwaterverbruik worden afgelezen wat de benodigde tankgrootte is en de kans dat deze leeg komt te staan.

Echter, om een aantal handvaten te bieden ten opzichte van het drinkwaterverbruik zijn in Tabel 4 drie ambitieniveaus gespecificeerd op basis van het gemiddelde huishoudelijke verbruik van 108,8 m<sup>3</sup>/jaar.

Tabel 4: Ambitieniveaus drinkwaterbesparing bij gespecificeerde gebruiksscenario's.

Ambitieniveau	Gebruiksscenario's	Besparing [%]	Besparing [m <sup>3</sup> /jaar]
1	Overige (tuin)	4	4,4
2	Overige + toilet doorspoelen	33	35,9
3	Overige + toilet doorspoelen + kleding wassen	45	49,0

De gemiddelde huishoudelijke verbruiken zijn gebaseerd op het VEWIN rapport van 2022 en geven daardoor een betrouwbaar beeld van het gemiddeld Nederlands waterverbruik.

### 3.5.2 Aantal opeenvolgende dagen met een lege tank

Het doel van dit onderzoek is om te beoordelen of grootschalige regenwaterhergebruik een substantiële invloed kan hebben op de te onttrekken hoeveelheid grondwater door Vitens – in de wetenschap dat het piekverbruik gelijk blijft, omdat aangenomen wordt dat het bedrijf steeds aan de vraag moet voldoen, ook als de tanks in een lange droge periode leeg zijn. Een belangrijke overweging daarbij is het maximale aantal achtereenvolgende dagen dat de regentank droog staat. Een tank die drie dagen droog staat is wellicht acceptabel omdat dit met andere buffers opgevangen kan worden; een tank die twee weken droog staat heeft wellicht tot gevolg dat de drinkwaterproductie naar het originele niveau opgeschroefd moet worden. In dit onderzoek worden drie scenario's onderscheiden en apart doorgerekend:

1. Maximaal 3 opeenvolgende dagen een lege tank,
2. Maximaal 7 opeenvolgende dagen een lege tank,
3. Maximaal 14 opeenvolgende dagen een lege tank.

De modellering van de tankdynamiek is een deterministisch proces. In deze studie wordt een statistische bewerking uitgevoerd om de modeluitvoer (32 jaar aan dagwaarden) te vertalen naar een kans dat de tank leeg komt te staan. Het is namelijk belangrijk om te weten of een droge periode vaak te verwachten is. Daarnaast maakt een statistische bewerking het mogelijk om de modeluitvoer te extrapoleren naar extremere omstandigheden.

In deze studie wordt gebruik gemaakt van herhalingstijden van 1, 2, 5 en 10 jaar. Dit betekent dat bijvoorbeeld in een T10 scenario statistisch gezien gemiddeld eenmaal in de tien jaar voorkomt dat de tank 7 dagen of langer droog staat, oftewel er is elk jaar een kans van 10% dat de tank 7 dagen of langer droog staat.

## 3.6 Overzicht van scenario's

In Tabel 5 staat een overzicht met de parameters waarmee gemodelleerd wordt.

Tabel 5: Variabelen in het onderzoek.

Variabelen ten aanzien van <u>wateraanbod</u>	Scenario's	Zie hoofdst.
<b>Meteorologie:</b> neerslag en verdamping	Neerslag- en referentieverdampingsreeken van meetstation De Bilt voor de periode van 1990 t/m 2022.	3.1.1
<b>Representatieve gebouwtypologieën:</b> Dakoppervlak dat aangesloten is op de regentank	3 gebouwtypologieën en het gehele Vitens gebied samengevat.	3.4.3
<b>Grootte van de regentank</b>	0 - 200 mm (stappen van 2 mm).	3.2.1
<b>Aantal opeenvolgende dagen met een lege tank</b>	3 dagen, 7 dagen, 14 dagen.	5.3.2
<b>Herhalingstijd:</b> de kans in jaren dat de tank een aantal opeenvolgende dagen of langer leeg is	T1, T2, T5, T10.	5.3.2

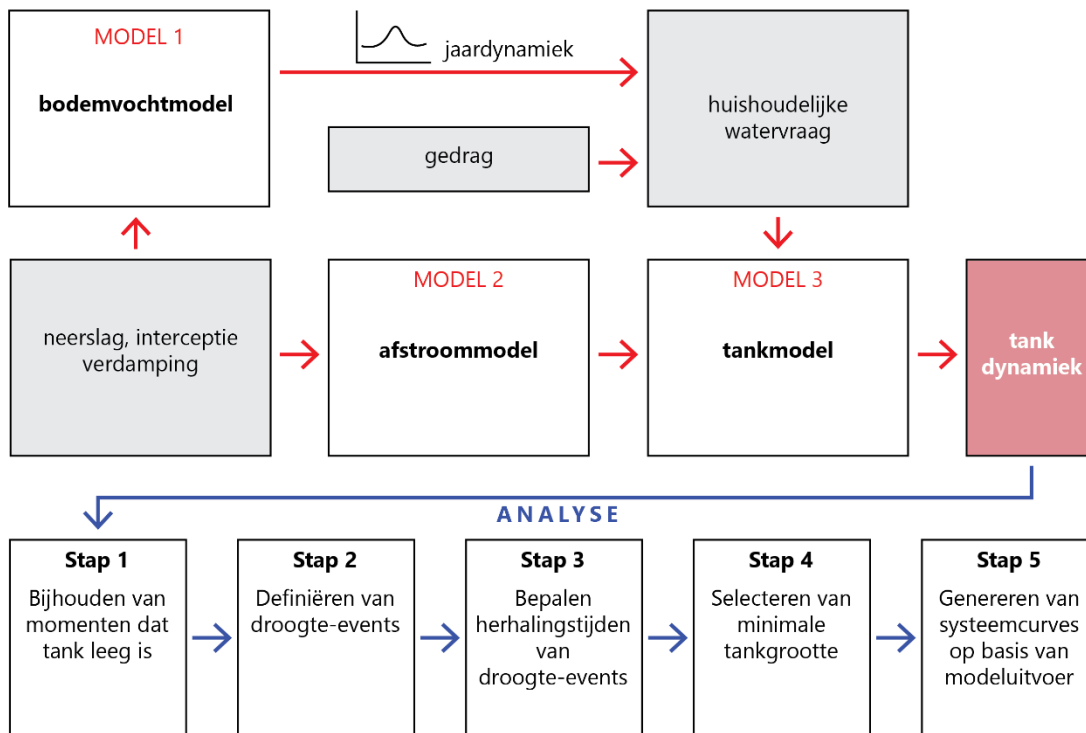
Variabelen ten aanzien van <u>watervraag</u>	Scenario's	Zie hoofdst.
<b>Waterverbruik:</b> Jaarverbruik van huishoudens	0-10000 mm / jaar (stappen van 10 mm).	3.3.2
<b>Seizoendynamiek:</b> het verbruik is niet constant gedurende het jaar	Gebaseerd op bodemvochtmodel. Zie toelichting in Bijlage B	3.3.3
<b>Beoogde besparing:</b> Ambitie van vermindering drinkwatervraag dat via het leidingnet geleverd moet worden	Bereik van 0 - 100% reductie; Gebruiksscenario's voor 4%, 33% en 45% reductie.	3.5.1
<b>Voorraadafhankelijke gebruiksdynamiek:</b> Bewustzijn van mensen, verminderd waterverbruik bij een leeglopende tank.	Gelijkblijvend verbruik (uitgangssituatie) en voorraadafhankelijke gebruiksdynamiek.	3.3.4



## 4 Modelling

### 4.1 Modelbeschrijving

Het gebruikte rekenmodel is samengesteld uit drie deelmodellen die na elkaar in het proces komen. In Figuur 12 wordt het modelconcept schematisch weergegeven.



Figuur 12: Beschrijving van het modelconcept.

#### Model 1: Bodenvochtmodel

Het bodenvochtmodel genereert de curve voor de seizoendynamiek. De werking van dit model is uitgelegd in Bijlage B.

#### Model 2: Afstroommodel

Om de afstroming van het dak naar de tank te bepalen is gebruik gemaakt van een versimpeld afstroommodel. Uit een lange reeks neerslag en verdamping wordt per tijdstap (1 dag) berekend hoeveel neerslag er op het dak valt, hoeveel achterblijft door interceptieopslag en de hoeveelheid afstroming die uiteindelijk naar de tank stroomt. Hierbij geldt het algemene hydrologische proces:

$$\text{afstroming} = \text{neerslag} - \text{verdamping} - \text{interceptie}$$

Het reservoir *interceptie* is in dit model gedefinieerd als een verliescomponent. Het eerste gedeelte van de neerslag blijft op het dak achter en zal indien mogelijk verdampen. Als er bij een volgende regenbui ruimte is in de interceptieopslag zal dit eerst gevuld worden alvorens er afstroomt plaatsvindt. De opgevangen neerslag als interceptie zal nooit afstromen naar de tank, enkel verdampen.

In dit model zijn enkele aannames gedaan om de som te versimpelen.

- Er wordt aangenomen dat 100% van het dakoppervlak afstroomt naar de regentank. Dit is in werkelijkheid vaak niet het geval.
- Er wordt aangenomen dat er geen verliezen zijn in het transport van regenwater van het dak naar de tank.
- Er wordt gerekend met een standaard interceptieopslag van 1 mm. Andere typen daken, zoals platte daken of groene daken zullen een hogere interceptiecapaciteit hebben dan 1 mm.
- Aangezien waterkwaliteit geen hoofdonderdeel is van dit onderzoek, wordt er vanuit gegaan dat al het geogste regenwater gebruikt kan worden. In werkelijkheid kan de wens bestaan om de eerste paar millimeter neerslag (*first flush*) niet te bergen, om zo de grootste vervuiling buiten de tank te houden.

### **Model 3: Tankmodel**

Het tankmodel neemt als invoer de afstroming van model 2 (afstroommodel) en de dagelijks variërende watervraag als resultaat van model 1 (bodemvochtmodel). De uitvoer is een statistische analyse op de tankdynamiek. Het model doorloopt voor elk scenario de volgende vijf stappen:

#### Stap 1

Het tankmodel simuleert de watervoorraad in de tank als continue tijdserie voor de opgegeven neerslag- en verdampingsdata. Tijdens de simulatie houdt het model bij wanneer de tank leeg is. Om een gegarandeerde droge periode aan het begin van de simulatie te voorkomen wordt aangenomen dat de tank aan het begin van de run voor 25% gevuld is.

#### Stap 2

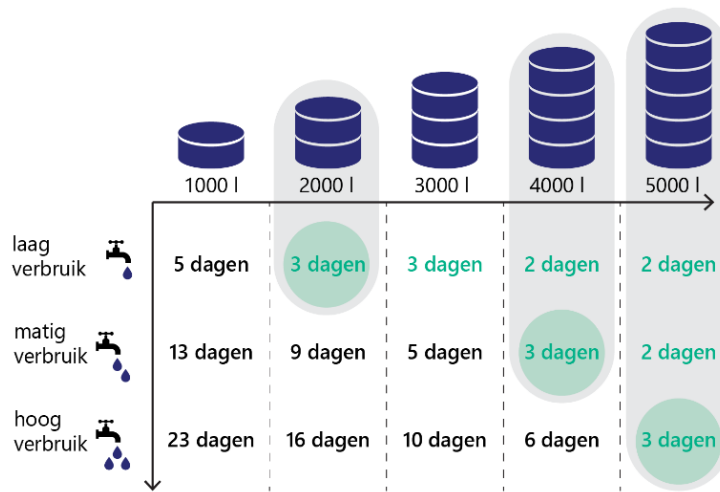
Het model analyseert voor alle gevallen waar de tank droog heeft gestaan het aantal opeenvolgende dagen dat er onvoldoende water in de tank aanwezig was om aan de dagelijkse vraag te voldoen. Dit zijn de 'droogte-events': periodes waarin er leidingwater gebruikt moet worden.

#### Stap 3

Het model ordent de droogte-events van groot naar klein: de langste periode zonder water in de tank staat bovenaan, de daaropvolgend langste periode zonder water staat op de tweede plaats, etc. Op deze lijst wordt met behulp van een exponentiële functie de herhalingsstijd bepaald van alle droogte-events. In dit rapport zijn we geïnteresseerd in de herhalingsstijden T1, T2, T5 en T10.

#### Stap 4

Voor elke herhalingsstijd en verbruiksscenario wordt bepaald welke minimale tankgrootte nodig is om de eerder vastgestelde norm van de maximaal aantal opeenvolgende dagen met een lege tank (3, 7 of 14 dagen) te voorkomen. Dit principe wordt uitgelegd in Figuur 13.



Figuur 13: Indicatief diagram van selectie van kleinste mogelijke tank op basis van het maximaal aantal opeenvolgende droge dagen voor verschillende verbruiken (voorbeeld: maximaal 3 achtereenvolgende droge dagen).

### Stap 5

Het plotten van de minimale tankgrootte versus het specifieke drinkwaterverbruik geeft 'systeemcurves': de relatie tussen de specifieke drinkwatervraag en de minimale benodigde tankgrootte. Deze datapunten vormen een asymptoot: om een alsmaar groter wordend specifiek verbruik mogelijk te maken zou een oneindige tankgrootte nodig zijn. Door de datapunten kan een asymptotische lijn gefit worden die de systeemcurve beschrijft (zie Bijlage 7D).

Een belangrijke opmerking is dat in deze studie een statistische analyse is uitgevoerd op de opeenvolgende dagen dat de tank leeg is. In de realiteit zal de tank nooit volledig leeg raken. Als het waterniveau onder een bepaald minimumniveau komt (bijvoorbeeld 5%), zal het waterpeil met behulp van leidingwater op een constant niveau gehouden worden om te garanderen dat gebruikers altijd beschikking hebben over water. De tank wordt niet met leidingwater weer volledig gevuld omdat hiermee de efficiëntie van regenwaterhergebruik zou afnemen. Een tank gevuld met leidingwater heeft namelijk geen ruimte meer om een flinke regenbui op te slaan.

## 4.2 Modelresultaten

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de modelresultaten. Daarin wordt eerst de onbewerkt tankdynamiek weergegeven voor een aantal kenmerkende scenario's. Daarna volgt een uiteenzetting van de gegenereerde systeemcurves. Tenslotte wordt de vertaling gemaakt naar de drie eerder gedefinieerde representatieve gebouwtypologieën en het gehele Vitens leveringsgebied, om zo antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag.

