

## Memo van de gedeputeerde

M.J.G. Spierings

Gedep. Agrar. ontw., Energie en Bestuur

**Onderwerp**

Onderzoek potentie waterkracht Noord-Brabant

**Datum**

20 februari 2019

**Documentnummer**

4466963

**Aan**

Provinciale Staten van  
Noord-Brabant

**Kopie aan**

**Van**

M.J.G. Spierings

**Telefoon**

(073) 681 25 80

**Email**

mspierings@brabant.nl

**Bijlage(n)**

1

Geachte Statenleden,

Tijdens de oordeelsvormende themabijeenkomst over het Statenvoorstel 86/18 Energieagenda 2019-2030 (hierna Energieagenda 2030) heb ik toegezegd u te informeren over een onderzoek van de Brabantse waterschappen naar de potentie van waterkracht.

Bijgevoegd is een onderzoek van HKV consultants, die in opdracht van de initiatiefgroep 'energie uit watergangen' de afgelopen maanden onderzoek heeft gedaan naar de valkracht en stroomkracht van water in de Brabantse watergangen. De initiatiefgroep bestaat uit vertegenwoordigers van drie Brabantse waterschappen: de Dommel, Brabantse Delta en Aa en Maas en waterschap Limburg. HKV heeft drie casus situaties doorgerekend, van ieder waterschap één casus, en dit door vertaald naar de potentie in de provincie Noord-Brabant.

Naast dit nu opgeleverde onderzoek van HKV, is in overleg met de waterschappen en de provincie een vervolgoopdracht gegeven aan IF Technology om de potentie van thermische energie uit oppervlaktewater te gaan bepalen. Een onderzoek naar de potentie van thermische energie uit rioolwater wordt nog aan deze vervolgoopdracht toegevoegd. Voor de zomer verwachten wij de resultaten van de IF Technology studie, die dan aan uw Staten worden toegestuurd.

Met vriendelijke groet,

Anne-Marie Spierings

# Energiepotentie uit oppervlaktewater

Casus Waterkracht in Noord Brabant

Opdrachtgever



PNB – Sustainable  
Energy Farming (SEF)  
programma



# Energiepotentie uit oppervlaktewater

---

Casus Waterkracht in Noord Brabant

Conceptrapport



**Auteur(s)**

Geerten Horn

Job Udo

PR3620.12

februari 2019



## Samenvatting

Deze rapportage geeft een beeld van de waterkrachtpotentie van een drietal gebieden in Brabant. Er is Brabant breed nog geen overzicht van de potentie van waterkracht in het oppervlaktewater systeem. Bovendien zijn de mogelijkheden en potentie rond waterkracht uit vrij stromende beken, die typerend zijn voor het Brabantse landschap, niet duidelijk. Werkplaats de Gruyter heeft HKV gevraagd om de potentie aan energie uit watergangen te onderzoeken.

Deze rapportage analyseert de potentie van waterkracht voor een drietal casussen in Brabant. Hierbij ligt de focus op energieopwekking uit verval en uit vrije stroming. Voor deze drie casussen wordt een ruimtelijk beeld gegeven van de energiepotentie.

Energie uit verval heeft potentie voor opwekking van kleinschalige waterkracht. In de drie casussen is een aantal locaties aanwezig waar op kleine schaal energie opgewekt kan worden (tot wel 200 huishoudens). Over de drie casussen samen geeft dit een energiepotentieel uit verval dat overeenkomt met het jaargebruik van 760 huishoudens. Voor kinetische energie uit vrije stroming is deze potentie binnen de casussen beperkt, echter is dit beperkte potentieel wel op veel plekken winbaar.

In bestaande stuwen kan waterkracht (uit verval) gecombineerd worden met de huidige functie als stuw. Het is dan bij het kiezen van geschikte locaties vooral belangrijk om te kijken naar de energievraag uit de omgeving. Van daaruit kan een business case ontwikkeld worden. Dat kan op grotere schaal, bijvoorbeeld elektriciteitsvoorziening van een wijk. Deze energievraag moet dan gekoppeld worden met energie uit verval. Hiervoor moet dan wel een geschikte locatie in de buurt zijn. Maar het kan ook op heel kleine schaal, bijvoorbeeld een laadpaal voor elektrische fietsen of auto's bij een horecagelegenheid. Voor dit laatste kan een vrije stroming turbine nog steeds voldoen. Hiervoor is het veel makkelijker een geschikte locatie te vinden.

De resultaten van de drie casussen worden gebruikt om een beeld te scheppen voor heel Brabant. Brabant breed zal er een energiepotentie zijn op de grotere waterwegen wanneer er een verval over een kunstwerk optreedt. Hoe groter het verval en de afvoer, hoe groter het energiepotentieel uit deze bron. Een ruwe opschaling van de resultaten uit de casussen geeft over heel Brabant een totale energie potentie uit verval die overeenkomt met het gemiddelde jaargebruik van ongeveer 16.000 huishoudens. Dit getal moet puur als eerste indicatie gezien worden. Energie uit vrije stroming zal overal in het systeem een kleine potentie hebben, doordat de stroomsnelheden relatief laag zijn in het Nederlandse systeem en het systeem vooral gestuwd is. Het potentieel uit vrije stroming is laag, maar zal wel op bijna elke grote waterloop winbaar zijn.



# Inhoud

|     |                                       |    |
|-----|---------------------------------------|----|
| 1   | Introductie                           | 1  |
| 1.1 | Achtergrond                           | 1  |
| 1.2 | Project                               | 2  |
| 1.3 | Leeswijzer                            | 3  |
| 2   | Methodiek                             | 5  |
| 2.1 | Algemeen                              | 5  |
| 2.2 | Uitleg methode                        | 5  |
| 3   | Uitwerking 3 casussen Brabant         | 9  |
| 3.1 | Waterschap Brabantse Delta: Bovenmark | 9  |
| 3.2 | Waterschap De Dommel: Dommel/Keersop  | 14 |
| 3.3 | Waterschap Aa en Maas: Vierlingsbeek  | 18 |
| 4   | Discussie                             | 21 |
| 5   | Conclusie                             | 23 |
| 5.1 | Casusstudie                           | 23 |
| 5.2 | Brabant breed                         | 23 |



# 1 Introductie

## 1.1 Achtergrond

In het kader van het programma Sustainable Energy Farming worden er diverse disruptieve innovaties op hun potenties onderzocht. Eén daarvan is energie uit oppervlaktewater binnen de provincie Noord Brabant. Een interessante casus, omdat er naast het technische spoor ook nadrukkelijk de maatschappelijke impact wordt onderzocht. Immers in concrete kilowatts kan het potentieel misschien wel beperkt zijn, maar afhankelijk van de maatschappelijke constellatie rondom energie uit watergangen kunnen er wel eens kansrijke combinaties ontstaan.

Vroeger werd energie uit stromend water gehaald voor bijvoorbeeld het malen van graan, het persen van olie, het maken van papier of het zagen van hout. Hier werd de opgewekte mechanische energie ook direct gebruikt. Echter, in Nederland is deze manier van energie winnen in de meer recente geschiedenis verdwenen en vervangen door het op grotere schaal produceren van elektriciteit. Het winnen van energie uit water is daarmee in de loop der jaren verdwenen. Lang is de tendens geweest: Waterkracht in Nederland heeft geen zin. Het hoogteverschil is te laag en de turbines zorgen voor visschade. Kleinschalige waterkracht is daarmee een onderbelichte vorm van duurzame energie.

Echter, turbines zijn zich blijven ontwikkelen om efficiënter te worden bij lage vervallen en om visschade te voorkomen. Verder wordt er creatiever gekeken naar waterkracht, wordt het onderwerp opnieuw naar voren gehaald in het kader van de energietransitie en wordt het vanwege het kleinschalige karakter ook meer in de omgeving geplaatst. Belangrijke vragen daarbij zijn: heeft het plaatsen van een turbine ook een toegevoegde waarde vanuit andere functies, waaronder bijvoorbeeld watermanagement, hoe kan de directe omgeving hiervan profiteren en kan het daarmee ook gezamenlijk met de omgeving ontwikkeld worden?

Er is een aantal recente projecten dat deze vorm van toepassing laat zien. Zo is er bijvoorbeeld Dommelstroom in de Dommel bij Sint Michielsgestel. Hier is vanuit een coöperatie een waterkrachtcentrale gerealiseerd, die meer dan 170 huishoudens voorziet van groene stroom (Figuur 1). In januari van dit jaar (2019) was de opbrengst van deze centrale 48,214 kWh.

*Figuur 1  
Dommelstroom  
turbine (bron:  
dommelstroom.com)*



Een ander interessant voorbeeld is de EQA box die bij Den Doolhof door waterschap Aa en Maas is geplaatst. Deze box heeft zowel een functie als stuw en als waterkrachtcentrale. Zowel Dommelstroom als de EQA box zijn voorbeelden van turbines die een bestaande stuw vervangen en daarmee hun functie in het watersysteem behouden. De coöperatie bij Dommelstroom is een goed voorbeeld hoe een dergelijke centrale vanuit de omgeving opgezet kan worden.

