VERKENNING ONDERGRONDSE RUIMTEVRAAG VOOR ENERGIE

in het kader van het Programma Bodem en Ondergrond

ECOFYS

sustainable energy for everyone

in opdracht van:

Ministerie van Infrastructuur en Milieu

VERKENNING ONDERGRONDSE RUIMTEVRAAG VOOR ENERGIE

in het kader van het Programma Bodem en Ondergrond

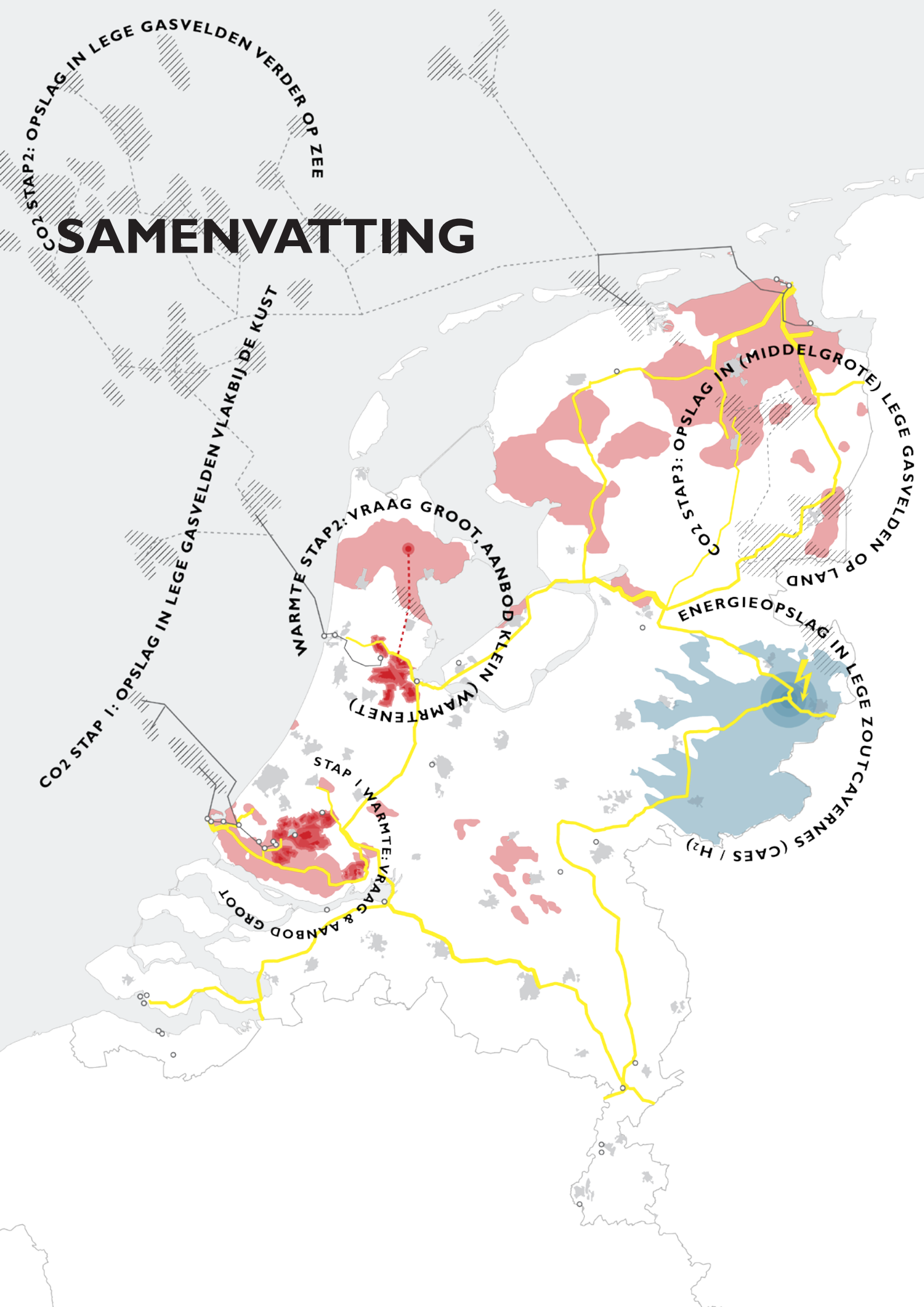
juni 2015

ECOFYS
sustainable energy for everyone

in opdracht van:

Ministerie van Infrastructuur en Milieu

SAMENVATTING



De transitie van fossiele naar hernieuwbare energiebronnen wordt weleens opgevat als een verschuiving van een ondergronds naar een bovengronds energielandschap. Voor Nederland gaat deze opvatting maar ten dele op. De ondergrond zal de komende decennia niet minder, maar vooral ánders worden ingezet voor de energiehuishouding. Onze aardgasvelden raken de komende decennia weliswaar steeds verder uitgeput, maar daarmee ontstaat onder de grond juist ruimte voor andere energetische toepassingen. En dit zijn toepassingen die we tegen de achtergrond van de internationale afspraken over de klimaatdoelstellingen (80% emissie-reductie van broeikasgassen in 2050) op grote schaal kunnen inzetten. Het gaat hierbij niet alleen om de winning van (hernieuwbare) energie zoals bijvoorbeeld geothermie, maar ook om de ondergrondse buffering en opslag van stoffen zonder welke deze doelstellingen eenvoudigweg niet haalbaar zijn.

In deze verkenning is dan ook de vraag gesteld of de ondergrond überhaupt voldoende ruimte biedt aan de veranderende vraag naar en het aanbod van energie. Daartoe zijn middels een scenariostudie de tot het jaar 2050 te verwachten ontwikkelingen in de vraag naar aardgas, aardolie, geothermie, gasbuffering, energieopslag en CO_2 opslag in beeld gebracht. Voor de meeste energetische toepassingen lijkt er voldoende ondergrondse ruimte te zijn, of is deze op tijd vrij te maken. Voor de winning van geothermie echter kunnen naar verwachting op termijn de grenzen van de ondergrondse capaciteit bereikt worden (periode 2040 – 2050, met name bij een scenario waarbij de nadruk op de inzet van hernieuwbare bronnen ligt). Daarnaast bereiken we mogelijk grenzen aan het economisch opslagpotentieel voor CO_2 (periode 2030 – 2040, met name bij een fossiel met CO_2-opslag scenario). Om deze energievormen de komende decennia optimaal te kunnen benutten is, op nationale schaal, ruimtelijke sturing nodig (en voor CCS ook hogere CO_2 prijzen).