### 4.2.1 Tankdynamiek

Ten grondslag aan de statistische analyse ligt de dynamiek in de regentank. Aangezien er vele duizenden runs gedaan worden met een verschillende set aan parameters (zie overzicht sectie 3.6), kunnen niet alle modelresultaten getoond worden. In dit onderdeel wordt daarom een selectie gemaakt van runs die laten zien hoe de dynamiek van de tankvoorraad verloopt onder verschillende parameters. Voor 16 modelruns worden resultaten getoond, met twee variabelen: tankgrootte (25, 50, 75 en 100 mm) en specifieke watervraag (250, 500, 1000, 2000 mm/jaar)

Tabel 6 geeft een samenvatting van het totaal aantal droge dagen in 32 jaar én maximaal aantal opeenvolgende droge dagen voor de geselecteerde scenario's. Een vergelijking van de runs laat enkele interessante patronen zien. Bij alle drie de indicatoren liggen de resultaten zeer dicht bij elkaar wanneer er sprake is van een zeer hoge watervraag. Dit wijst op een asymptotische functie. Zo lijkt het maximaal aantal opeenvolgende dagen met een lege tank vooral bij een lage specifieke watervraag beïnvloed te worden door de tankgrootte. Bij een groot verbruik is zelfs een grote tank niet voldoende om langere periodes van droogte te overbruggen.

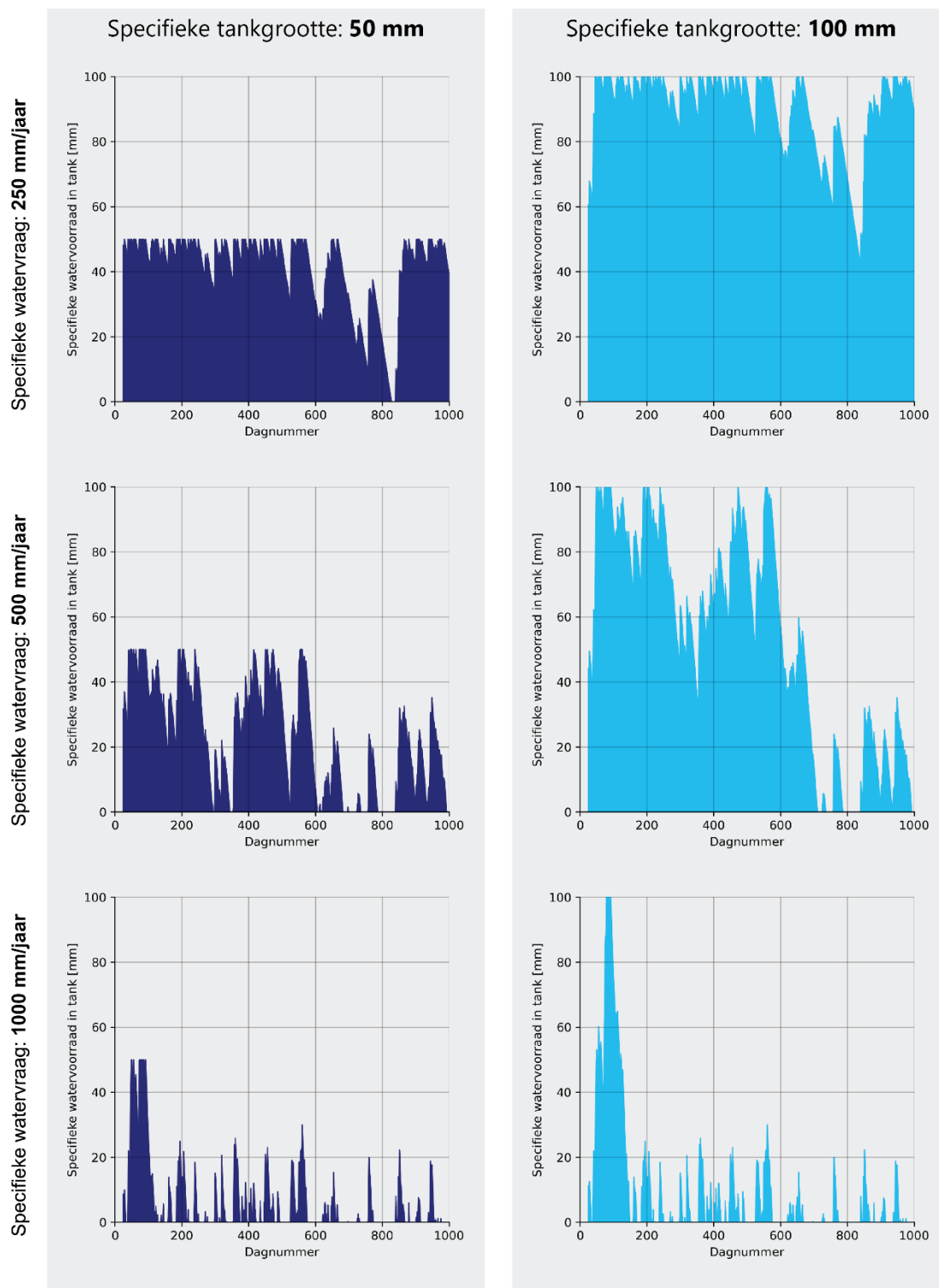
Tabel 6: Totaal en achtereenvolgend aantal droge dagen voor de geselecteerde scenario's.

Specifieke tankgrootte [mm]	Specifieke watervraag [mm/jaar]	Totaal aantal dagen met een lege tank in periode 1992 t/m/ 2022	Gemiddeld aantal dagen per jaar met een lege tank	Maximaal aantal opeenvolgende dagen met een lege tank
25	250	429	13,8	31
	500	2857	92,2	54
	1000	6418	207,0	67
	2000	9248	298,3	98
50	250	12	0,4	12
	500	1766	57,0	54
	1000	5954	192,1	67
	2000	9161	295,5	98
75	250	0	0	0
	500	1225	39,5	54
	1000	5764	185,9	67
	2000	9141	294,9	98
100	250	0	0	0
	500	884	28,5	54
	1000	5680	183,2	67
	2000	9137	294,7	98

De tankdynamiek voor verschillende tankgroottes en watervraag wordt weergegeven in Figuur 14. Daarbij zijn de grafieken beperkt tot de eerste 1000 dagen van de simulatie dus van 01-01-1992 tot en met 31-09-1994.

De observaties uit Tabel 6 zijn herkenbaar in de grafieken. Een grote tank biedt de mogelijkheid om zware regenbuien op te kunnen slaan en daarmee langere periodes van droogte te overbruggen. Bij een specifieke watervraag van 250 mm/jaar laat de simulatie zien dat een specifieke tankgrootte van 50 mm wel leidt tot droogte; een specifieke tankgrootte van 100 mm blijft altijd gevuld.

Hoe hoger de specifieke watervraag, hoe minder invloed de tankgrootte heeft op de droogteperiodes. Een specifieke watervraag van 500 mm/jaar leidt bijvoorbeeld al tot meerdere periodes van droogte. Bij een hoge specifieke watervraag van 1000 mm/jaar zijn de periodes van droogte al zeer vergelijkbaar voor beide tankgroottes.



Figuur 14: Dynamiek van tankvoorraad voor geselecteerde tankgroottes en specifieke watervraag (van 01-01-1992 tot en met 31-09-1994).

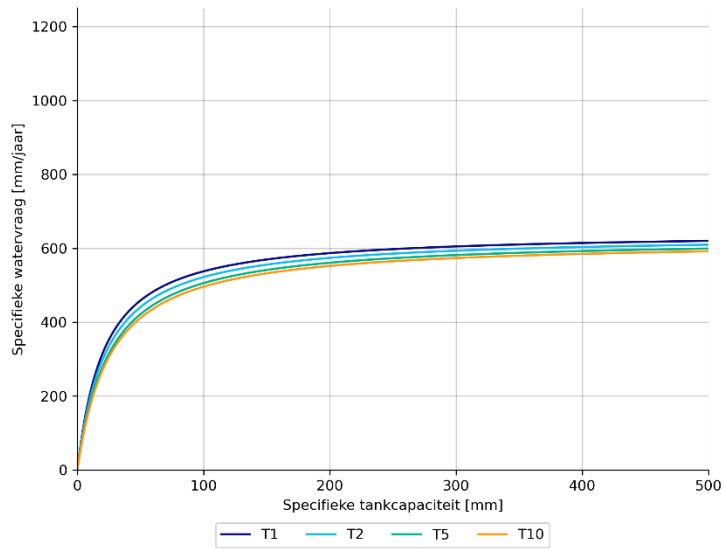
#### 4.2.2 **Systeemcurves**

De systeemcurves geven de relatie tussen de specifieke drinkwatervraag en de minimale benodigde specifieke tankgrootte. Deze curves zijn het resultaat van een statistische bewerking op de tankdynamiek naar de kans dat de tank langer dan een vastgesteld aantal (3, 7 of 14) achtereenvolgende dagen leeg komt te staan. Voor elk van het maximum aantal opeenvolgende dagen met een lege tank is de specifieke drinkwatervraag (uitgedrukt in mm/jaar) afgezet tegen de specifieke tankgrootte (uitgedrukt in mm).

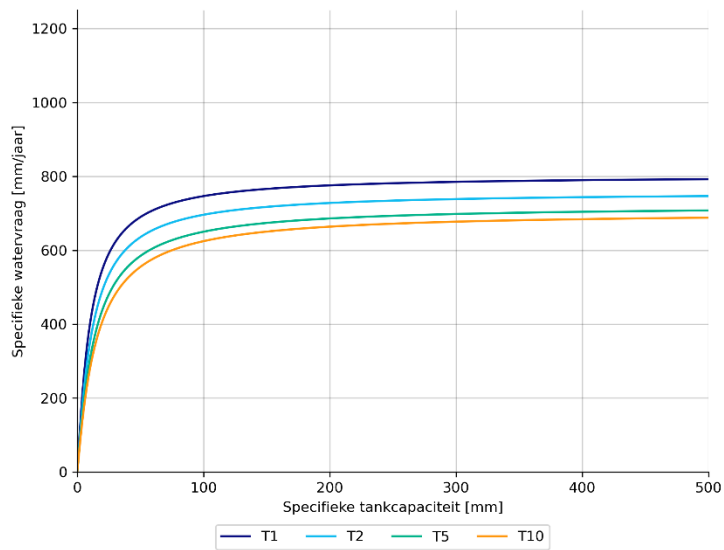
In Figuur 15, Figuur 16 en Figuur 17 worden de systeemcurves weergegeven voor een norm van respectievelijk 3, 7 en 14 achtereenvolgend dagen een lege tank.

Het valt op dat alle grafieken een duidelijk knikpunt tonen in de relatie tussen verbruik en tankgrootte. Voor een lagere watervraag zijn geen enorme tanks nodig. Echter, indien een hoog jaarlijks verbruik door een tank geleverd moet worden, schiet de benodigde tankgrootte exponentieel omhoog. Dit verschijnsel is te verklaren door de beperking van het toeleverend oppervlak. Een klein toeleverend oppervlak (resultierend in een hoge specifieke watervraag) kan onvoldoende de tank vullen wanneer het regent.

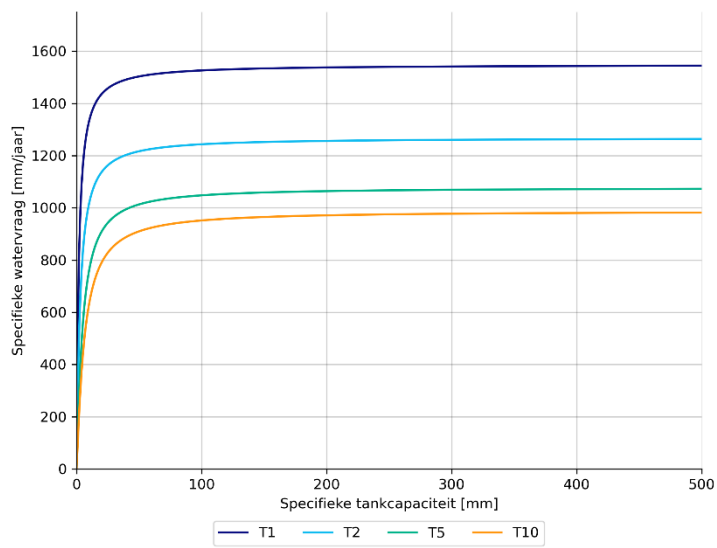
Zoals verwacht leidt het accepteren van een ruimere norm tot een kleinere benodigde tank. Als wordt toegestaan dat eens per 10 jaar de tank langer dan *14 dagen* droog mag staan, kan met een tankcapaciteit van 100 mm aan een specifiek waterverbruik van 950 mm/jaar worden voorzien. Als de norm is dat eens per 10 jaar de tank langer dan *3 dagen* droog mag staan, kan met dezelfde tank slechts 500 mm/jaar worden geleverd.



Figuur 15: Systeemcurve voor een norm van 3 dagen.



Figuur 16: Systeemcurve voor een norm van 7 dagen.



Figuur 17: Systeemcurve voor een norm van 14 dagen.

### 4.2.3 Besparingscurves per bouwtypologie

Met de systeemcurves kan voor elke mogelijke bouwtypologie bepaald worden wat de besparingsmogelijkheden zijn. Eerder in dit rapport is uitgelegd dat het drinkwaterverbruik van een gebouw kan worden uitgedrukt in eenheid van hoogte door het jaarlijkse verbruik te delen door het dakoppervlak. Elke mogelijke combinaties van jaarlijks verbruik en dakoppervlak is een punt op de y-as van de systeemcurve. Dit punt representeert 100% van het jaarlijkse verbruik van dat specifieke gebouw.

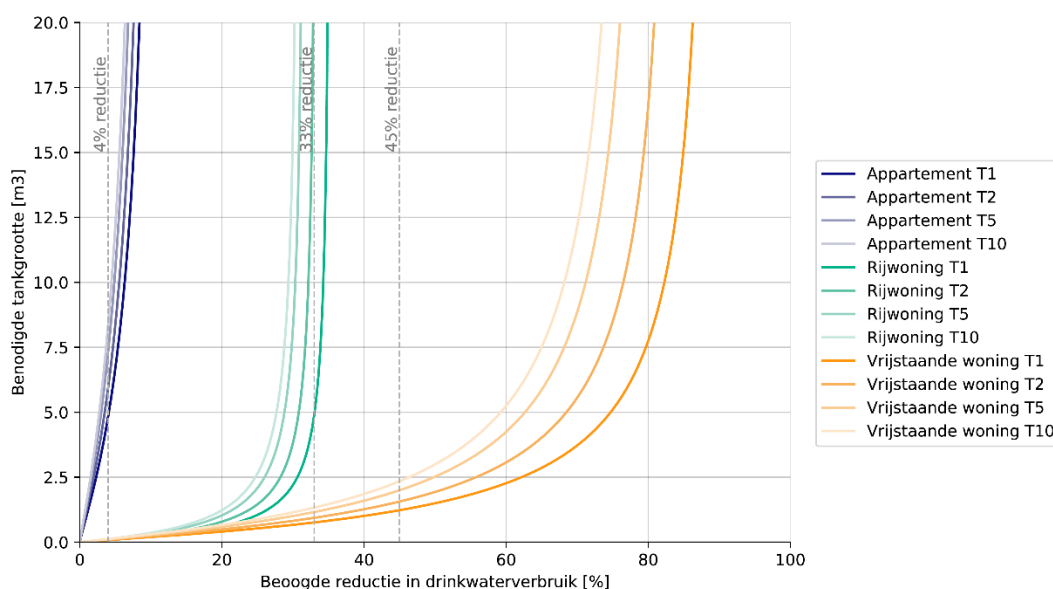
Aan de hand van de systeemcurves en de specifieke watervraag van een gebouw kunnen *besparingscurves* worden opgesteld. Deze besparingscurves geven de relatie tussen de beoogde reductie in drinkwaterverbruik van dat gebouw en de benodigde tankgrootte. Daarin wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende herhalingsstijden. Een besparingscurve met herhalingsstijd van 1 jaar (T1) betekent dat statistisch gezien eens per jaar de norm van aantal dagen met een lege tank wordt overschreden. Een strengere norm geeft andere curves.