## 1.2

## Project

De Brabantse waterschappen Aa en Maas, De Dommel en Brabantse Delta beheren samen 90% van het water in de provincie Noord Brabant. Ze hebben onder andere als primaire taak het beheren van watergangen, stuwen en gemalen. Daarnaast willen ze een bijdrage leveren aan de energietransitie. Samen met Werkplaats De Gruyter is er de wens om energie uit water in Brabant verder te brengen, door te onderzoeken of het gebruik van thermische energie uit oppervlaktewater en waterkracht een waardevolle business case kan opleveren.

Er is Brabant breed nog geen overzicht van de potentie van waterkracht in het gehele oppervlaktewater systeem. Bovendien zijn de mogelijkheden en potentie rond waterkracht uit vrij stromende beken, die typerend zijn voor het Brabantse landschap, niet duidelijk. Werkplaats de Gruyter heeft HKV gevraagd om de potentie aan energie uit watergangen te onderzoeken. Het gaat hierbij om zowel waterkracht, als om warmtekracht opwekking. Waterkrachtenergie is te halen uit de stroomsnelheid of het verval van water. Op basis van 3 casussen in Noord-Brabant en een stroomgebied in het beheersgebied van Waterschap Limburg kijken we naar de energiepotentie van waterkracht. Dit zal resulteren in een eindrapportage met zowel waterkracht als thermische energie, met daarin de casusstudies voor Brabant en Waterschap Limburg.

In het voorliggende rapport richten we ons op de drie casussen voor Brabant en kijken op basis daarvan naar de hoeveelheid aanwezige energie in water om een beeld te geven van de potentie. Het gaat uitdrukkelijk (nog) niet om het technisch winbaar potentieel. Hier wordt wel een vooruitblik naar gemaakt. Verder zal de casus van Waterschap Limburg en de studie naar thermische energie onderdeel zijn van het eindrapport wat hierop volgt.

Het doel is om voor elk van de Brabantse waterschappen voor één deelstroomgebied inzicht te geven in de waterkrachtpotentie uit oppervlaktewater.

### 1.3

## Leeswijzer

Dit rapport is opgedeeld in vijf hoofdstukken. Hoofdstuk 2 beschrijft de toegepaste methodiek om de energiepotentie te bepalen. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de drie casussen voor de Waterschappen Brabantse Delta, De Dommel en Aa en Maas gepresenteerd. Hoofdstuk 4 bevat de discussie en dit rapport wordt afgesloten met een conclusie in hoofdstuk 5.



## 2 Methodiek

### 2.1 Algemeen

Waterkracht is de energie die wordt ontleend aan water. Dit kan door gebruik te maken van de stroomsnelheid of het hoogteverschil van het water.

Waterkracht is tegenwoordig vooral bekend vanwege de grote waterkrachtcentrales in stuwdammen. Dit is een voorbeeld van energie uit hoogteverschil. Dit kan echter ook op kleinere schaal zoals in het voorbeeld van Dommelstroom te zien is. Er kan ook energie gewonnen worden uit vrije stroming. Dit gaat dan om een turbine die in het stromend water van een beek of rivier wordt geplaatst en wordt aangedreven door het water dat er daadwerkelijk doorheen stroomt. Het gaat hier om vrije stroming, omdat het water er ook deels omheen kan stromen en er geen specifiek verval is op die locatie.

De uiteindelijke energiebron is bij beide toepassingen hetzelfde, namelijk het water dat van bovenstrooms, door verval, naar benedenstrooms stroomt. Om de potentie hiervan te bepalen, kijken we voor stroomsnelheden naar de combinatie van snelheid en de hoeveelheid water (afvoer) die door de turbine kan stromen en voor hoogte naar de combinatie verval en afvoer. Dit verval en deze afvoer variëren gedurende het jaar. Omdat er in de winterperiode de meeste neerslag valt zal de afvoer gedurende dit deel van het jaar doorgaans hoger zijn. Met behulp van de bestaande waterbewegingsmodellen van de waterschappen brengen we het gemiddelde energiepotentieel per jaar in beeld. We kijken dan naar verschillende afvoersituaties, zoals een zomerafvoer, een winterafvoer en een extreme afvoer die gemiddeld één keer per jaar voorkomt. Op basis hiervan kunnen wij de energiepotentie voor deze verschillende afvoerniveaus bepalen. Door dit te middelen krijgen we als resultaat het gemiddeld vermogen van de turbine over een jaar.

### 2.2 Uitleg methode

#### 2.2.1 Waterkrachtpotentie

Waterkrachtpotentie kan worden bepaald op basis van potentiële en kinetische energie, respectievelijk uitgedrukt in:

$$P = \eta * \rho * g * Q * \Delta H$$

en

$$P = \eta * \frac{1}{2} * \rho * A * v^3$$

Hier is:

- P:      Energie potentieel [W]
- $\eta$ :      De efficiëntie van de turbine, tussen 0-1
- $\rho$ :      De dichtheid van water [ $\text{kg/m}^3$ ]
- g:      De valversnelling [ $\text{m/s}^2$ ]
- Q:      De afvoer [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
- $\Delta H$ :      Het verval [m]
- A:      Het oppervlak van de turbine [ $\text{m}^2$ ]
- v:      De stroomsnelheid [m/s]

Voor energie uit verval gaan we er hierbij vanuit dat al het water dat dat verval overbrugt door de turbine heen stroomt. De afvoer (Q) door de turbine is daarmee op die locatie dus gelijk aan de afvoer door de watergang. We kijken hier binnen het systeem ook alleen naar de locaties waar nu al verval optreedt, zoals bij stuwen. Voor het bepalen van de kinetische energie potentie nemen we als oppervlak het doorstroomoppervlak van de rivier. Dit oppervlak is dan afhankelijk van het afvoerniveau. In werkelijkheid zal bij een vrije stroomturbine alleen het water dat daadwerkelijk door de turbine stroomt voor energieproductie zorgen. Dit verschil wordt in de discussie verder beschouwd.

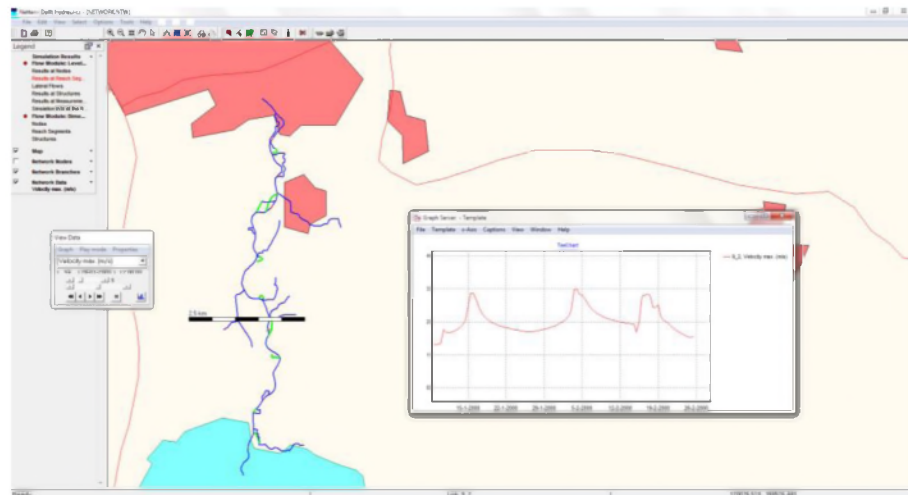
## 2.2.2

### Ruimtelijk jaarrond beeld

De benodigde informatie voor de formules is feitelijk aanwezig in de waterbewegingsmodellen van de Waterschappen voor de verschillende beheersgebieden. Deze zijn geschematiseerd in Sobek. Ter illustratie is een voorbeeld van een dergelijk model opgenomen in Figuur 2. Zo'n model berekent hoe water door het watersysteem verplaatst en kan bepalen hoeveel water er voorbij komt (afvoer) en wat de waterhoogte is die daarbij hoort. Verder zijn kunstwerken en bijbehorende sturingsregels (stuwen, duikers etc.) in het model opgenomen.

