



# **PArkstad Limburg EnergieTransitie (PALET)**

**ACHTERGRONDDOCUMENT HERNIEUWBARE ENERGIEOPWEKKING**

maart 2014

Dr. Sven Stremke MA

Dirk Oudes MSc

Wageningen University

Landscape Architecture Group

NRGLab - [www.nrqlab.net](http://www.nrqlab.net)

In opdracht van:

Parkstad Limburg



WAGENINGEN UNIVERSITY  
WAGENINGEN UR



# INHOUDSOPGAVE

|                                                       |           |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| Inhoudsopgave                                         | 3         |
| <b>Hoofdstuk 1 - Introductie</b>                      | <b>5</b>  |
| <b>Hoofdstuk 2 - Methoden</b>                         | <b>9</b>  |
| 2.1    Hernieuwbare energiebronnen en -technologieën  | 9         |
| 2.2    Energiepotentiekaarten                         | 12        |
| 2.3    Afwegingskader                                 | 12        |
| 2.4    Multi-criteria-decision-analysis (MCDA)        | 14        |
| <b>Hoofdstuk 3 - Resultaten</b>                       | <b>17</b> |
| 3.1    Zon                                            | 18        |
| 3.2    Wind                                           | 26        |
| 3.3    Warmte Koude Opslag (WKO)                      | 32        |
| 3.4    Water                                          | 38        |
| 3.5    Biomassa                                       | 42        |
| 3.6    Overzicht resultaten                           | 48        |
| <b>Hoofdstuk 4 - Conclusies &amp; aanbevelingen</b>   | <b>51</b> |
| 4.1    Verschillen tussen hernieuwbare energiebronnen | 51        |
| 4.2    Verschillen tussen scenario's                  | 51        |
| 4.3    Totale potentie hernieuwbare energie           | 52        |
| Literatuur                                            | 53        |





.....

*De Stadsregio Parkstad Limburg (zie figuur 1.1) oriënteert zich op de transitie van een bijna nog volledig fossiele energievoorziening in 2013 naar een duurzame en klimaatbestendige regio, waarbij de te behalen doelen voor wat betreft energiebesparing en opwekking van het aandeel duurzame energie en de CO<sub>2</sub>-reductie op zodanige wijze worden onderbouwd dat deze recht doen aan de landschappelijke kwaliteit en de potentiële bronnen van duurzame energie in Parkstad.*

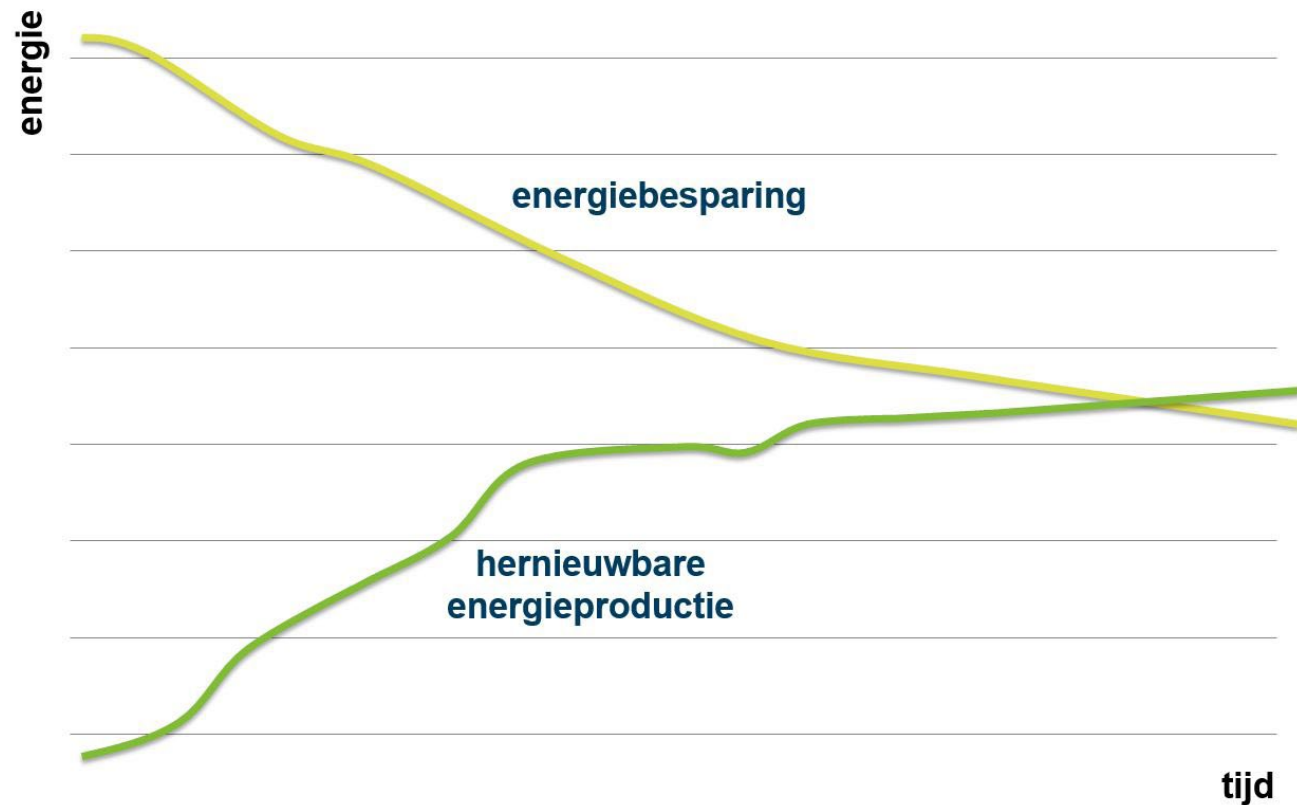
In juli en augustus 2013 heeft Wageningen UR gewerkt aan een voorbereidende studie om de bestuurdersconferentie van Parkstad Limburg op 13 september inhoudelijk te voeden. Tijdens deze conferentie zijn de resultaten gepresenteerd, waarbij de urgentie om actief bezig te gaan met de energietransitie naar voren kwam. De bestuurders hebben besloten om een volgende stap te zetten in de vorm van een studie naar de mogelijkheden en onmogelijkheden om energie te besparen en en hernieuwbare energie op te wekken. In dit kader heeft de Stadsregio Parkstad Limburg Wageningen UR gevraagd deskundig advies te leveren voor de samenstelling van een ambitiedocument inclusief ruimtelijke onderbouwing en potentie-analyse ten behoeve van deze transitie, wat betreft het onderdeel hernieuwbare energieopwekking.



Figuur 1.1: De acht gemeentes die deel uitmaken van Stadsregio Parkstad Limburg

Onder regie van Parkstad en in samenspraak met de acht gemeenten is het ambitiedocument opgesteld, waarbij twee onderzoekslijnen geïntegreerd worden: (1) energiebesparingspotentie door Zuyd Hogeschool / Centre of Expertise Neber en (2) energieopwekkingspotentieel door Wageningen UR. De twee onderzoekslijnen worden letterlijk zichtbaar als lijnen in onderstaande grafiek (figuur 1.2).

Het ambitiedocument verwoordt en beargumenteert op een bondige manier de ambitie van Parkstad Limburg om in 2040 duurzaam energieneutraal te zijn. Het ambitiedocument is begin februari 2014 vastgesteld door het bestuur van Parkstad Limburg (Ambitiedocument PALET, 2014). Dit achtergronddocument geeft een uitgebreidere onderbouwing voor de potenties van duurzame energieopwekking in de regio.



Figuur 1.2: Mogelijke energiebesparing en –opwekking in Parkstad door de tijd (bron: Bongers et al., 2014)





De Wijk van Morgen (Heerlen)



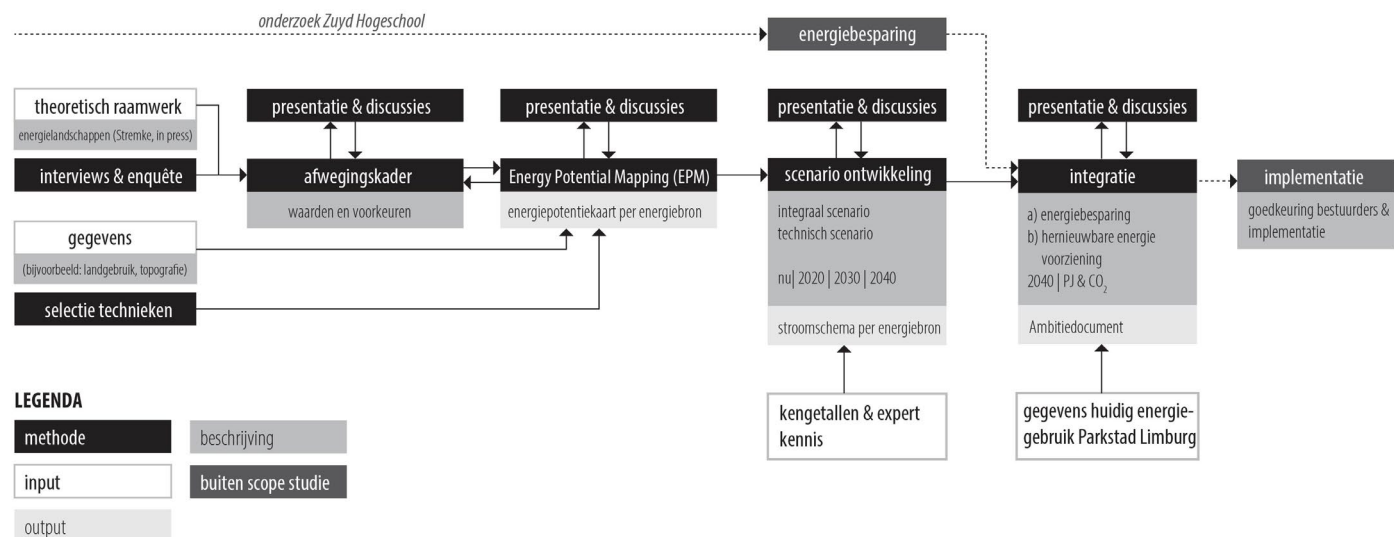
.....

*Om de potentie voor duurzame energieopwekking te kunnen bepalen is allereerst een objectieve analyse gedaan van de potenties en beperkingen voor verschillende hernieuwbare energiebronnen. Deze analyse vindt zijn weerslag in vijf energiepotentiekaarten. Met behulp van een afwegingskader zijn voor twee scenario's de mogelijke potentie voor hernieuwbare energieopwekking in de regio bepaald. Om de verschillende afwegingen in kaart te brengen is gebruik gemaakt van een multi-criteria-decision-analysis (MCDA). Deze onderdelen worden hieronder verder toegelicht en verbeeld in figuur 2.1.*

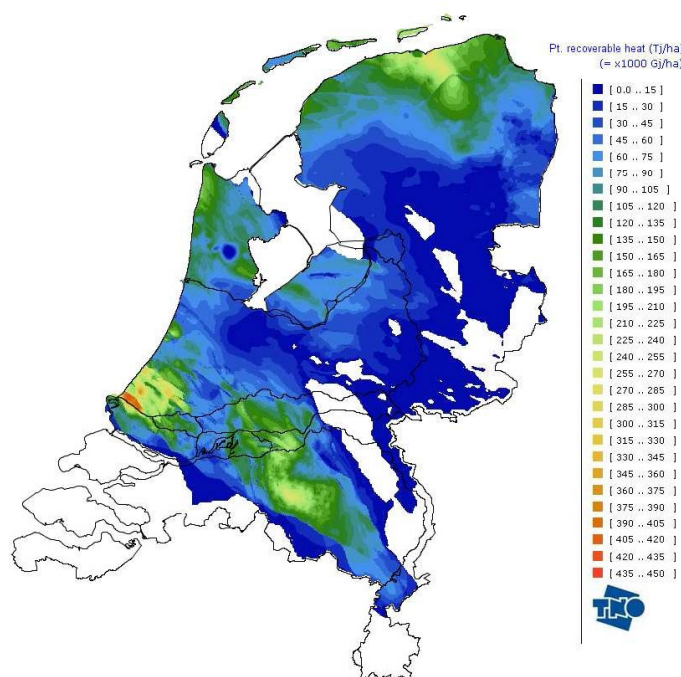
## **2.1 Hernieuwbare energiebronnen en -technologieën**

De gehanteerde bronnen van hernieuwbare energie zijn windenergie, waterkracht, biomassa, warmte-koude opslag en zonne-energie. Warmte-koude opslag (WKO) wordt in dit onderzoek gezien als een warmte- en koudeuitwisseling met de bodem tot ca. 150 m diepte (zie ook <http://www.bodemenergie.nl/Bodemenergie/Opslagconcepten>). Geothermie wordt gezien als een onttrekking van warmte uit diepe lagen van de ondergrond (1500 – 5000m). Figuur 2.2 toont aan dat er weinig bekend is over de potentie van geothermie in Parkstad Limburg. Figuur 2.3 laat wel een potentie zien, maar schat deze in op minder dan 100 GJ/ha/jaar, terwijl andere delen van Nederland al snel een potentie tussen 500 – 1000 GJ/ha/jaar laten zien. Om deze reden is voor dit onderzoek besloten om de potentie van Geothermie niet verder te mee te nemen.

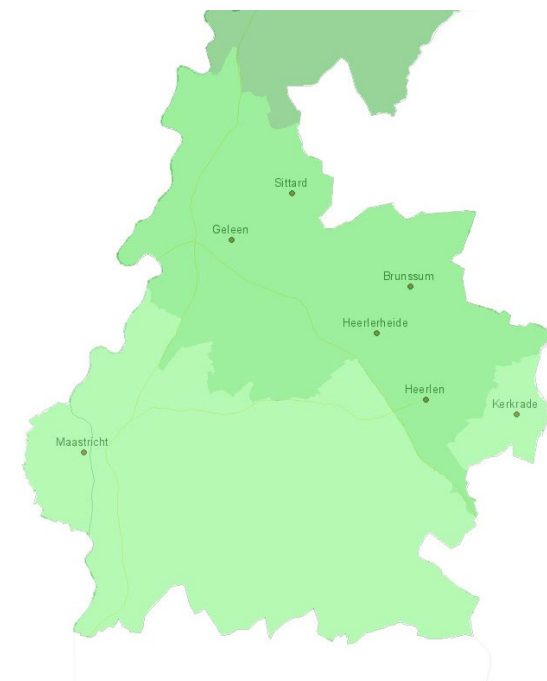
Bij elke hernieuwbare energiebron zijn, waar mogelijk, meerdere technologieën meegenomen in het onderzoek. Hierbij is uitgegaan van bestaande en bewezen technologieën. Een energiemix is belangrijk om in de toekomst niet alleen afhankelijk te zijn van slechts één bepaalde techniek (Stremke & Koh, 2011). De expertise van TU Delft is ingeschakeld om voor elke technologie zo goed mogelijk in te schatten wat de toekomstige ontwikkelingen zullen zijn. Op deze manier kan ook voor de langere termijn een zo realistisch mogelijke inschatting worden gedaan van de potentiële energieopwekking. Nieuwe technologieën die op deze lange termijn nog ontwikkeld kunnen worden zouden in een later stadium nog mee moeten worden genomen. Figuur 2.4 laat een overzicht zien van de meegenomen hernieuwbare energiebronnen en technologieën.



Figuur 2.1: Methoden



Figuur 2.2: Potentie Geothermie in Nederland – blauw geeft een lage potentie, geel/rood een hoge potentie (bron: TNO)



Figuur 2.3: Potentie Geothermie op 5500m diepte, in GJ/ha/jaar (bron: Warmteatlas.nl)

Figuur 2.4: Overzicht van meegenomen hernieuwbare energiebronnen en -technologieën.