In dit onderdeel worden alleen de besparingscurves getoond voor een norm van *maximaal 7 opeenvolgende dagen een lege tank* voor de vier gebruikte herhalingsstijden (1,2,5 en 10 jaar). De curves voor de overige normen (3 en 14 opeenvolgende dagen) staan in Bijlage C.

In Figuur 18 worden de curves voor respectievelijk appartementen, rijwoningen en vrijstaande woningen weergegeven. In de curves worden de in Tabel 4 opgesomde besparingsambities geplott:

- Ambitieniveau 1 – 4% besparing (overige);
- Ambitieniveau 2 – 33% besparing: (overige + toilet doorspoelen);
- Ambitieniveau 3 – 45% besparing: (overige + toilet doorspoelen + kleding wassen).

Er zijn zeer grote verschillen tussen de besparingsmogelijkheden van verschillende bouwtypologieën. Waar een vrijstaande woning voldoende heeft aan een tank van 5 m<sup>3</sup> om voor 75% in eigen drinkwaterbehoefte te voorzien (overschrijdingskans T1), lijkt voor een gemiddeld appartementencomplex de maximale besparing rond de 8% te liggen. Een hogere ambitie leidt tot een oneindige grote tank. Bij een typische rijwoning is een tank van 5 m<sup>3</sup> voldoende om te voldoen aan het gemiddelde ambitieniveau (besparing van 33%). Het aanscherpen van de geaccepteerde herhalingsstijd naar 10 jaar (voorkomingskans van 10% per gegeven jaar) leidt tot de eis voor grotere tanks.



Figuur 18: Besparingscurves voor de drie representatieve bouwtypologieën (en een norm van 7 dagen).

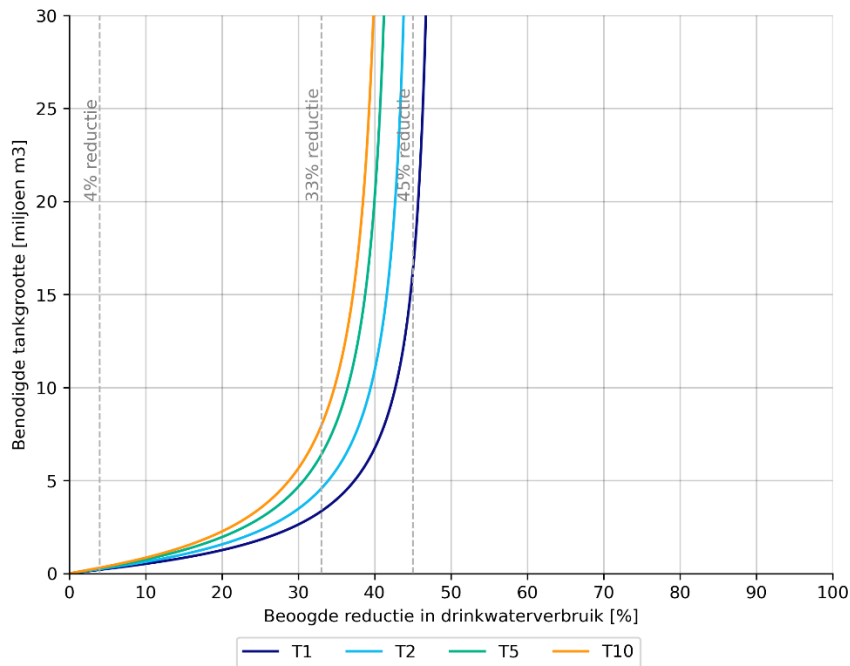


#### 4.2.4 Resultaten voor gehele leveringsgebied van Vitens

De hoofdvraag van dit onderzoek is of drinkwaterhergebruik een substantiële impact kan hebben op de strategische voorraden. Daarom worden in dit onderdeel ook besparingscurves voor het gehele Vitens leveringsgebied gegeven.

Eerder is bepaald dat de specifieke drinkwatervraag van het totale Vitens leveringsgebied kan worden gemiddeld tot 1652 mm/jaar. Op basis van de systeemcurves kunnen de in Figuur 19 weergegeven besparingscurves worden gegenereerd.

De besparingscurves laten zien dat er wel degelijk substantiële besparingsmogelijkheden zijn voor de huishoudelijke drinkwatervraag in het Vitens leveringsgebied. Voor een strenge norm (eens per 10 jaar meer dan 7 opeenvolgende dagen een lege tank) is voor het gemiddelde ambitieniveau (overige + toilet doorspoelen) een totale opslag nodig van 8 miljoen m<sup>3</sup>.



Figuur 19: Besparingscurves voor het gehele Vitens leveringsgebied, met een norm van maximaal 7 opeenvolgende dagen een lege tank. Let op: de verticale as is weergegeven in miljoen m<sup>3</sup>.

# 5 Discussie

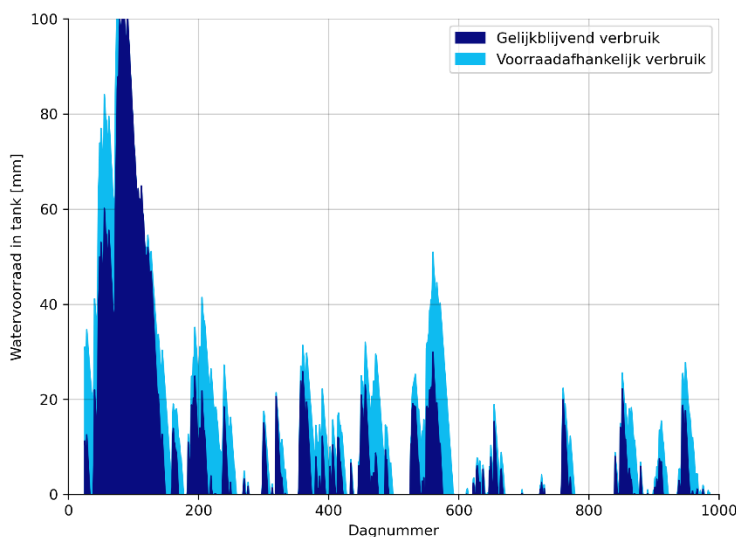
## 5.1 Scenario's en onzekerheden

Bij de specificering van de gemodelleerde scenario's zijn een aantal aannames gemaakt ten aanzien van het wateraanbod, het waterverbruik, de wijze van modelleren en de manier waarop de uitkomsten zijn geïnterpreteerd. In dit onderdeel worden enkele variabelen uitgelicht die een grote invloed hebben op de modelresultaten.

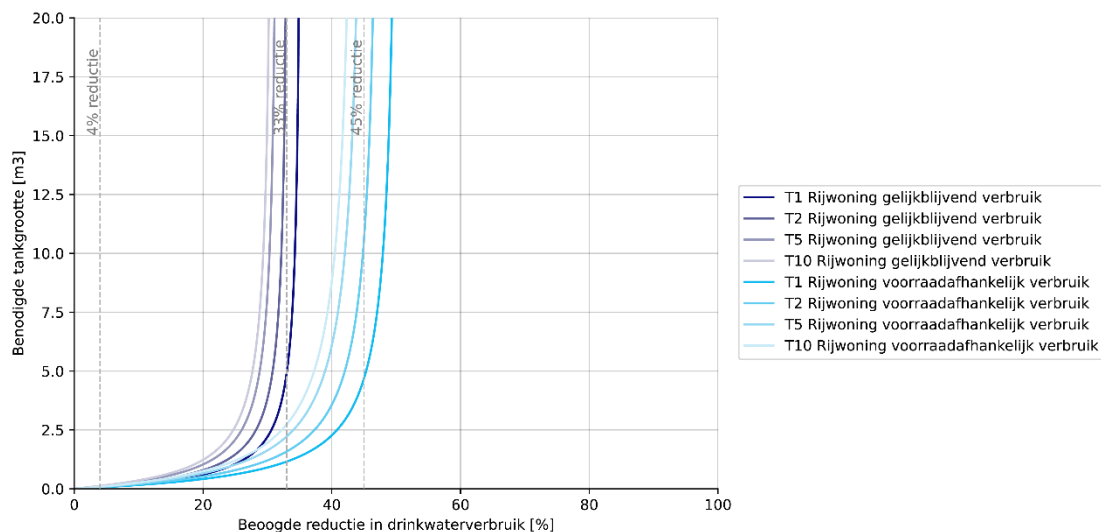
### 5.1.1 Voorraadafhankelijke gebruiksdynamiek

In sectie 3.3.4 is het verschil gedefinieerd tussen gelijkblijvend verbruik en voorraadafhankelijk verbruik (afnemend verbruik zodra de tank leeg raakt). Vanwege de grote onzekerheid omtrent de invloed van gedrag op het huishoudelijke waterverbruik zijn de conclusies van dit rapport gebaseerd op een constant waterverbruik. Zoals Figuur 20 en Figuur 21 laten zien heeft voorraadafhankelijk verbruik een grote invloed op het verloop van de tankdynamiek. Als voorbeeld wordt in Figuur 20 de tankdynamiek voor een specifieke watervraag van 1000 mm/jaar en specifieke tankgrootte van 100 mm weergegeven voor beide scenario's. Figuur 21 laat de verschillen in besparingscurves zien tussen gelijkblijvend verbruik en voorraadafhankelijk verbruik (rijwoning, maximaal 7 dagen achtereenvolgend een lege tank).

Het is duidelijk zichtbaar dat het gedrag van mensen een grote impact heeft op de waterbeschikbaarheid in de tank. Vooral in periodes van droogte (waarin de tank langdurig voor minder dan 50% gevuld is) heeft een besparing van 30% een grote invloed. De resulterende besparingscurves geven aan dat met een gelijkblijvend verbruik er maximaal 35% van het waterverbruik bespaard kan worden; bij een voorraadafhankelijk verbruik is dit meer dan 50%.



Figuur 20: Vergelijking van tankdynamiek tussen een gelijkblijvend verbruik en voorraadafhankelijk verbruik.



Figuur 21: Vergelijking van besparingscurves tussen een gelijkblijvend verbruik en voorraadafhankelijk verbruik.

### 5.1.2 Aanleverend oppervlak

In de berekeningen is uitgegaan dat 100% van het beschikbare dakoppervlak wordt gebruikt om regenwater naar de tank te leiden. Deze aanname geldt ook voor de besparingscurves en leidt tot een overschatting van wat haalbaar is.

De opzet van het model ondervangt dit gebrek door te werken met een specifieke watervraag per gebouw. Op deze manier is de besparingspotentie van een verminderd dakoppervlak eenvoudig door te rekenen.

Als een woning met een totaal dakoppervlak van 100 m<sup>2</sup> een verbruik heeft van 150 m<sup>3</sup>/jaar, leidt dit in het optimale geval (100% van dak aangesloten op de tank) tot een specifieke watervraag van 1500 mm/jaar. Als bij dezelfde woning slechts de helft van het dak op de tank aangesloten is, wordt de specifieke drinkwatervraag 3000 mm/jaar. Dit punt ligt hoger op de y-as van de systeemcurve en leidt daardoor tot een steilere besparingscurves. Dat betekent in de praktijk dat het lastiger wordt om aan de watervraag te voldoen.

Daarbij is wel een aanname dat de hydrologie van het dak (neerslag, verdamping, interceptie) gelijk blijft. Een ander type dak (plat of intensief/extensief groen) leidt tot een andere waterbalans en meer of minder aanvulling van de tank.

### 5.1.3 Tankdynamiek in de praktijk

In deze studie is een statistische analyse uitgevoerd op het aantal opeenvolgende dagen dat de tank leeg is. In de realiteit zal de tank nooit volledig leeg raken. Als het waterniveau onder een bepaald minimumniveau komt (bijvoorbeeld 5%), zal het waterpeil met behulp van leidingwater op een constant niveau gehouden worden om te garanderen dat gebruikers altijd beschikking hebben over water.

De tank wordt niet met leidingwater weer volledig gevuld omdat hiermee de efficiëntie van regenwaterhergebruik zou afnemen. Een tank gevuld met leidingwater heeft namelijk geen ruimte meer om een flinke regenbui op te slaan. Het behouden van een minimale watervoorraad in de tank betekent dat de tank in feite sneller gevuld is na een regenbui, maar dat er ook minder regenwater geogst kan worden.

## 5.2 Andere overwegingen

### 5.2.1 Piekgebruik in leidingnetwerk

Uit de modelruns komt naar voren dat voor sommige bouwtypologieën het onmogelijk is een lege tank te voorkomen. Zelfs met een grote tank en laag verbruik komt het voor dat de tank droogvalt voor een periode (afhankelijk van de gespecificeerde norm van 3, 7 of 14 dagen). Tijdens die droge periodes moet het leidingnetwerk aan de watervraag voldoen. Daarnaast wordt het leidingnetwerk in Nederland gebruikt voor het blussen van branden; daarvoor is het louter gebruiken van opgeslagen regenwater niet praktisch en betrouwbaar genoeg. Dit houdt in dat, ondanks grote besparingen in het geleverde drinkwater, het leidingnetwerk nog steeds ingericht moet zijn op een piekbelasting. Het slim inzetten van regentanks kan voorkomen dat alle woningen tegelijkertijd terugvallen op het leidingnetwerk. Zo kan de vraag gespreid worden. Dit vraagt echter grote coördinatie.

### 5.2.2 Waterkwaliteit

Voor de verschillende toepassingen van drinkwater binnen het huishoudelijk waterverbruik, vereisen veel toepassingen een lagere waterkwaliteit dan die van drinkwater. De vraag blijft echter of regenwater van voldoende kwaliteit is om deze toepassingen te vervangen. Burgers kunnen namelijk alsnog in contact komen met het opgevangen regenwater.