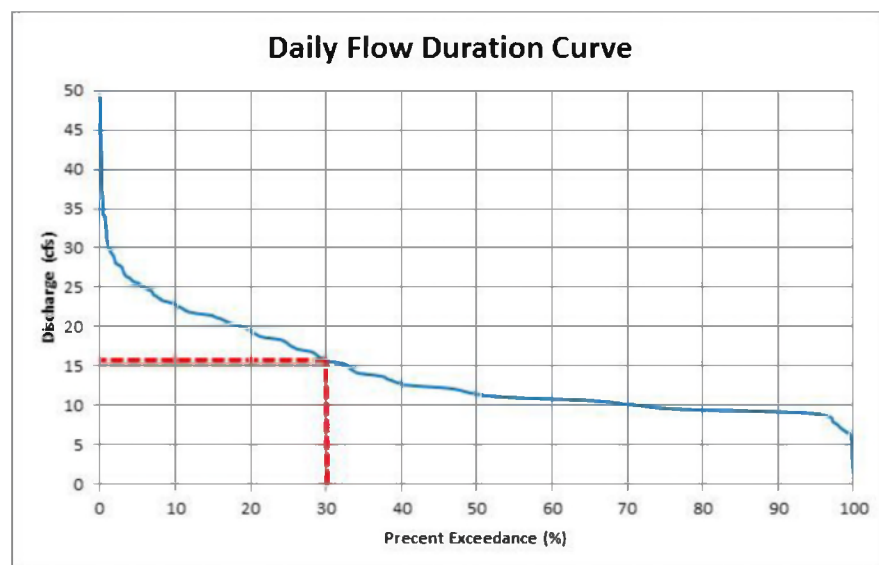
Deze modellen zijn aanwezig bij elk waterschap en geven weer hoe het water ruimtelijk door het beheersgebied stroomt. Door deze modellen te gebruiken kan voor elke locatie in het model de afvoer, het verval en de grootte van de stroomsnelheid bepaald worden. Deze informatie gebruiken wij om met de bovenstaande formules een ruimtelijk beeld te schetsen van de potentie. Als onderdeel van deze studie is naar de uitvoer van drie van dit soort modellen gekeken (casussen).

*Figuur 2  
Voorbeeld van een  
Sobekmodel voor de  
Boven Mark*



Deze Sobekmodellen worden doorgerekend voor verschillende representatieve afvoeren gebaseerd op een afvoerduurlijn (voorbeeld: Figuur 3). Deze afvoerduurlijn geeft aan hoe vaak een bepaalde afvoer gedurende het jaar overschreden wordt, ofwel hoeveel dagen per jaar een bepaald afvoerniveau voorkomt.

*Figuur 3  
Voorbeeld  
afvoerduurlijn*



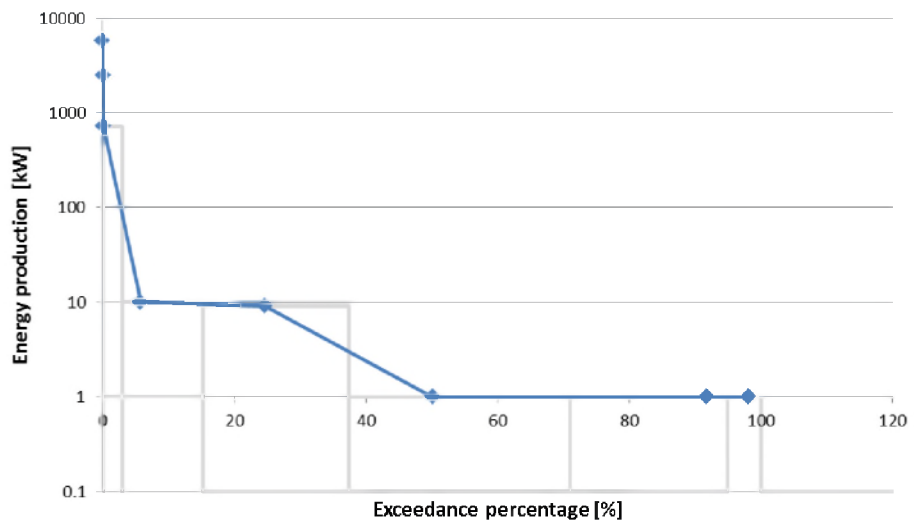
Het is belangrijk om deze verschillende afvoerniveaus mee te nemen en niet alleen voor een gemiddelde afvoer de energiepotentie door te rekenen. De afvoer is namelijk niet recht evenredig met de potentie (stroomsnelheid met een derde macht). Met andere woorden, bij een hoge afvoer is de energiepotentie relatief groter dan bij een lage afvoer. Door een aantal representatieve afvoeren te kiezen, kunnen we de energiepotentie voor deze verschillende afvoerniveaus ruimtelijk schatten. Als we deze afvoerduurlijn dan integreren, krijgen we de gemiddelde energiepotentie per jaar. Hier zijn dan de extremen in verwerkt (zowel laag als hoog).

Een voorbeeld van hoe het resultaat van een duurlijn eruit ziet, is voor één casus opgenomen in Figuur 4. Hier ontstaat dan een duurlijn van de

energieproductie, bepaalt met de eerder geïntroduceerde formules. Deze is gediscretiseerd op basis van een aantal afvoerniveaus doorgerekend met het Sobek model. Dit potentieel wordt gegeven in kilowatts. Dit is een eenheid die weergeeft hoeveel energie er per seconde opgewekt kan worden. Dit potentieel is afhankelijk van de afvoer/verval/stroomsnelheid en zal daardoor gedurende het jaar variëren wat wordt weergegeven door de duurlijn. Door deze resulterende duurlijn te integreren, ontstaat een gemiddeld energieproductie potentieel. Hierin zijn dus zowel de lage, gemiddelde en extremen afvoeren meegenomen.

Als we het in deze rapportage dus over de gemiddelde energiepotentie hebben dan bedoelen we dus wat er op zo'n locatie gemiddeld aan kilowatts opgewekt kan worden gegeven de variatie in afvoer, verval en stroomsnelheid gedurende het jaar.

*Figuur 4  
Voorbeeld energie  
duurlijn voor een  
achttal  
afvoerniveaus (casus  
Bovenmark) met de  
discretisatie  
aangegeven door  
grijze lijnen.*



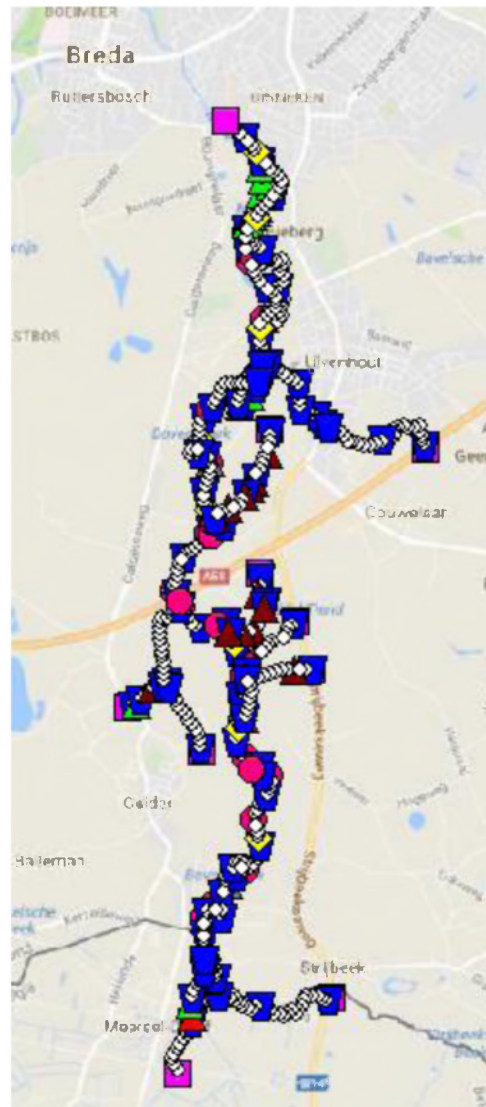
# 3 Uitwerking 3 casussen Brabant

## 3.1 Waterschap Brabantse Delta: Bovenmark

### 3.1.1 Model

Vanuit Brabantse Delta is een model ontvangen van de Bovenmark (Figuur 5). Dit betreft het deel van de Mark dat bovenstrooms van Breda ligt.

*Figuur 5  
Sobek model  
Bovenmark.*



Tabel 1 geeft de afvoersituaties die in het model van de Bovenmark zitten. Voor deze verschillende afvoerniveaus is een modelresultaat beschikbaar (snelheden, waterstanden en afvoeren) voor het ruimtelijke gebied dat door het model gedekt wordt (zie Figuur 5). Bij deze acht afvoerniveaus wordt de energiepotentie bepaald. Dit levert dan een energieduurlijn op. Door deze duurlijn te integreren ontstaat een gemiddelde energiepotentie.