Voor geothermie liggen vraag en aanbod vaak ver uit elkaar en voor warmte is er (in tegenstelling tot elektriciteit en gas) geen grootschalig transportnetwerk beschikbaar. Bovendien neemt door afkoeling de productiviteit van geothermiebronnen (doublets) na een aantal decennia af, waarna deze slechts langzaam regenereren. Dit vraagt dus naast ruimtelijke sturing ook om sturing in de tijd.

De opslag van CO_2 is alleen mogelijk als aardgasvelden volledig uitgeproduceerd zijn. Om ruimte te bieden voor deze energetische toepassing zal er dus voor gekozen moeten worden om grote gasvelden die vanuit CO_2 emissiepunten en het aardgasnetwerk strategisch gelegen zijn vóór 2030 volledig leeg te maken, waarmee deze geschikt worden voor CO_2 opslag. Omdat CO_2 opslag maatschappeljjk gevoelig ligt verdienen opslaglocaties onder zee en onder relatief dunbevolkte gebieden de voorkeur. Opslag onder relatief dichtbevolkte gebieden vraagt om extra aandacht voor veiligheidsmaatregelen en communicatie.

Het afstemmen van vraag en aanbod voor de andere (qua landelijke vraag en aanbod minder kritische) energievormen vraagt eveneens ruimtelijke sturing, met name in de bodem (tot ca. 10 meter diepte) en op een lokaal (gemeentelijk) schaalniveau. Bodemenergie kent vooral bij de zogenaamde open systemen een thermische invloedsfeer die doorgaans groter is dan het perceel waarvoor het wordt ingezet. Hiermee worden de mogelijkheden voor belendende percelen dus ingeperkt. Dit probleem speelt nu al en in veel gemeenten is op dit punt daarom beleid in ontwikkeling. Naar verwachting zal de vraag naar warmte- en koudeopslag na 2030 exponentieel toenemen, waardoor ruimtelijk beleid op termijn mogelijk herzien zal moeten worden.

Voor de winning van onconventionele geothermie en schaliegas, en voor de buffering van perslucht en waterstof, is de toekomstige ontwikkeling momenteel erg onzeker. Dit maakt het lastig om hier met ruimtelijk beleid adequaat op in te spelen. Vooralsnog lijkt het er in ieder geval op dat de beschikbare ondergrondse ruimte voor deze energievormen ook op langere termijn voldoet. Bovendien maken de bestaande netwerken de ruimtelijke koppeling van vraag en aanbod relatief eenvoudig.

INHOUDSOPGAVE

1 Inleiding 8
1.1 Achtergrond en aanleiding 9
1.2 De opdracht 9
1.3 Doel en resultaat 9
1.4 Afbakening 10
1.5 Leeswijzer 10

2 De ondergrond in dienst van de energievoorziening 12

3 Ruimte voor energie in de ondergrond: wat kan waar? 16

4 Ruimtelijke relaties: synergie, concurrentie en uitsluiting door verschillende modaliteiten 18

5 Ontwikkeling van de energie- en ruimtevraag in de tijd 22
5.1 Ontwikkeling van het energieverbruik 2015 - 2050 23
5.2 Ontwikkeling van de energiewinning 2015 - 2050 25
5.2.1 Aardgas 25
5.2.2 Schaliegas 25
5.2.3 Bodemenergie en geothermie 26
5.2.4 Aardolie en kolen 27
5.3 Ontwikkeling van opslagbehoefte en –beschikbaarheid voor CO_2 en energie 27
5.3.1 CO_2-opslag 27
5.3.2 Aardgasbuffering 28
5.3.3 Olie 29
5.3.4 Perslucht en waterstof opslag 29
5.4 Match van vraag en aanbod naar ondergrondse ruimte voor energie 29

6 Lokale synergie, concurrentie en uitsluiting in ruimte en tijd 32

7 Ontwikkeling ondergrondse ruimtevraag van een energievoorziening in transitie 34

8 Conclusies 36

Referenties 44

Colofon 46

BIJLAGEN:

I Overzichtstabel energie en de ondergrond
II Kaartenserie energie
III Kaartenserie ondergrond

I INLEIDING

1.1 Achtergrond en aanleiding

Nederland kent een lange traditie van ruimtelijke ordening van functies die zich op of boven het maaiveld begeven. Onder de grond staat de ruimtelijke ordening echter nog in de kinderschoenen. Er is weliswaar sprake van wetgeving, maar deze werkt (nog) niet structurerend voor het gebruik van de ondergrond. Naarmate de ondergrond steeds intensiever gebruikt wordt, treden er mogelijk vaker conflicterende ruimteclaims op. Hiermee is gaandeweg een steeds sterkere behoefte ontstaan aan visie en regie op het gebruik van de ondergrond.

Het Ministeries van Infrastructuur en Milieu en het Ministerie van Economische Zaken bereiden daarom samen met andere overheden en maatschappelijke organisaties een Structuurvisie Ondergrond voor[1]. Hierbij worden verschillende functies onderscheiden zoals grondwater, delfstoffen, natuur, erfgoed en energie.

1.2 De opdracht

Om een inschatting te kunnen maken van de huidige en toekomstige ruimtevraag van energie in de ondergrond heeft het Ministerie van Infrastructuur en Milieu aan H+N+S Landschapsarchitecten en Ecofys gevraagd om hiertoe een ruimtelijke verkenning uit te voeren. Het gaat daarbij om de in de tijd veranderende ondergrondse ruimtevraag voor de winning, de opslag en het transport van energie. Het voornaamste doel van deze verkenning is om ontwikkelingen in kaart te brengen en aan de hand daarvan de voornaamste aandachtspunten te signaleren. Dit alles in de context van de lange-termijn ontwikkeling van de energievoorziening in Nederland (en daarbuiten). Kortom: welke invloed heeft de energietransitie op de ondergrond en waar dient het ruimtelijke ordeningsbeleid rekening mee te houden?

De verkenning wordt primair uitgevoerd voor de Structuurvisie Ondergrond en de daarvoor op te stellen Notitie Reikwijdte en Detail en plan-MER en wordt daarnaast mogelijk gebruikt ten behoeve van het Energierapport 2015 dat in december verwacht wordt.