Uit een studie uitgevoerd door Hofman en Paalman van het KWR (2014) bleek dat de waterkwaliteit van opgevangen regenwater over het algemeen goed is. Het heeft een lage inhoud van organische en anorganische stoffen. Er kunnen echter enkele microbiologische verontreinigingen aanwezig zijn als gevolg van verontreinigingen die zich op de dakoppervlakte bevinden.

Een belangrijke factor in de verontreinigingsgraad van opgevangen regenwater is de voorafgaande droge periode. Hoe langer deze periode duurt, hoe meer verontreiniging zich kan ophopen op een dak. Huishoudens kunnen dan het beste de *first flush* (de eerste afstroming na een lange droge periode) ontkoppelen van de regentank. Ook het splitsen van de tank in een “bezinkdeel” en een “voorraaddeel” kan bijdragen aan een betere kwaliteit van het geogste regenwater.

Verdere aandacht moet worden besteed bij de aanlegfase en de gebruiksfase van de regenwatertanks. Tijdens de aanlegfase bestaat het risico op verkeerde aansluitingen tussen de regenwatersystemen en de drinkwatersystemen. Zoals beschreven wordt in de rapportage van Witteveen+Bos, Phernambucq et al. (2023), neemt dit risico toe in de loop van de tijd en door verbouwingen. Tijdens de gebruiksfase moet er een controlemechanisme worden gecreëerd waarbij bijvoorbeeld sensoren waarschuwen bij het uitvallen van bepaalde onderdelen of waar regelmatige inspecties moeten worden uitgevoerd (Phernambucq et al., 2023).

### 5.2.3 Ruimtelijke inpasbaarheid

Het plaatsen van regenwatertanks bij bestaande bebouwing in dichte stedelijke omgevingen is lastig. Vaak is er geen ruimte om een tank van 5-10 m<sup>3</sup> te plaatsen. Bij bestaande vrijstaande woningen is dit eenvoudiger door de betere toegankelijkheid en perceelgrootte. De eenvoudigste manier om regenwatertanks gemeengoed te maken is om, zoals in België, het plaatsen van een tank wettelijk te verplichten bij elke nieuw- of vernieuwbouw. Op die manier kan elk nieuwbouwproject een grote reductie in drinkwatervraag betekenen.

Het opvangen van water hoeft natuurlijk niet alleen van daken afkomstig te zijn. Hoewel daken vergeleken met andere verharde oppervlaktes relatief schone afstroming produceren, is het ook denkbaar dat bij een flatgebouw de parkeerplaats wordt gebruikt voor

regenwateropvang. Het benutten van grote verharde gebieden voor het bijvullen van de tank verlaagt de specifieke drinkwatervraag van het aangesloten gebouw. Daardoor wordt besparen eenvoudiger.

#### Meervoudig ruimtegebruik

In klimaatadaptatie is meervoudig ruimtegebruik een belangrijk thema. Het opvangen en hergebruiken van regenwater gaat goed samen met ander ruimtegebruik. Vooral functies die niet tot extra vervuiling leiden hebben een goede synergie met regenwater hergebruik. RWH is bijvoorbeeld zeer goed te combineren met PV-cellen of warmtecollectoren op het dak.

#### **5.2.4 Kosten-baten**

De kosten en baten van regenwaterhergebruik zijn bewust buiten de scope van deze studie gehouden. Met de modelresultaten is het nog wel nuttig om een snelle schatting te maken van de financiële haalbaarheid van een opvangsysteem. Daartoe wordt een inschatting gemaakt van de initiële kosten en de besparing van een bepaalde tank. Een aanname is dat het onderhoud (schoonmaken van filters) door de bewoner zelf wordt gedaan en daarom geen extra kosten met zich meebrengt. Stel we nemen een rijwoning als uitgangspunt, met een norm van eens per jaar meer dan 7 opeenvolgende dagen met een lege tank. Daarmee kan volgens Figuur 18 een besparing van 33% behaald worden.

Eén kubieke meter drinkwater inclusief Belasting op Leidingwater en exclusief vastrecht kost €1,27 in 2023 bij Vitens (Vitens, 2023). Een reductie van 33% \* 108,8 m<sup>3</sup> = 36 m<sup>3</sup> per jaar geeft een besparing van €45,72 per jaar. In België ligt de prijs van het plaatsen van een regenwatertank tussen €2000 en €4650 (exclusief installatiekosten). Een gemiddelde prijs van €3325 geeft een terugverdiëntijd van ruim 72 jaar. Met de huidige waterprijzen en gebrek aan subsidie is het opvangen van regenwater dus economisch niet haalbaar. Echter, met het oog op het duurzaam gebruik van onze grondwatervoorraden<sup>1</sup>, de te verwachten klimaatverandering en een toenemende vraag is het aannemelijk dat de drinkwaterprijs stijgt. Daarnaast is het denkbaar dat subsidies de aanleg van regentanks moeten stimuleren.

---

<sup>1</sup> De kaderrichtlijn Water van de EU eist in artikel 1:b *duurzaam gebruik van water wordt bevorderd, op basis van bescherming van de beschikbare waterbronnen op lange termijn*;

## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

De onderzoeksvraag van dit rapport is “**of en in welke vorm het oogsten van regenwater substantieel kan bijdragen aan waterbeschikbaarheid in droge perioden**”. De modelresultaten en daaruit volgende besparingscurves geven aan dat er voor het gehele Vitens gebied, afhankelijk van de gestelde norm, een besparing van 45% (circa 127 miljoen m<sup>3</sup>/jaar) behaald kan worden. In de beleidsbrief “Water en Bodem sturend” van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat wordt een reductie 20% van het drinkwaterverbruik als doel gesteld. Dit onderzoek toont aan dat het oogsten van regenwater (ofwel Rain Water Harvesting, RWH) in potentie een substantiële bijdrage kan leveren aan deze eis. Daarbij hebben twee factoren een zeer grote invloed: *het kiezen van het juiste schaalniveau van regenwateropvang en de strengheid van de gestelde norm*.

#### **Kiezen van het juiste schaalniveau van regenwateropvang**

Het schaalniveau schaal waarop RWH wordt geëvalueerd is van groot belang voor de impact van deze systemen. Zoals blijkt uit Hoofdstuk 4.2.3, is het voor vrijstaande woningen relatief eenvoudig om het drinkwaterverbruik tot zelfs 75% (82 m<sup>3</sup>/jaar per huishouden) te reduceren. Voor rijwoningen is een reductie van 33% (36 m<sup>3</sup>/jaar per huishouden) haalbaar maar bij appartementen is het realiseren van een besparing van zo'n 8% (9 m<sup>3</sup>/jaar per huishouden) al lastig. Deze resultaten komen orde grootte overeen met de bevindingen van Witteveen+Bos (Phernambucq et al, 2023): in dat onderzoek (uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties) blijkt dat voor een ‘gemiddelde’ woning in Nederland een tank van 5 m<sup>3</sup> een besparing van 23 tot 34% haalbaar is. Hier is echter geen onderscheid gemaakt in verschillende gebouwtypologieën (en daarmee verschillende specifieke watervragen).

Het onderzoek laat zien dat het besparingspotentieel afhankelijk is van de *specifieke watervraag* (de watervraag van een gebouw gedeeld door het toeleverend oppervlak). Vrijstaande woningen hebben een lage specifieke watervraag; appartementen hebben een zeer hoge specifieke watervraag. Dit suggereert dat het belangrijk is om bij stedelijke typologieën met een hoog waterverbruik en beperkt toeleverend oppervlak (zoals appartementen) te kijken naar de implementatie van grote, gemeenschappelijke RWH tanks. Naast louter dakoppervlakken kunnen ook andere verharde oppervlaktes (parkeerplaatsen, industriële daken) afstromend regenwater naar zo'n tanksysteem leiden.

Een aggregatie over het gehele Vitens leveringsgebied laat veel potentie zien, zoals beschreven in Hoofdstuk 4.2.4. Op deze schaal kan, afhankelijk van de gestelde norm, een totale besparing tot zelfs 45% (127 miljoen m<sup>3</sup>/jaar) worden bereikt. Een kanttekening daarbij is dat de verdeling van besparingspotentieel niet gelijk verdeeld is over de huishoudens.

#### **Strengheid van de gestelde norm**

De strengheid van de norm voor het maximaal aantal opeenvolgende dagen dat de tank eenmaal per geaccepteerde herhalingsstijd jaar leegstaat speelt ook een rol bij de effectiviteit van RWH. Hoe strenger de norm (hoe minder geaccepteerde opeenvolgende droge dagen), hoe groter de tank moet zijn om een substantiële besparing op te leveren. Het is echter belangrijk op te merken dat de invloed van deze norm minder groot is dan die van de toevoerende oppervlak.

## 6.2 Aanbevelingen

### **Aanbevelingen voor vervolgonderzoek:**

- Een eerste aanbeveling is om het onderzoek uit te breiden met gedetailleerdere gebruiksscenario's. Nu is uitgegaan van een gelijke dynamiek tussen verschillende bouwtypen. Echter, aangezien appartementen geen tuin hebben zal de dynamiek een lagere amplitude hebben dan een vrijstaande woning op een groot perceel.
- Een soortgelijke studie kan ook worden uitgevoerd voor een deel van het leveringsgebied, bijvoorbeeld van een gebied dat afhankelijk is van een grondwateronttrekking met een (te) beperkte capaciteit of die grote gevolgen heeft voor natuur en landbouw.
- Een soortgelijke studie kan ook worden uitgevoerd voor bedrijfs- en utiliteitsgebouwen. Wat zijn de mogelijkheden om hun 'industriële' drinkwaterverbruik te beperken?
- Daarnaast wordt aanbevolen om de effecten van verschillende daktypen (plat, groen) door te rekenen op de potentie voor regenwaterhergebruik.
- De berekeningen in dit rapport zijn gebaseerd op het huidige klimaat. Het is aanbevolen om een berekening te doen voor toekomstige klimaatscenario's.
- Verbreed het onderzoek naar alle co-benefits van regenwaterhergebruik, zoals verminderde wateroverlast.
- Onderzoek of en zo ja hoe groot de gezondheidseffecten van regenwaterhergebruik in werkelijkheid zijn in gebieden waarin RWH standaardpraktijk is, zoals in Vlaanderen.
- Onderzoek de governance-barrières (rond beleid, regelgeving, capaciteit en kunde rond de aanleg en het beheer, organisatorische en financieringsaspecten) die een grootschalige realisatie hinderen en geef aan hoe die geslecht kunnen worden.

### **Aanbevelingen voor de implementatie van regenwaterhergebruik:**

- Maak regenwaterhergebruik verplicht voor nieuwbouw woningen. De integratie van regenwatertanks in het ontwerp drukt de kosten. Een tank van 5-10 m<sup>3</sup> is voor rijwoningen en vrijstaande woningen voldoende om 33% tot wel 75% van de drinkwatervraag te besparen.
- Kijk in hoogstedelijke omgevingen naar mogelijkheden om andere verharde oppervlaktes op de regentank aan te sluiten. Bij appartementen geeft een tank van 20 m<sup>3</sup> waar alleen het dak van het gebouw op aangesloten is een maximale besparing van zo'n 8%; een grotere tank heeft geen nut omdat het dakoppervlak ontoereikend is. Het aansluiten van bijvoorbeeld een parkeerplaats op de tank maakt wél een grotere besparing mogelijk.
- Onderzoek mogelijkheden om de RWH-technieken te verbeteren. Denk aan technieken om de waterkwaliteit in de tank te verbeteren, voorraadafhankelijk gebruik te ondersteunen en aanleg en/of beheer te vereenvoudigen.

## 7 Literatuurlijst

Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M.K., Friedler, E., DeBusk, K.M., Fisher-Jeffes, L., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H., Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Research*, 115, 195–209. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>

Egyir, S.I., Brown, C., Arthur, S. (2016). Rainwater as a Domestic Water Supplement in Scotland: Attitudes and Perceptions. *British Journal of Environment and Climate Change*, 6(3), 160–169. <https://doi.org/10.9734/bjecc/2016/23723>

Harbers, M., Heijnen, V.L.W.A. (2022). Water en Bodem Sturend [Kamerbrief]. Geraadpleegd van <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-c35e65eba0903d738ae26dab222462337b0d8de7/pdf>

Hofman, J.A.M.H., Paalman, M. (2014). Rainwater harvesting, a sustainable solution for urban climate adaptation? KWR. Geraadpleegd van <https://edepot.wur.nl/345625>

Hofman-Caris, C., de Waal, L.P., van den Brand, T.P.H., van der Aa, R., van der Hoek, J. (2018). Regenwater als bron voor drinkwater in Nederland : Weegt milieuwinst op tegen de kosten? H2O. Geraadpleegd van [http://api.kwrwater.nl/uploads/2018/06/Hofman-Caris-de-Waal-van-den-Brand-van-der-Aa-van-der-Hoek-Regenwater-als-bron-voor-drinkwater-in-Nederland-weegt-milieuwinst-op-tegen-de-kosten-H2O-Online-\(2018\)6-juni.pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2018/06/Hofman-Caris-de-Waal-van-den-Brand-van-der-Aa-van-der-Hoek-Regenwater-als-bron-voor-drinkwater-in-Nederland-weegt-milieuwinst-op-tegen-de-kosten-H2O-Online-(2018)6-juni.pdf)

lenW. (2023). De Staat van ons water 2022. Rapportage over de uitvoering van het waterbeleid in 2022. Geraadpleegd van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/05/17/bijlage-rapportage-staat-van-ons-water-2022>

KNMI. (2023a). Klimaatviewer. Geraadpleegd van [https://www.knmi.nl/klimaat-viewer/kaarten/neerslag-verdamping/gemiddelde-hoeveelheid-neerslagoverschot/jaar/Periode\\_1981-2010](https://www.knmi.nl/klimaat-viewer/kaarten/neerslag-verdamping/gemiddelde-hoeveelheid-neerslagoverschot/jaar/Periode_1981-2010)

KNMI. (2023b). Neerslagtekort / Droogte. Geraadpleegd van [https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/neerslagtekort\\_droogte](https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/neerslagtekort_droogte)

KNMI. (2023c). Daggegevens van het weer in Nederland. Geraadpleegd van <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens>

KNMI. (z.d. a). Uitleg over Droogte. Geraadpleegd van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/droogte#:~:text=Wel%20geven%20ze%20een%20eerste,2021%20en%202023%20publicaties%20uitbrengt>

KNMI. (z.d. b). Archief doorlopend potentieel neerslagoverschot (gevalideerde data). Geraadpleegd van <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/archief-neerslagoverschot>

KWR. (z.d.). Regenwater als bron voor drinkwater: productiekosten en milieuaspecten. Geraadpleegd van <https://www.kwrwater.nl/projecten/regenwater-als-bron-voor-drinkwater-productiekosten-en-milieuaspecten/>