*Tabel 1  
Afvoersituaties die  
onderdeel zijn van  
het Bovenmark  
model.*

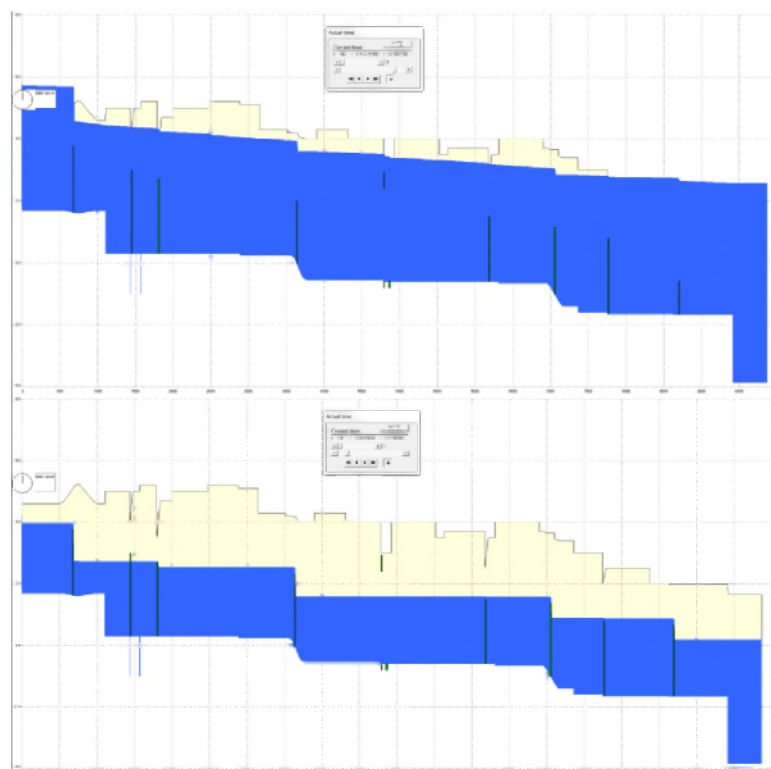
| Afvoer omschrijving | Onder/overschrijding |
|---------------------|----------------------|
| Zomerweekafvoer     | <1 week/jaar         |
| Zomermaandafvoer    | <1 maand/jaar        |
| Mediane afvoer      | <182 dagen/jaar      |
| Voorjaarsafvoer     | >3 maanden/jaar      |
| Winterafvoer        | >3 weken/jaar        |
| T2                  | 1 dag / 2 jaar       |
| T10                 | 1 dag / 10 jaar      |
| T100                | 1 dag / 100 jaar     |

### 3.1.2

### Resultaten energie uit verval

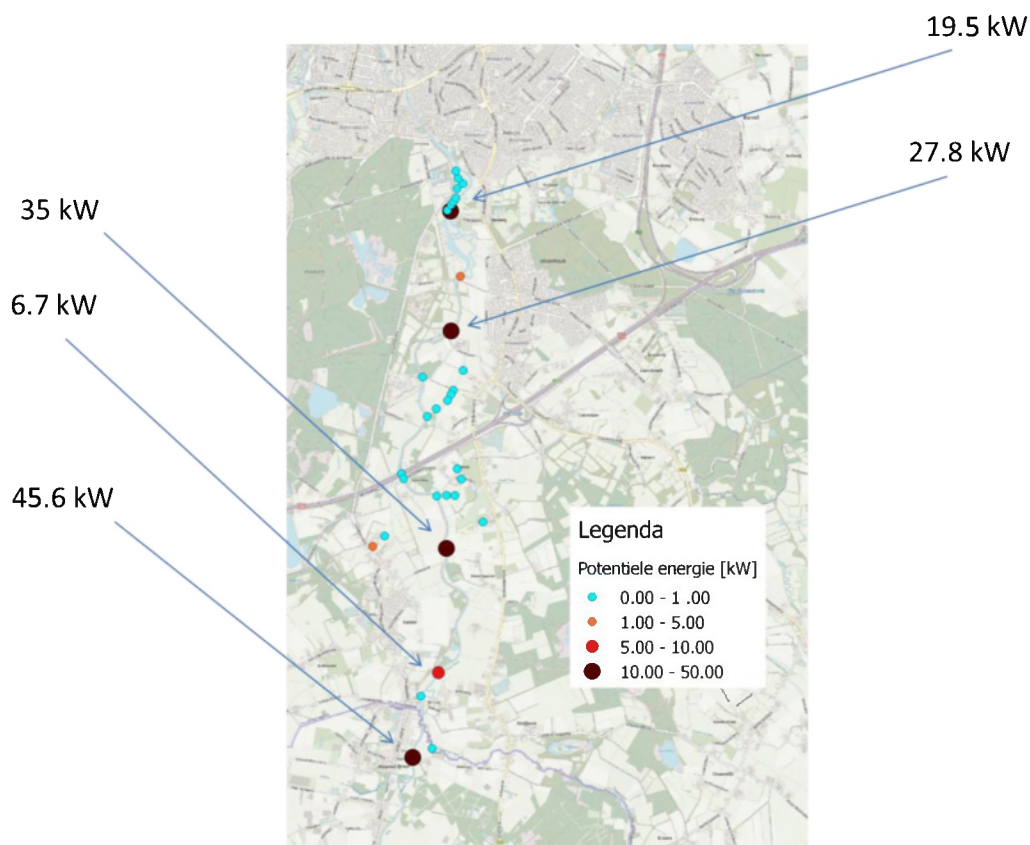
Voor de Bovenmark heeft het Sobekmodel een aantal stuwen waarover een verval aanwezig is. Voor een tweetal afvoerniveaus is het verval over de stuwen gevisualiseerd in Figuur 6. Hier is zichtbaar dat het verval per stuw erg afhankelijk is van het afvoerniveau. Zo zijn er stuwen waar bij extreme afvoeren geen verval meer optreedt en het potentieel voor energie uit verval nul is. Dit laat ook het belang zien van het berekenen van het energiepotentieel voor verschillende afvoerniveaus.

*Figuur 6  
Waterlijn Bovenmark  
met daarin het  
verval over de  
stuwen voor twee  
afvoersituaties.  
Boven een 1/100  
jaar afvoer en onder  
een afvoer die 358  
dagen per jaar  
overschreden wordt.*



Figuur 7 geeft de potentieel beschikbare energie uit verval weer voor de Bovenmark (berekend met de hierboven beschreven methodiek). Dit is dan op locaties waar een verval optreedt over en kunstwerk (bijvoorbeeld een stuw of duiker). Het gaat hier om de gemiddelde energie die aanwezig is op die locatie. Op de meeste locaties is dit potentieel lager dan 1 kW. Maar maximaal wordt er een waarde gehaald van 45,6 kW.

*Figuur 7  
Potentieel  
beschikbare energie  
uit verval voor de  
Bovenmark.*



De top vijf locaties uit Figuur 7 zijn samengevat in Tabel 2. Wanneer dit potentieel volledig benut wordt, resulteert dit in een jaarlijkse energieproductie van ca. 58.000-400.000 kWh. Ter illustratie: een gemiddeld huishouden gebruikt ongeveer 3.000 kWh per jaar.

*Tabel 2  
Energie potentieel  
uit verval Boven  
Mark, top vijf  
locaties. De kWh is  
ook uitgedrukt in  
huishoudens met  
daarbij de aanname  
dat een huishouden  
gemiddeld 3.000  
kWh per jaar  
gebruikt.*

| Boven Mark |          |                    |
|------------|----------|--------------------|
| kW         | kWh/jaar | Aantal huishoudens |
| 7          | 61.300   | 20                 |
| 20         | 175.000  | 58                 |
| 28         | 245.000  | 82                 |
| 35         | 307.000  | 102                |
| 46         | 403.000  | 134                |

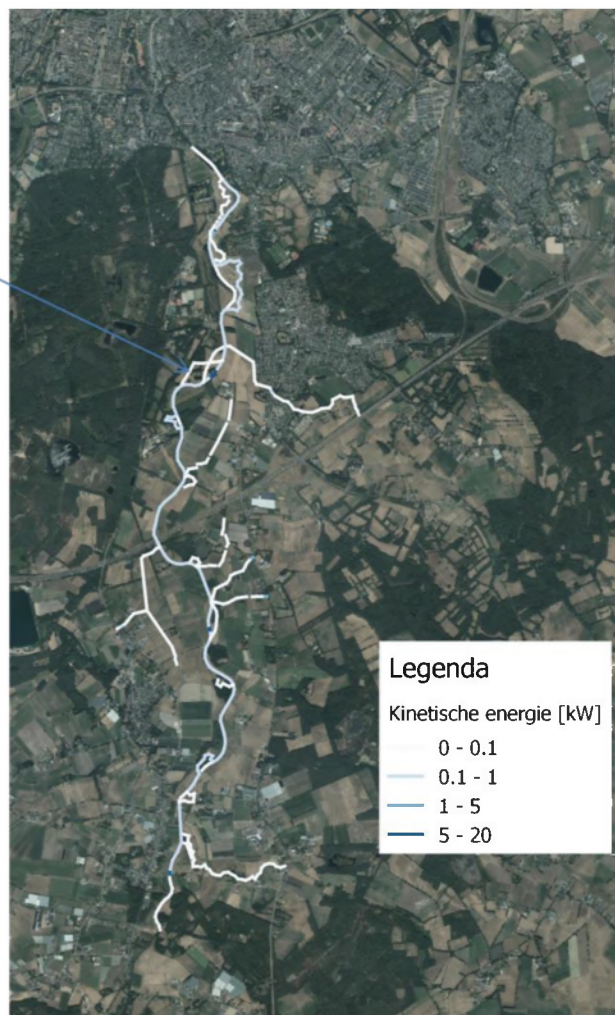
### 3.1.3

## Resultaten kinetische energie

Voor de Bovenmark is binnen het Sobekmodel voor elke tak bepaald wat de potentie is van kinetische energie uit vrije stroming. Hiervoor is het oppervlak gelijk genomen aan het volledige doorstroomoppervlak. Het resultaat is gevisualiseerd in Figuur 8. Het potentieel ligt eigenlijk over de gehele stroom onder de 1 kW en is hoger op de Bovenmark ten opzichte van de zijinstromen. Figuur 6 laat goed zien hoe dit komt. In de gestuwde situatie is het verhang tussen de stuwen relatief laag, waardoor de stroomsnelheden in de waterlopen ook laag zijn. Deze stroomsnelheid weegt erg zwaar mee in de berekening van energiepotentieel. Bij hogere afvoeren ontstaat er wel een groter verhang op de waterloop, waardoor hogere snelheden voorkomen. Dit komt echter zo weinig voor dat het maar een klein effect heeft op het gemiddelde potentieel.