## HERNIEUWBARE ENERGIEBRON



ZON



WIND



WARMTE-KOUDE  
OPSLAG (WKO)



WATERKRACHT



BIOMASSA

## TECHNOLOGIEËN

Zonnepanelen (PV)  
Zonneboiler  
Asfaltcollectoren

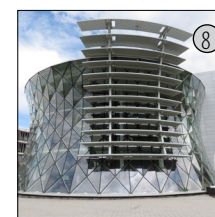
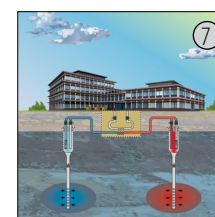
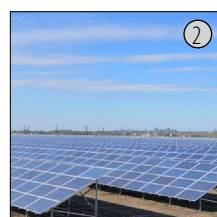
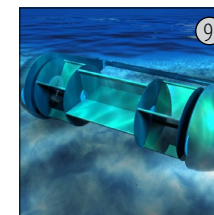
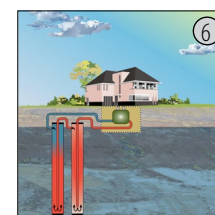
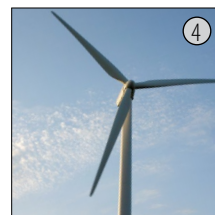
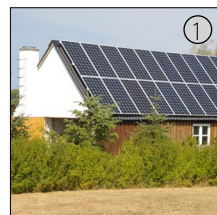
Windturbines  
Gebouwgebonden  
windturbines

Open systeem  
Gesloten systeem  
Mijnwater 2.0

Kleinschalige  
hydropower  
installaties

Stortplaatsgas  
Mest  
Bermmaaisel  
Houtige biomassa  
Stro  
Energiegewas

## AFBEELDINGEN



1. Zonnepanelen (PV) op daken van huizen (bron: Flickr, Creative Commons)
2. Zonneakkers op bijvoorbeeld stortplaatsen (bron: Flickr, Creative Commons)
3. Asfaltcollectoren (bron: E-hub.org)
4. Windturbines (bron: Flickr, Creative Commons)
5. Gebouwgebonden windturbines (bron: Wikipedia, Creative Commons)
6. Gesloten WKO systeem (bron: Provincie Drenthe)
7. Open WKO systeem (bron: Provincie Drenthe)
8. Cultuurcluster Heerlerheide centrum (HHC) met daaronder de energiecentrale van Mijnwater (bron: Wikipedia, Creative Commons)
9. Kleinschalige hydropowerinstallaties (bron: hydrovolts.com)
10. Energiegewassen (bron: Flickr, Creative Commons)
11. Biovergister
12. Houtpallets (bron: Wikipedia, Creative Commons)

## 2.2 Energiepotentiekaarten

Voor het in kaart brengen van de potenties en beperkingen voor hernieuwbare energie in de regio zijn op verschillende schaalniveaus veel gegevens nodig. Door middel van een interviewronde met afvaardigingen van alle acht betrokken gemeentes is geïnventariseerd welke gegevens beschikbaar zijn. Gegevens van de gemeentes zijn aangevuld met provinciale gegevens, gegevens uit de database van Wageningen UR en openbare gegevens zoals deze te vinden zijn op het internet. In hoofdstuk 3 is per energiebron de oorsprong van informatie aangegeven. Energiepotenties en –beperkingen zijn in kaart gebracht volgens de EPM methode (Dobbelsteen et al, 2011). De focus van dit onderzoek ligt op de regionale schaal en de gebruikte gegevens hebben ook een corresponderend detailniveau. De energiepotentiekaarten zijn op de schaal 1:25.000 verwerkt. Dit betekent dat de resultaten niet zomaar toe te passen zijn op het lokale schaalniveau.

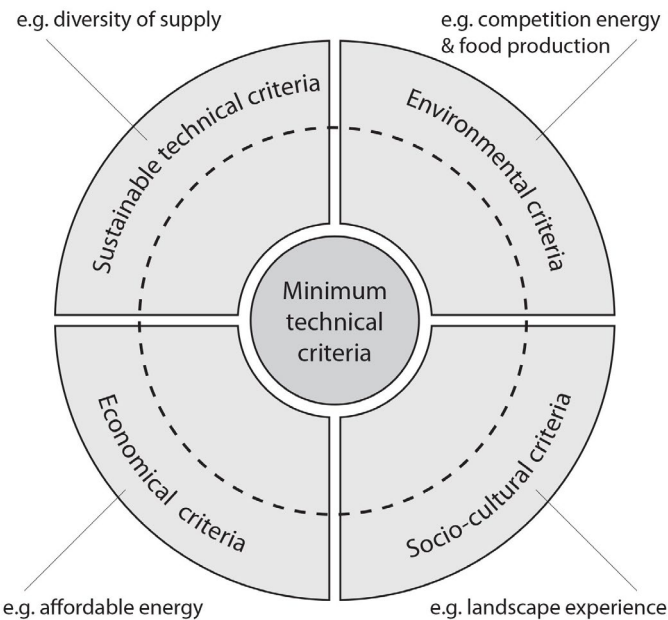


Figure 2.5: schematische weergave van verschillende dimensies van duurzaamheid voor energielandschappen (bron: Stremke, in press)

## 2.3 Afwegingskader

Als basis voor het afwegingskader is het *conceptual framework* (Stremke, in press) gebruikt, waarin verschillende criteria voor duurzaamheid worden gebundeld (figuur 2.5).

Tijdens de interviewronde met de afvaardigingen van de gemeentes is een enquête afgenomen over het onderlinge belang van deze verschillende duurzaamheidscriteria. Deze gegevens zijn op een later moment aangevuld met enquêtes afgenomen onder de bestuurders van de verschillende gemeentes. De resultaten van de enquête zijn weergegeven in figuur 2.6, welke bij een totaal van 39 personen is afgenomen. Op de horizontale as staan de criteria voor een duurzaam energielandschap. De verticale as geeft weer hoe deze criteria gescoord zijn, waarbij 1 staat voor onbelangrijk en 5 voor belangrijk. De pijl geeft aan binnen welke range er door de respondenten gescoord is, het vierkant geeft het gemiddelde aan. Gebruik maken van hernieuwbare bronnen, economische haalbaarheid en het behoud van plekken met cultuurhistorische waarden worden als erg belangrijk ervaren. Het beperken van claims op bestaand landgebruik en zelfvoorzienend zijn in de energiebehoefte worden relatief minder belangrijk gevonden. Deze uitkomsten van deze enquête hebben het afwegingskader medebepaald. Ook hebben meerdere (interactieve) sessies met bestuurders en ambtenaren van Parkstad Limburg het afwegingskader gevormd. De uitkomsten van de enquête en de sessies dienden als kader voor het maken van verschillende keuzes in de fase van de MCDA.



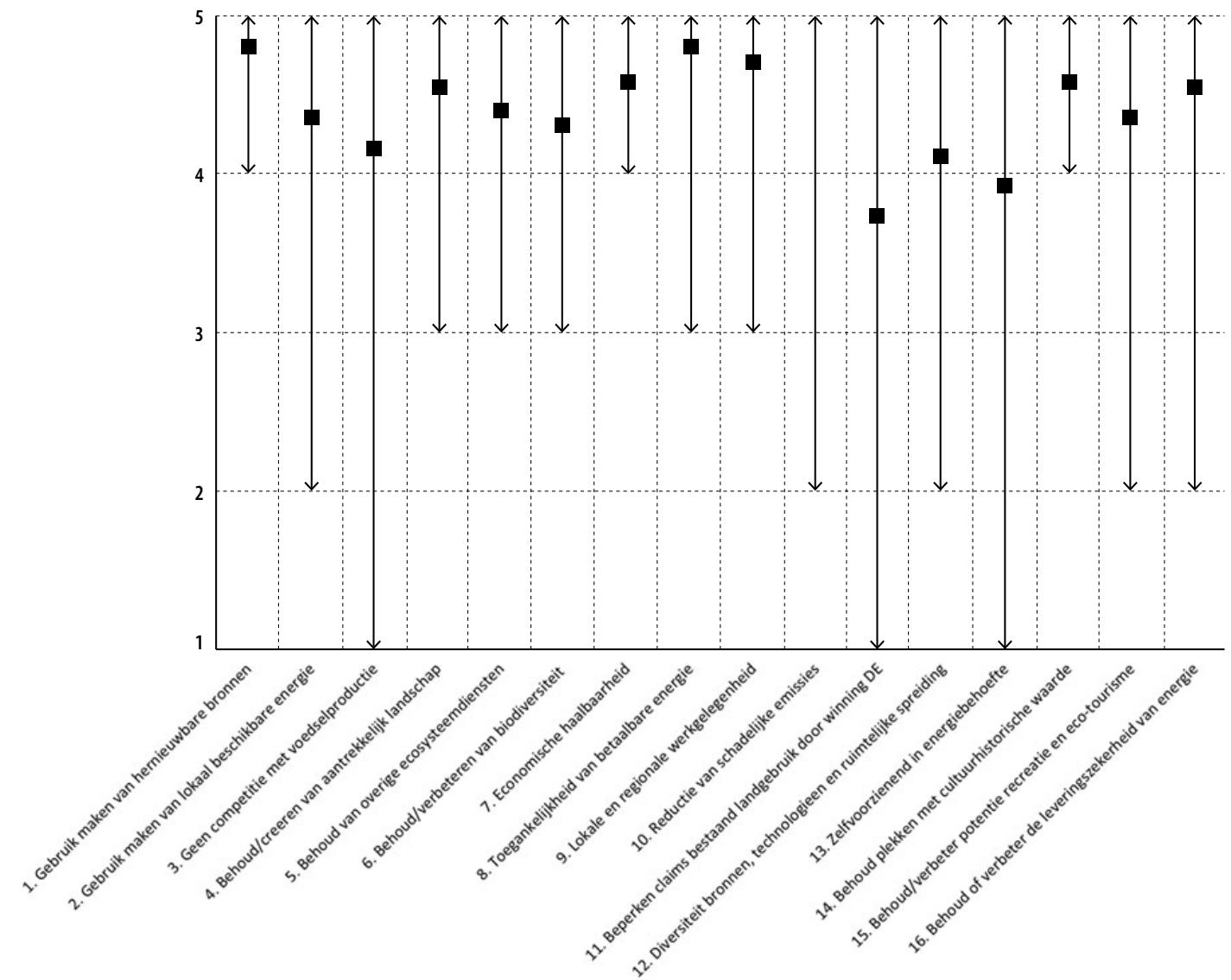
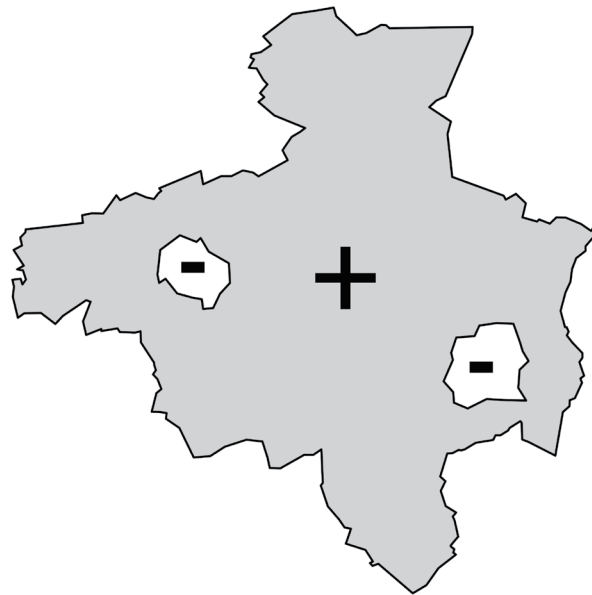


Figure 2.6: resultaten enquête gehouden onder bestuurders en ambtenaren van Parkstad Limburg

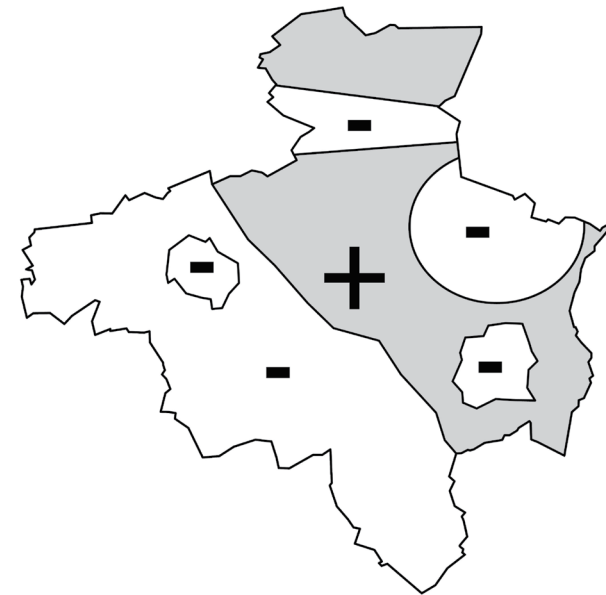
## 2.4 Multi-criteria-decision-analysis (MCDA)

Om de potentie voor het opwekken van hernieuwbare energie te kunnen berekenen moet een afweging plaatsvinden tussen de verschillende potenties en beperkingen per bron en technologie. In dit onderzoek is met twee verschillende scenario's gewerkt. Het eerste scenario is een referentiescenario, dat de maximale capaciteit voor hernieuwbare energieopwekking laat zien. Hierbij worden alleen technische beperkingen, zoals een te steile helling georiënteerd op het noorden voor zonnepanelen, meegenomen als beperking. Dit scenario wordt het technisch scenario genoemd (figuur 2.7). Het andere scenario laat zien wat er mogelijk is aan hernieuwbare energieopwekking als naast technische beperkingen ook allerlei juridisch-planologische en ruimtelijke beperkingen worden meegenomen. Dit wordt het integraal ruimtelijke realistische scenario (IRRS), of kortweg integraal scenario genoemd (figuur 2.8). De scenario's laten zien dat er een onderscheid

is in de 'hardheid' van de verschillende beperkingen. Een te steile helling maakt het bijvoorbeeld technisch erg lastig om zonnepanelen te plaatsen. Dergelijke 'harde' beperkingen zijn er ook in het technische scenario uitgefilterd. Een beschermd stads- en dorpsgezicht daarentegen is een beperking opgelegd vanuit de overheid, maar feitelijk is het mogelijk om bijvoorbeeld zonnepanelen in deze gebieden te plaatsen en die zijn in principe ook ruimtelijk inpasbaar. Dit vraagt alleen om een inhoudelijk debat over regionale en lokale ruimtelijke kwaliteit, effecten van zonnepanelen en mogelijkheden van een integrale ontwerp oplossing. In het integrale scenario zijn een aantal 'zachte' beperkingen (keuzen) vooralsnog meegenomen, waardoor een kleinere oppervlakte overblijft voor de mogelijke opwekking van hernieuwbare energie. Dit integrale scenario biedt daarmee een ruimtelijk reëel zicht op de potenties voor hernieuwbare energieopwekking in de regio.



*Figuur 2.7: Technisch scenario - maximale technische capaciteit voor hernieuwbare energie opwekking in de regio*



*Figuur 2.8: Integraal scenario - capaciteit voor hernieuwbare energie vanuit integraal ruimtelijk realistisch perspectief*





Zonnepanelen op gemeenteloods in gemeente Onderbanken (© Ria Gerards Schinveld)



.....

*De resultaten van het onderzoek zijn gestructureerd rond de vijf hernieuwbare energiebronnen: zon, wind, WKO, water en biomassa. Voor elke bron is een energiepotentiekaart (EPM) gemaakt en worden de stroomschema's getoond van het technisch en integraal scenario. Elk scenario heeft een potentie in PJ. Verder worden de verwachte toekomstige ontwikkelingen van de technologieën beschreven.*

Voor beide scenario's is voor verschillende technieken een beschikbaar oppervlak uitgerekend dat ingezet kan worden voor hernieuwbare energieopwekking.

De beperkingen die de energiepotentiekaarten in beeld brengen, zijn niet allemaal gelijk van aard. Sommige beperkingen zijn 'zachter' en anderen 'harder' (zie ook paragraaf 2.4). Per hernieuwbare energiebron zijn de beperkingen bij elkaar gebracht in een tabel en is deze nuancering van de verschillende beperkingen weergegeven.

De stroomschema's laten vervolgens zien hoe de verschillende beperkingen zijn gebruikt om tot een hernieuwbaar energiepotentieel te komen. De stroomschema's starten links met de theoretisch beschikbare oppervlaktes, vervolgens wordt dit verminderd met verschillende beperkingen, waarna het netto oppervlak als input dient voor, eventueel meerdere, technieken. Uiterst rechts staat het resultaat, veelal in  $PJ_w$  (warmte) of  $PJ_e$  (elektrisch). De stroomschema's

zijn voornamelijk bedoeld om het proces achter de berekening te laten zien. De oppervlaktes als resultaat van de tussenstappen kunnen door op de onderstaande knop te klikken zichtbaar worden gemaakt:

MEER INFORMATIE

AAN UIT



Door afronding kan het zijn dat er kleine verschillen ontstaan. De toekomstige rendementen van de technologieën zijn gebaseerd op bepaalde aannames. Hoewel de getallen soms anders suggereren is het niet de bedoeling dat dit als een uiterst nauwkeurige en gedetailleerde uitkomst wordt gezien.