Per activiteit in de ondergrond volgt een inschatting van de ruimtevraag:

- Kwantitatief
- Regionaal: waar in Nederland doet de vraag zich voor?
- Perioden:
  - 2020, 2023 (Energieakkoord)
  - 2030 (doelstelling 40% CO_2 emissiereductie)
  - 2040 (Structuurvisie Ondergrond)
  - 2050 (Energierapport 2015)

1.3 Doel en resultaat

Teneinde door beperking van de CO_2 uitstoot de mondiale klimaatverandering te beperken is een transitie naar een grotendeels op hernieuwbare energiebronnen gebaseerde energievoorziening ingezet. Deze energietransitie is nog maar net begonnen. Zo zit Nederland nu op 5% hernieuwbare energiebronnen en zijn we op weg naar 14% in 2020. Met deze transitie zal het ruimtebeslag van energie evenwel ingrijpend veranderen. Mede vanuit hun decentrale aard hebben hernieuwbare energiebronnen een grotere ruimtelijke impact dan hun fossiele tegenhangers en vanwege het variabele aanbod zal ook de opslag van hernieuwbare energie op termijn om ruimte vragen. Dit speelt nadrukkelijk ook ónder het maaiveld. De in de diepe ondergrond aanwezige fossiele brandstofreserves raken langzaamaan uitgeput, maar daar staat een opmars van geothermie en de buffering van energie en opslag van CO_2 tegenover.

De geologische opbouw van de diepe ondergrond kent een grote ruimtelijke variabiliteit, waardoor ook het voorkomen van natuurlijke hulpbronnen en de geschiktheid voor opslag ruimtelijk sterk variëren. Met name de porositeit en doorlatendheid van de verschillende gesteentelagen is hierbij van belang. Daarnaast spelen de met de diepte toenemende temperatuur en exploitatiekosten een belangrijke rol. Deze zorgen voor een verticale geleding in energetische toepassingen van de ondergrond.

Het gaat hier dus in feite om een verkenning in vier dimensies;

- Drie ruimtelijke: voor de winning, opslag en transport (kwantitatief en geografisch) en;
- Eén temporele (vijf ijkmomenten: 2015 (huidige situatie), 2020 / 2023 (Energieakkoord), 2030 (40% CO_2 emissiereductie), 2040 (Structuurvisie Onder grond) en 2050 (Energierapport 2015)

Daar komt nog bij dat al deze dimensies gekenmerkt worden door een bepaalde mate van

[1] De Ontwerp-structuurvisie wordt in december 2015 verwacht.

onzekerheid. Het is immers met name richting de verdere toekomst niet met zekerheid te zeggen welke combinatie van energiewinning, -opslag en –transport zal worden ingezet om aan onze toekomstige (en eveneens beperkt voorspelbare) energievraag te voldoen.

Een goede voorspelling van het toekomstige ondergrondse ruimtebeslag van energie is dus niet te maken. Het is echter wel mogelijk om aan de hand van scenario's op te sporen hoe groot de bandbreedte van bepaalde ontwikkelingen is, welk beslag deze op de ondergrond zullen gaan leggen en waar en wanneer een wisselwerking tussen deze claims zal optreden.

Het voornaamste doel van deze verkenning is om deze ontwikkelingen in kaart te brengen en aan de hand daarvan de voornaamste aandachtspunten te signaleren. Kortom: welke invloed heeft de energietransitie op de ondergrond?

Andersom kan de ondergrond ook de energietransitie beïnvloeden. Immers: de ondergrondse mogelijkheden zijn beperkt en bovendien niet overal gelijk. Zo zullen de onzichtbare ondergrondse structuren mede het bovengrondse energielandschap bepalen en daarmee toch een ruimtelijke expressie krijgen. Een belangrijk nevendoel van deze verkenning is dus ook het identificeren van de invloed van de ondergrond op de energietransitie.

1.4 Afbakening

Binnen deze verkenning wordt gekeken naar het ruimtebeslag van de winning, de opslag en het transport van verschillende vormen van energie. Bij energiewinning zal worden gekeken naar de volgende energiefuncties in de ondergrond: aardgas (zowel het Groningenveld als de kleine velden), aardolie, schaliegas, geothermie (warmte, stoom en elektriciteit) en bodemenergie in open en gesloten systemen.

Opslag heeft zowel betrekking op energiedoeleinden (gas- en oliereserves, waterstof en perslucht balanceren elektriciteitsvraag) als op afvalstoffen die vrijkomen bij de opwekking van energie, zoals CO_2, of die tijdelijk nodig zijn om geïmporteerd gas geschikt te maken voor het Nederlandse netwerk (N_2). Deze ondergrondse opslag kan plaatsvinden in lege aardgasvelden en zoutcavernes. De keuze van deze functies hangt samen met die welke in de Structuurvisie Ondergrond en het bredere programma Bodem en Ondergrond aan de orde komen.

In Tabel 1 zijn de relevante energiefuncties in de ondergrond, die onderdeel uitmaken van de analyse, overzichtelijk samengevat.

Ondergronds energietransport middels kabels en (buis)leidingen wordt in deze verkenning slechts in beperkte mate belicht.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 van deze rapportage worden eerst de mogelijke energie gerelateerde functies van de ondergrond op een rij gezet en toegelicht. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op de opbouw van met name de diepe ondergrond (> 100 meter) en wordt aangegeven waar de ondergrond geschikt is voor welke energetische toepassing. Deze informatie wordt gebruikt om in hoofdstuk 4 te bekijken welke ondergrondse energiefuncties elkaar mogelijk in de weg zitten, of elkaar juist kunnen aanvullen. Na deze ruimtelijke analyse wordt in hoofdstuk 5 een analyse gemaakt van de ontwikkeling in de tijd van de vraag naar de verschillende energiefuncties. In de laatste paragraaf van dat hoofdstuk worden vraag en aanbod met elkaar vergeleken om te zien voor welke functies de ondergrondse ruimte op de schaal van Nederland wellicht (op termijn) limiterend is. Doordat niet alle vormen van energie even makkelijk getransporteerd kunnen worden, kan het ook zijn dat vraag en aanbod lokaal niet op elkaar aansluiten. Hier wordt in hoofdstuk 6 dieper op in gegaan. Hoofdstuk 7 tenslotte plaatst de bevindingen in het perspectief van de energietransitie. De voornaamste conclusies een aanbevelingen zijn opgenomen in hoofdstuk 8.