*Figuur 8  
Potentieel kinetische energie in de Bovenmark.  
Maximum is op de kaart aangegeven.*

7.8 kW



Het maximum voor de Bovenmark is 7,8 kW. Dit hoogste potentieel is net bovenstrooms van een stuw (zie ook Figuur 9). Dit is echter een modelartefact. Op de tak bovenstrooms en benedenstrooms van een stuw wordt in het Sobek model de snelheid weergegeven die ook op de stuw bepaald wordt. Dit is dus niet de werkelijke snelheid op die tak. Deze zal eerder orde 0,2 kW zijn.

*Figuur 9  
Locatie maximum  
kinetisch energie  
potentieel.*



## 3.2

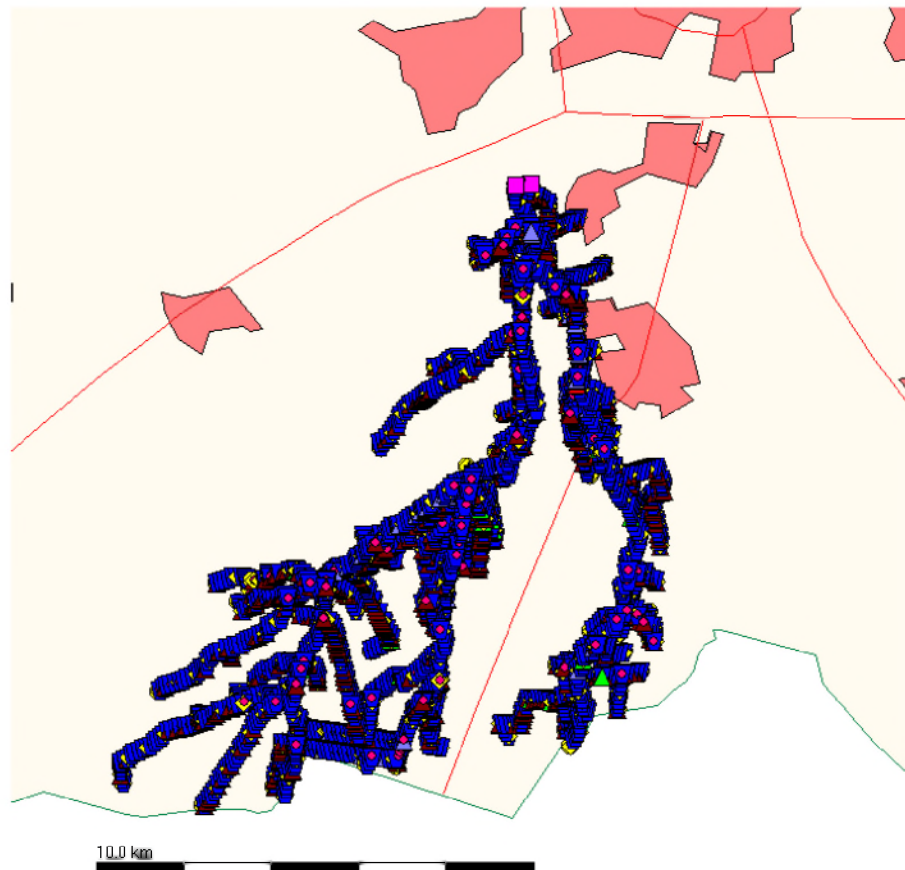
## Waterschap De Dommel: Dommel/Keersop

### 3.2.1

### Model

Vanuit De Dommel is het Dommel en Keersop model ontvangen (Figuur 10). Het gaat dan om het gedeelte bovenstrooms van de plek waar deze beken samenkomen.

*Figuur 10  
Sobek model  
Dommel/Keersop.*



Tabel 3 geeft de afvoersituaties weer die in het model van De Dommel/Keersop zitten. Deze zijn iets anders dan voor de Bovenmark, maar de methodiek verschilt verder niet. Voor deze verschillende afvoerniveaus is een modelresultaat beschikbaar. Bij deze negen afvoerniveaus wordt de energiepotentie bepaald. Dit levert dan een energieduurlijn op. Door deze duurlijn te integreren ontstaat een gemiddeld energiepotentieel.

Tabel 3  
Afvoersituaties die  
onderdeel zijn van  
het  
Dommel/Keersop  
model.

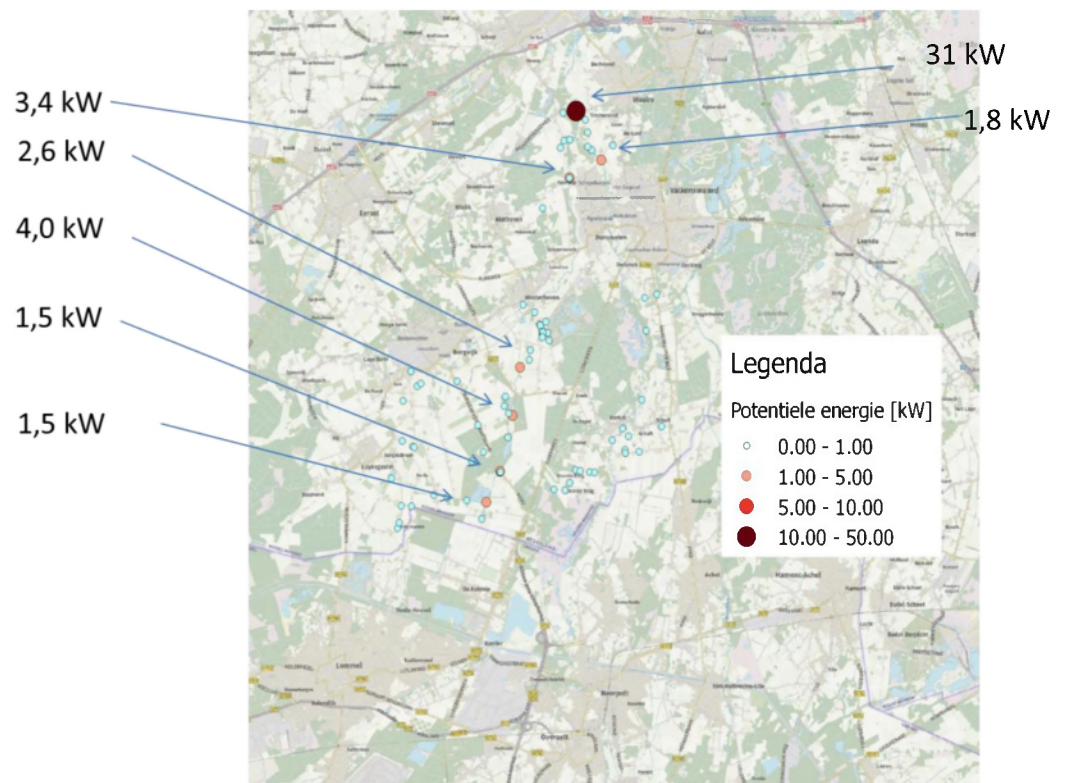
| Afvoer omschrijving | Voorkomen        |
|---------------------|------------------|
| Winterafvoer        | 3 maanden/jaar   |
| Zomerafvoer         | 3 maanden/jaar   |
| Najaarsafvoer       | 3 maanden/jaar   |
| Voorjaarsafvoer     | 3 maanden/jaar   |
| T1                  | 1 dag / jaar     |
| T10                 | 1 dag / 10 jaar  |
| T25                 | 1 dag / 25 jaar  |
| T50                 | 1 dag / 50 jaar  |
| T100                | 1 dag / 100 jaar |

### 3.2.2

### Resultaten energie uit verval

Voor De Dommel/Keersop heeft het Sobekmodel een aantal kunstwerken waarover een verval is. Figuur 11 geeft de potentieel beschikbare energie uit verval weer voor De Dommel/Keersop (berekend met de eerder beschreven methodiek). Dit is dan op locaties waar een verval optreedt over bijvoorbeeld een stuw of duiker. Het gaat hier om de potentieel gemiddelde energie op zo'n locatie. Op de meeste plekken is dit onder de 1 kW. Een aantal locaties heeft een iets hogere potentie, maar het blijft meestal onder de 5 kW. Slechts één locatie heeft een hogere potentie. Hier kan een gemiddeld vermogen van 31 kW gehaald worden. Deze 31 kW is helemaal benedenstrooms in het model waar de Dommel en de Keersop net zijn samengekomen. Dit is bij een stuw waar zich nu ook een historische watermolen bevindt (De Volmolen).