### 3.1.1 Potenties en beperkingen zonne-energie

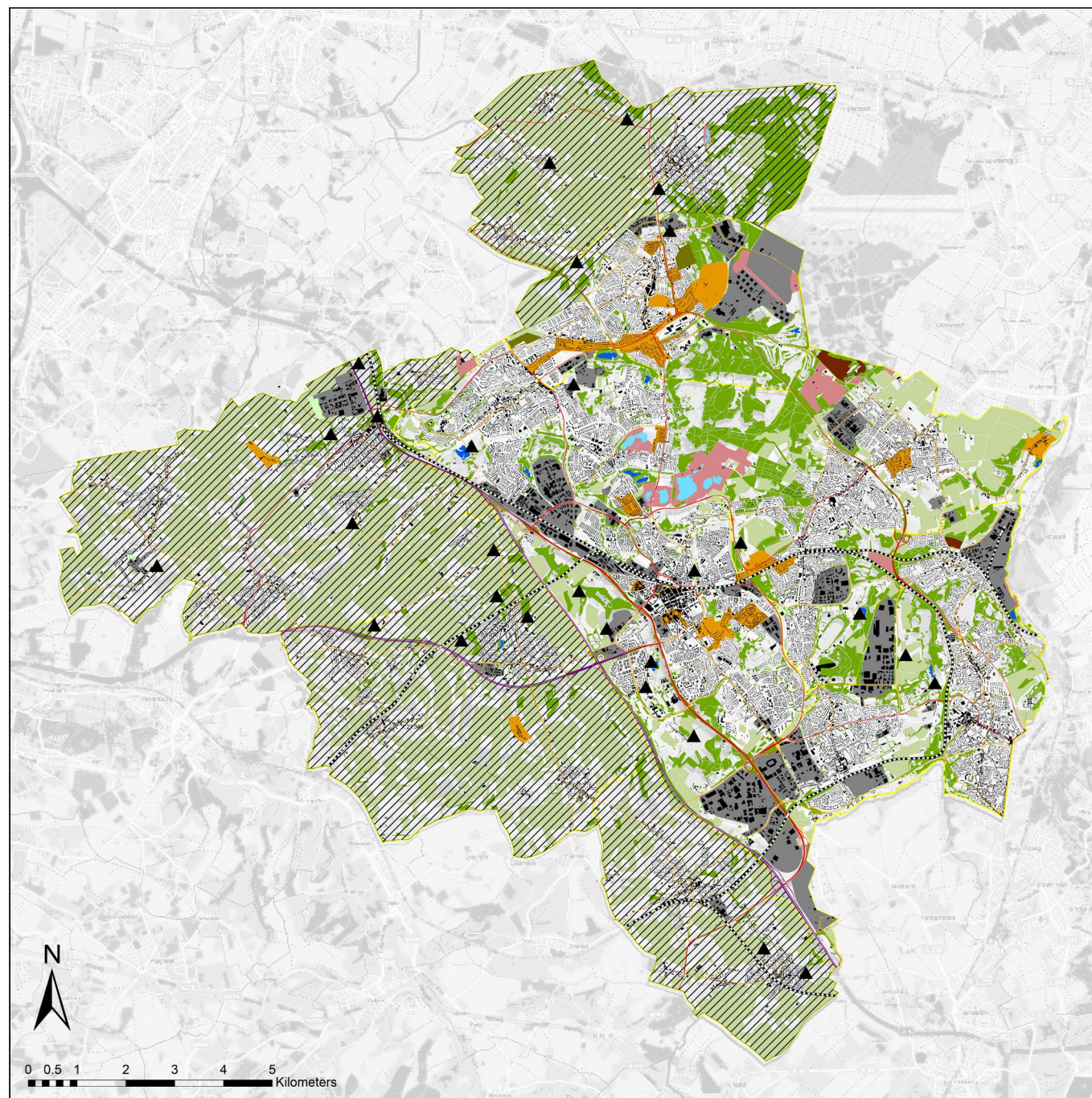
De potenties en beperkingen van zonne-energie worden in figuur 3.1. weergegeven. Tabel 3.1 laat een overzicht zien van alle beperkingen en hun relatieve 'hardheid' en tabel 3.2 de geraadpleegde bronnen.

#### Potenties

- Uren zon: 1450-1500 per jaar (36 TJ/ha/jaar)
- Gebouw
- Woongebied
- Bedrijventerrein
- Akkerland
- Delfstofwinplaats
- Oppervlaktewater
- Stortplaats
- Braakliggende terreinen
- Spoorlijn
- Autosnelweg
- Hoofdweg
- Regionale wegen

#### Beperkingen

- Beschermd stads en dorpsgezicht
- Bos
- Nationaal landschap
- Water recreatief
- Kasteel



Figuur 3.1: Energiepotentiekkaart zonne-energie



Tabel 3.1: overzicht beperkingen zonne-energie en de relatieve hardheid van deze beperkingen in het integraal scenario

| TECHNIEK              | BEPERKING                                                | INVULLING INTEGRAAL SCENARIO                                           |         |
|-----------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------|
| PV (zonne-akker)      | steile helling                                           | helling > 10° uitgesloten                                              | ↑ HARD  |
|                       | orientatie richting het noorden                          | 337,5° tot 22,5° uitgesloten (NNW-NNO)                                 |         |
|                       | Nationaal Landschap Zuid-Limburg                         | 100% van het oppervlak niet meegenomen (bebouwing wel)                 | ↓ ZACHT |
| PV & Boiler (daken)   | inzet PV i.p.v. voedselproductie                         | 10% PV i.r.t. toenemen landbouwefficiëntie                             | ↑ HARD  |
|                       | ongeschikt dakoppervlak (beschaduwing, orientatie, vorm) | 30% van dakoppervlak huizen, 60% van dakoppervlak bedrijven meegenomen | ↓ ZACHT |
|                       | beschermd stads- en dorpsgezicht                         | 50% uitgesloten                                                        |         |
|                       | dakoppervlak kastelen, kloosters en kerken               | 100% uitgesloten                                                       |         |
| PV boven spoorlijnen  | marge voor ruimtelijke kwaliteit                         | binnen Nationaal Landschap Zuid-Limburg uitgesloten                    |         |
| PV op geluidsschermen | ongeschikt oppervlak (beschaduwing, orientatie, vorm)    | 50% uitgesloten                                                        |         |
| Asfaltcollectoren     | beschaduwing, te steil, geen asfalt, te klein            | 50% uitgesloten                                                        |         |

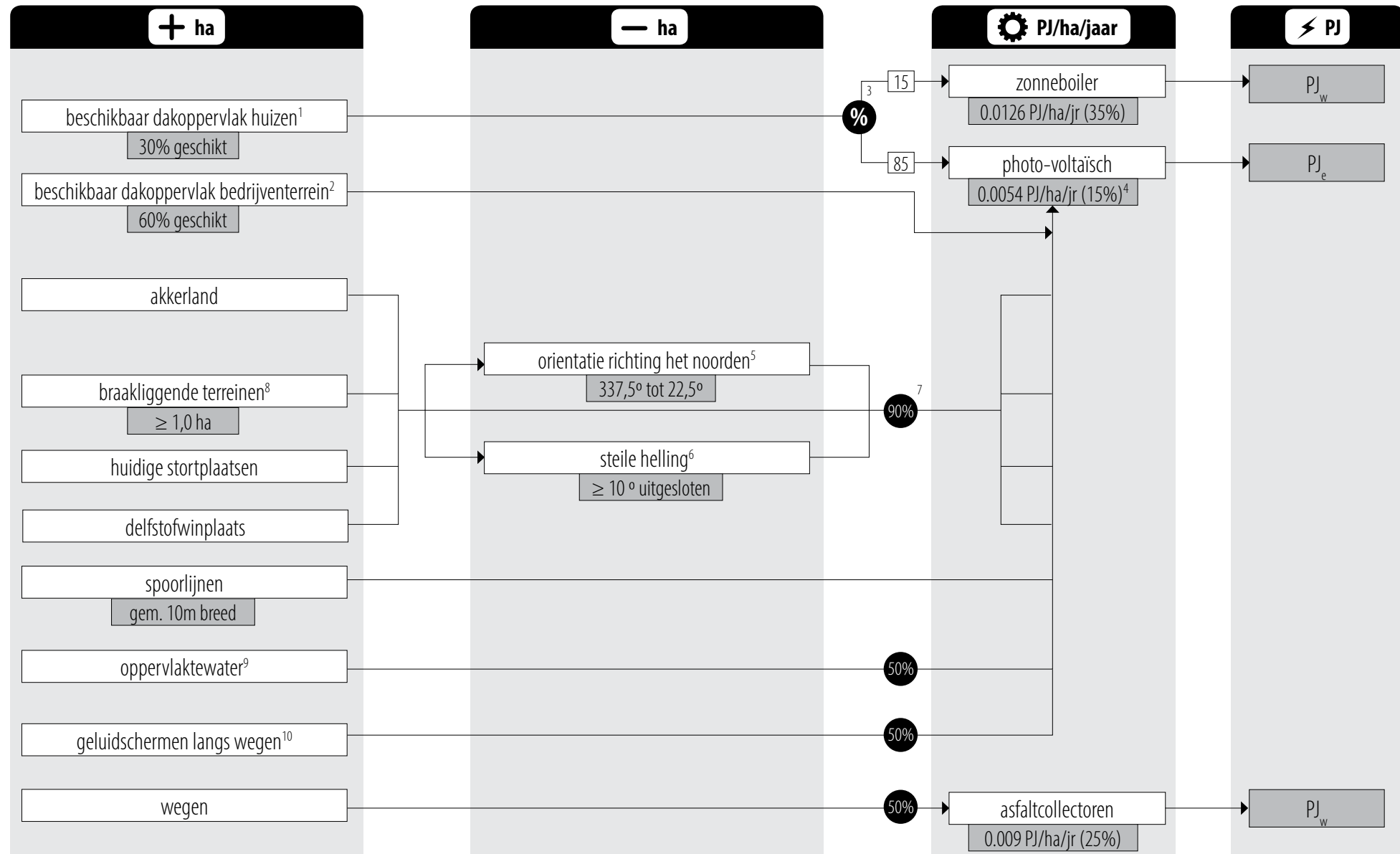
Tabel 3.2: Geraadpleegde bronnen energiepotentiekaart zon

| GERAADPLEEGDE BRONNEN                    | GEGEVENS                                                                                                     |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GeoDatabase (Wageningen UR)              | beschikbaar dakoppervlak huizen (TOP10NL)                                                                    |
|                                          | beschikbaar dakoppervlak bedrijventerrein (TOP10NL)                                                          |
|                                          | akkerland, stortplaatsen, delfstofwinplaats, spoorlijnen, wegen oppervlaktewater, recreatieplassen (TOP10NL) |
|                                          | orientatie richting het noorden (AHN)                                                                        |
|                                          | steile helling (AHN)                                                                                         |
| Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed (RCE) | Beschermd stads- en dorpsgezicht (2012)                                                                      |
| Gemeenten van Parkstad Limburg           | braakliggende terreinen                                                                                      |
| Provincie Limburg                        | Nationaal Landschap Zuid-Limburg                                                                             |
|                                          | geluidsschermen / infrastructuur                                                                             |
|                                          | Kastelen, kloosters en kerken (Landschapsvisie Zuid-Limburg)                                                 |

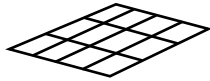




## 3.1.2 MCDA Zon - technisch scenario



## BESCHIKBAAR OPPERVLAK



**8137 ha**

## ENERGETISCH POTENTIEEL



**69,80 PJ**

(in 2040)

### Toelichting

<sup>1</sup> Door orientatie en beschaduwing van andere bebouwing of objecten is maar een beperkt deel van het totale dakoppervlak beschikbaar voor zonnepanelen. Hier wordt aangenomen dat 30% werkelijk beschikbaar is (bron: TU Delft).

<sup>2</sup> Zie noot 1. Door het veelal platte dakoppervlak is bij bedrijventerreinen uitgegaan van een hoger beschikbaar dakoppervlak. Geschat wordt dat 75% van de daken geschikt is, en dat 80% hiervan belegd kan worden. Dit resulteert in een percentage van 60%.

<sup>3</sup> Tot 6m<sup>2</sup> produceren zonne-collectoren nuttig bruikbare warmte. Hierboven ontstaat er in de zomer overproductie met minder nuttig warm water. Photo-voltaïsch kan naar het elektriciteitsnet worden getransporteerd en heeft dit probleem niet. Uitgaande van een gemiddeld huis met een gemiddeld geschikt dakoppervlak van 40 m<sup>2</sup>, ontstaat een verhouding van 15% (6/40) zonneboiler en 85% photo-voltaïsch.

<sup>4</sup> Voor de efficiëntie van photo-voltaïsch is een gemiddelde genomen van drie gangbare technieken: kristallijn (Si), thin-film en multi-junction.

<sup>5</sup> Orientatie richting het noorden is te weinig efficiënt voor zonne-panelen. Specifiek is gekozen om de orientatie noord-noord-west (NNW) tot noord-noord-oost (NNO) uit te sluiten.

<sup>6</sup> Een te steile helling ( $\geq 10^\circ$ ) wordt niet geschikt geacht om zonne-panelen technisch te kunnen plaatsen.

<sup>7</sup> Naast technische beperkingen als noordelijke orientatie en een te steile helling zal niet al het akkerland in theorie beschikbaar zijn voor zonnepanelen door bijvoorbeeld onregelmatige vormen. Dit geldt ook voor delfstofwinplaatsen, stortplaatsen en braakliggende terreinen.

<sup>8</sup> Op moment van schrijven is alleen data beschikbaar van gemeente Brunssum.

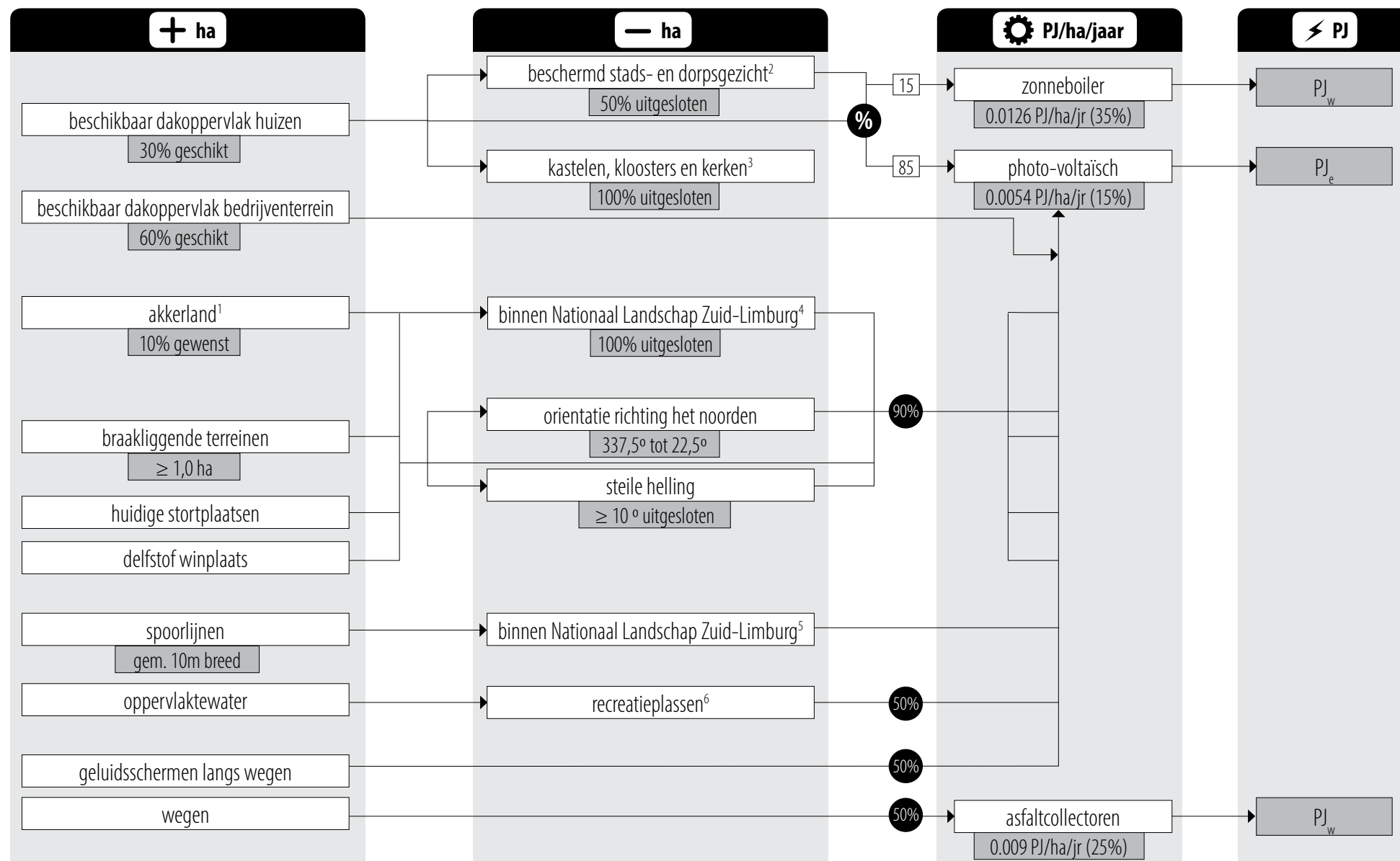
<sup>9</sup> Niet al het oppervlak van oppervlaktewater kan benut worden voor zonne-panelen vanwege onregelmatige vormen.

<sup>10</sup> Geluidsschermen langs wegen in Parkstad Limburg bieden potentie voor de plaatsing van zonnepanelen. Er wordt vanuit gegaan dat een kant van de geluidsschermen effectief te gebruiken is. Voor effecten van orientatie en beschaduwing wordt dit oppervlak nog eens gehalveerd.





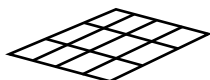
## 3.1.3 MCDA Zon - integraal scenario



---

**BESCHIKBAAR OPPERVLAKE**

---



**1270 ha**

---

**ENERGETISCH POTENTIEEL**

---



**11,47 PJ**

(in 2040)

### Toelichting

<sup>1</sup> In het integraal scenario wordt niet voorgesteld om zonne-akkers met voedselproductie te laten concurreren. Er wordt verwacht dat door hogere efficiënties in de landbouw ca. 10% van het oppervlak ingezet kan worden voor zonnepanelen, waarbij de voedselproductie gehandhaafd zal blijven.

<sup>2</sup> Beschermde stads- en dorpsgezichten vragen om terughoudendheid bij het plaatsen van zonnepanelen. Toch wordt verwacht dat 50% van het geschikte dakoppervlak binnen deze zones beschikbaar is voor zonnepanelen, wanneer daken uit zicht zijn (vanaf straatniveau) of wanneer voor een integrale oplossing wordt gekozen.