- NOS. (2022). Vitens verkoopt nee aan voedselproducenten door drinkwatertekort. Geraadpleegd van <https://nos.nl/artikel/2434335-vitens-verkoopt-nee-aan-voedselproducenten-door-drinkwatertekort>
- Pandey, D.N., Gupta, A.K., Anderson, D.M. (2003). Rainwater harvesting as an adaptation to climate change. *Current Science*, 85(1), 46–59. Geraadpleegd van <http://repository.ias.ac.in/21926/1/21926.pdf>
- PDOK. (z.d.). Dataset: Basisregistratie Adresen en Gebouwen (BAG). Geraadpleegd van <https://www.pdok.nl/introductie/-/article/basisregistratie-adresen-en-gebouwen-ba-1>
- Phernambucq, I., Klein, J., Remijn, E., Hermans, P. (2023). Hemelwater- en grijswatergebruik in het gebouw: Mogelijke verplichting in het Bbl. Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. Witteveen+Bos. Geraadpleegd van <https://open.overheid.nl/documenten/fdd63490-0688-4caf-b9e1-d9c83d29c68a/file>
- Raad voor de Transportveiligheid (2003). Verontreiniging drinkwater Leidsche Rijn.
- Santos, S.M.D., De Farias, M.M.M. (2017). Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semi-arid region in northeast Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1007–1015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.251>
- Sumaqua. (z.d.). Sirio, the key software to design optimal rainwater systems. Geraadpleegd van <https://www.sumaqua.be/sirio>
- Summerville, N., Sultana, R. (2019). Rainwater harvesting potential in a semi-arid Southern California city. *AWWA water science*, 1(1). <https://doi.org/10.1002/aws2.1123>
- van der Aa, N.G.F.M., Tangena, B.H., Wuijts, S., de Nijs, A.C.M. (2015). Scenario's drinkwatervraag 2040 en beschikbaarheid bronnen : Verkenning grondwatervoorraden voor drinkwater. RIVM. Geraadpleegd van <https://www.rivm.nl/publicaties/scenarios-drinkwatervraag-2040-en-beschikbaarheid-bronnen-verkenning>
- VEWIN. (2022). Drinkwaterstatistieken 2022. Van bron tot kraan. Geraadpleegd van <https://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Cijfers/Vewin-Drinkwaterstatistieken-2022-NL-WEB.pdf>
- Vitens. (2023). Tarievenregeling consumenten 2023. Geraadpleegd van <https://www.vitens.nl/-/media/Project/Vitens/VitensNI/Tarieven-en-voorwaarden/Tarieven-2023/Vitens-Tarieven-2023-Consumenten-DEF.pdf>
- Vlaanderen. (z.d. a). Verplichte installatie van een regenwaterput en infiltratiesysteem bij nieuwbouw en herbouw. Geraadpleegd van <https://www.vlaanderen.be/verplichte-installatie-van-een-regenwaterput-en-infiltratiesysteem-bij-nieuwbouw-en-herbouw>
- Vlaanderen. (z.d. b). Ontdek jouw ideale regenwaterput. Geraadpleegd van <https://groenblauwpeil.be/rainwaterwell>
- Ziegler, H. (z.d.). Raindrops falling in my reservoir – Harvesting rain in Germany and the EU. Smart Cities Dive. Geraadpleegd van <https://www.smartcitiesdive.com/ex/sustainablecitiescollective/raindrops-falling-my-reservoir-harvesting-rain-germany-and-eu/16781/>

# A Bestaande modellen

## Groenblauwpeil – bereken de optimale regenwatertank

Groenblauwpeil is een officiële website van de Vlaamse overheid waar een simpele tool beschikbaar is gemaakt om de optimale regenwatertank voor een huishouden te berekenen. De tool houdt rekening met de aangesloten verhardingen en de toepassingen voor hergebruik, maar geeft ook suggesties ter optimalisatie.

Bij de berekening van de regenwatertank worden de volgende stappen doorlopen:

1. Type gebouw kiezen waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen:
  - a. Eengezinswoning
  - b. Meergezinswoning
  - c. Kantoor
  - d. School
  - e. Andere
2. Hoeveel mensen wonen/werken in het gebouw.
3. Wat het dak oppervlakte is, met wat voor dak type (plat, hellend of groendak) en of het dak afwatert naar de regenwaterput.
4. De verwachte waterverbruik afhankelijk van de volgende toepassingen:
  - a. WC doorspoelen (21 L per ie)
  - b. Wasmachine (15 L per ie)
  - c. Poetsen (6 L per ie)
  - d. Tuin sproeien (voor het gebruik van regenwater voor de tuin wordt rekening gehouden met de weersomstandigheden tijdens een gemiddeld jaar. Zo wordt er verondersteld dat er een hogere waterbehoefte bij planten is bij warme, droge dagen dan op koudere of bewolkte dagen. Deze berekening wordt uitgevoerd op basis van verdampingstijdreeksen. Zo wordt er verondersteld dat er een gemiddelde irrigatiebehoefte is van 124 L per m<sup>2</sup>)

Als eis wordt er gesteld dat de regenwatertank gedimensioneerd moet worden waarbij die maximaal 1% van de tijd leegstaat (3,65 dagen per jaar). Het is onduidelijk of dit een statistische eis betreft, of een 'gemiddeld' jaar.

Het berekenen van de optimale regenwatertank via Groenblauwpeil lijkt erg op de methode beschreven in dit rapport. Een interessante factor die in Groenblauwpeil mee wordt genomen is het daktype, waar er een onderscheid wordt gemaakt tussen plat, hellend of groen dak.

## Sirio - efficiënt ontwerpen met hemelwater

Sirio is een uitgebreide tool om rioleringsontwerpen kwantitatief te evalueren. De tool is opgebouwd uit bakjesmodellen, waar elk reservoir zijn eigen set aan parameters heeft. Sirio heeft een module om berekeningen uit te voeren voor regenwatertanks en het hergebruik van regenwater.

Hierbij zijn er twee verschillende soorten berekeningen die gedaan kunnen worden:

- 1) Berekenen hoeveel hergebruik van regenwater mogelijk is voor een specifieke configuratie. Deze aanpak laat zien hoe vaak en wanneer een tank leeg komt te staan.
- 2) Berekenen hoe groot een regenwatertank moet zijn om aan een bepaalde leegstandpercentage te voldoen.

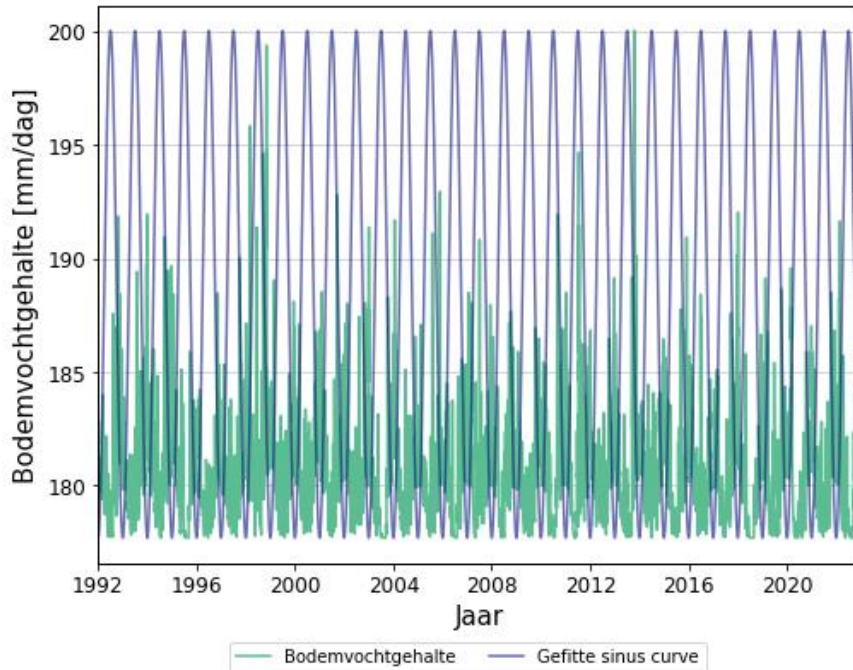
Sirio kan de berekeningen simuleren voor het huidige klimaat, maar ook voor een toekomstig klimaat in Vlaanderen van 2050 en 2100.

De parameters die opgegeven moeten worden zijn:

- Toevoerende dak oppervlakte [ha]
- Afstromingscoëfficiënt [-] (*Sirio raad aan om 0,8 te gebruiken voor een plat dak en 0,9 voor een hellend dak*).
- Oppervlakteberging [mm] (*Sirio raad aan om 2 mm te gebruiken voor een plat dak en 1 mm voor een hellend dak*).
- Hergebruik [l/dag] (*constant of met een maandelijkse variatie*).
- Regenwater tank capaciteit [m<sup>3</sup>] (*alleen bij optie 1*)
- Geaccepteerd leegstandpercentage [%] (*alleen bij optie 2*)

## B Berekening seizoendynamiek

Op basis van generieke gebiedskenmerken is voor de afgelopen 31 jaar (01-01-1992 t/m 31-12-2022) is het bodemvochtgehalte van een grasveld uitgerekend. Dit is weergegeven in Figuur 22.



Figuur 22: Gemodelleerde bodemvochtgehalte met daarop gefitte curve.

Om de seizoendynamiek hier uit te bepalen, is er eerst een sinuscurve gefit op de gemodelleerde bodemvochtgehaltecurve. Deze curve is vervolgens over zijn x-as gespiegeld, aangezien de periodes met de laagste bodemvochtgehaltes, de periodes zijn met de hoogste verwachte watervraag. Vanuit de gespiegelde sinus curve konden de golfperiode ( $T = 2\pi/w$ , waarbij  $w$  de hoekfrequentie is) en de faseverschuiving ( $\phi$ ) van de watervraagcurve bepaald worden.

De juiste amplitude van de sinus curve is daarna gevonden door de oppervlakte onder de curve gelijk te stellen aan de jaarlijkse watervraag (283 miljoen  $m^3$ ), waarbij de horizontale verplaatsing van de curve gelijk was gesteld aan een constante dagelijkse component (toilet spoelen en kleding wassen, 96% van de jaarlijkse watervraag) plus de amplitude van de nog onbekende seizoendynamiek. Dit is weergegeven in onderstaande functie. In deze functie zijn alle parameters behalve de amplitude ( $A$ ) bekend.

$$\text{Jaarlijkse watervraag} = \int_0^{365} (A * \sin(wx + \phi) + \text{constante dagelijkse watervraag} + A) dx$$

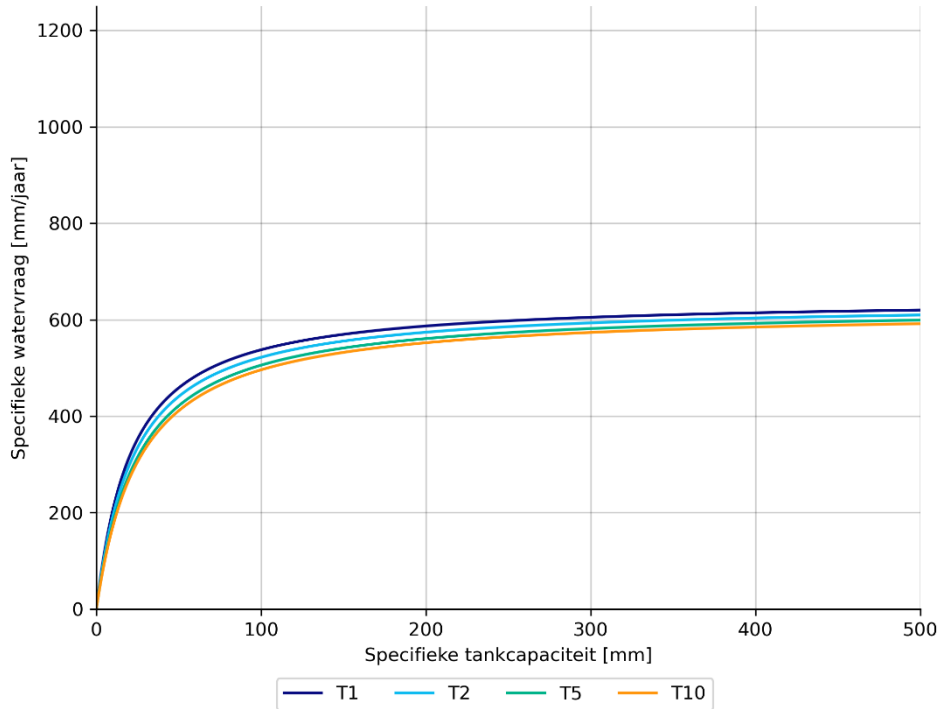
Door de functie te herschrijven voor  $A$ , kon de amplitude van de watervraag curve gevonden worden:

$$A = - \frac{w (365 * \text{constante dagelijkse watervraag} - \text{jaarlijkse watervraag})}{-\cos(\phi + 365 * w) + \cos(\phi) + 365 * w}$$

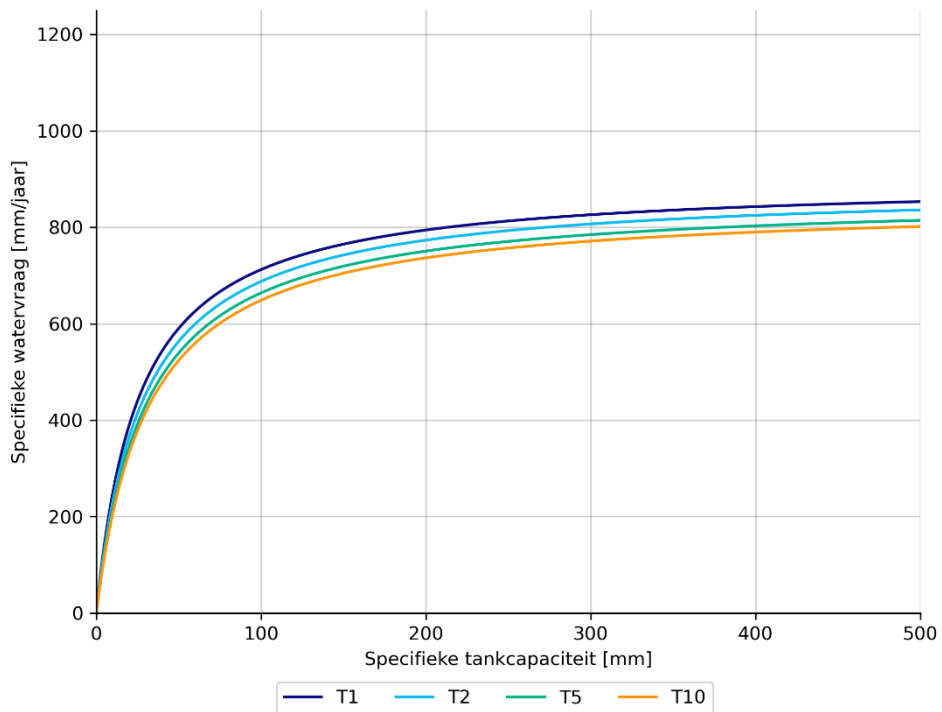
# C Modeluitvoer

In deze bijlage staan alle resulterende curves van de gedane modelruns.