Categorieën van energiefuncties	Energie gerelateerde functies in de ondergrond	
Energiewinning	Gas	Groningenveld
		Kleine velden
		Schaliegas
	Olie	Aardolie
	Geothermie	Warmte
		Elektriciteit
	Bodemenergie	Warmtepomp
Energiebuffering en -opslag	Lege gasvelden	Aardgas
		CO_2
		N_2
		H_2
		HTO (PM)
	Zoutcavernes	Aardgas
		N_2
		perslucht
		H_2
		Aardolie
Transport	Internationaal	
	Nationaal (hoofdleidingen- of koppelnet)	
	Regionaal	
	Lokaal	

Tabel 1 Energie gerelateerde functies in de ondergrond die onderdeel uitmaken van deze verkenning.

2 DE ONDERGROND IN DIENST VAN DE ENERGIE-VOORZIENING

Voor de diepe ondergrond bepaalt de geologie welke delen benut kunnen worden voor een energetische toepassing. Voor de conventionele winning van energie gaat het in eerste instantie om hetgeen zich in de poriën van voldoende doorlatende gesteenten heeft verzameld: aardolie, aardgas en warm water. Daarnaast kan onvoldoende doorlatend gesteente opengebroken (gefrackt) worden om schaliegas of op grote diepte zeer heet water vrij te maken (onconventionele gaswinning en -geothermie).

Na winning van aardgas blijft er in de poriën van het gesteente ruimte over[2]. Ook na de winning van steenzout op beperkte diepte blijft er een bruikbare ondergrondse ruimte over. Deze ruimte kan gebruikt worden voor de opslag van bepaalde energie of hulp- en afvalstoffen. In de kleinere uitgeproduceerde aardgasvelden kan in de poriën van het gesteente van elders afkomstig aardgas tijdelijk worden opgeslagen. Pas wanneer een aardgasveld volledig uitgeproduceerd is wordt het interessant om hierin CO_2 (permanent) op te slaan. De cavernes die ontstaan na het winnen van steenzout op beperkte diepte zijn geschikt voor het tijdelijk opslaan van perslucht, waterstof (H_2), en (het voor bijmenging van hoogcalorisch aardgas gebruikte) stikstof (N_2).

Aardgas komt in de diverse Nederlandse gesteentelagen in grote hoeveelheden voor. De meeste voorkomens liggen op dieptes tussen 2 en 4 kilometer. De winning van aardgas is de meest prominente activiteit in de Nederlandse diepe ondergrond en vindt plaats in het Groningen gasveld en in diverse kleine gasvelden op land en op zee. Tevens is het mogelijk om gas te winnen uit schalielagen, hiervoor zijn echter aanvullende winningstechnieken noodzakelijk, zoals fracking. Naast aardgas komt er in beperkte mate ook aardolie voor in Nederland. Nederland heeft een beperkt aantal producerende olievelden, zowel op land als op zee.

Voor de winning van warmte uit de bodem wordt onderscheid gemaakt tussen bodemenergie en geothermie. Bij bodemenergie gaat het om laagwaardige warmte of koude die relatief ondiep wordt gewonnen uit, of opgeslagen[3] in, de bodem. De winning van diepe, hoogwaardige warmte wordt aangeduid met geothermie.

Bodemenergie wordt gewonnen en opgeslagen via twee verschillende typen bodemenergiesystemen: open systemen en gesloten systemen. Open systemen circuleren grondwater: in de winter wordt relatief warm grondwater opgepompt en de warmte daaruit wordt afgegeven aan de klimaatinstallatie van het gebouw. Het afgekoelde water wordt op een andere plek teruggevoerd naar de bodem. Hierdoor wordt een voorraad koud water gevormd. Deze voorraad kan in de zomer worden gebruikt om het gebouw te koelen. De warmte van het gebouw wordt vervolgens teruggevoerd naar de bodem, waar dan een voorraad warm water wordt gevormd. Deze systemen staan daarom ook bekend als warmte-koudeopslag (WKO). Gesloten systemen onttrekken geen grondwater maar maken gebruik van gesloten buizen in de ondergrond, ook wel bodemlussen genoemd, waarin een vloeistof circuleert die via geleiding warmte of koude uit de ondergrond kunnen opnemen en er ook weer aan kunnen afgeven.

De winning van geothermie vindt plaats op grotere diepte dan bodemenergie, waardoor de temperaturen hoger zijn. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen twee systemen: conventionele systemen waarbij warm water vanaf dieptes groter dan 1000 m uit doorlatende aquifers wordt gewonnen; en onconventionele geothermie (> 4000 m), waarbij op grotere diepte energie uit slecht doorlatende lagen wordt gewonnen. De hogere temperaturen bij onconventionele geothermie bieden mogelijkheden voor de opwekking van stoom voor de procesindustrie en mogelijk ook elektriciteit. Nederland is zeer goed gepositioneerd voor de benutting van geothermie. De ondergrond is zeer geschikt, de potentiëlen aan de aanbodkant zijn groot en de vraag naar warmte is groot.

Naast de winning van energie zijn er verschillende energiegerelateerde opslagmogelijkheden in de ondergrond. Aardgasbuffers zijn een essentiele component binnen het Nederlandse gas- en elektriciteitsnetwerk. Ze nivelleren fluctuaties in vraag naar en aanbod van aardgas en garanderen

[2] Strikt genomen raakt het porie-systeem in een gasveld nooit 'leeg': de gasdruk verlaagt sterk, en daardoor is er ruimte voor injectie van andere gassen. Bij de winning van olie en gas komt water mee uit de diepe ondergrond. Dit zogenaamde productiewater wordt aan de oppervlakte gescheiden van de olie of het gas en moet vervolgens worden verwerkt. Het productiewater kan op twee manieren verwerkt worden, namelijk door het terug te injecteren in de ondergrond (in gasvelden) of door het te reinigen en te lozen aan de oppervlakte.

[3] Bij hogetemperatuursopslag (HTO) wordt de bodem gebruikt als opslagplaats voor restwarmte die vrijkomt bij industrieële processen, elektriciteitsopwekking en biovergisting of bij een zomeroverschot bij aardwarmtewinning. De in de aquifer opgeslagen warmte kan worden benut voor de verwarming van onder andere kassen of woonwijken.

daarmee in belangrijke mate de energieleveringszekerheid. Bij aardgasbuffering is er sprake van aardgasopslag om operationele en seizoenspieken op te kunnen vangen. Door recente besluiten omtrent het terugschroeven van de productie uit het Groningerveld, zal de behoefte naar opslag alternatieven in de toekomst gaan toenemen.