<sup>3</sup> Kastelen maken als oppervlak onderdeel uit van de totale gebouwde omgeving in TOP10NL. Voor de berekening van het totaal oppervlak kastelen is daarom uitgegaan van een gemiddeld dakoppervlak. Dit dakoppervlak is geschat door het gemiddelde te nemen van vier willekeurige kastelen in de regio.

<sup>4</sup> Nationaal Landschap Zuid-Limburg wordt in het integraal scenario uitgesloten als potentie voor zonne-akkers. PV op daken wordt in deze gebieden wel meegenomen.

<sup>5</sup> Zonnepanelen boven de spoorlijnen zullen de visuele impact die spoorlijnen hebben vergroten. In het integraal scenario is daarom ervoor gekozen om de spoorlijnen binnen het Nationaal Landschap Heuvelland uit te sluiten.

<sup>6</sup> In het integraal scenario wordt ervoor gekozen om plassen met een recreatieve functie als zodanig te behouden.



### 3.1.4 Toekomstig rendement zonne-energie

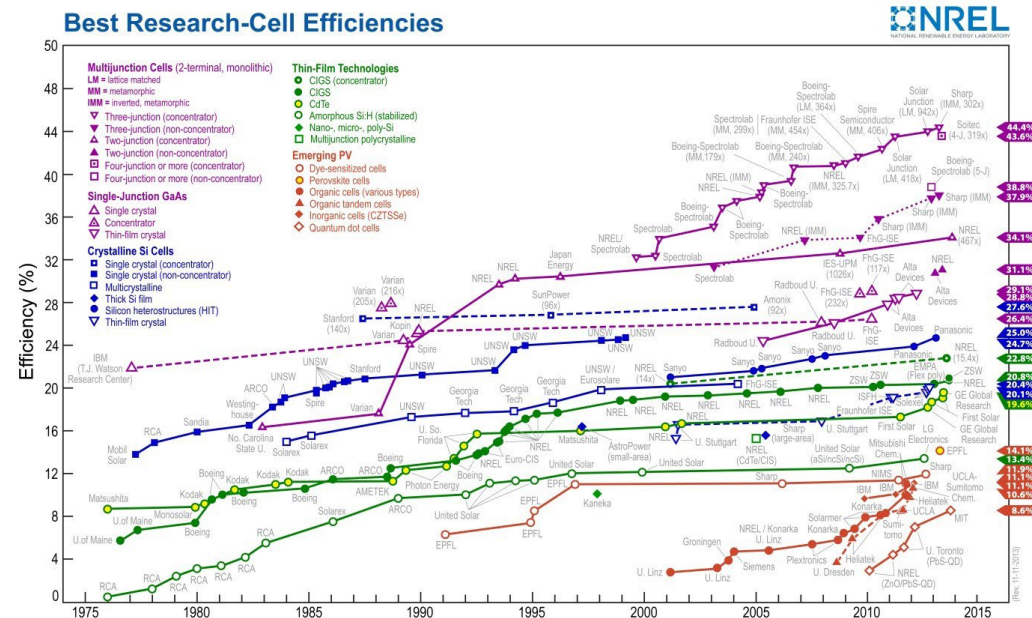
Figuur 3.2 toont alle bijgehouden hoogst gehaalde rendementen van verschillende PV-technieken van de afgelopen jaren. Van de belangrijkste en meest voorkomende PV-technieken zijn de trends doorgezet tot aan 2050. Hiervan zijn voor alle tijdvakken de rendementen bepaald. Daarnaast is gekeken wat het huidige gemiddelde (gangbare) rendement is voor PV: 15% kristallijn (geen specifieke bron, is veel gebruikte rekenwaarde) en 9,5% voor thin-film (Aberle, 2009).

Deze 'marktwwaarden' waren 30 jaar geleden de hoogst gehaalde rendementen. Door op vergelijkbare wijze de hoogste toekomstige rendementen van laboratoriumopstellingen te bepalen, kan ook de toekomstige marktrendementen bepaald worden door in onderstaande grafiek 30 jaar eerder te kijken.

In de navolgende tabel (3.3) zijn alle waarden opgenomen. Het rekenkundige gemiddelde van de drie meest gangbare technieken is genomen als algemene rekenwaarde voor PV-rendement, 15% nu tot 30% in 2050.

Tabel 3.3: Extrapolatie van huidige PV (markt)rendementen tot en met 2050

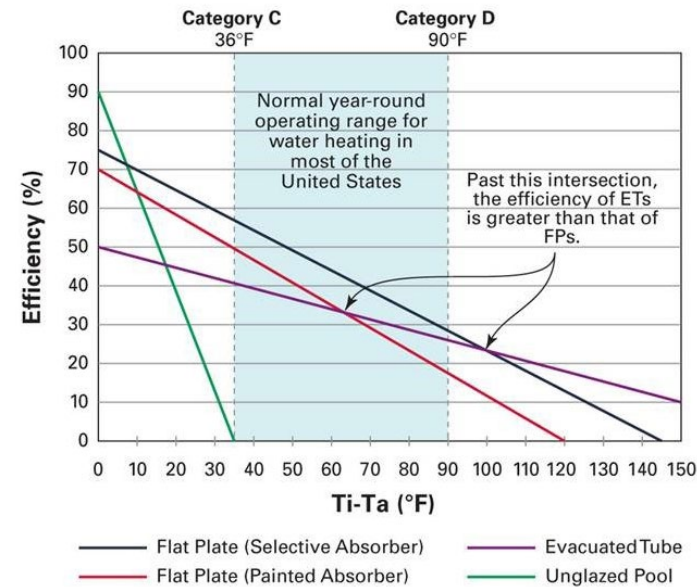
| Rendementen nu PV toekomstig; reken/marktwwaarden en laboratoriumwaarden |       |     |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------|-------|-----|------|------|------|------|
|                                                                          | %     | nu  | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| thin-film                                                                | markt | 9,5 | 11   | 14   | 16   | 19   |
|                                                                          | test  | 18  | 19   | 20   | 21   | 21   |
| Si                                                                       | markt | 16  | 19   | 22   | 25   | 27   |
|                                                                          | test  | 25  | 27   | 28   | 29   | 29   |
| Multi-junction                                                           | markt | 20  | 24   | 30   | 39   | 43   |
|                                                                          | test  | 39  | 43   | 47   | 51   | 53   |
| gemiddeld markt                                                          |       | 15  | 18   | 22   | 27   | 30   |



Figuur 3.2: Weergave van alle bijgehouden hoogst gehaalde rendementen van verschillende PV-technieken in de afgelopen jaren (bron: NREL, National Renewable Energy Laboratory)



In tegenstelling tot PV-technieken, is voor zonne-collectoren weinig bekend in de literatuur over toekomstige rendementen. Figuur 3.3 laat de rendementen zien voor verschillende technieken binnen een bandbreedte van temperatuurverschil. Uitgaande van een huidig gemiddeld rendement van 35% wordt aangenomen dat dit rendement toeneemt tot 56% in 2050 doordat men gemiddeld lagere temperatuurverschillen nodig heeft en de beste collectoren gebruikt. Dit komt dan verder neer op 39% in 2020, 45% in 2030 en 51% in 2040.



Figuur 3.3: Efficiëntie zonne-collectoren (bron: <http://www.homepower.com/>)

Voor asfaltcollectoren wordt voornamelijk niet uitgegaan van een toenemend rendement.





### 3.2.1 Potenties en beperkingen windenergie

De potenties en beperkingen van windenergie worden in figuur 3.4. weergegeven. Tabel 3.4 laat een overzicht zien van alle beperkingen en hun relatieve 'hardheid' en tabel 3.5 de geraadpleegde bronnen.

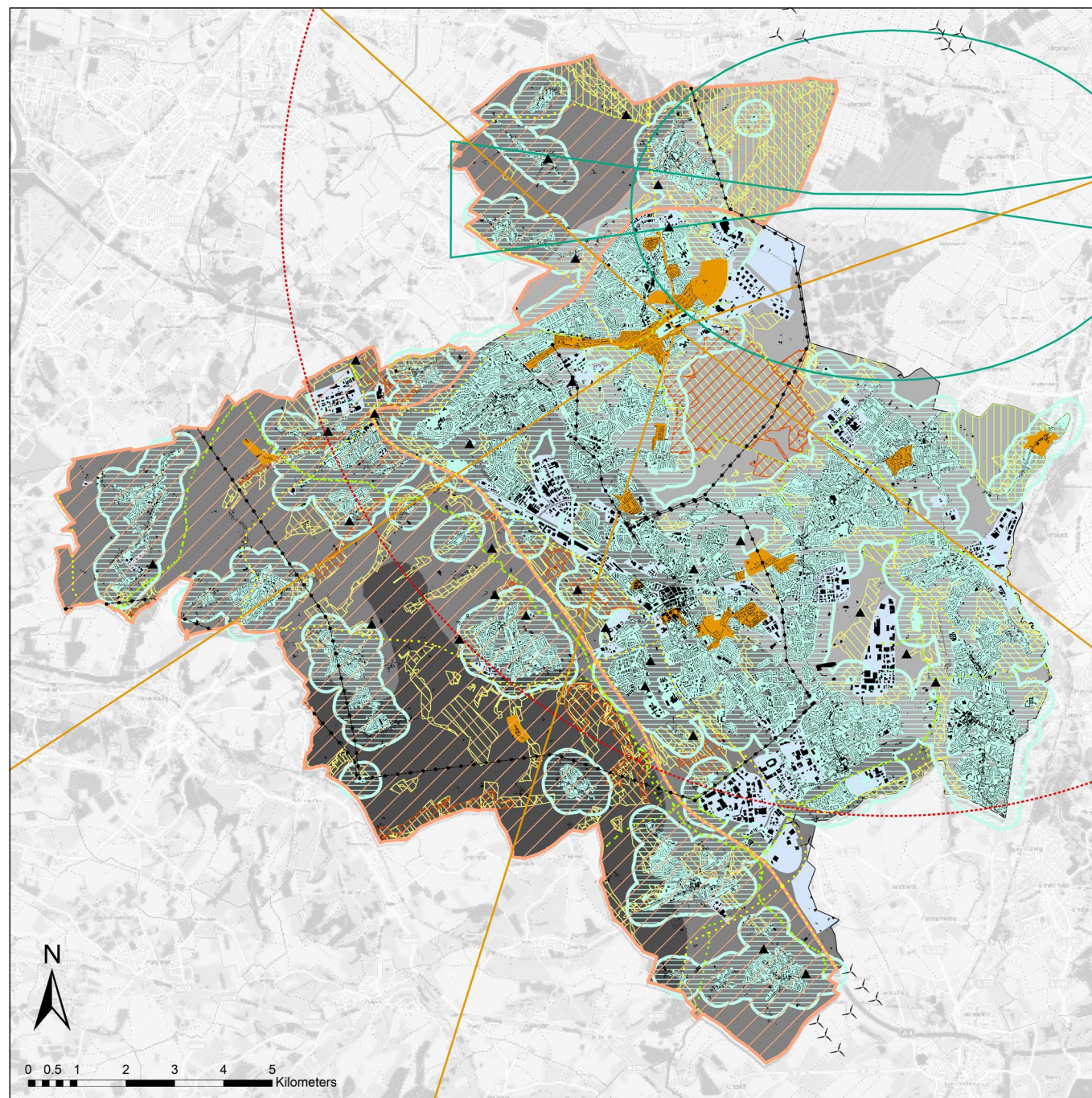
#### Potenties

##### Windsnelheid

|  |               |
|--|---------------|
|  | 7.0 - 7.5 m/s |
|  | 6.5 - 7.0 m/s |
|  | 6.0 - 6.5 m/s |

#### Beperkingen

|  |                                 |
|--|---------------------------------|
|  | Woongebied                      |
|  | Buffer woongebied 300 m         |
|  | Bedrijventerrein                |
|  | Kasteel                         |
|  | Beschermd stads en dorpsgezicht |
|  | Hoogspanningsleiding            |
|  | Buisleidingen                   |
|  | Buisleidingen gasunie           |
|  | Nationaal landschap             |
|  | Natura 2000                     |
|  | Stiltegebied                    |
|  | EHS                             |
|  | Straalpaden                     |
|  | Vliegfunnel                     |
|  | Radarcontour                    |
|  | Bestaande windturbines          |



Figuur 3.4: Energiepotentiekarte windenergie





Tabel 3.4: overzicht beperkingen windenergie en de relatieve hardheid van deze beperkingen in het integraal scenario

| TECHNIEK                   | BEPERKING                         | INVULLING INTEGRAAL SCENARIO                                        |  |
|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--|
| Gebouwgebonden windturbine | Beschermde stads- en dorpsgezicht | 100% uitgesloten                                                    |  |
|                            | Marge voor ruimtelijke kwaliteit  | 50% van potentiële locaties gebouwgebonden windturbines uitgesloten |  |
|                            |                                   |                                                                     |  |
| Windturbines (groot)       | steile helling                    | helling > 10° uitgesloten                                           |  |
|                            | beperkingen a.g.v. vliegverkeer   | 100% uitgesloten                                                    |  |
|                            | woongebied                        | 300m buffer rondom de bebouwde kom                                  |  |
|                            | Nationaal Landschap Zuid-Limburg  | 100% uitgesloten                                                    |  |
|                            | Bos                               | 100% uitgesloten                                                    |  |
|                            | marge voor ruimtelijke kwaliteit  | 50% van potentiële locaties windturbines uitgesloten                |  |

↑ **HARD**

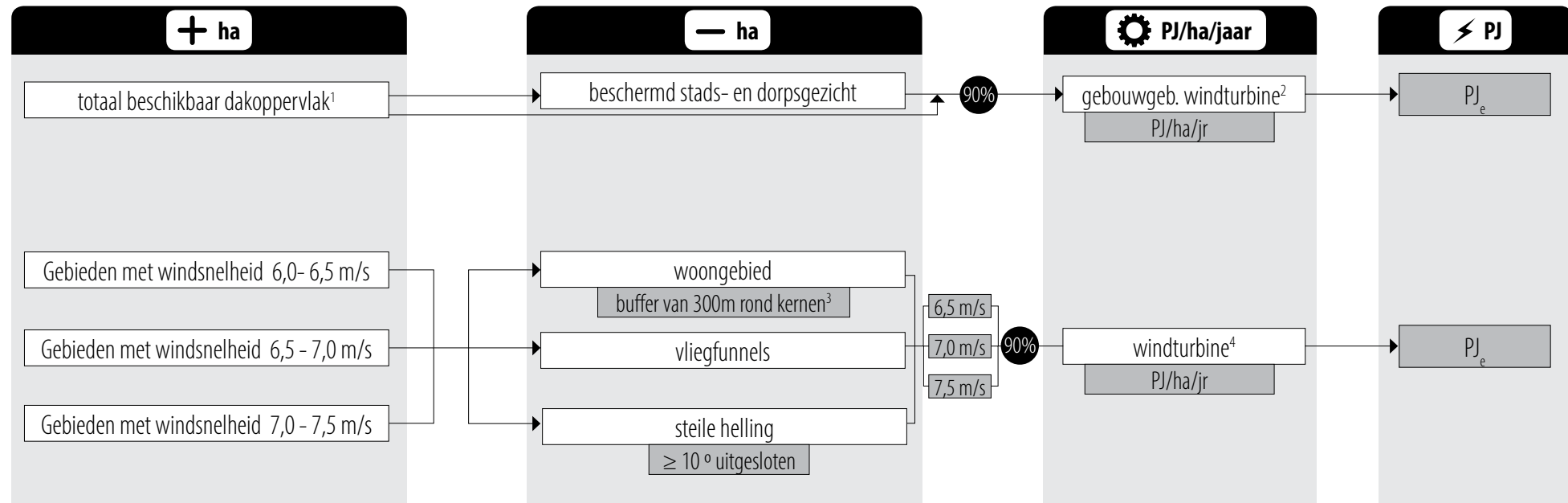
↓ **ZACHT**

Tabel 3.5: Geraadpleegde bronnen energiepotentiekaart wind

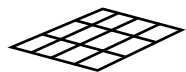
| GERAADPLEEGDE BRONNEN                    | GEGEVENS                                       |
|------------------------------------------|------------------------------------------------|
| GeoDatabase (Wageningen UR)              | Woongebied (LGN6)                              |
|                                          | Steile helling (AHN, niet op fig. x zichtbaar) |
|                                          | Bos (TOP10NL)                                  |
| Senter Novem / Agentschap NL             | Windkaart van Nederland                        |
| Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed (RCE) | Beschermde stads- en dorpsgezicht (2012)       |
| Gemeente Brunssum                        | beperkingen a.g.v. vliegverkeer                |
| Provincie Limburg                        | Nationaal Landschap Zuid-Limburg               |



### 3.2.2 MCDA Wind - technisch scenario



#### BESCHIKBAAR OPPERVLAK



6994 ha

#### ENERGETISCH POTENTIEEL



9,15 PJ  
(in 2040)

#### Toelichting

<sup>1</sup> Al het beschikbare dakoppervlak in Parkstad Limburg, inclusief wonen en bedrijventerrein.

<sup>2</sup> Er wordt vanuit gegaan dat op elke 100 m² dakoppervlak een gebouwgebonden windturbine te plaatsen is. Bij het bepalen van de energieopbrengst van gebouwgebonden windturbines is uitgegaan de Donqi (1000 kWh) (Bussel, 2012).

<sup>3</sup> Er is voor een buffer van 300m gekozen vanuit een ruime benadering van de minimale afstand (213m) tot kwetsbare objecten (Agentschap NL, 2013a).