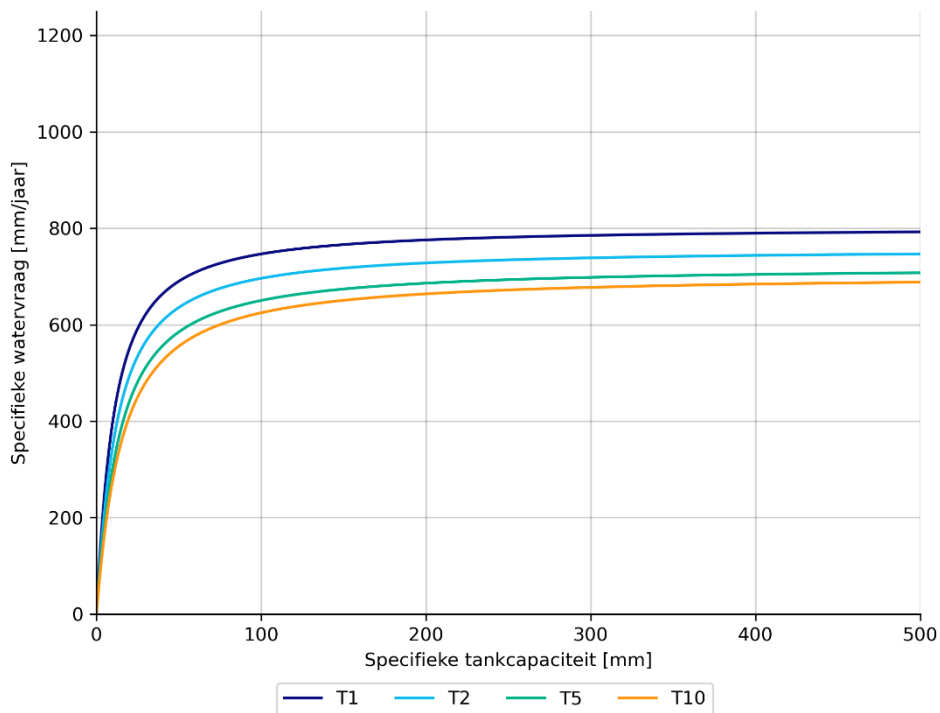
## Systemcurves



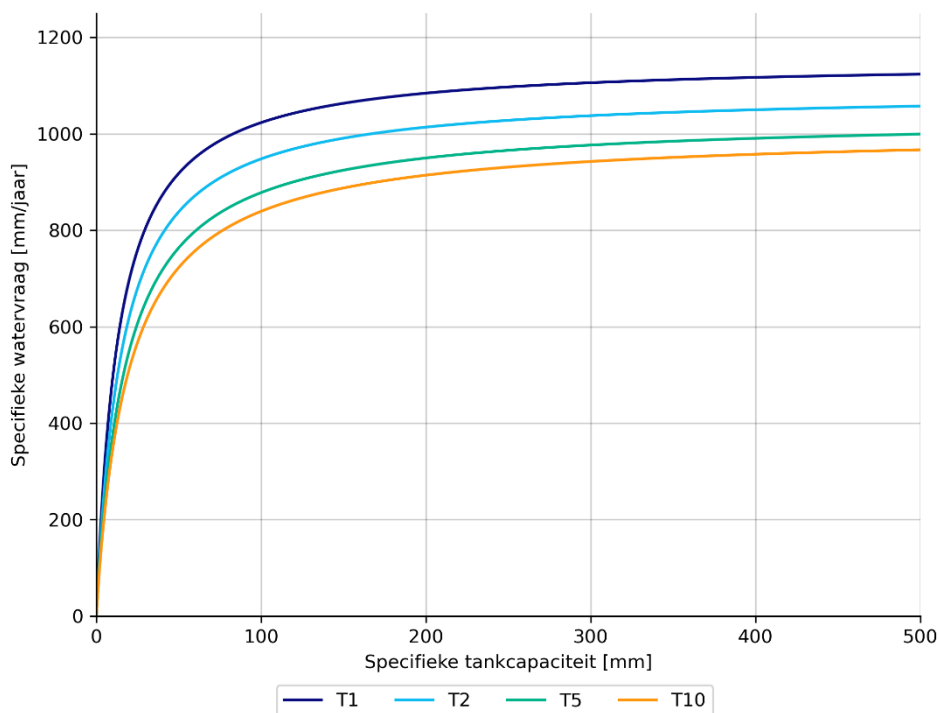
Figuur 23: Systemcurve: norm = 3 dagen, gelijkblijvend verbruik.



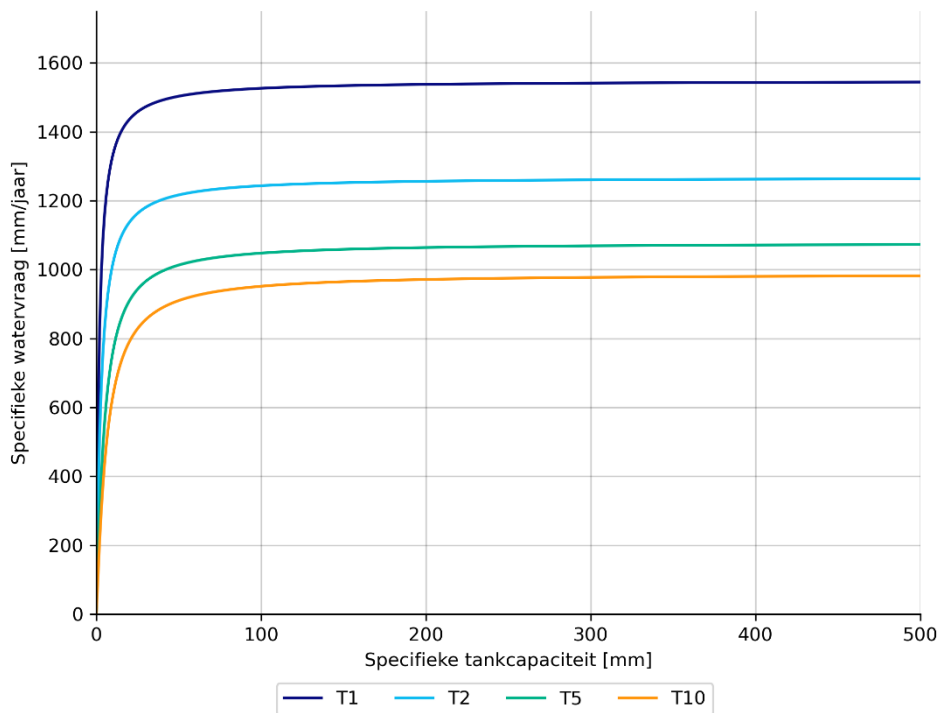
Figuur 24: Systemcurve: norm = 3 dagen, voorraadafhankelijk verbruik.



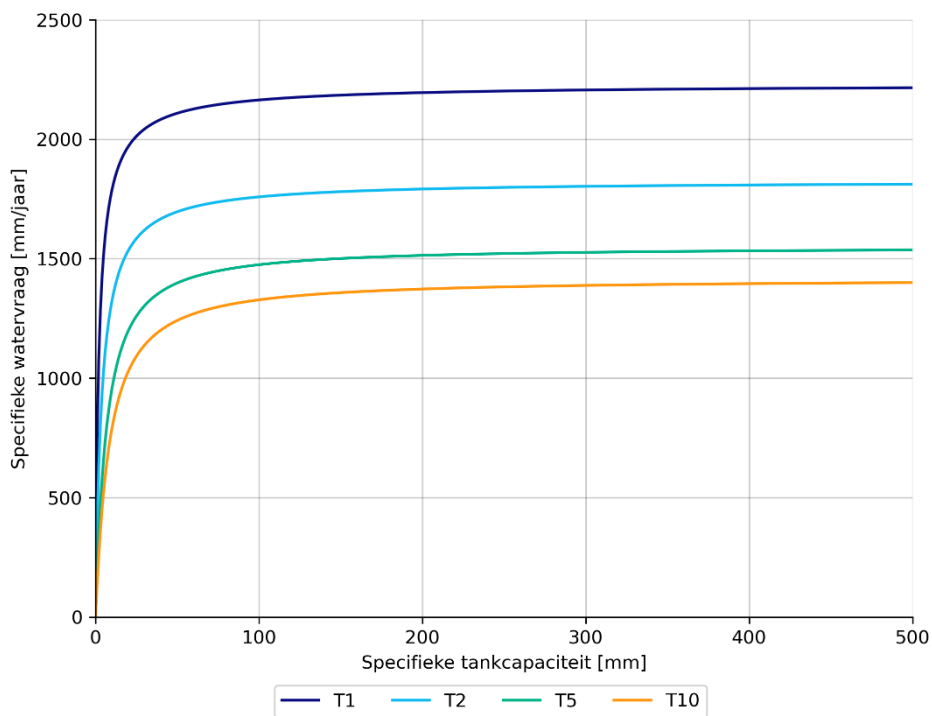
Figuur 25: Systeemcurve: norm = 7 dagen, gelijkblijvend verbruik.



Figuur 26: Systeemcurve: norm = 7 dagen, voorraadafhankelijk verbruik.

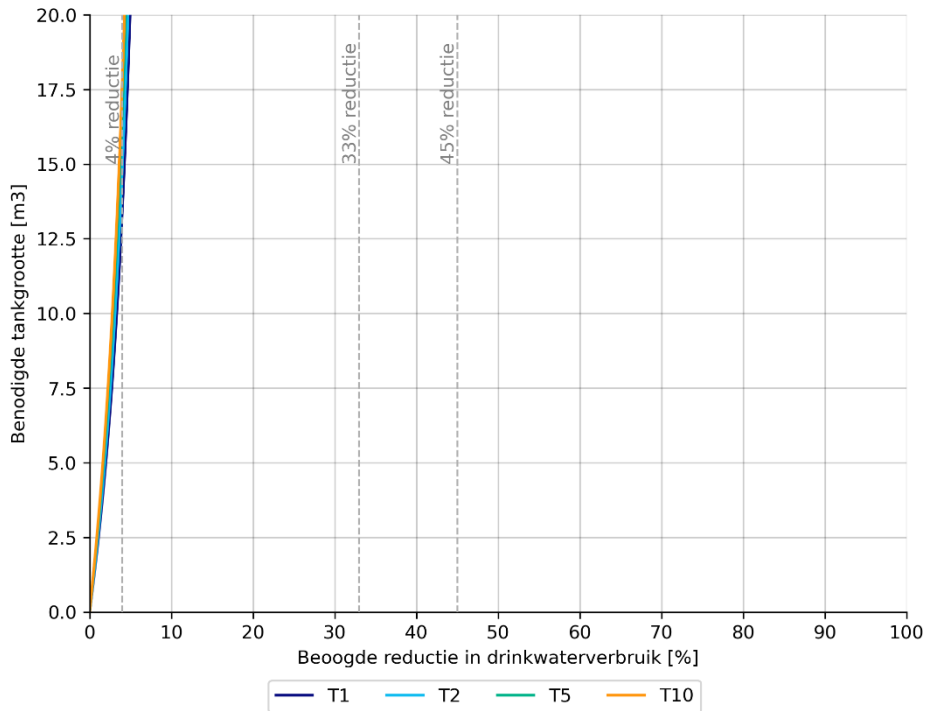


Figuur 27: Systeemcurve: norm = 14 dagen, gelijkblijvend verbruik.

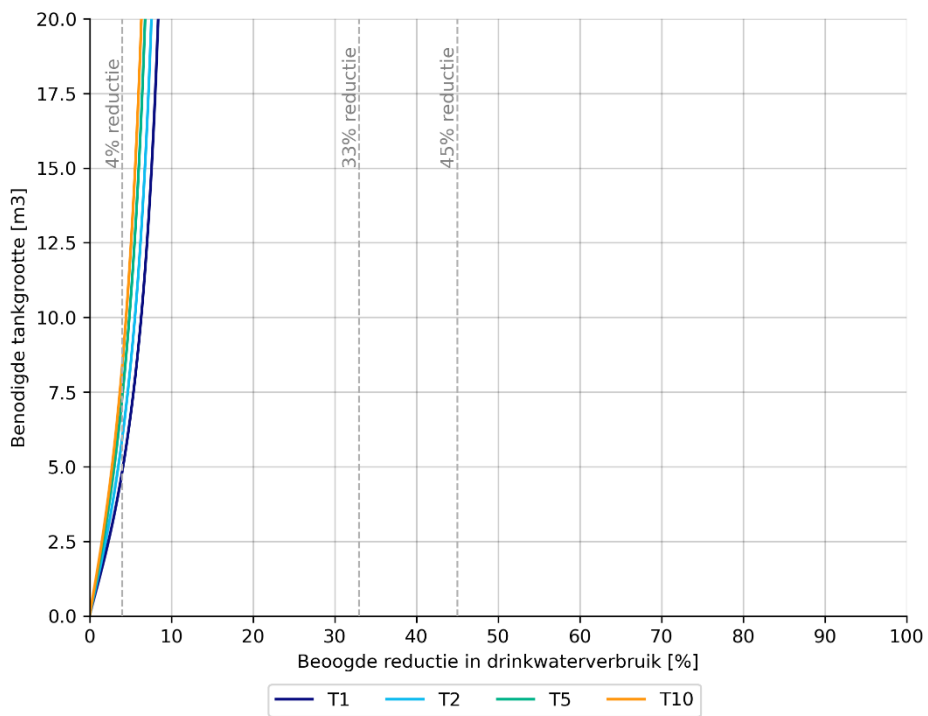


Figuur 28: Systeemcurve: norm = 14 dagen, voorraadafhankelijk verbruik.