Figuur 11  
Potentieel  
beschikbare energie  
uit verval voor de  
Dommel/Keersop.



De top vijf locaties uit Figuur 11 zijn samengevat in Tabel 4. Wanneer dit potentieel volledig benut wordt, resulteert dit in een jaarlijkse energieproductie van ca. 17.500-270.000 kWh. Ter illustratie: een gemiddeld huishouden gebruikt ongeveer 3.000 kWh per jaar.

*Tabel 4  
Energie potentieel uit verval Dommel/Keersop, top vijf locaties. De kWh is ook uitgedrukt in huishoudens met daarbij de aanname dat een huishouden gemiddeld 3.000 kWh per jaar gebruikt.*

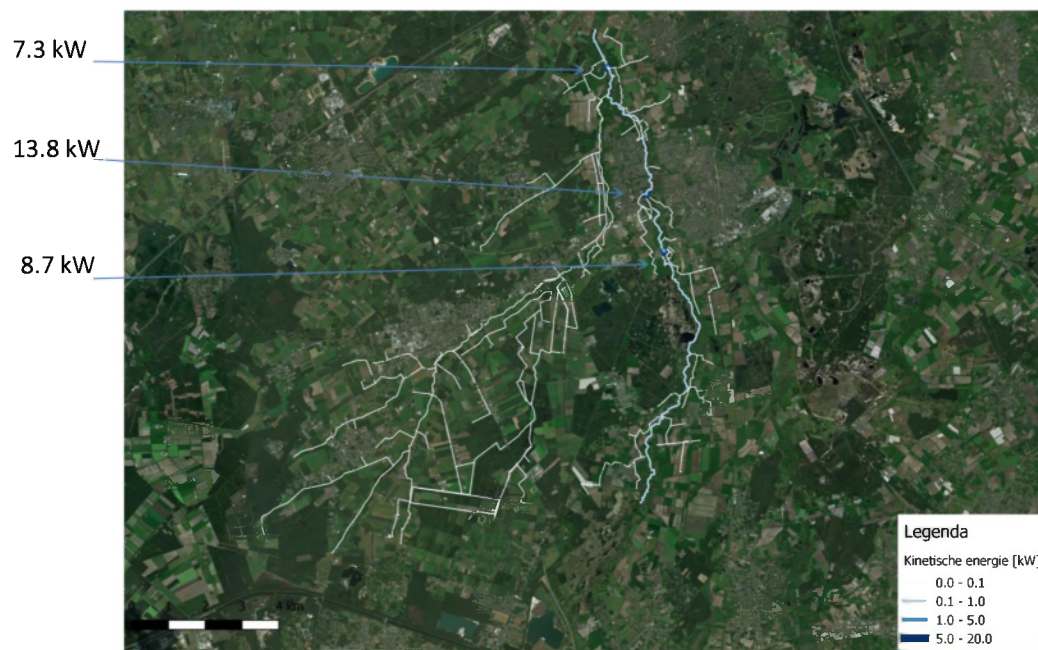
| Dommel/Keersop |          |                    |
|----------------|----------|--------------------|
| kW             | kWh/jaar | Aantal huishoudens |
| 2              | 17.500   | 6                  |
| 3              | 26.300   | 9                  |
| 3              | 26.300   | 9                  |
| 4              | 35.000   | 12                 |
| 31             | 272.000  | 91                 |

### 3.2.3

### Resultaten kinetische energie

Voor de Dommel/Keersop is binnen het Sobekmodel voor elke tak bepaald wat de potentie is van kinetische energie uit vrije stroming. Hiervoor is per afvoerniveau het oppervlak gelijk genomen aan het volledige doorstroomoppervlak. Het resultaat is gevisualiseerd in Figuur 12. Het potentieel ligt voornamelijk in de Dommel. Hier stroomt meer water doorheen dan door de Keersop en ligt de stroomsnelheid hoger. Over de gehele stroom genomen ligt het potentieel rond de 0,2-0,3 kW. Dit is relatief laag, maar dit potentieel is wel over bijna de gehele Dommel aanwezig. Dit komt doordat de stroomsnelheden relatief laag zijn in de grotere waterlopen en deze snelheidscomponent erg zwaar meeweegt in de berekening van het energiepotentieel. Het maximum ligt op ongeveer 14 kW. Ook hier liggen de locaties met een hoog potentieel net boven- en benedenstrooms van de stuwen en zijn dus een modelartefact. Ook hier zal het potentieel dus meer rond de 0,2 – 0,3 kW liggen.

*Figuur 12  
Potentieel kinetische  
energie in de  
Dommel/Keersop.  
Maximum is op de  
kaart aangegeven.*



Vanuit Aa en Maas is een model ontvangen van de Vierlingsbeek (Figuur 13). Dit betreft het benedenstroomse deel van de Vierlingsbeek net voordat deze de Maas instroomt.

*Figuur 13  
Sobek model  
Vierlingsbeek.*



Tabel 5 geeft de afvoersituaties weer die in het model van de Vierlingsbeek zitten. Voor deze verschillende afvoerniveaus is een modelresultaat beschikbaar. Op basis daarvan is de energiepotentie bepaald. Dit levert een energieduurlijn op. Door deze duurlijn te integreren, ontstaat een gemiddelde energiepotentie.

*Tabel 5  
Afvoersituaties die  
onderdeel zijn van  
het Vierlingsbeek  
model.*

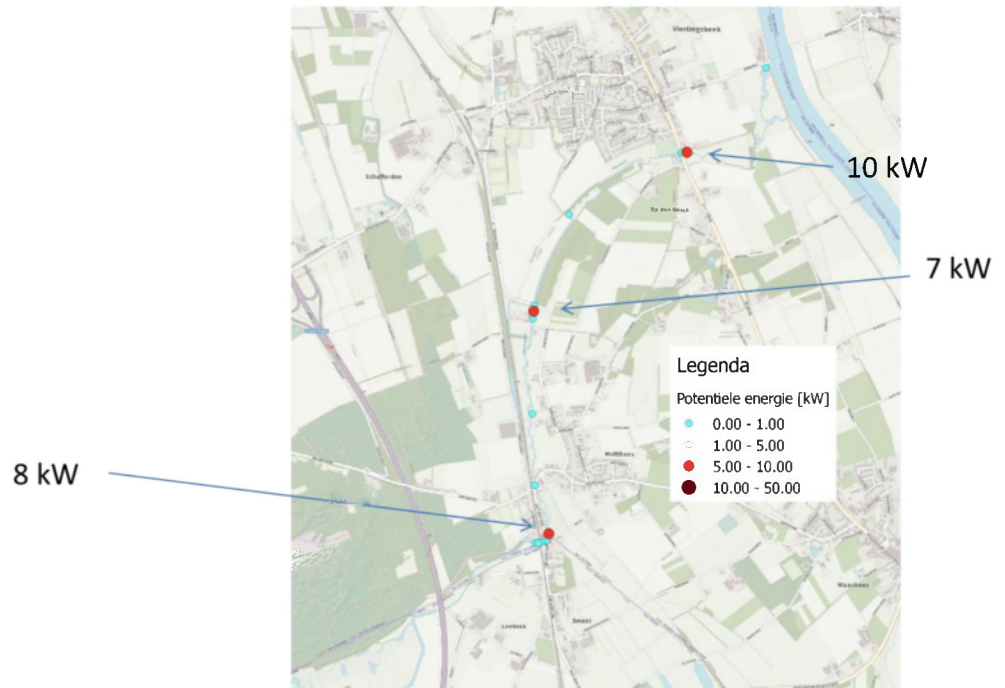
| Afvoer omschrijving     | Onder/overschrijding |
|-------------------------|----------------------|
| Lage Zomerafvoer        | <1 week/jaar         |
| Gemiddelde Zomerafvoer  | <1 maand/jaar        |
| Gemiddelde Winterafvoer | >3 weken/jaar        |
| Maatgevende afvoer      | 1 dag / 2 jaar       |

### 3.3.2

### Resultaten energie uit verval

Voor de Vierlingsbeek heeft het Sobekmodel een aantal kunstwerken waarover een verval aanwezig is. Figuur 14 geeft de potentieel beschikbare energie uit verval weer voor de Vierlingsbeek (berekend met de eerder beschreven methodiek). Het gaat hier om de gemiddelde energie die aanwezig is op die locatie. Op de meeste plekken is dit onder de 1 kW. Een aantal locaties heeft een iets hogere potentie (7-10 kW). Op de locatie met een potentie van 10 kW bevindt zich op dit moment een historische watermolen.