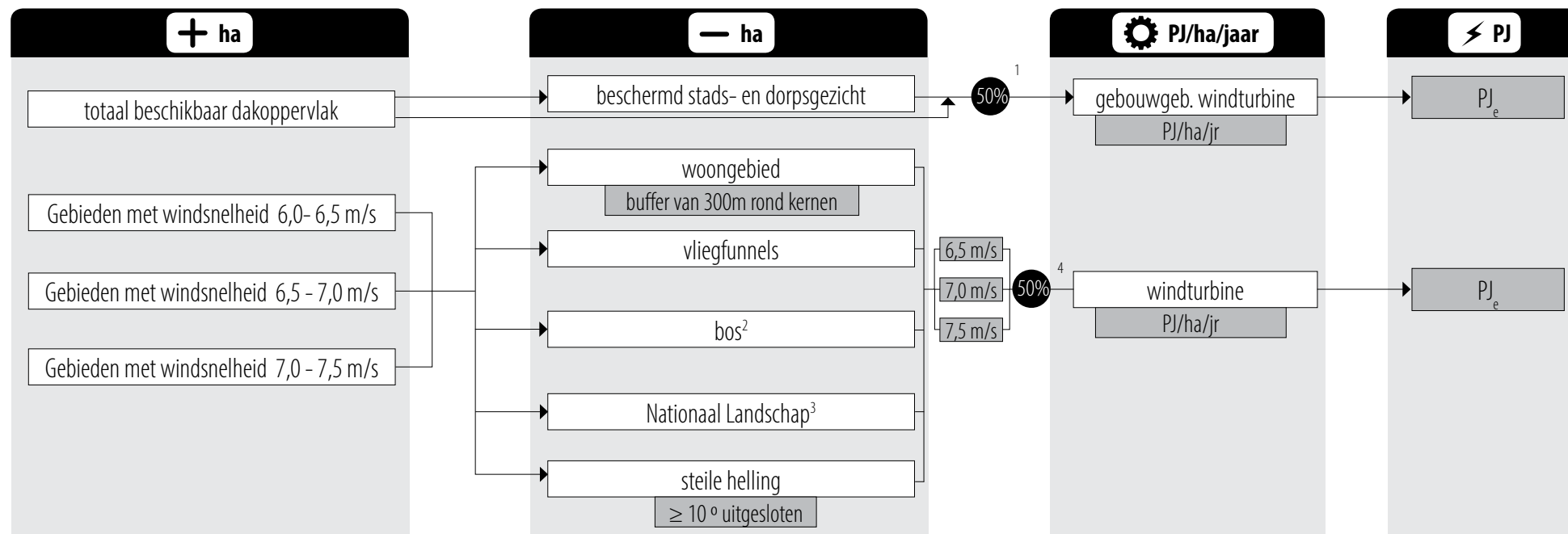
<sup>4</sup> Bij het bepalen van de energieopbrengst van windturbines is uitgegaan van de Vestas V90-3.0MW (Agentschap NL, 2013a). Voor het bepalen van het aantal windturbines dat geplaatst kan worden op het netto oppervlak (na aftrek restricties)

is een grid met cellen van 360x360m over het netto oppervlak heen gelegd. Elke cel veronderstelt de plaatsing van een windturbine waarbij een onderlinge afstand van 360m nodig is voor een effectief functioneren (Agentschap NL, 2013a). Het aantal vlakken groter dan de helft van een cel bepaald het aantal mogelijk te plaatsen windturbines.

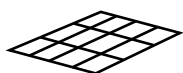
<sup>5</sup> In het technisch scenario kan niet 100% van het netto oppervlak worden meegenomen. Op lokaal (en plekspecifiek) niveau zullen op bedrijventerreinen en rondom hoogspanningsleidingen minder windturbines mogelijk zijn.



### 3.2.3 MCDA Wind - integraal scenario



#### BESCHIKBAAR OPPERVLAK



**1348 ha**

#### ENERGETISCH POTENTIEEL



**1,04 PJ**  
(in 2040)

#### Toelichting

<sup>1</sup> In het integraal scenario wordt ervoor gekozen om op de helft van het nette oppervlak gebouwgebonden windturbines te plaatsen.

<sup>2</sup> Bos wordt vooralsnog uitgesloten voor het plaatsen van windturbines, hoewel er steeds meer onderzoek wordt gedaan naar de plaatsing van windturbines in bos en natuur (zie o.a. <http://www.innovatienetwerk.org/>)

<sup>3</sup> Vanwege de waardering vanuit de regio, o.a. voor het recreatieve belang, wordt het Nationaal Landschap Zuid-Limburg uitgesloten als potentieel gebied voor windturbines. De Ecologische Hoofdstructuur, die wordt herzien, wordt nog niet uitgesloten. Ook Natura2000 gebieden worden niet expliciet uitgesloten, voor deze gebieden is een plekspecifieke aanpak nodig. Deze studie richt zich op het regionale

niveau, waarbij om lokale onzekerheden worden opgevangen door niet 100% van het netto oppervlak ook daadwerkelijk mee te nemen (zie noot 4).

<sup>4</sup> In het integraal scenario wordt ervoor gekozen om de helft van het netto oppervlak windturbines mee te nemen. Op deze manier wordt rekening gehouden met de wenselijkheid van windturbines en lokale onzekerheden rondom realisatie van windturbines in Natura2000 gebieden, EHS, bedrijventerreinen en rondom hoogspanningsleidingen.



### 3.2.4 Toekomstig rendement windenergie

Voor grote windturbines, wordt bij eenzelfde rotordiameter ingeschat dat op de lange termijn ongeveer 4% opbrengst per 10 jaar tot 2050 bij kan komen (Thresher et al., 2008).

Hoe het rendement van gebouwgebonden windturbines zich gaat ontwikkelen kan niet onderbouwd voorspelt worden. Hiervoor is er te weinig bekend en te veel onzeker.







### 3.3.1 Potenties en beperkingen WKO

De potenties en beperkingen van warmte koude opslag (WKO) worden in figuur 3.5. weergegeven. Tabel 3.6. laat een overzicht zien van alle beperkingen en hun relatieve 'hardheid' en tabel 3.7 de geraadpleegde bronnen.

#### Potenties

□ Bodemwarmte open/gesloten systeem tot 150m (1,0 – 1,6 TJ/ha/jaar)\*

Bodemwarmteklasse tot 50 m (bodemwarmtewisselaar)

■ Zeer goed

■ Goed

■ Matig

■ Gebouw

■ Bebouwd gebied offset 50m

○ Stadsverwarming

✂ Mijnen

● Mijnwater

H Ziekenhuizen

▲ Kasteel

#### Beperkingen

■ Grondwaterbeschermingsgebied(freatisch)

■ Grondwaterbeschermingsgebied(niet freatisch)

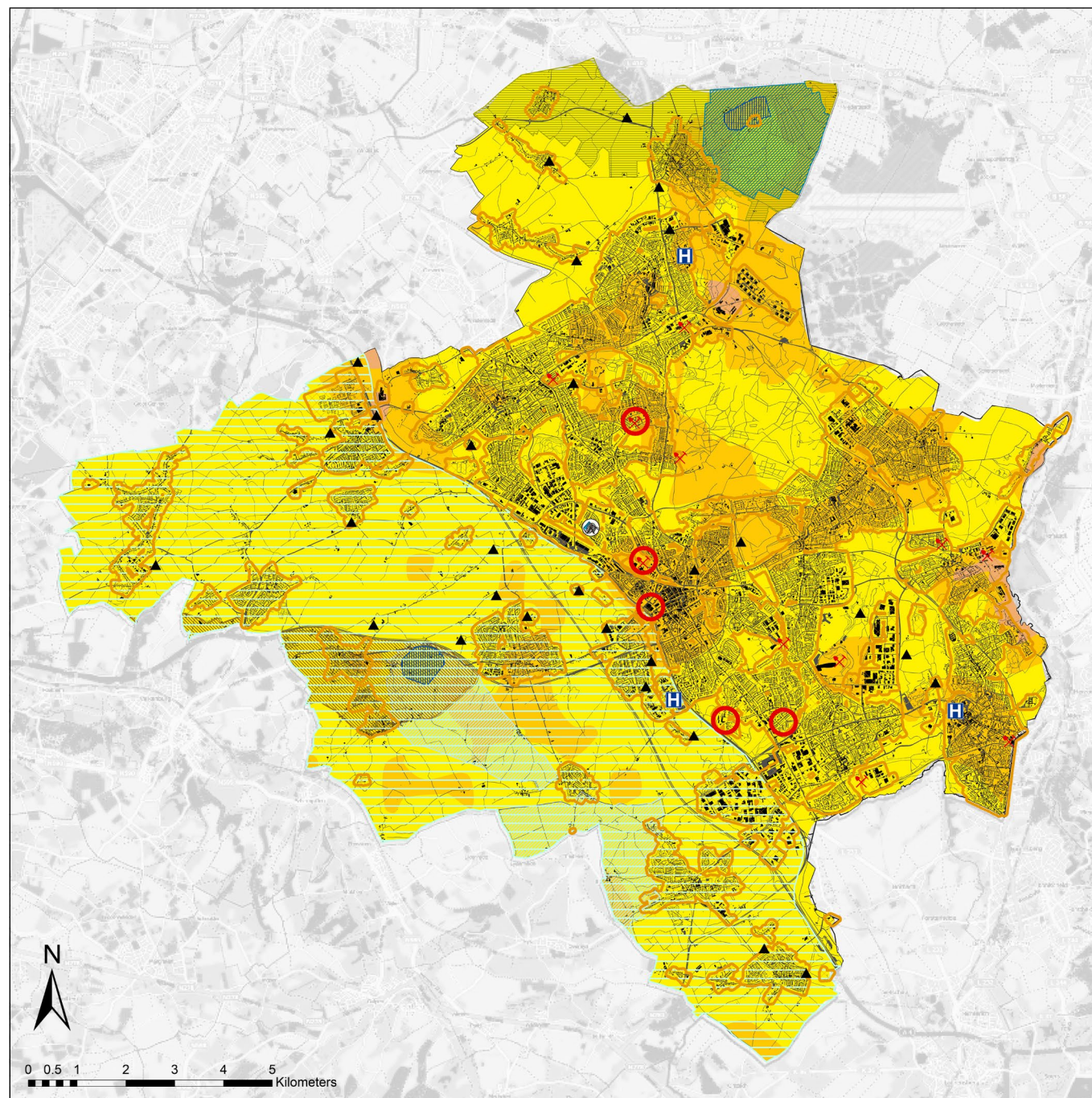
■ Boringsvrije zone

■ Archeologisch gebied

■ Waterwingebied

■ Bodembeschermingsgebied Mergelland

gemiddelde gebaseerd op gegevens Warmteatlas



Figuur 3.5: Energiepotentiekkaart warmte koude opslag



Tabel 3.6: overzicht beperkingen WKO en de relatieve hardheid van deze beperkingen in het integraal scenario

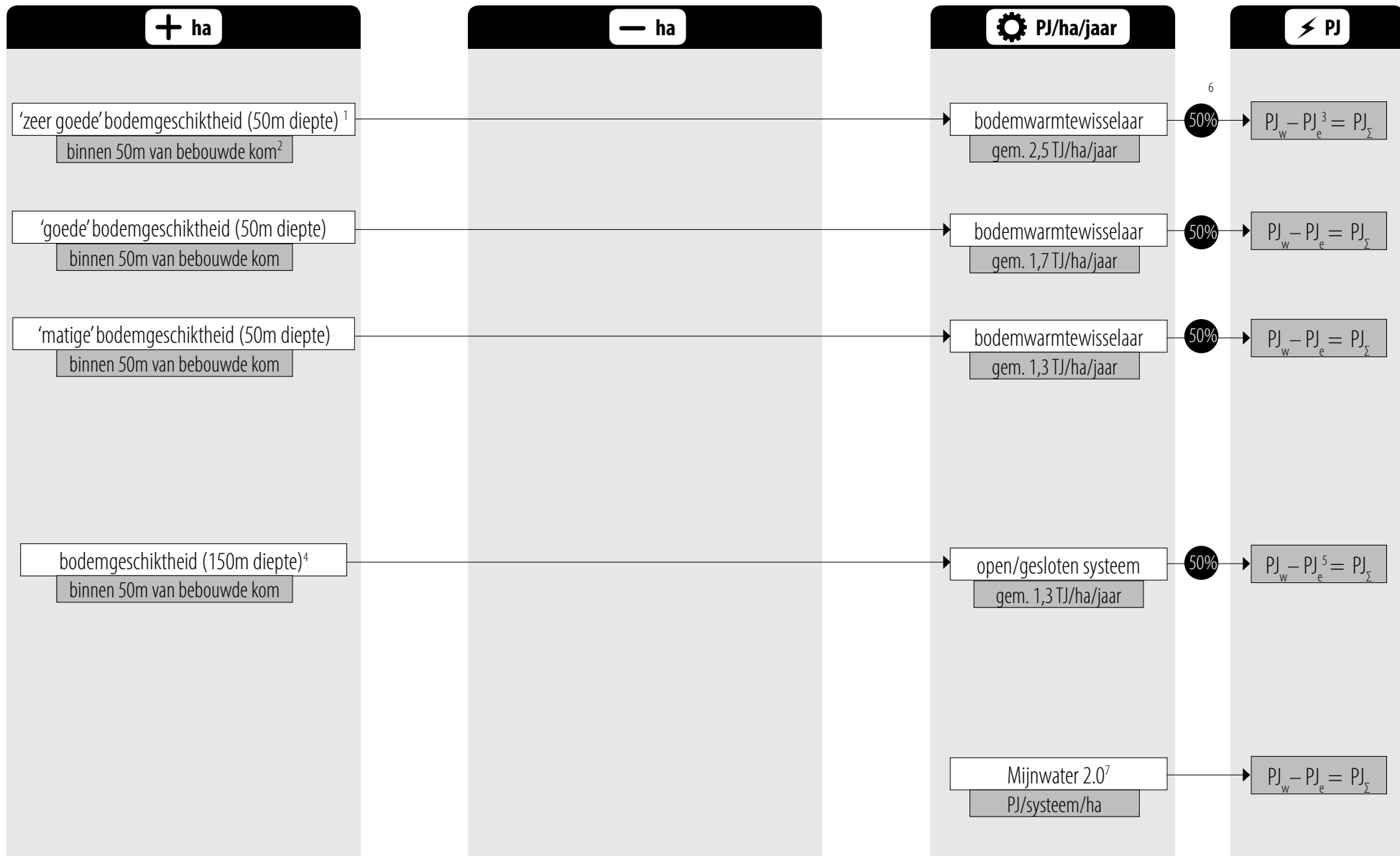
| TECHNIEK                                     | BEPERKING                          | INVULLING INTEGRAAL SCENARIO                  |  | <b>HARD</b><br><br><br><br><br><b>ZACHT</b> |
|----------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|--|---------------------------------------------|
| Bodemwarmtewisselaar & open/gesloten systeem | warmteverlies bij transport        | bodemgeschiktheid binnen 50m van bebouwde kom |  |                                             |
|                                              | waterwingebied                     | 100% uitgesloten                              |  |                                             |
|                                              | grondwaterbeschermingsgebied       | 100% uitgesloten                              |  |                                             |
|                                              | boringsvrije zone                  | 100% uitgesloten                              |  |                                             |
|                                              | archeologische gebied              | 100% uitgesloten                              |  |                                             |
|                                              | bodembeschermingsgebied Mergelland | 100% uitgesloten                              |  |                                             |

Tabel 3.7: Geraadpleegde bronnen energiepotentiekaart warmte koude opslag

| GERAADPLEEGDE BRONNEN        | GEGEVENS                                                             |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Senter Novem / Agentschap NL | bodemgeschiktheid (Potential heat-exchange in the Netherlands, 2001) |
|                              | geschiktheid warmtewisselaar (www.warmteatlas.nl)                    |
| Provincie Limburg            | bodembeschermingsgebied Mergelland                                   |
|                              | grondwaterbeschermingsgebied                                         |
|                              | boringsvrije zone                                                    |
|                              | archeologisch gebied                                                 |
|                              | waterwingebied                                                       |

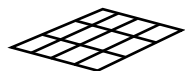


## 3.3.2 MCDA WKO - technisch scenario





#### BESCHIKBAAR OPPERVLAKE



**8146 ha\***

#### ENERGETISCH POTENTIEEL



**8,79 PJ**  
(in 2040)

### Toelichting

<sup>1</sup> Globaal kan gezegd worden dat een piekvermogen van 15–30 W/m<sup>2</sup> aan de bodem onttrokken kan worden (BodemenergieNL, 2013). De kwalificaties uit de potentiekaart van SenterNovem (2001) matig tot zeer goed (80–140% van gemiddeld) kunnen dan geïnterpreteerd worden als 15–20–30 W/m<sup>2</sup> voor de drie verschillend gekwalificeerde gebieden. Daarnaast kan ruwweg gezegd worden dat er de helft van het jaar verwarmd moet worden, gemiddeld op half vermogen. Dan wordt er bij een gemiddelde maximale onttrekking van 22W, 4.800 uur (half jaar) 10 W onttrokken, een hoeveelheid van 48 kWh/m<sup>2</sup> of 173 MJ/m<sup>2</sup> of 1.700 GJ/ha. Dat impliceert voor de geschiktheden, matig, goed en zeer goed een jaarlijks potentieel van te onttrekken warmte van 1.300 GJ/ha, 1.700 GJ/ha en 2.500 GJ/ha.