## Typologie curves Appartementen

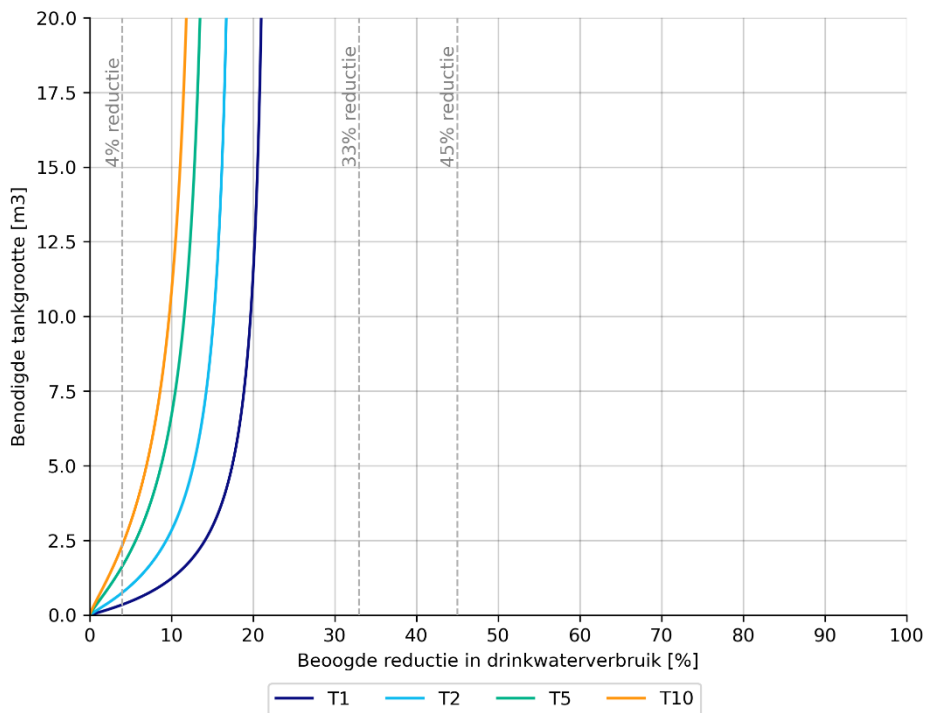


Figuur 29: Besparingscurves voor appartementen. Norm = 3 dagen, gelijkblijvend verbruik.



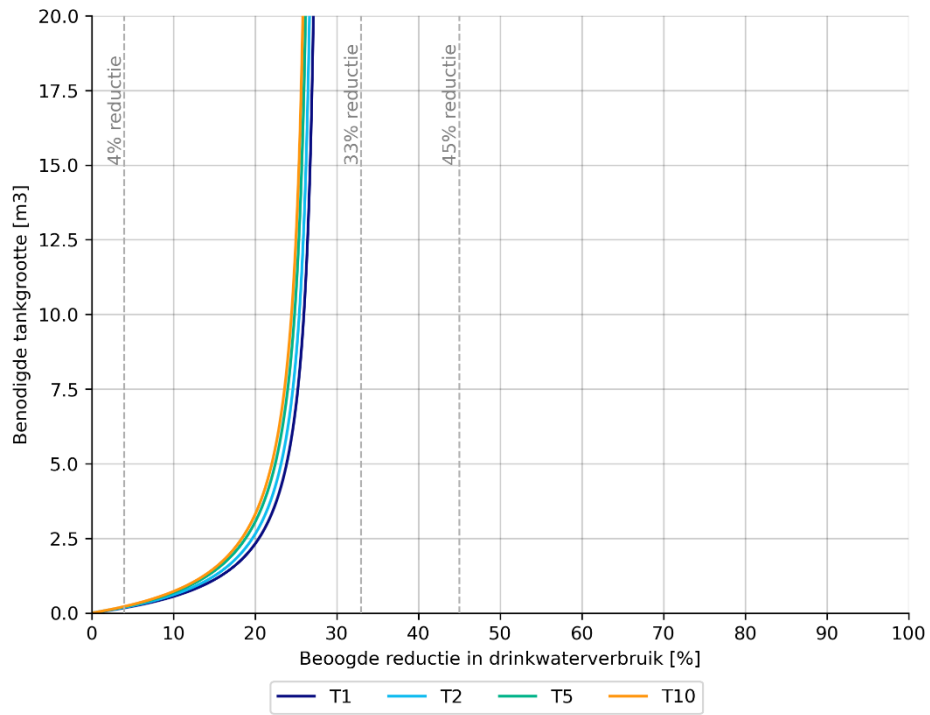
Figuur 30: Besparingscurves voor appartementen. Norm = 7 dagen, gelijkblijvend verbruik.



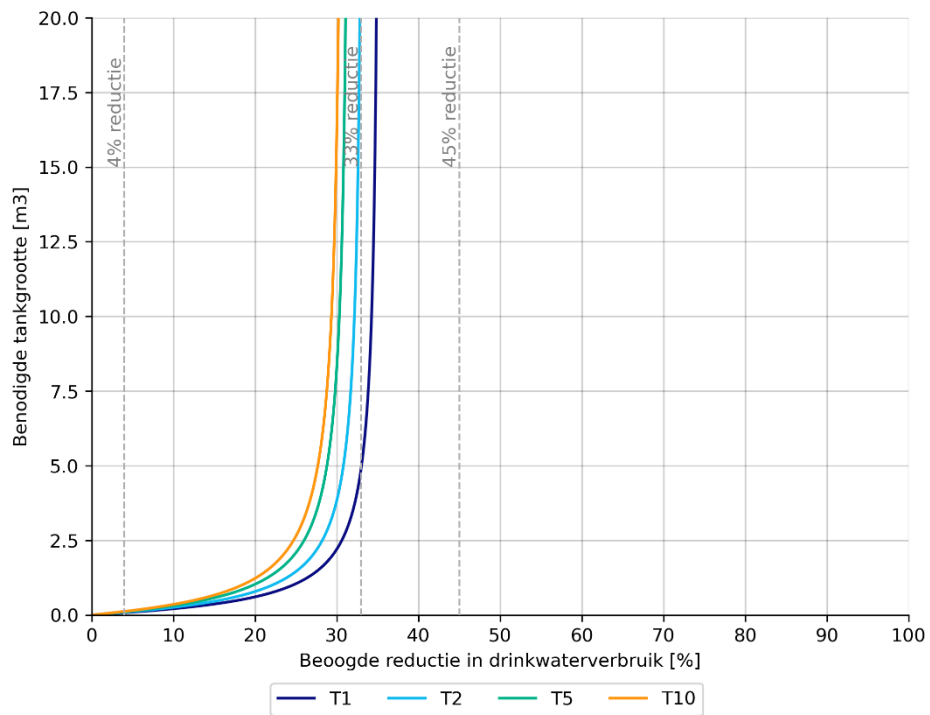


Figuur 31: Besparingscurves voor appartementen. Norm = 14 dagen, gelijkblijvend verbruik.

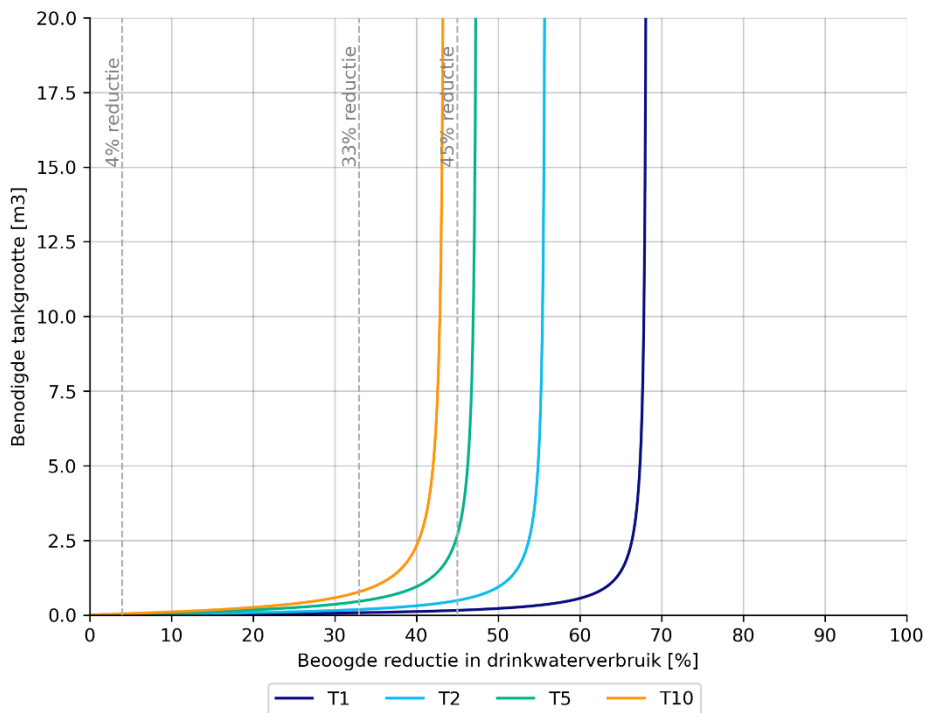
## Rijwoningen



Figuur 32: Besparingscurves voor rijwoningen. Norm = 3 dagen, gelijkblijvend verbruik.

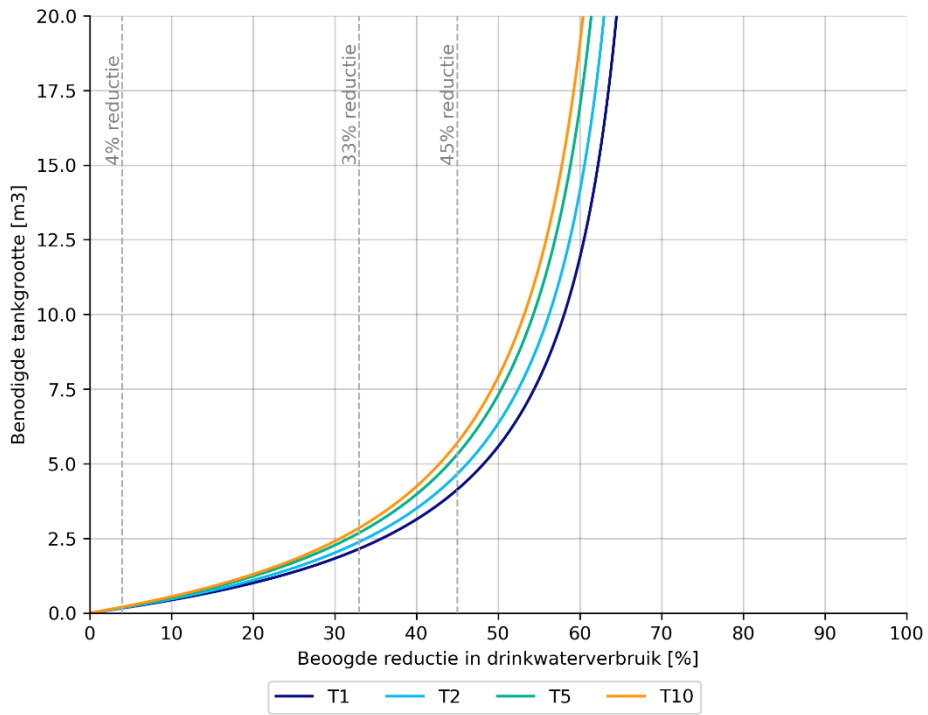


Figuur 33: Besparingscurves voor rijwoningen. Norm = 7 dagen, gelijkblijvend verbruik.

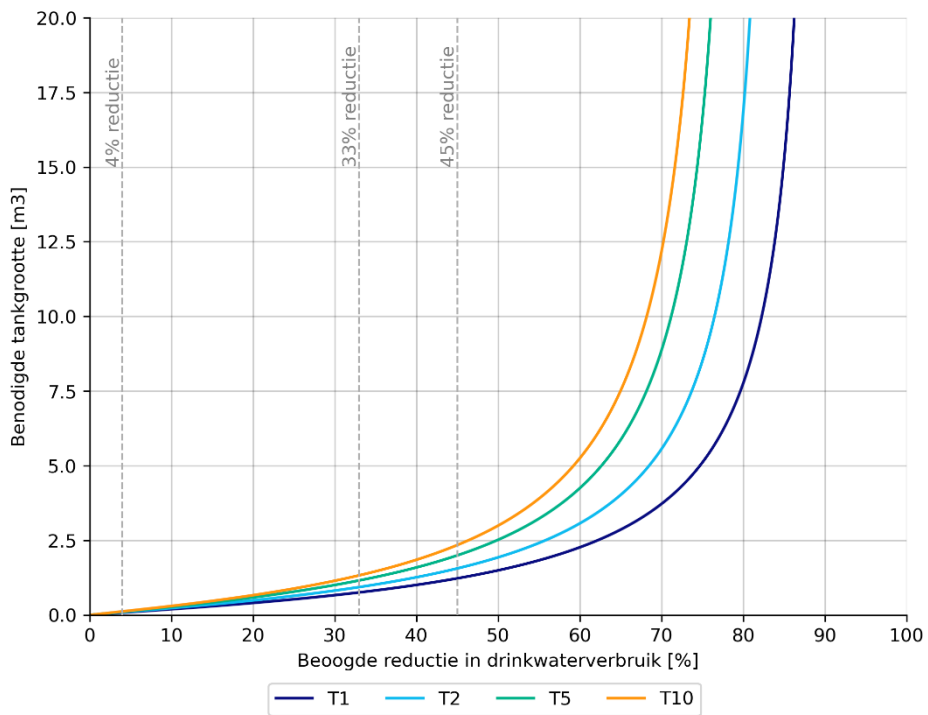


Figuur 34: Besparingscurves voor rijwoningen. Norm = 14 dagen, gelijkblijvend verbruik.

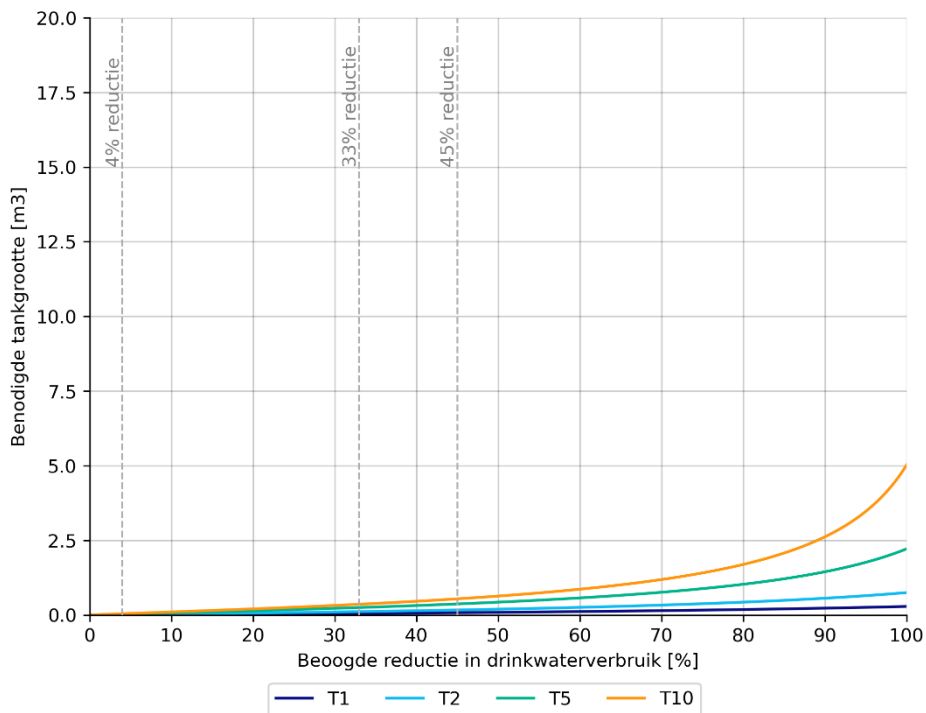
### Vrijstaande woningen



Figuur 35: Besparingscurves voor vrijstaande woningen. Norm = 3 dagen, gelijkblijvend verbruik.