In Nederland wordt met name laagcalorisch gas gebruikt, wat overeenkomt met het gas dat afkomstig is van het Groningen gasveld. Gas uit kleine velden en gas dat wordt geïmporteerd is veelal hoogcalorisch gas. Om hoogcalorisch gas om te zetten in laagcalorisch gas moet stikstof bijgemengd worden. Naarmate het aandeel van hoogcalorisch gas in de energiemix toeneemt en er met name laagcalorisch gas wordt gebruikt, is stikstofopslag voor bijmenging (al dan niet ondergronds) van belang. Een alternatief is de overschakeling van apparaten naar hoogcalorisch gas. Dit wordt momenteel gezien als een op termijn waarschijnlijke noodzakelijkheid. De productie van stikstof en bovengrondse bijmenging wordt momenteel al toegepast.

Door het grote belang van aardolieproducten en het daaraan gerelateerde complexe bewerkings- en raffinageproces, is het belangrijk dat er een strategische en goed toegankelijke olievoorraad beschikbaar is. De vraag naar opslag is het gevolg van de internationale verplichting om een netto voorraad voor 90 dagen te hebben (WVA, 2001).

Een verregaande integratie van variabele hernieuwbare energie vergroot waarschijnlijk de behoefte aan opslag van elektriciteit. Elektrische energie kan opgeslagen worden in batterijen, maar kan ook omgezet worden in andere energievormen. Voorbeelden hiervan zijn de omzetting in perslucht (gecomprimeerde lucht) of waterstof en de opslag hiervan in zoutcavernes. Bij persluchtopslag wordt elektriciteit in de vorm van mechanische energie opgeslagen. Met de elektriciteit (bijv. uit tijdelijke overschotten van hernieuwbare energie) wordt een compressor aangedreven die de lucht samendrukt in een ondergrondse ruimte (zoutcavernes) of bovengrondse tanks. Indien de vraag naar elektriciteit groter is dan het aanbod uit traditionele opwekinstallaties, kan de opgebouwde luchtdruk weer worden gebruikt om turbines aan te drijven voor elektriciteitsproductie.

Overtollige of hernieuwbaar opgewekte elektriciteit kan tevens gebruikt worden om water (H_2O) te splitsen in waterstof (H_2) en zuurstof. Het waterstof kan tijdelijk opgeslagen worden. Door waterstof weer met zuurstof te mengen ('verbranden') komt de energie weer vrij. Dit kan lokaal gebeuren, maar waterstof kan ook geproduceerd worden voor transport naar elders. Waterstof kan in de toekomst mogelijk een brandstof van betekenis worden. Nu is de toepassing nog beperkt. Om verontreiniging van ondergronds opgeslagen waterstof zoveel mogelijk te beperken, is opslag in een zoutkoepel te prefereren boven opslag in b.v. een leeg gasreservoir.

Er zijn voorlopig nog veel relatief goedkope oplossingen om door te kunnen gaan met de variabele productie van hernieuwbare energie voordat opslag aan bod moet komen. Op den duur gaat de opslag van energie in de vorm van perslucht en omzetting in waterstof waarschijnlijk een grotere rol spelen. Op korte en middellange termijn zijn er goedkopere en effectievere oplossingen, zoals de uitbreiding van de interconnectiecapaciteit tussen landen, afstemming van de vraag op het aanbod (demand side management) en de wisselwerking met warmte of koude.

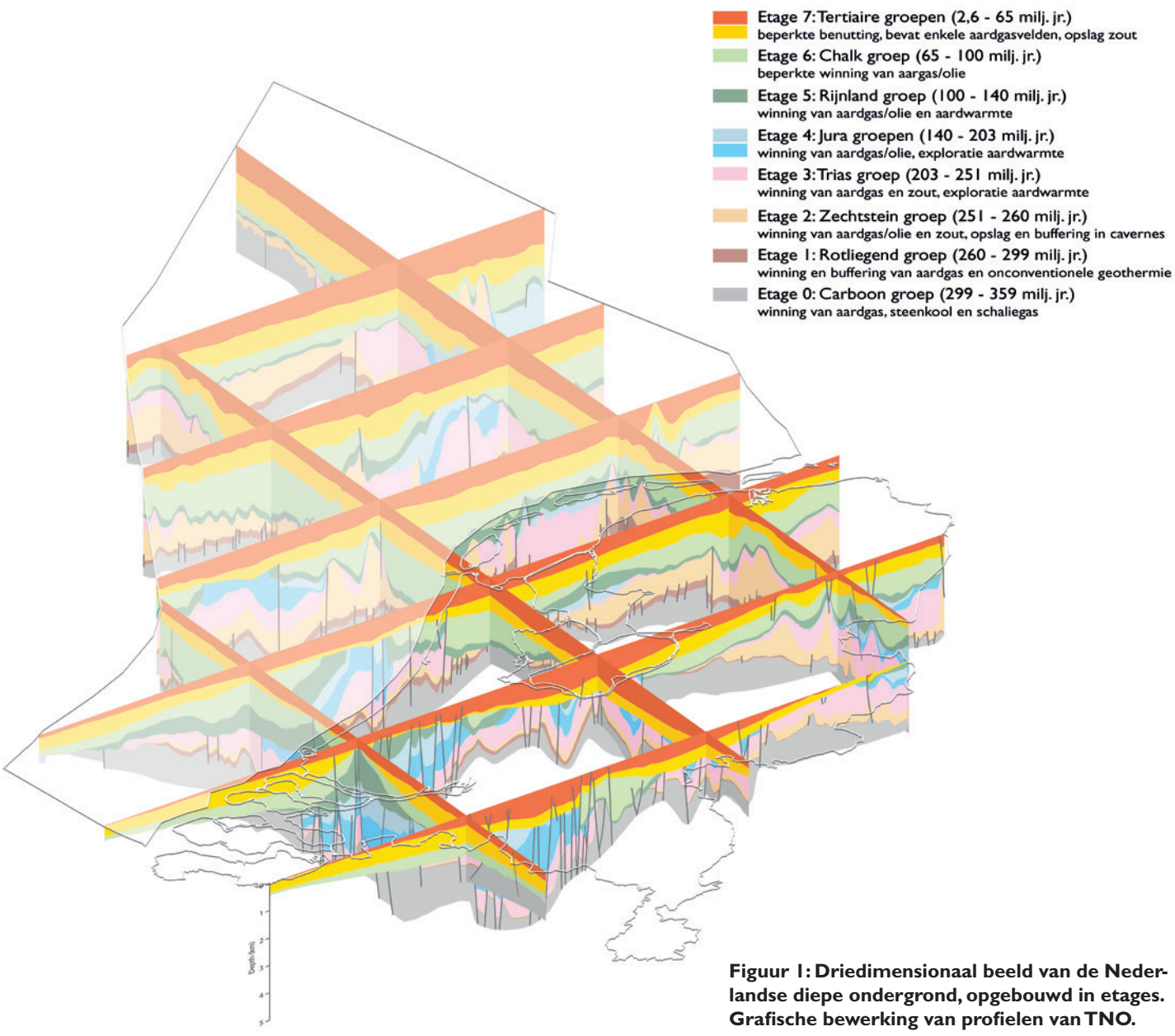
Naast de behoefte aan opslag voor energiedragers is er een toenemende behoefte aan de opslag van CO_2. Dit wordt ook wel carbon capture and storage (CCS) genoemd. Bij dit proces wordt CO_2 afgevangen en opgeslagen in bijvoorbeeld uitgeproduceerde aardgasvelden. Door een biomassacentrale met CCS te combineren kan (kosten) effectief CO_2 uit de atmosfeer worden verwijderd en kan er zelfs sprake van 'negatieve' emissies zijn.