<sup>2</sup> Omdat het opgepompte warme water bij transporteren snel afkoeld worden alleen de gebieden binnen een afstand van 50m van de bebouwde kom meegenomen als potentie.

<sup>3</sup> Elektrische energie is nodig om het opgepompte water op een bruikbare temperatuur te krijgen. COP: 4.

<sup>4</sup> De hoeveelheid koude of warmte die middels een gesloten systeem gewonnen kan worden (in TJ/ha/jaar). Dit is gebaseerd op de bodemgegevens van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) en grondwaterstandgegevens van TNO (REGIS II) (Agentschap NL, 2013b).

In Parkstad Limburg geeft de Warmteatlas aan dat de potentie varieert tussen de 1,0 en 1,6 TJ/ha/jaar. Gemiddeld wordt gerekend met 1,3 TJ/ha/jaar.

<sup>5</sup> Elektrische energie is nodig om het opgepompte water op een bruikbare temperatuur te krijgen. COP: 6.

<sup>6</sup> In deze studie wordt uitgegaan van het energiepotentieel dat zich in de bodem bevindt. Het is echter niet aannemelijk dat dit potentieel ook volledig kan worden benut. Vooralsnog wordt uitgegaan van 50%.

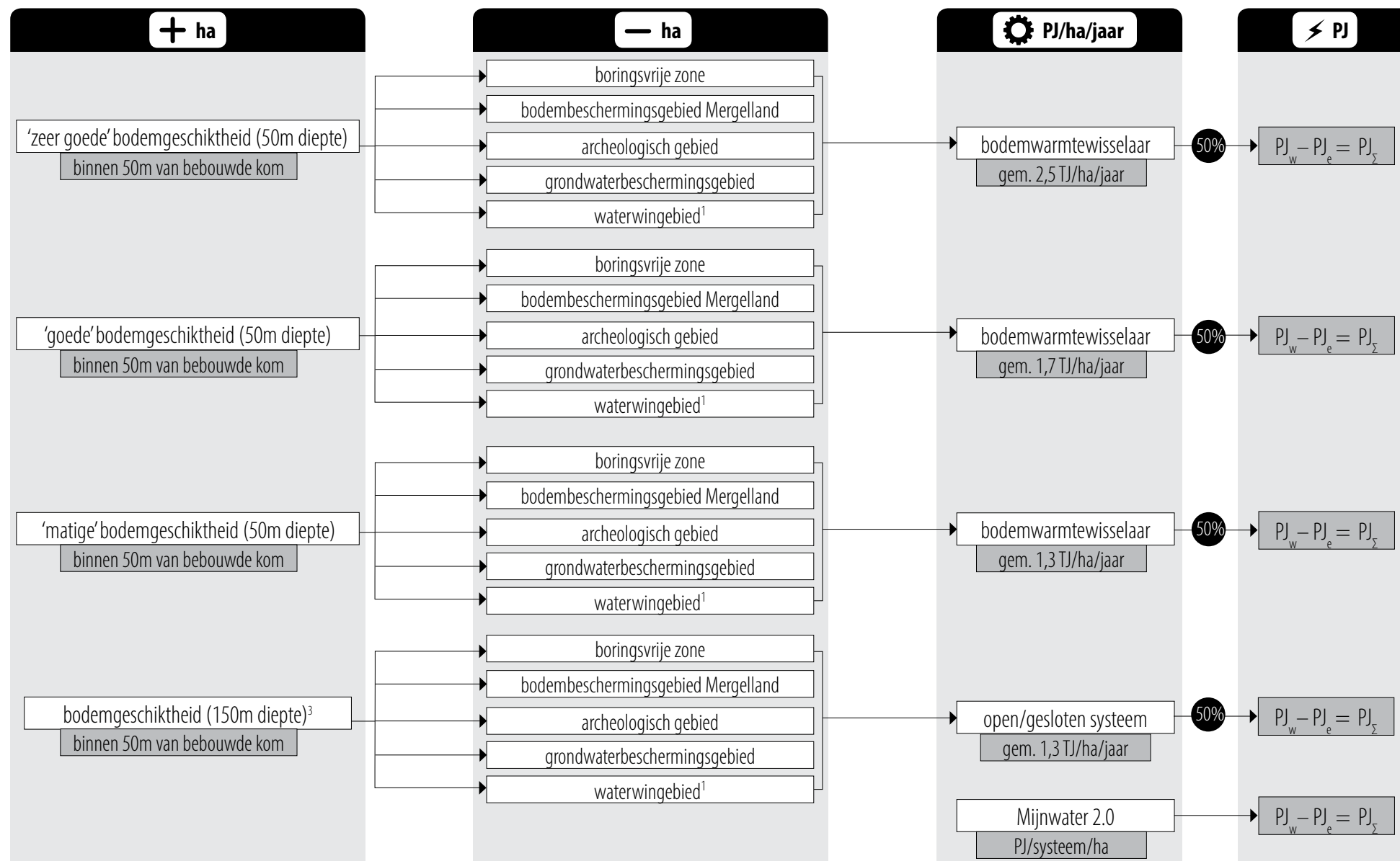
<sup>7</sup> Het Mijwaterproject 2.0 is een project in Parkstad Limburg waarbij bestaande mijngangen worden ingezet om warmte en koude te leveren aan gebouwen of wijken in de regio. Mijwater 3.0 is in de berekening niet meegenomen.

\* Dit is het totaal oppervlak wat wordt gebruikt door meerdere technologieën. Doordat bij WKO hetzelfde oppervlak op meerdere dieptes wordt benut is dit oppervlak groter dan het feitelijk gebruikte oppervlak.



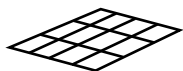


## 3.3.3 MCDA WKO - integraal scenario





#### BESCHIKBAAR OPPERVLAK



**6005 ha\***

#### ENERGETISCH POTENTIEEL



**6,54 PJ**  
(in 2040)

### Toelichting

<sup>1</sup> Bij de winning van bodemenergie moeten boringen in de grond worden verricht. De bodem levert op verscheidene plekken andere diensten, zoals waterwinning, of herbergt culturele of natuurlijke waarden, waardoor het op deze plekken vaak niet is toegestaan om energie uit de bodem te winnen.

\* Dit is het totaal oppervlak wat wordt gebruikt door meerdere technologieën. Doordat bij WKO hetzelfde oppervlak op meerdere dieptes wordt benut is dit oppervlak groter dan het feitelijk gebruikte oppervlak.

### 3.3.4 Toekomstig rendement WKO

Bij WKO is primair gewerkt met de beschikbare energie in de bodem en niet gerekend met een aantal installaties per hectare die deze energie naar boven halen. Hierdoor is het niet mogelijk om te rekenen met een toekomstig rendement, omdat al wordt uitgegaan van de primair aanwezige energie in de bodem.



### 3.4.1 Potenties en beperkingen water

De potenties van waterkracht worden in figuur 3.6 weergegeven.

Doordat vanaf het begin alleen hoofdstromen worden getoond, wordt een beperking als een te smalle stroom al meegenomen. Verder zijn geen beperkingen op regionale schaal te benoemen. De geraadpleegde bronnen worden in tabel 3.8 getoond.

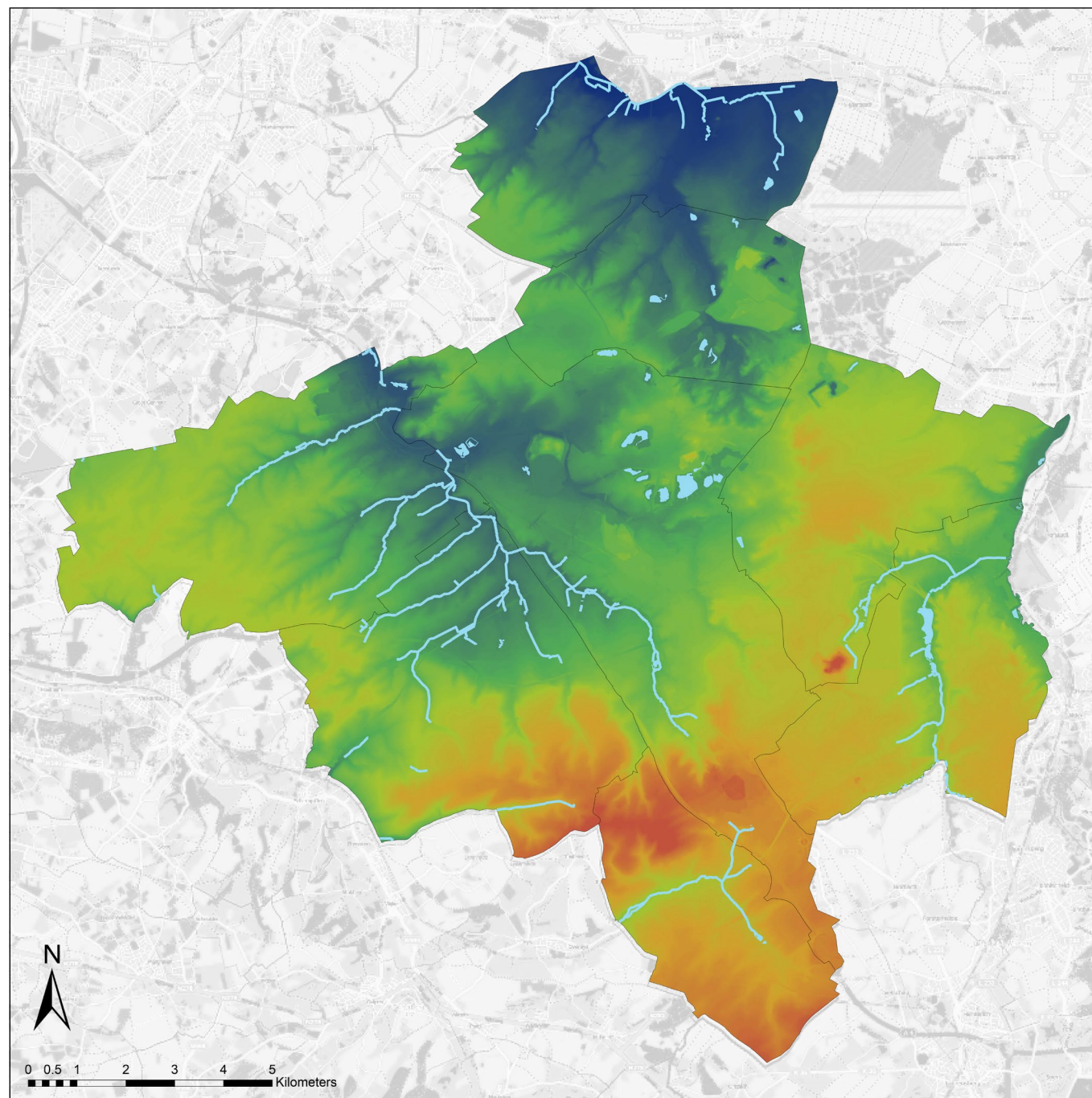
Doordat er geen beperkingen zijn, is er ook geen concreet onderscheid in het technisch en integrale scenario.

#### Potentie

-  Hoofdstroom
-  Oppervlaktewater
- Watermolen

#### Hoogte

-  Hoog : NAP+ 226 m
- Laag : NAP+ 49 m



Figuur 3.6: Energiepotentiekaart waterkracht

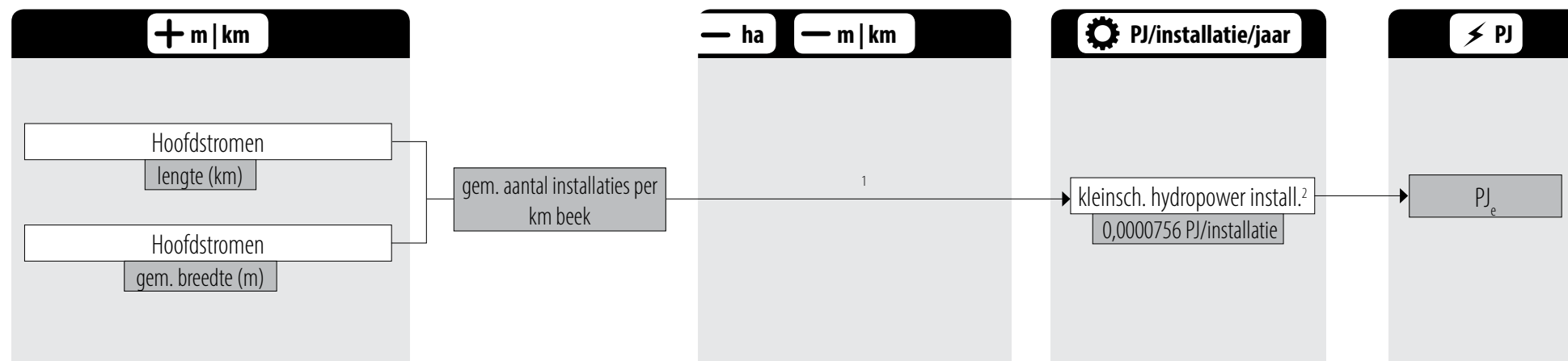


Tabel 3.8: Geraadpleegde bronnen energiepotentiekaart water

| GERAADPLEEGDE BRONNEN       | GEGEVENS                         |
|-----------------------------|----------------------------------|
| GeoDatabase (Wageningen UR) | hoofdstromen (TOP10NL)           |
| Google Earth                | inschatting breedte hoofdstromen |



## 3.4.2 MCDA water - technisch scenario



## BESCHIKBARE LENGTE

**79,5 km**

lengte beken

## ENERGETISCH POTENTIEEL

**0,036 PJ**

(in 2040)

## Toelichting

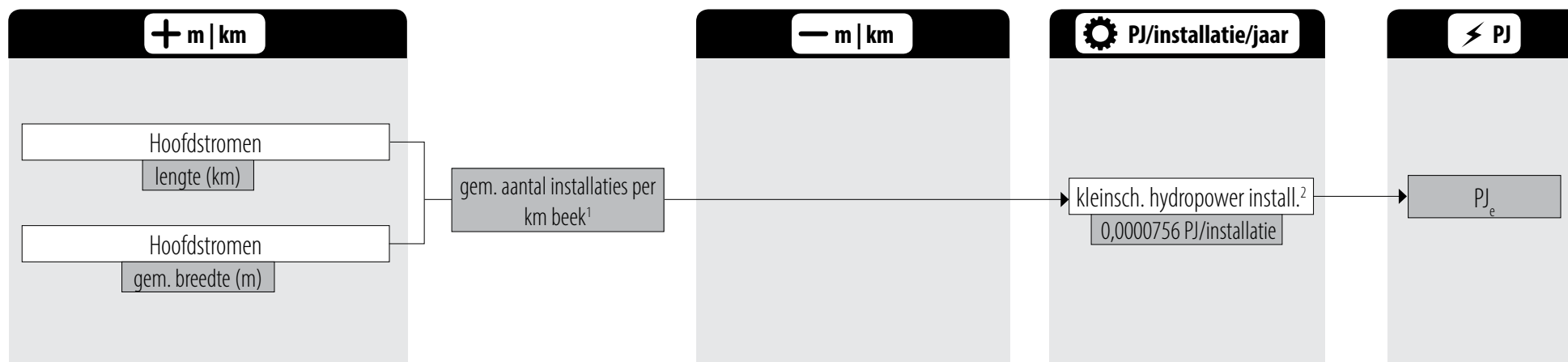
<sup>1</sup> Doordat in het begin van het stroomschema alleen hoofdstromen zijn geselecteerd, wordt een beperking als een te smalle stroom al meegenomen. Verder zijn geen beperkingen te benoemen.

<sup>2</sup> Er is vanuit gegaan dat per m<sup>2</sup> doorsnede rivier een waterturbine 21.000 kWh (0,0000756 PJ) oplevert. Vanwege de grote verschillen in breedte tussen de hoofdstromen zoals vanuit de TOP10NL herkend, is een gemiddelde van een waterturbine per hoofdstroom genomen. Per km hoofdstroom wordt aangenomen dat er zes turbines te plaatsen zijn (bron: <http://www.floridaenergy.ufl.edu>).





## 3.4.3 MCDA water - integraal scenario



## BESCHIKBAAR LENGTE

**79,5 km**

lengte beken

## ENERGETISCH POTENTIEEL

**0,036 PJ**

(in 2040)

## 3.4.4 Toekomstig rendement water

Naar analogie van windturbines op het land, wordt aangenomen dat ook bij turbines onder water een toename in opbrengst van 4% per 10 jaar tot 2050 te verwachten is.