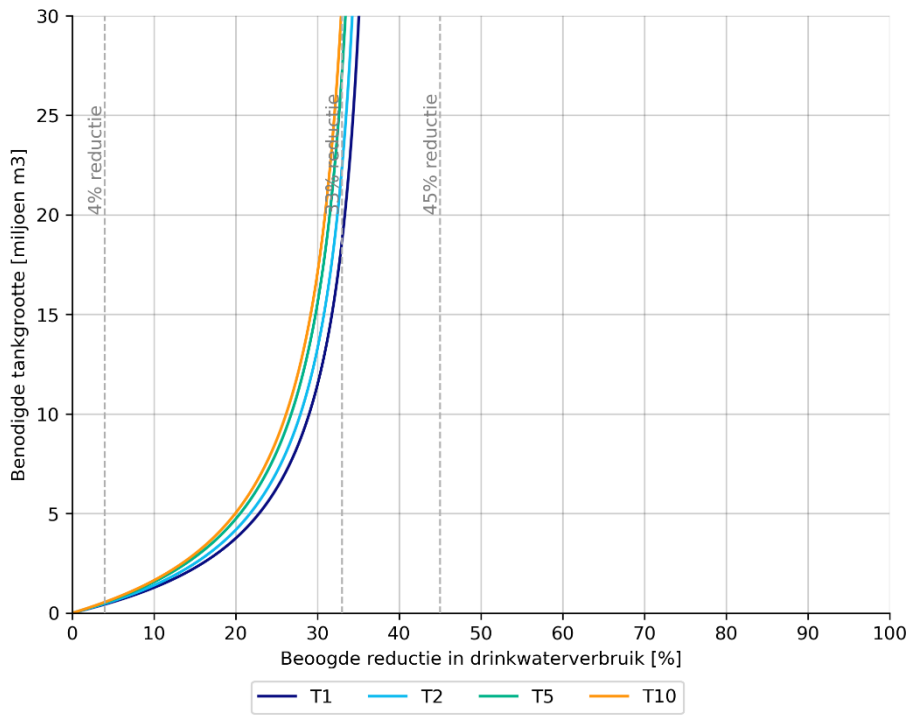


Figuur 36: Besparingscurves voor vrijstaande woningen. Norm = 7 dagen, gelijkblijvend verbruik.

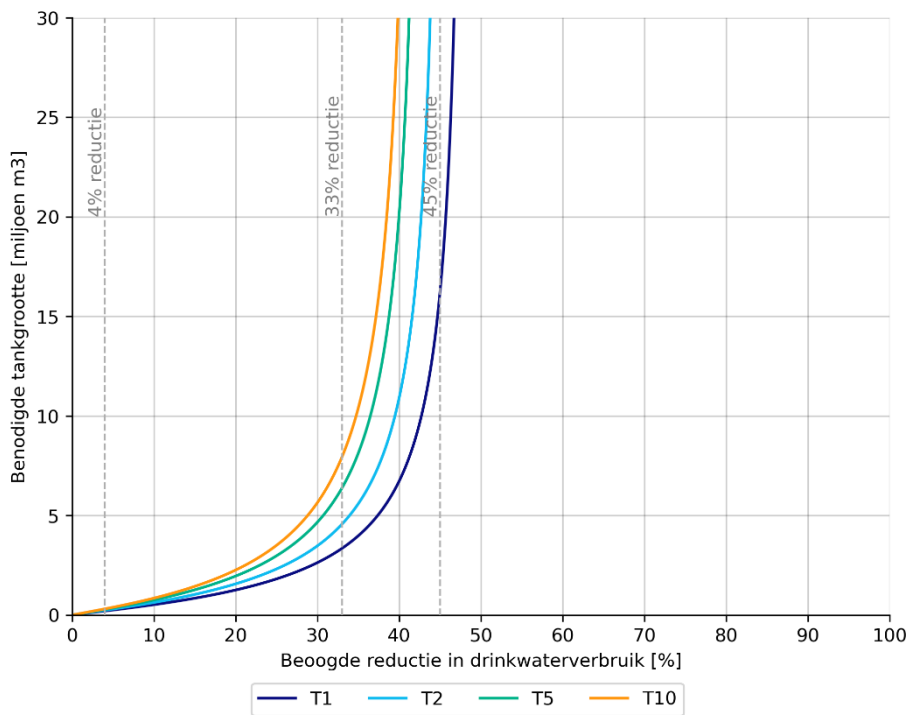


Figuur 37: Besparingscurves voor vrijstaande woningen. Norm = 14 dagen, gelijkblijvend verbruik.

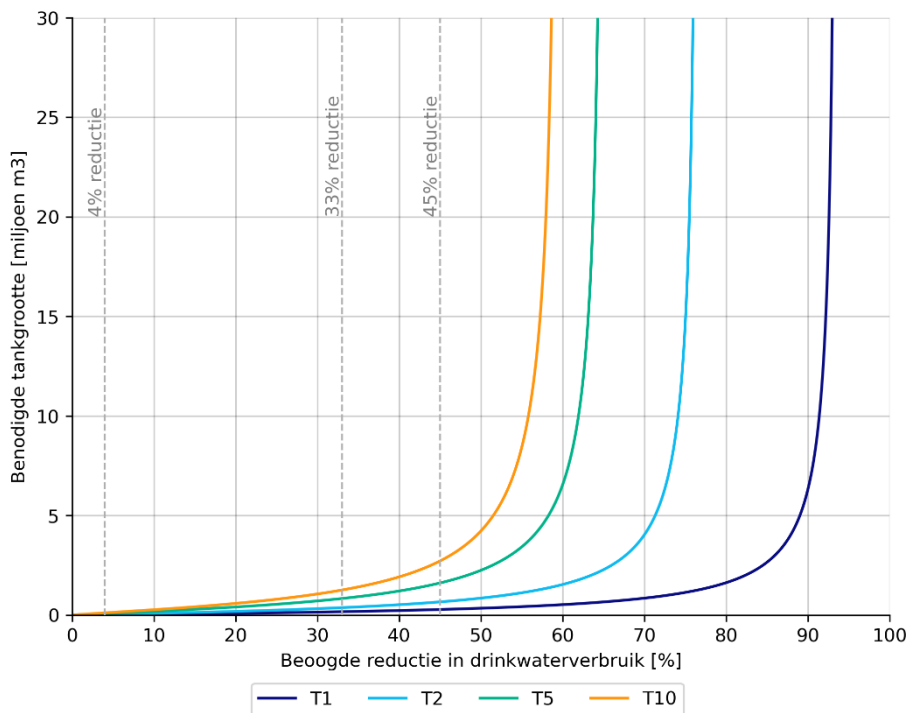
Vitens leveringsgebied



Figuur 38: Besparingscurves voor Vitens leveringsgebied. Norm = 3 dagen, gelijkblijvend verbruik.



Figuur 39: Besparingscurves voor Vitens leveringsgebied. Norm = 7 dagen, gelijkblijvend verbruik.



Figuur 40 Besparingscurves voor Vitens leveringsgebied. Norm = 14 dagen, gelijkblijvend verbruik.

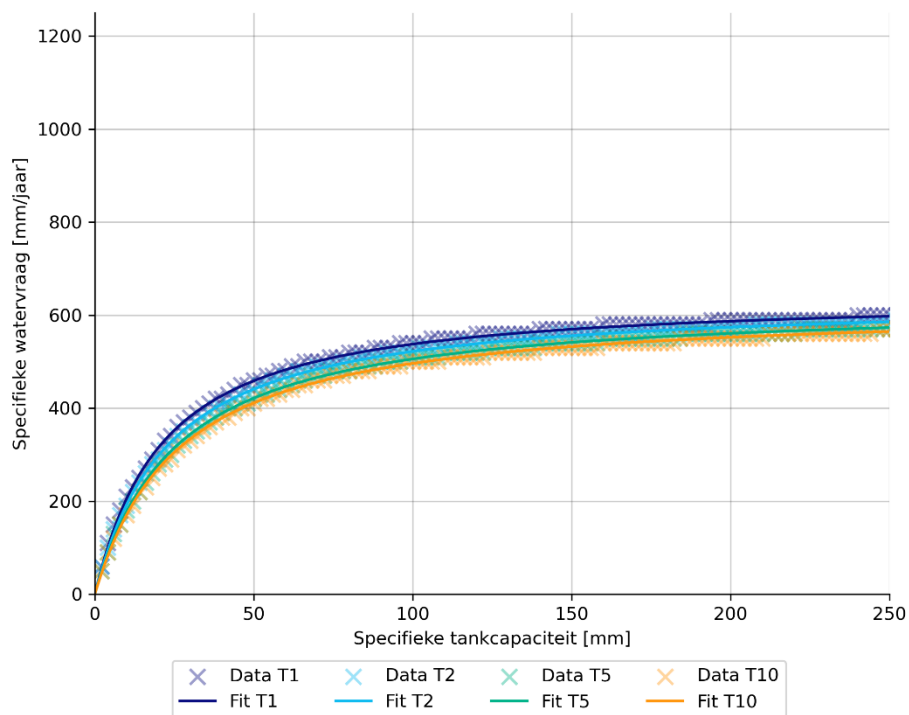
## D Fitten van data

Voor het fitten van de modeluitvoer (tankgrootte versus specifieke drinkwatervraag) is gebruik gemaakt van een asymptotische functie. De datapunten worden nauwkeurig beschreven door de functie:

$$y = \frac{a * x^n}{x^n + b}$$

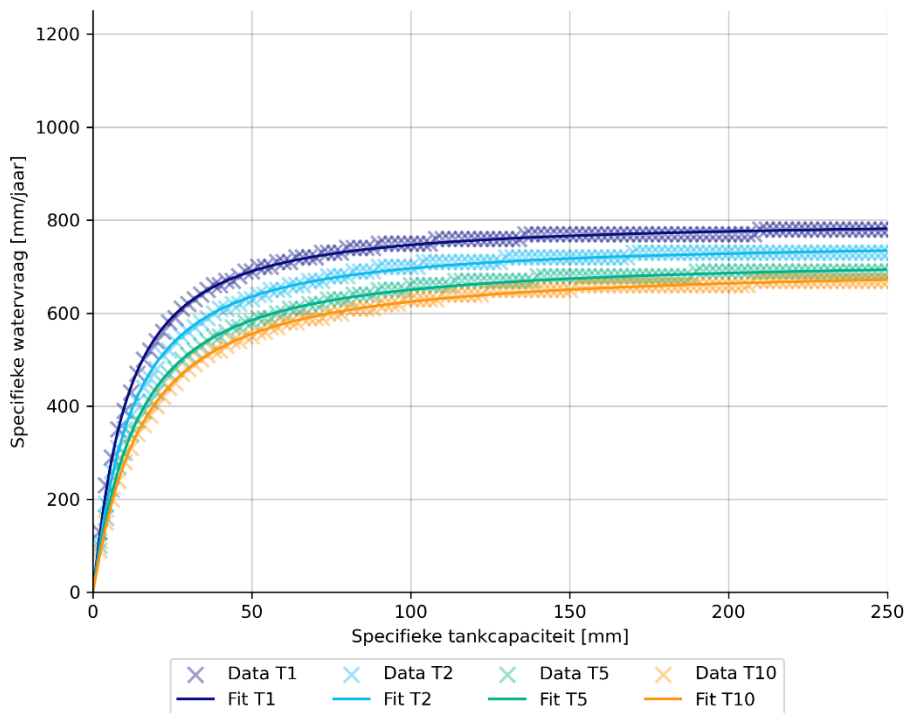
Waarin y = specifieke watervraag en x = specifieke tankcapaciteit.

In Figuur 41, Figuur 42 en Figuur 43 is te zien dat de systeemcurve zeer goed kan worden gefit op de datapunten.

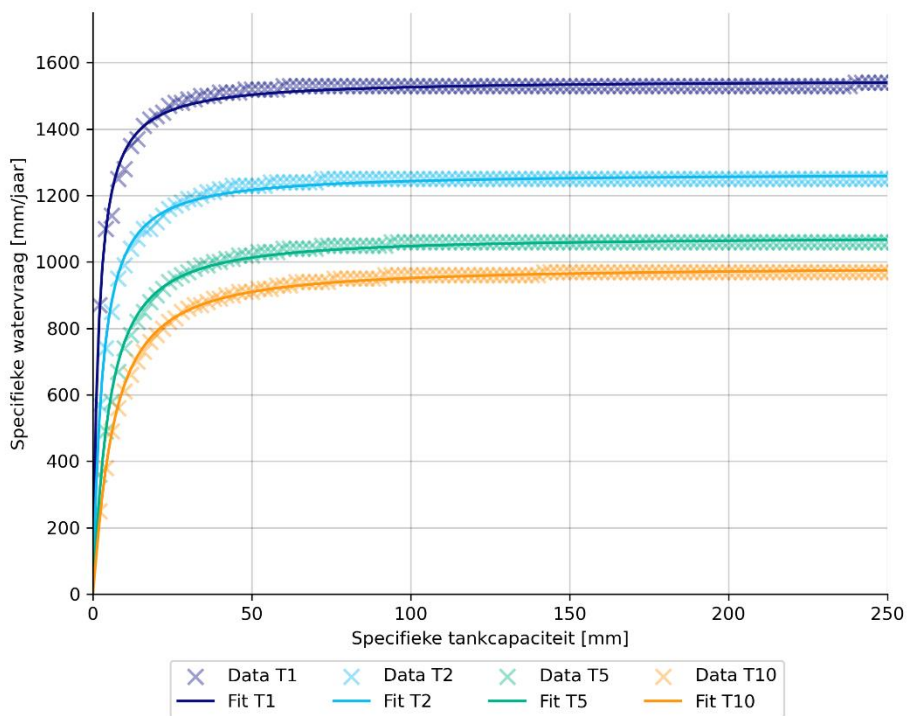


Figuur 41: Systeemcurve met gefitte data. Norm = 3 dagen, gelijkblijvend verbruik.





Figuur 42: Systeemcurve met gefitte data. Norm = 7 dagen, gelijkblijvend verbruik.



Figuur 43: Systeemcurve met gefitte data. Norm = 14 dagen, gelijkblijvend verbruik.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)