3 RUIMTE VOOR ENERGIE IN DE ONDERGROND: wat kan waar?

De Nederlandse ondergrond is verre van homogeen. Het deel van de ondergrond dat interessant is voor energetische toepassingen, is over een periode van zo'n 350 miljoen jaar onder uiteenlopende klimatologische omstandigheden en afzettingsmilieus opgebouwd. Dit heeft geresulteerd in sediment- en gesteenteformaties met uiteenlopende eigenschappen zoals hardheid, porositeit, doorlatendheid kalk- en koolwaterstofgehalte. Ook de mate waarin de temperatuur en de druk toeneemt met de diepte hangt deels af van de eigenschappen van de verschillende gesteentepakketten. Verder kan voor energetische toepassingen ook de opeenvolging van lagen van belang zijn. Zo zijn olie en gas gevormd in diep liggende, organisch rijke gesteentelagen en vervolgens omhoog gemigreerd en gevangen onder een afsluitende laag.

De ondergrond kan worden ingedeeld in verschillende gesteenteformaties die elk corresponderen met een geologisch tijdvak. Wij hanteren in deze verkenning de gangbare indeling in etages en groepen, zie figuur 1.

Deze gesteenteformaties zijn ontstaan door sedimentatie op een min of meer vlakke ondergrond. Door plooiingen en verschuivingen langs breuken zijn deze lagen in de loop der tijd echter sterk vervormd en verschilt de diepteligging sterk per locatie. Figuur 1 geeft een driedimensionaal beeld van de Nederlandse diepe ondergrond waarop de verschillen in diepteligging te zien zijn.



Figuur 1: Driedimensionaal beeld van de Nederlandse diepe ondergrond, opgebouwd in etages. Grafische bewerking van profielen van TNO.

4 RUIMTELIJKE RELATIES
synergie, concurrentie en uitsluiting door verschillende functies

De voor winning en opslag van de verschillende energievormen geschikte delen zijn niet homogeen over deze gesteentelagen verdeeld, en zijn zoals gezegd afhankelijk van de structuur en opeenvolging van de lagen. Figuur 2 (pagina 20) geeft per etage de voorkomens van de voor de verschillende energievormen geschikte reservoirs, aquifers en koepels weer. Op basis van deze figuur kunnen voor iedere etage de plekken waar verschillende energievormen aanspraak maken op dezelfde ruimte geïdentificeerd worden. Wanneer de etages vervolgens op elkaar gelegd worden ontstaat een beeld van waar en op welke diepte er mogelijke synergiën of concurrentie tussen energievormen op kan treden. Concurrentie treedt op als verschillende functies aanspraak maken op dezelfde ruimte, of als naast of boven elkaar gelegen functies elkaar kunnen beïnvloeden. Dit beeld is weergegeven in figuur 3 (pagina 21).

Uit figuur 3 wordt duidelijk dat de mogelijke inzet van de verschillende energievormen doorgaans horizontaal of verticaal van elkaar gescheiden is. Hierdoor zullen (theoretische) synergiën of juist concurrentie tussen energievormen in de praktijk weinig optreden. De plekken en gevallen waarop energieopties elkaar (in de toekomst) wel kunnen gaan 'raken' of overlappen zijn per combinatie van energievormen de volgende:

Gasvelden (winning en buffering van gas, opslag van CO_2) en geothermie:
- Chalk groep (etage 6): één veld in Friesland
- Rijnland groep (etage 5): enkele velden in Friesland en Zuid-Holland
- Trias groepen (etage 3): enkele verspreid liggende velden
- Rotliegend groep (etage 1): vele velden (waaronder het Groningenveld) in Groningen en Friesland