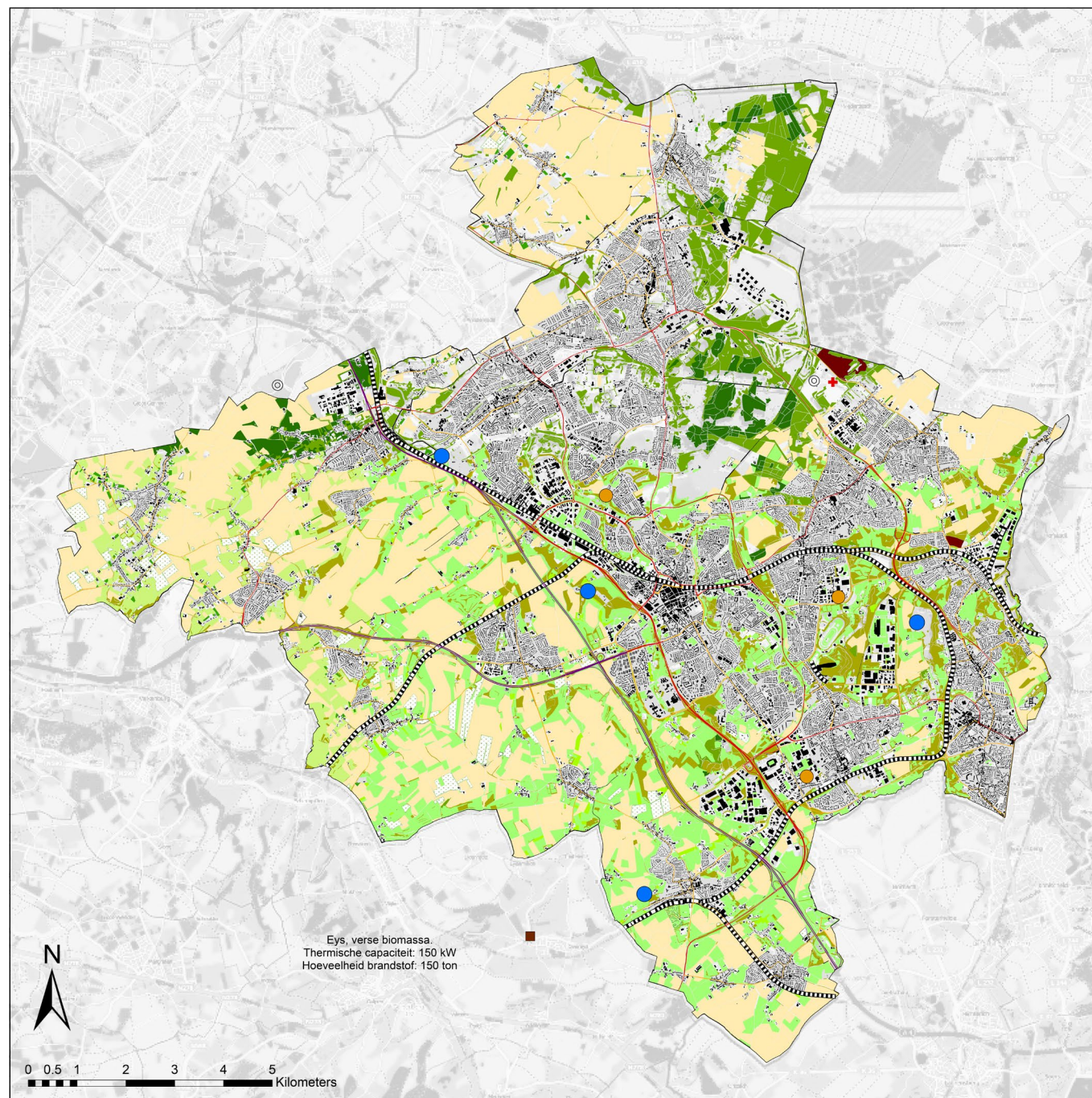
### 3.5.1 Potenties en beperkingen biomassa

De potenties en beperkingen van biomassa worden in figuur 3.7 weergegeven. Tabel 3.9 laat een overzicht zien van alle beperkingen en hun relatieve 'hardheid' en tabel 3.10 de geraadpleegde bronnen. Het grootste deel van de potentie van biomassa is gebaseerd op informatie afkomstig van RD4 (reinigingsdiensten van aantal gemeentes van Parkstad Limburg) en het CBS.

#### Potenties

- ⊙ Stortlocatie
- Biomassacentrale
- + Stortgaswinning
- Rioolwaterzuiveringsinstallatie
- Milieustraten

- Akkerland
- Boomgaard
- Bos: gemengd bos
- Bos: loofbos
- Bos: naaldbos
- Boomkwekerij
- Fruitkwekerij
- Grasland
- Spoorlijn
- Stortplaats
- Autosnelweg
- Hoofdweg
- Regionale wegen
- Woongebied
- Gebouw



Figuur 3.7: Energiepotentiekarta biomassa



Tabel 3.9: overzicht beperkingen Biomassa en de relatieve hardheid van deze beperkingen in het integraal scenario

| TECHNIEK         | BEPERKING                                         | INVULLING INTEGRAAL SCENARIO                                                                                                | ZACHT |
|------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Energiegewassen  | inzet energiegewassen i.p.v. voedselproductie     | 100% uitgesloten                                                                                                            |       |
| Houtige biomassa | oogsten van houtige biomassa uit bos voor energie | de natuurlijke bijgroei in een bos wordt zo geoogst, dat dit de oorspronkelijke waarde van het bos niet negatief beïnvloedt |       |

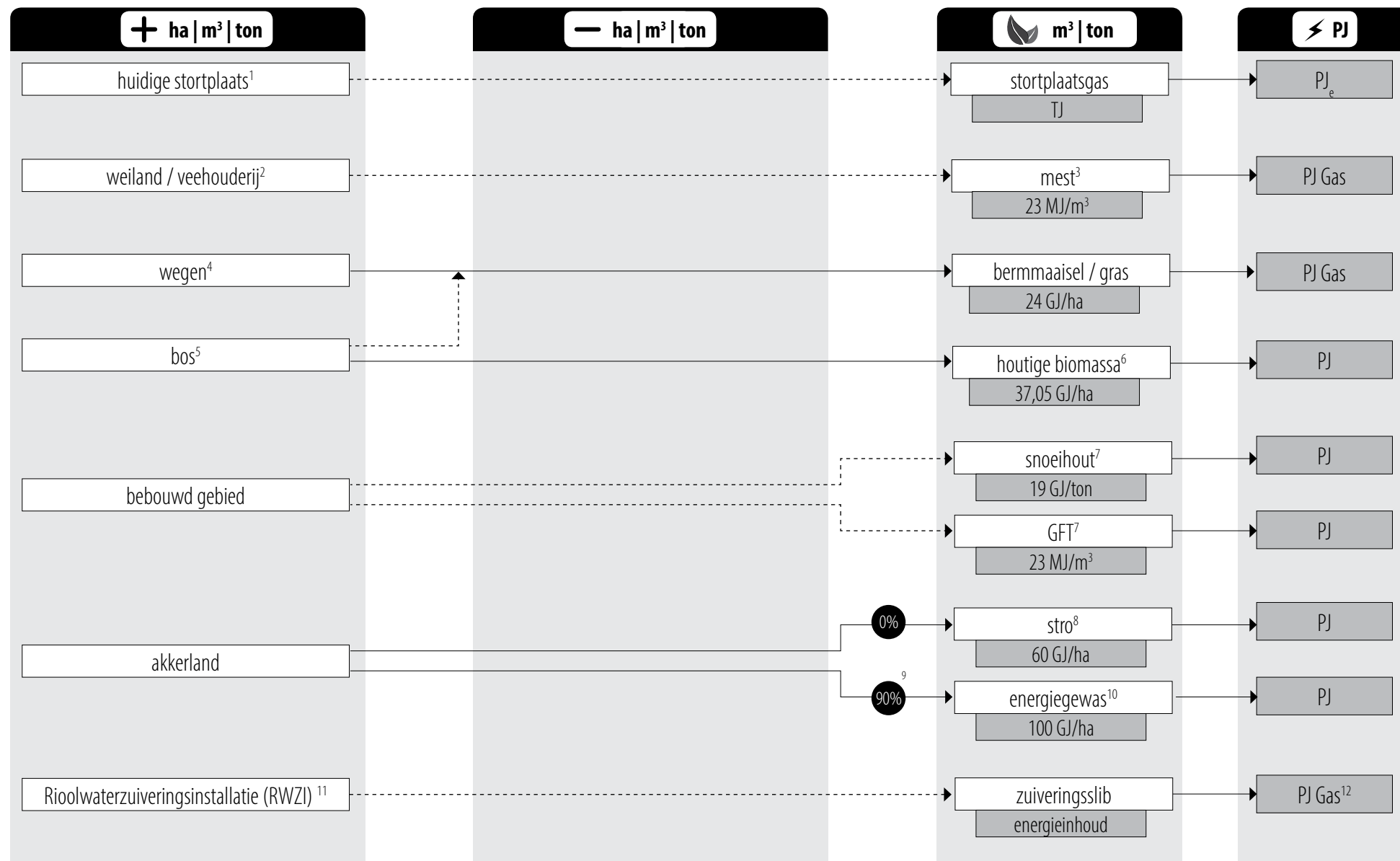
Tabel 3.10: Geraadpleegde bronnen energiepotentiekaart biomassa

| GERAADPLEEGDE BRONNEN                                                           | GEGEVENS                |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| GeoDatabase (Wageningen UR)                                                     | stortplaats (TOP10NL)   |
|                                                                                 | wegen (TOP10NL)         |
|                                                                                 | bos ((TOP10NL)          |
|                                                                                 | akkerland (TOP10NL)     |
|                                                                                 | fruitkwekerij (TOP10NL) |
| <a href="http://www.rwzi.nl/google_earth/">http://www.rwzi.nl/google_earth/</a> | RWZI                    |



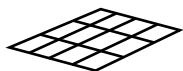
### 3.5.2 MCDA Biomassa - technisch scenario

-----> Geen directe relatie met de ruimtelijke gegevens in de energiepotentiekaart





#### BESCHIKBAAR OPPERVLAK



**5226 ha\***

#### ENERGETISCH POTENTIEEL



**0,83 PJ**  
(in 2040)

### Toelichting

<sup>1</sup> Op moment van schrijven is alleen voor de stortplaats in Landgraaf bekend hoeveel de stortgaswinning oplevert. Dit levert 24 TJ op wat aan het elektriciteitsnet wordt geleverd. Op de locatie zelf wordt 2,7 TJ verbruikt (Agentschap NL, 2012).

<sup>2</sup> Aantallen rundvee, varkens en kippen (CBS, 2010)

<sup>3</sup> Er is voor rundvee, varkens en kippen respectievelijk gerekend met 10.000, 2.400 en 40 kg mest/dier/jaar (CBS, 2009) en 25, 25 en 100 m<sup>3</sup>/ton gasopbrengst (E-kwadraat, 2011).

<sup>4</sup> Gemiddelde bermbreedte gebaseerd op een quick-scan van een aantal representatieve profielen per type weg (autosnelweg, hoofdweg, regionale weg). Gerekend is met een opbrengst van 4,5 ton natte stof / ha en een energieinhoud van 5,3 GJ/ ton natte stof (Ecofys, 2011), wat dus 24 GJ/ha oplevert.

<sup>5</sup> TOP10NL : Bos, naaldbos, loofbos en gemengd bos.

<sup>6</sup> Er is gerekend met een bijgroei van 6,5 m<sup>3</sup>/ha en een energieinhoud van 19 GJ/ ton droge stof en een oogstbaar deel van 60% (Ecofys, 2008). Er wordt zoveel geoogst dat het bos op een duurzame manier wordt behandeld en niet wordt uitgeput.

<sup>7</sup> Bron gegevens: Reinigingsdiensten RD4. Er is gerekend met 80% vergistbaar groenafval en 20% houtig groenafval. Het houtige groenafval heeft een energieinhoud van 19 GJ/ton droge stof. Het vergistbaar groenafval heeft samen met GFT een biogasproductie van 103 m<sup>3</sup>/ton (Ecofys, 2011) op met een energieinhoud van 23 MJ/m<sup>3</sup>.

<sup>8</sup> Er is gerekend met een opbrengst van 4 ton/ha (bron: <http://www.agriholland.nl/>) en een energieinhoud van 15 MJ/kilo (Provincie Vlaams-Brabant, 2011) en dus een opbrengst van 60 GJ/ha.

<sup>9</sup> Zonnepanelen leveren per ha meer energie op dan energiegewassen. Vanuit de potentie voor zonne-energie is uitgaan van 10% zonnepanelen op de akkergronden in Parkstad Limburg. Dan blijft in dit scenario nog maximaal 90% over voor energiegewassen.

<sup>10</sup> Uitgaande van suikerbiet (107 GJ/ha), koolzaad (41 GJ/ha) en snijmais (140 GJ/ha) is wordt een rekengemiddelde gehanteerd van 100 GJ/ha (CE Delft, 2012).

<sup>11</sup> Zwart en geel afvalwater kan in de toekomst mogelijk ook gebruikt worden om energie uit te winnen.

<sup>12</sup> De opgewekte energie vanuit RWZI's zal naar verwachting min of meer gelijk staan aan de energie die ze ook verbruiken. Mogelijk worden ze in de toekomst energieproducerend.

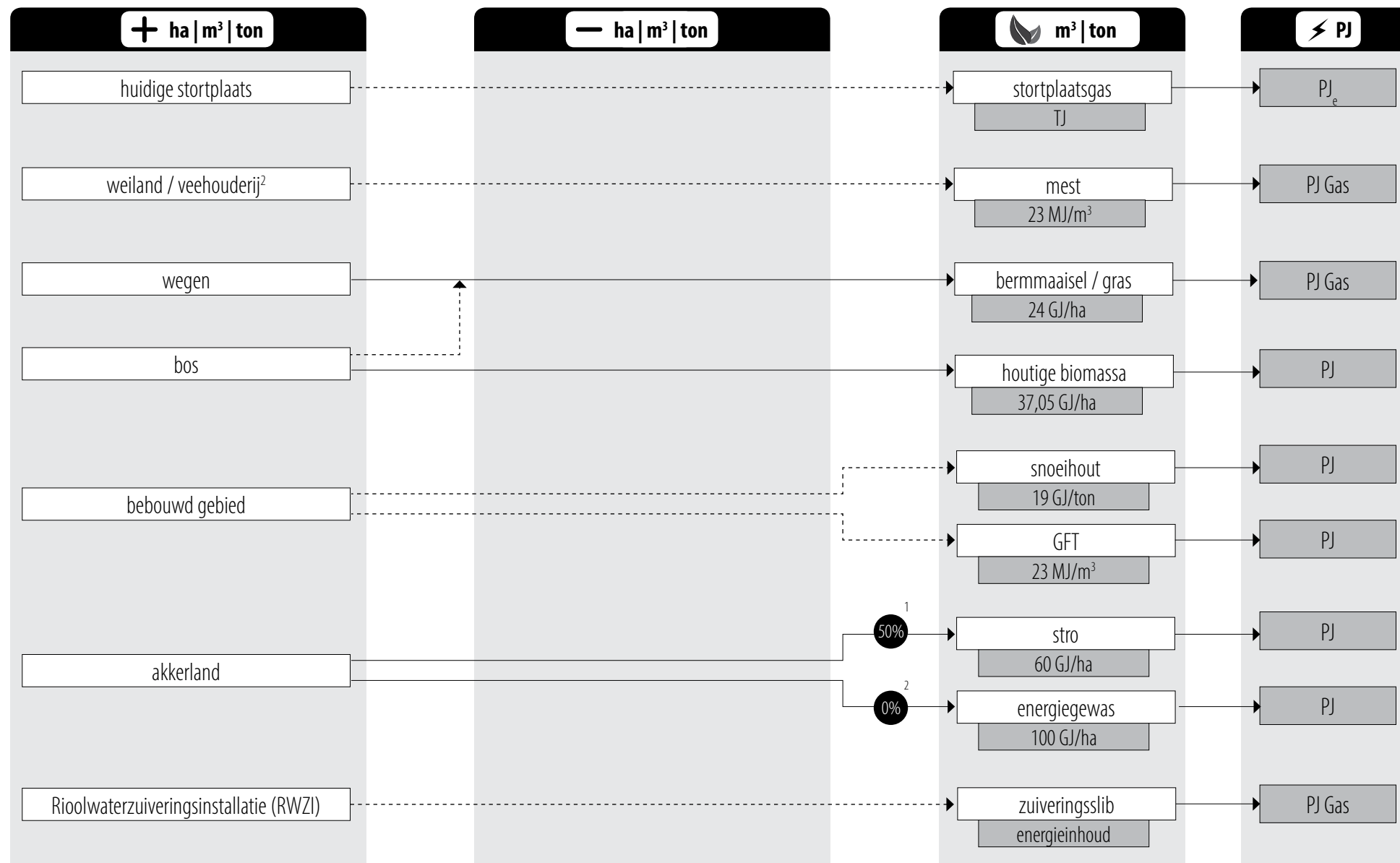
\* Het gaat hier alleen om beschikbaar oppervlak dat volledig wordt ingezet voor de productie van biomassa (wegbermen en energiegewassen). In de andere gevallen worden alleen reststromen gebruikt en heeft het dus primair een andere functie.





## 3.5.3 MCDA Biomassa - integraal scenario

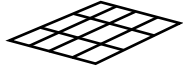
-----> Geen directe relatie met de ruimtelijke gegevens in de energiepotentiekaart



---

**BESCHIKBAAR OPPERVLAKE**

---



**68,5 ha\***

---

**ENERGETISCH POTENTIEEL**

---



**0,48 PJ**  
(in 2040)

### **Toelichting**

<sup>1</sup> Van het akkerland bestaat ca. 50% uit graanteelt.

<sup>2</sup> Om met energiegewassen (eerste generatie biomassa) op grote schaal energie op te wekken zijn grote oppervlaktes nodig waarop deze gewassen geteelt worden. Dit kan leiden tot grootschalige ontbossingen andere delen van de wereld en concurreren met voedselproductie (de Vries et. al 2008). In het integrale scenario worden energiegewassen daarom niet gezien als een duurzame vorm van energie en niet meegenomen als potentie.