*Figuur 14  
Potentieel  
beschikbare energie  
uit verval voor de  
Vierlingsbeek.*



Deze drie locaties uit Figuur 14 zijn samengevat in Tabel 6. Wanneer dit potentieel volledig benut wordt, resulteert dit in een jaarlijkse energieproductie van ca. 60.000-90.000 kWh. Ter illustratie: een gemiddeld huishouden gebruikt ongeveer 3.000 kWh per jaar.

*Tabel 6  
Energie potentieel  
uit verval  
Vierlingsbeek, top  
drie locaties. De  
kWh is ook  
uitgedrukt in  
huishoudens met  
daarbij de aanname  
dat een huishouden  
gemiddeld 3.000  
kWh per jaar  
gebruikt.*

| Vierlingsbeek |          |                    |
|---------------|----------|--------------------|
| kW            | kWh/jaar | Aantal huishoudens |
| 7             | 61.300   | 20                 |
| 8             | 70.100   | 23                 |
| 10            | 87.600   | 29                 |

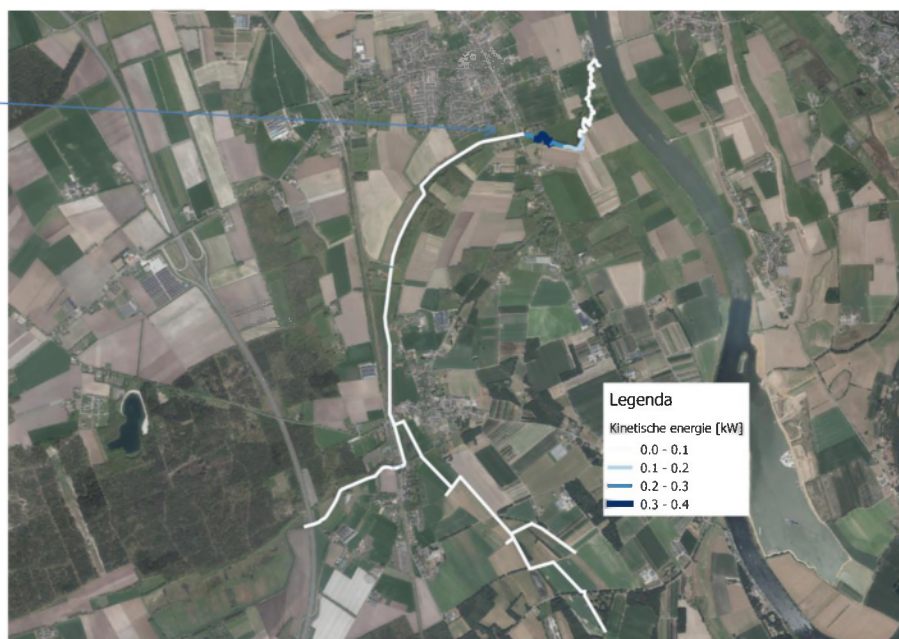
### 3.3.3

### Resultaten kinetische energie

Ook voor de Vierlingsbeek is binnen het Sobekmodel voor elke tak bepaald wat de potentie is van kinetische energie uit vrije stroming. Hiervoor is het oppervlak gelijk genomen aan het volledige doorstroomoppervlak. Het resultaat is gevisualiseerd in Figuur 15. Over de gehele stroom genomen ligt het potentieel rond de 0-0,1 kW. Dit is relatief laag en komt doordat de stroomsnelheden relatief laag zijn. Het verval is relatief laag en dit stuk beek is erg gestuwd. Hierdoor wordt het verval in enkele stappen doorlopen in plaats van gelijkmatig. Dit vergroot het potentieel voor energie uit verval, maar verkleint het potentieel voor energie uit vrije stroming. Het maximum ligt op ongeveer 0,3 kW (stukje rondom stuw niet meegenomen).

*Figuur 15  
Potentieel kinetische  
energie in de  
Vierlingsbeek.  
Maximum is op de  
kaart aangegeven.*

0.3 kW



## 4 Discussie

We vermelden hier nogmaals dat deze rapportage de aanwezige energie in het watersysteem beschrijft. Dit is dus niet het technisch potentieel, maar wat er maximaal gewonnen kan worden als de techniek perfect is en er geen verliezen optreden. In werkelijkheid zal dit technisch winbare potentieel voor energie uit verval eerder 40-60% zijn van de cijfers die in deze rapportage zijn gepresenteerd. Voor energie uit vrije stroming is dit nog lager, omdat je maar een deel van de stroming door de turbine laat en niet het volledige stroomprofiel benut.

De meeste potentie voor Waterkracht bevindt zich in de casestudies rond de bestaande kunstwerken (energie uit verval). Dit komt omdat rond deze kunstwerken een verval optreedt, waardoor er een directe mogelijkheid tot energieproductie is. De potentie varieert van enkele kilowatts, slechts voldoende voor enkele huishoudens, tot 30-50 kilowatt waarmee een honderdtal huishoudens van stroom voorzien kan worden. Het gaat hier dus echt om kleinschalige waterkracht (ter illustratie: op de grote rivieren gaat het om megawatts).

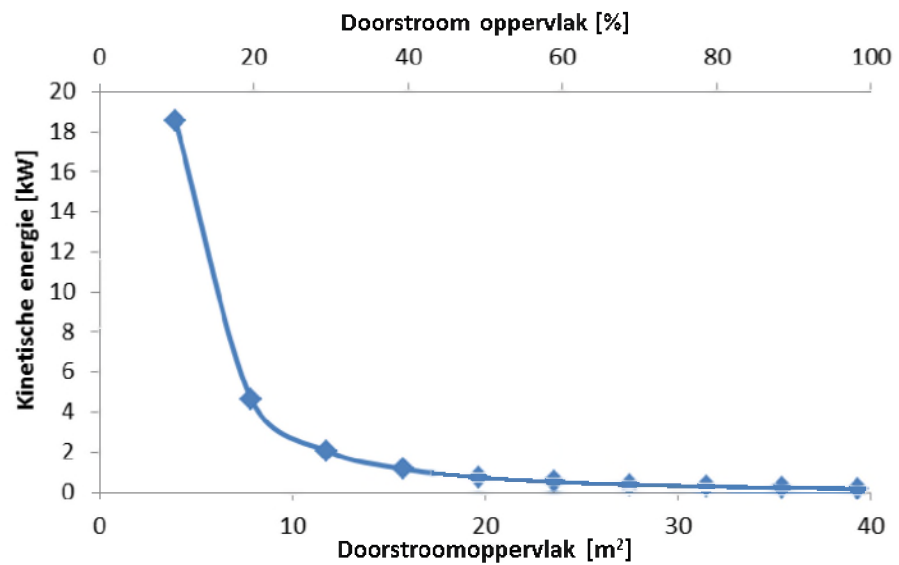
Ook al is het kleinschalig, toch biedt het wel mogelijkheden. Vooral wanneer renovatie/vervanging van het kunstwerk gecombineerd wordt met waterkracht. Zo kan bijvoorbeeld de benedenstroomse stuw in de Boven Mark een kleine wijk van stroom voorzien.

Wanneer we kijken naar kinetische energie zien we dat het potentieel in de watersystemen klein is. Dit komt doordat de stroomsnelheden in de beken relatief laag zijn. Uit de vrije stroom kan alleen op zeer kleine schaal energie gewonnen worden (0,2-0,3 kW). Dit is dan bijvoorbeeld voldoende voor een kleine pomp of het opladen van fietsen. Het voordeel van energie uit stroming is wel dat dit op bijna elke locatie in het hoofdwatersysteem toegepast kan worden. Als er dus een relatief lage energievraag is, is het haalbaar om daar in de buurt een locatie met energiepotentie te vinden.

Het is eventueel mogelijk om een ingreep toe te passen in de watergang, waarmee het water door een kleiner oppervlak richting de turbine gestuurd wordt. Hierdoor neemt de stroomsnelheid toe.