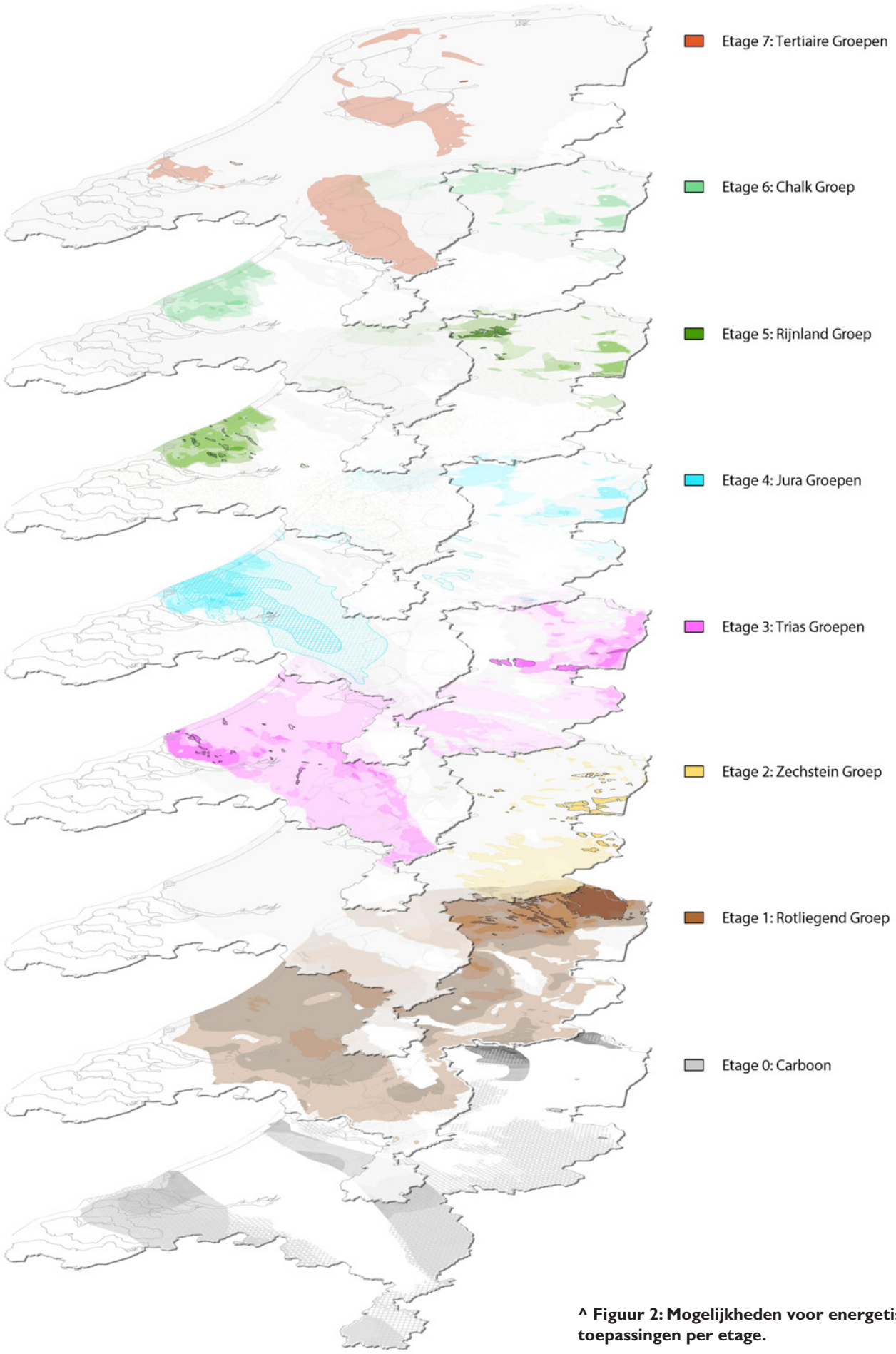
Uitgeproduceerde gasvelden zijn slechts in enkele gevallen geschikt voor geothermische toepassingen. Alleen voor gasvelden die na productie snel (binnen een periode van 10 tot 20 jaar) vollopen met water uit diepere aquifers (inwateren) is de toepassing van geothermie interessant. Dit komt in de Nederlandse situatie slechts weinig voor. Blijft een gasveld na productie droog, dan ligt buffering van gassen zoals aardgas of de opslag van CO_2 meer voor de hand.

Oliewinning en voor geothermie geschikte gebieden komen op dezelfde plekken voor in de Rijnland en Trias groepen, en dan vooral in Zuid-Holland. De betreffende olievelden liggen echter dermate verspreid en zijn zodanig beperkt van omvang, dat als er al concurrentie tussen beide energievormen zou optreden, dit slechts zeer beperkt van aard zal zijn. Bovendien worden eventuele beperkingen voor de toepassing van geothermie opgeheven zodra de betreffende olievelden uitgeproduceerd zijn. Wel is het zo dat naast warm water ook olie en gas mee naar boven kunnen komen.

In de Jura groep (etage 4) komen met name in Zuid-Holland, in verschillende gesteentelagen, gasvoerende schalielagen en voor geothermie geschikte aquifers elkaar tegen. Het voor de winning van schaliegas noodzakelijke fracken van het gesteente kan nadelige invloed hebben op bestaande geothermie projecten. Wanneer het gesteente echter eenmaal gefrackt is staat dit het ontwikkelen van nieuwe geothermie doublets niet noodzakelijkerwijs in de weg.