\* Het gaat hier alleen om beschikbaar oppervlak dat volledig wordt ingezet voor de productie van biomassa (wegbermen). In de andere gevallen worden alleen reststromen gebruikt en heeft het dus primair een andere functie..

#### **3.5.4 Toekomstig rendement biomassa**

Net als bij WKO is bij biomassa gewerkt met de primair beschikbare energie, in dit geval met de energie die opgeslagen is dierlijk en plantaardig materiaal. Hierdoor is het niet mogelijk om te rekenen met een toekomstig rendement.

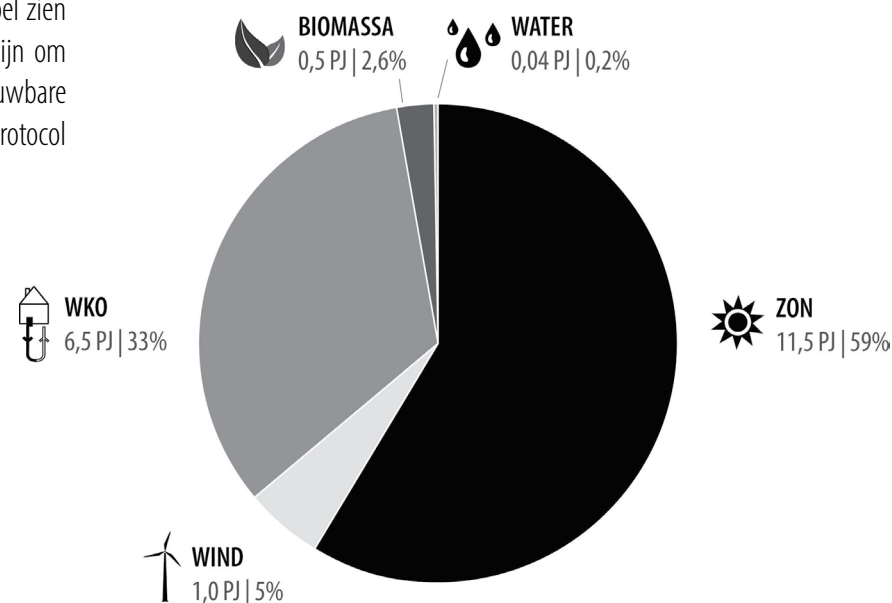
### 3.6 Overzicht resultaten

De potentie van de verschillende bronnen hernieuwbare energie die de voorgaande paragrafen hebben laten zien, kunnen niet zomaar benut worden. In dit onderzoek is er vanuit gegaan dat het tot 2040 zal duren om alle mogelijke ruimtelijke interventies ook te realiseren. Dit is mede ingegeven doordat tijdens het proces van integratie tussen energiebesparing en hernieuwbare energieopwekking bleek dat rond 2040 aan de energiebehoefte voldaan kan worden. Dat betekent dat voor een berekening van de hernieuwbare energieopwekking het aantal interventies verdeeld moet worden over de jaren tussen 2014 en 2040, waarbij de toename in energieopbrengst per hectare of interventie door de jaren heen meegenomen wordt (waar dit van toepassing is). Per tijdvak van 10 jaar worden er interventies gedaan die een hogere energieopbrengst per hectare hebben.

Tabel 3.11 laat deze verdeling over de verschillende tijdvakken zien, wat resulteert in de uiteindelijke resultaten van 2040, zoals deze eerder zijn weergegeven in de paragrafen 3.1 – 3.5. Ook laat deze tabel zien welke (ruimtelijke) interventies (in ha, aantal of ton) nodig zijn om deze opbrengst te behalen. Als laatste toont de tabel per hernieuwbare energiebron de vermede CO<sub>2</sub>-reductie, gebaseerd op het Protocol

Monitoring Hernieuwbare Energie (2010) van Agentschap NL. Figuur 3.8 geeft een samenvatting van de potentie in 2040 voor het integraal scenario, verdeeld naar hernieuwbare energiebron.

Wat direct opvalt is de relatief grote potentie van zonne-energie en warmte-koude opslag. Voor deze energiebronnen zijn er relatief weinig ruimtelijke beperkingen. Dit ligt anders voor windenergie, daar zijn met name de ‘zachte’ ruimtelijke beperkingen bepalend voor de uiteindelijke mate van energieopwekking. Voor biomassa en waterkracht geldt dat de hoeveelheid energie die met deze technieken uit het landschap kan worden gehaald sowieso beperkt is. De hoogteverschillen in het Nationaal Landschap Zuid-Limburg zijn voor Nederlandse begrippen weliswaar markant, maar deze zijn onvoldoende om waterkracht op grote schaal toe te passen. Biomassa heeft per hectare een relatief lage energieopbrengst, zeker als er (zoals in het integrale scenario) alleen gebruik wordt gemaakt van reststromen.



Figuur 3.8: Potentie hernieuwbare energie Parkstad Limburg per bron in 2040 voor het integraal scenario: totaal 19,5 PJ

Tabel 3.11: Overzicht energetische resultaten (in PJ) tot 2040, de bijbehorende interventies in het landschap en CO<sub>2</sub>-reductie (n.b.: # staat voor 'aantal')

|                                                                                                   | 2014        |             | 2020         |             | 2030         |              | 2040         |              | INTERVENTIES     | CO <sub>2</sub> REDUCTIE |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------------------|
|                                                                                                   | max tech    | integraal   | max tech     | integraal   | max tech     | integraal    | max tech     | integraal    | # / ha / ton     | Mton                     |
|  <b>ZON</b>      | <b>1,74</b> | <b>0,31</b> | <b>14,14</b> | <b>2,43</b> | <b>39,22</b> | <b>6,58</b>  | <b>69,80</b> | <b>11,47</b> | <b>1658 (ha)</b> | <b>1129</b>              |
| PV                                                                                                | 1,63        | 0,21        | 13,40        | 1,72        | 37,38        | 4,79         | 66,80        | 8,55         | 1066 (ha)        |                          |
| Boiler                                                                                            | 0,03        | 0,03        | 0,23         | 0,22        | 0,62         | 0,58         | 1,07         | 0,98         | 386 (ha)         |                          |
| Asfaltcollectoren                                                                                 | 0,07        | 0,07        | 0,50         | 0,50        | 1,22         | 1,22         | 1,93         | 1,93         | 207 (ha)         |                          |
|  <b>WIND</b>     | <b>0,31</b> | <b>0,04</b> | <b>2,32</b>  | <b>0,26</b> | <b>5,67</b>  | <b>0,65</b>  | <b>9,15</b>  | <b>1,04</b>  | <b>7022 (#)</b>  | <b>113</b>               |
| Gebouwgebonden windturb.                                                                          | 0,00        | 0,00        | 0,01         | 0,01        | 0,03         | 0,02         | 0,05         | 0,03         | 6960 (#)         |                          |
| Windturbines                                                                                      | 0,31        | 0,03        | 2,30         | 0,26        | 5,63         | 0,63         | 9,09         | 1,01         | 62 (#)           |                          |
|  <b>WKO</b>      | <b>0,34</b> | <b>0,25</b> | <b>2,37</b>  | <b>1,76</b> | <b>5,75</b>  | <b>4,27</b>  | <b>8,79</b>  | <b>6,54</b>  | <b>n.v.t</b>     | <b>155</b>               |
| Mijnwater 2.0                                                                                     | 0,03        | 0,03        | n.n.b.       | n.n.b.      | n.n.b.       | n.n.b.       | n.n.b.       | n.n.b.       | n.v.t.           |                          |
| Bodemwarmtewisselaar                                                                              | 0,17        | 0,13        | 1,18         | 0,88        | 2,86         | 2,15         | 4,38         | 3,28         | 3003 (ha)        |                          |
| open/gesloten systeem                                                                             | 0,17        | 0,13        | 1,19         | 0,88        | 2,88         | 2,13         | 4,41         | 3,25         | 3003 (ha)        |                          |
|  <b>BIOMASSA</b> | <b>0,03</b> | <b>0,02</b> | <b>0,22</b>  | <b>0,13</b> | <b>0,54</b>  | <b>0,32</b>  | <b>0,83</b>  | <b>0,48</b>  | <b>n.v.t</b>     | <b>29</b>                |
| stortplaatsgas                                                                                    | 0,00        | 0,00        | 0,01         | 0,01        | 0,02         | 0,02         | 0,02         | 0,02         | n.v.t.           |                          |
| mest                                                                                              | 0,00        | 0,00        | 0,02         | 0,02        | 0,05         | 0,05         | 0,08         | 0,08         | 121094 (ton)     |                          |
| bermmaaisel                                                                                       | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 308 (ton)        |                          |
| houtige biomassa                                                                                  | 0,00        | 0,00        | 0,03         | 0,03        | 0,06         | 0,06         | 0,10         | 0,10         | 8603 (ton)       |                          |
| stro                                                                                              | 0,00        | 0,01        | 0,00         | 0,05        | 0,00         | 0,11         | 0,00         | 0,17         | 11462 (ton)      |                          |
| energiegewas                                                                                      | 0,02        | 0,00        | 0,14         | 0,00        | 0,34         | 0,00         | 0,52         | 0,00         | 0 (ton)          |                          |
|  <b>WATER</b>  | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,01</b>  | <b>0,01</b> | <b>0,03</b>  | <b>0,03</b>  | <b>0,04</b>  | <b>0,04</b>  | <b>477</b>       | <b>5</b>                 |
| waterturbine                                                                                      | 0,00        | 0,00        | 0,01         | 0,01        | 0,03         | 0,03         | 0,04         | 0,04         | 477 (#)          |                          |
| <b>TOTAAL</b>                                                                                     | <b>2,42</b> | <b>0,62</b> | <b>19,06</b> | <b>4,60</b> | <b>51,20</b> | <b>11,84</b> | <b>88,60</b> | <b>19,57</b> |                  |                          |



Mijnwaterproject in Heerlen (bron: Gen Coel – ©Wauben Architects)



.....

*Dit onderzoek laat zien dat er tussen de verschillende bronnen grote verschillen in energiepotenties zijn. De kaart van de technische potentie voor windenergie laat zien dat ook de verschillen tussen het technisch en het integraal scenario erg groot zijn.*

### 4.1 Verschillen tussen hernieuwbare energiebronnen

Zonne-energie kan op relatief veel plekken worden opgewekt, zoals op daken, braakliggende terreinen, geluidswallen, boven spoorlijnen enzovoorts. Deze diversiteit zorgt ervoor dat relatief veel energie kan worden opgewekt met behulp van zonne-energie, zonder dat dit grote ruimtelijke effecten met zich meebrengt. Warmte-koude opslag is op verschillende dieptes in de bodem mogelijk, waardoor eenzelfde oppervlakte op meerdere manieren kan worden ingezet. Windenergie heeft te maken met redelijk veel fysiek-technische beperkingen zoals steile hellingen en bebouwd gebied. Verder valt op dat de regionale potenties voor biomassa en waterkracht relatief klein zijn (zie ook figuur 3.8).

### 4.2 Verschillen tussen scenario's

De verschillen tussen het technische en het integrale scenario komen voort uit gemaakte keuzes, die grote gevolgen hebben voor de uiteindelijke (potentiele) energieopbrengst.

Het meest in het oog springende verschil is te zien bij zonne-energie (69,8 vs. 11,5 PJ). Zo zijn alle aanwezige landbouwgronden in het technische scenario meegenomen als benutbaar oppervlak voor zogenaamde zonneakkers. In het integrale scenario is deze invulling niet meegenomen, vanwege de concurrentie met voedselproductie en landschappelijke impact. Maximaal 10% van alle landbouwgronden die niet zijn gelegen binnen het Nationaal Landschap Zuid-Limburg worden binnen dit onderzoek geschikt geacht voor zonneakkers. Dergelijke keuzes leiden tot verschillen tussen het technische en integrale scenario voor wat betreft de potentiële opbrengst van hernieuwbare energie.

Zo is er tussen beide scenario's ook een groot verschil in de potentie van grote windturbines (9,0 vs. 1,0 PJ). Vanwege de publieke opinie is er voor gekozen om het Nationaal Landschap Zuid-Limburg en bosgebieden uit te sluiten en om bovendien, vanwege de invloed van grote windturbines op de beleving van het landschap, over de geschikte gebieden nog een reductie toe te passen van 50%. Dit zijn echter opties

die in de toekomst wellicht kunnen worden versoepeld of verscherpt (zie Ambitiedocument PALET 2014, paragraaf 7.2). Voor nu is er, gebaseerd op de gehouden enquête en interviews, maximaal rekening gehouden met wat er leeft, maar vanwege het algemene belang en met het oog op een toekomst en technologische ontwikkelingen die we niet kennen, is het wenselijk alle opties open te houden en geen taboes aan de voorkant uit te spreken.

### **4.3 Totale potentie hernieuwbare energie**

Door de potenties van alle vijf de bronnen op te tellen wordt duidelijk wat de totale potentie voor opwekking van hernieuwbare energie in het integrale scenario is: 19,5 PJ. In het Ambitiedocument (Ambitiedocument PALET, 2014) wordt dit resultaat vervolgens bekeken in het licht van de resultaten van energiebesparing. De twee onderzoeksresultaten worden op elkaar afgestemd om te bepalen wanneer de regio duurzaam energieneutraal kan zijn.

## Literatuur

- Aberle, A.G. (2009) *Thin-film Solar Cells*. Thin Solid Films, Vol. 517 (17) pp. 4706–4710
- Agentschap NL (2010) *Protocol monitoring hernieuwbare energie. Methodiek voor het berekenen en registreren van de bijdrage van hernieuwbare energiebronnen*. Publicatienummer 2DENB1013
- Agentschap NL (2012) *Afvalverwerking in Nederland: gegevens 2011*. Utrecht: Agentschap NL
- Agentschap NL (2013a) *Handboek Risicozonering Windturbines*
- Agentschap NL (2013b) *Duurzaam potentieel - Warmte uit Vertikale Warmte Wisselaars*, Warmteatlas.nl. URL bezocht op 19 oktober 2013
- AgriHolland (2013) *De boer als energie- en biobrandstoffenteler*. www.agriholland.nl. URL bezocht op 12 december 2013
- BodemenergieNL (2013) *Werkingsprincipe*. <http://www.bodemenergienl.nl/> Bodemenergie/Werkingsprincipe URL bezocht op 25 november 2013
- Bongers, J.K.M., Broers W.M.H., Janssen, F.H.M.E., Kimman J.T.N., Weusten, P.J.M., (2014) *Parkstad Limburg Energietransitie (PALET) Achtergronddocument 1 (Koploperen netwerkanalyse, nulmeting en energiebesparingspotentie)* Heerlen, Center of Expertise NEBER
- Bussel, G.J.W. van (2012) *Electricity Generation with Small Wind Turbines*. Delft: Delft University of Technology
- CBS (2009) *Dierlijke mest en mineralen 2009*. Den Haag: Centraal Bureau voor de Statistiek
- CBS (2010) *Regionale kerncijfers Nederland > Rundvee, Varkens en Kippen*. Statline. cbs.nl. URL bezocht op 12 december 2012
- CE Delft (2012) *Biobrandstoffen benchmarken*. Delft: CE Delft
- Delheij V., Straten van der R., Stremke S., Oudes H.H., Broers W., Kimman J., Bongers J., Janssen F., Weusten P., Hugtenburg J., Meeuwsen A. (2014) *Parkstad Limburg Energietransitie (PALET): Ambitiedocument*. Heerlen: Stadsregio Parkstad Limburg
- Dobbelsteen, A. van den, Broersma, S. & Stremke, S. (2011) *Energy potential mapping for energy-producing neighborhoods*. International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, 2, 170-176.
- Ecofys (2008) *Binnenlands biomassapotentieel. Biomassa uit natuur, bos, landschap, stedelijk groen en houtketen*. Utrecht: Ecofys
- Ecofys (2011) *Biomassapotentieel Provincie Utrecht*. Utrecht: Ecofys
- Ekwadraat (2011) *De route naar de groene parel!* Online presentatie, gedownload via: [http://www.energyvalley.nl/attachments/22619\\_Ekwadraat\\_28\\_april\\_2011.pdf](http://www.energyvalley.nl/attachments/22619_Ekwadraat_28_april_2011.pdf)
- Provincie Vlaams-Brabant (2011) *Koolzaad en stro van teelt tot brandstof. Interregproject "groene grondstoffen"*. Leuven: Provincie Vlaams-Brabant, Dienst land- en tuinbouw
- SenterNovem (2001) *Bodemgeschiktheid voor toepassing van verticale bodemwarmtewisselaars*
- Stremke, S. & Koh, J. (2011) *Integration of ecological and thermodynamic concepts in the design of sustainable energy landscapes*. Landscape Journal, Vol. 30(2) pp. 194-213
- Stremke, S. (in press), *Energy-landscape nexus: Advancing a conceptual framework for the design of sustainable energy landscapes*, in conference proceedings ECLAS 2013 in Hamburg, Germany, in press
- Thresher R., Robinson M. & Veers, P. Wind (2008) *Energy Technology: Current Status and R&D Future*. Berkeley: Physics of Sustainable Energy Conference
- Vries, de B. et al. (2008) *Energie a la carte. De potentie van biomassa uit het landschap voor energiewinning*. Wageningen: Alterra.