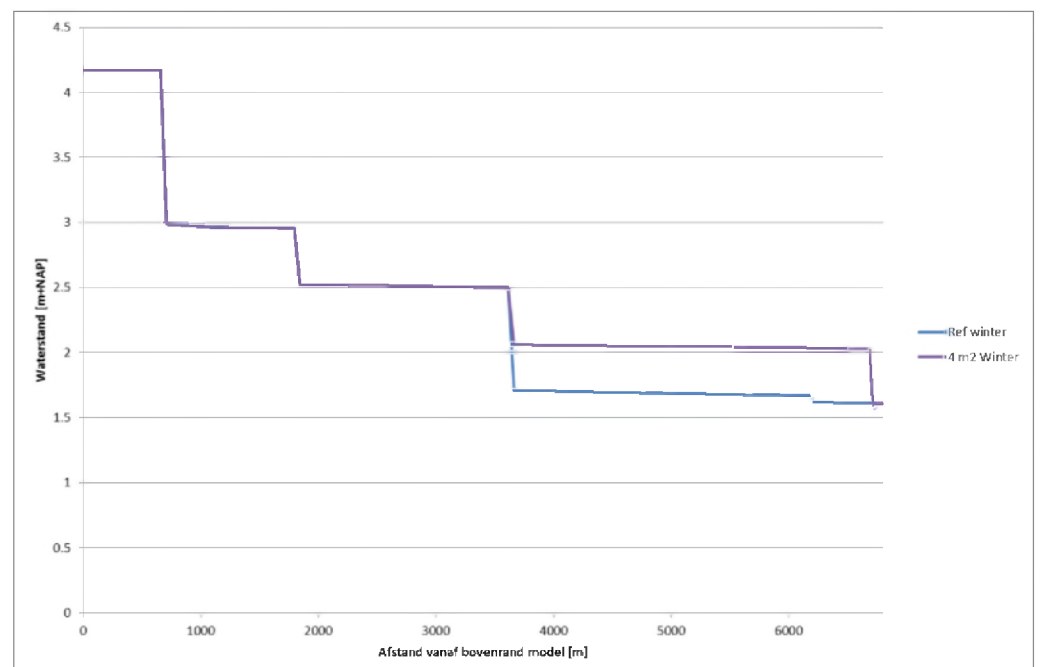
Dit toenemen van het energiepotentieel is gevisualiseerd in Figuur 16 door als nabewerking het afvoerresultaat van Sobek over een kleiner oppervlak te verdelen, wat resulteert in een hogere snelheid. Dit resulteert echter nog steeds niet snel in een significante energiepotentie. De snelheid neemt niet snel genoeg toe. Een forse reductie in oppervlak is daarvoor noodzakelijk.

*Figuur 16  
Relatie reductie  
doorstroomoppervla  
k en kinetische  
energie potentieel  
op de Bovenmark.*



Er is een belangrijke nuancering te maken: wanneer er teveel geknepen wordt, zal dit resulteren in opstuwing (wat niet meegenomen is in de nabewerking), waardoor er eigenlijk energie opgewekt gaat worden uit verval. Dit is voor de situatie op de Bovenmark gevisualiseerd met behulp van een Sobek berekening in Figuur 17. Het betreft hier een vernauwing naar 10% van het profiel. In dit geval is het geen energie uit vrije stroming meer te noemen.

*Figuur 17  
Waterstandslijn  
bovenstrooms van  
vernuwing.*



# 5 Conclusie

## 5.1

### Casusstudie

Energie uit verval heeft potentie voor opwekking van kleinschalige waterkracht. In de drie casussen is een aantal locaties aanwezig waar op kleine schaal energie opgewekt kan worden (tot 200 huishoudens). Voor kinetische energie uit vrije stroming is deze potentie beperkt, echter heeft deze bron als voordeel dat het minder locatie gebonden is en dat een turbine op bijna elke locatie in het hoofdwatersysteem gehangen kan worden.

Voor energie uit verval kunnen we bepalen wat het totaal potentieel per casus is. Wanneer we het energie potentieel voor alle stuwen sommeren (Tabel 7) kan geconcludeerd worden dat deze casussen op jaarbasis een gezamenlijk energiepotentieel van ongeveer 2,3 miljoen kWh per jaar hebben. Dit komt overeen met het jaarverbruik van ongeveer 760 gemiddelde huishoudens. Een kanttekening hierbij is dat dit de totale potentie binnen het systeem betreft. Hier zijn dus ook alle kunstwerken met een lage potentie meegenomen, waar het opwekken van energie uit verval waarschijnlijk minder haalbaar zal zijn.

*Tabel 7  
Totaal energie  
potentieel uit verval  
voor de drie  
casussen. De kWh is  
ook uitgedrukt in  
huishoudens met  
daarbij de aanname  
dat een huishouden  
gemiddeld 3.000  
kWh per jaar  
gebruikt.*

| Energie uit verval |           |                    |
|--------------------|-----------|--------------------|
| Casus              | kWh/jaar  | Aantal huishoudens |
| Boven Mark         | 1.210.000 | 403                |
| De Dommel          | 854.000   | 285                |
| Vierlingsbeek      | 228.000   | 76                 |

Bij het implementeren van waterkracht is het vooral belangrijk om te kijken naar de combinatie energievraag en omgeving. Van daaruit kunnen business cases ontwikkeld worden. Zo kan in bestaande stuwen waterkracht gecombineerd worden met de functie als stuw. Energieopwekking kan op grotere schaal geïmplementeerd worden, bijvoorbeeld elektriciteitsvoorziening van een wijk. Dit moet dan via energie uit verval en er moet dan wel een geschikte waterkrachtlocatie daarvoor in de buurt liggen. Maar ook op heel kleine schaal zijn er mogelijkheden, bijvoorbeeld een laadpaal voor elektrische fietsen of auto's bij een horecagelegenheid, aangedreven door (pico) waterkracht. Voor dit laatste kan een vrije stroming turbine binnen de drie beschouwde gebieden nog steeds voldoen. Dit laat zien dat het vooral belangrijk is om de energievraag te matchen met het potentieel, op basis daarvan kan een geschikte technologie gekozen worden.

## 5.2

### Brabant breed

In deze rapportage is naar drie casussen gekeken binnen Brabant. De Boven Mark en de Dommel/Keersop zijn bovenstroomse gebieden van een groter

systeem. De Vierlingsbeek is het benedenstroomse deel van een klein systeem. Wanneer we de resultaten en bovenstaande conclusies doortrekken, kunnen we het volgende concluderen voor geheel Brabant.

Brabant breed zal er een energiepotentie zijn op de grotere waterwegen wanneer er een verval over een kunstwerk optreedt. Hoe groter het verval en de afvoer, hoe groter het potentieel. De relatief kleine stroomgebieden zullen niet genoeg energie leveren voor grootschaligere toepassingen (energie naar woningen). De resultaten laten zien dat in de grotere stroomgebieden redelijk ver bovenstrooms (zie de Keersop) bij de stuwen nog potentie zit, doordat het verval hier relatief groot is. Toch zal er bij lagere vervallen ook nog een energiepotentie zijn, wanneer deze zich verder benedenstroom bevindt in de grotere watersystemen waar een hogere afvoer optreedt (zie Dommelstroom als voorbeeld). Voor de drie casussen levert dit een totale energiepotentie uit verval op van ongeveer 2,3 miljoen kWh per jaar.

Om een eerste ruwe schatting te maken van dit potentieel voor heel de provincie Brabant, extrapoleren we de resultaten van de drie casussen. We doen dit door de oppervlakteverhouding tussen Noord-Brabant en de drie casusgebieden te vermenigvuldigt met het totale maximum potentieel van dezelfde drie casussen. Dit resulteert in een totaal energiepotentieel uit verval van 50 miljoen kWh per jaar voor heel Brabant<sup>1</sup>. Dit komt overeen met de energievraag van ongeveer 16.000 huishoudens. Het is hierbij belangrijk om te vermelden dat dit de waterkracht potentie binnen het Brabantse watersysteem betreft en dat componenten als getijdenenergie en waterkracht uit de Maas hier geen onderdeel van zijn. Verder is dit een indicatie van het totale potentieel van energie uit verval, het werkelijke technisch winbare potentieel zal lager uitvallen.

Energie uit vrije stroming zal op de meeste plekken in het systeem een kleine potentie hebben, omdat de stroomsnelheden relatief laag zijn en het systeem vooral gestuwd is. In grotere waterlopen die niet gestuwd zijn, kan er eventueel wel een grotere potentie voor energie uit stroming zijn. Toch zal het niet mogelijk zijn om op een zelfde schaal energie op te wekken als bij energie uit verval. Een groot voordeel van deze bron is echter dat hij eigenlijk op alle hoofdwatervgangen aanwezig is en dat er dus makkelijker een energievraag aan te koppelen is. In een later stadium is het interessant om de resultaten voor een casus bij Waterschap Limburg te bekijken. In het Limburgse watersysteem is het verval over de gehele beek namelijk groter en daarmee de te verwachten stroomsnelheden ook.

---

<sup>1</sup> Dit is een grote versimpeling van de werkelijkheid en moet puur als eerste ruwe schatting van het potentieel gezien worden.



**Hoofdkantoor**

HKV IJN in water BV  
Botter 11-29  
8232 JN Lelystad

**Nevenvestiging**

Informatielaan 8  
2628 ZD Delft

0320 29 42 42  
[info@hkv.nl](mailto:info@hkv.nl)  
[www.hkv.nl](http://www.hkv.nl)