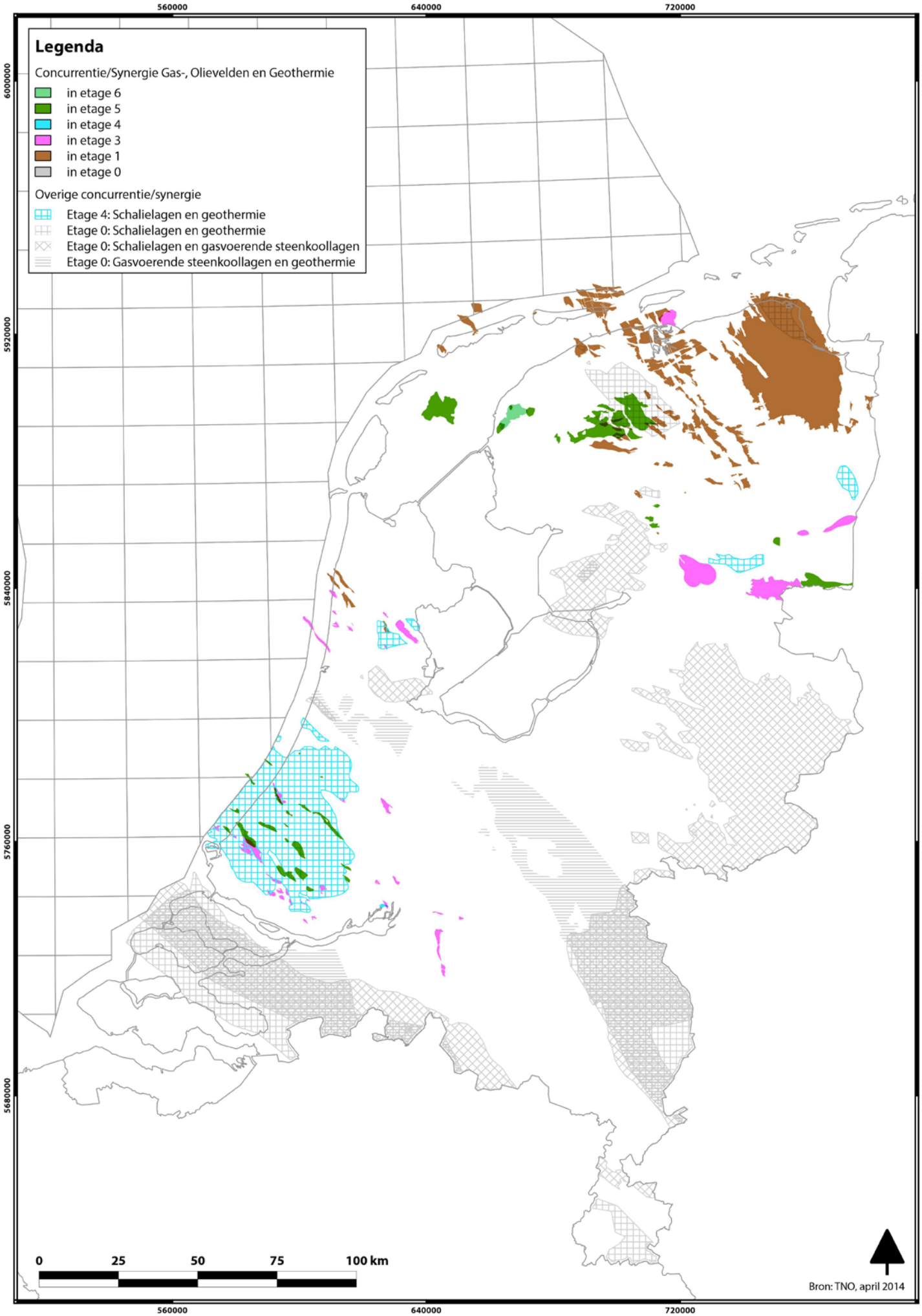
In de Carboon groep (etage 0) strijden steenkoolgas, schaliegas en onconventionele geothermie om de in de ondergrond beschikbare ruimte. Voor alle drie energievormen moet het gesteente eerst gefrackt worden. In theorie kan na de winning van gas, geothermie toegepast worden. Hierbij profiteert de laatste van de voorbereidende werkzaamheden voor de gaswinning. De Carboon groep ligt echter op grote diepte (gemiddeld zo'n 4 km). Hierdoor zijn de met deze functies samenhangende kosten hoog. Daarbij komt dat vanuit het Rijk nog wordt onderzocht, of en waar schaliegaswinning eventueel mogelijk is. Dit alles maakt het onzeker of deze (potentiele) synergie zich op korte termijn voordoet.

In de hierboven geschetste situaties zullen bij het zich gelijktijdig voordoen van ruimtevraag keuzes nodig zijn. Hierbij kan bijvoorbeeld worden nagegaan of elders mogelijkheden voor dezelfde functies aanwezig zijn, volgtijdelijk gebruik van dezelfde ruimte mogelijk is of dat de functies middels natuurlijke geologische barrières verticaal van elkaar gescheiden kunnen worden.



^ Figuur 2: Mogelijkheden voor energetische toepassingen per etage.

> Figuur 3: Locaties waar synergie of concurrentie tussen verschillende vormen van ondergronds ruimtegebruik voor energie kan ontstaan, ingedeeld per etage.


Legenda
Concurrentie/Synergie Gas-, Olievelden en Geothermie
in etage 6
in etage 5
in etage 4
in etage 3
in etage 1
in etage 0
Overige concurrentie/synergie
Etage 4: Schalielagen en geothermie
Etage 0: Schalielagen en geothermie
Etage 0: Schalielagen en gasvoerende steenkoollagen
Etage 0: Gasvoerende steenkoollagen en geothermie
560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, april 2014

5 ONTWIKKELING VAN ENERGIE- EN RUIMTEVRAAG in de tijd

Het gebruik van de ondergrond voor energiedoeleinden gaat de komende decennia sterk veranderen. Om beter rekening te houden met de onzekerheid van de veranderende energiemix en het daaruit volgende gebruik van de ondergrond zijn twee toekomstscenario's samengesteld die inzicht geven in de toekomstige vraag naar de verschillende ondergrondse gebruiksfuncties van de ondergrond voor energie:

1. Een scenario met een beperkter aandeel hernieuwbare energie (60-65% hernieuwbare energie in finale termen, 45% in primaire energie termen) en een relatief hoog aandeel fossiele energie: het scenario 'Fossiel met CO_2-opslag'.
2. Een scenario met een relatief hoog aandeel hernieuwbare energie (tot 90% hernieuw bare energie in finale termen, 70% in primaire energie termen) en een minimaal aandeel fossiele energie (inzet in transport en niet-energetische verbruik): het scenario 'Hernieuwbaar'.

De scenario's in de Nationale Energieverkenning (NEV) van ECN/PBL [Hekkenberg en Verdonk, 2014] fungeren als basis voor de periode tot 2030. In deze scenario's wordt een projectie van het vastgestelde en voorgenomen beleid gegeven. Voor de periode van 2030–2050 is gebruik gemaakt van diverse bronnen, waaronder de PBL/ECN studie "Naar een schone economie in 2050: Routes verkend" [PBL/ECN, 2011] en de WLO scenario's[4] [CPB, 2006 en PBL/CPB, 2013], waarbij leemtes zijn aangevuld op basis van andere bronnen en Ecofys expertise.

Beide scenario's in deze verkenning hebben als uitgangspunt een CO_2 emissie-reductie van 85% in 2050 (t.o.v. 1990) aansluitend bij de lange-termijn energie – en klimaatdoelstellingen van Europa (het bereiken van een mondiaal twee graden doel). Deze doelstelling is door het Ministerie van EZ voor het Energierapport 2015 overgenomen. Afhankelijk van de inzet van koolstofarme technologieën wordt CCS in meer of mindere mate ingezet. Tevens wordt in beide scenario's uitgegaan van een maximale, realistische energiebesparing op basis van het PBL rapport 'Routes Verkend'[5]

Hoewel de ontwikkeling van de finale vraag in beide scenario's gelijk is, verschillen de scenario's qua invulling van deze vraag. Het mag duidelijk zijn dat deze scenario's twee mogelijke toekomstbeelden schetsen. Het gaat in werkelijkheid om een veelheid aan mogelijkheden en oplossingsrichtingen waarbij niemand momenteel alle opties kan overzien. Bijvoorbeeld in het geval waar Nederland met minder hernieuwbare energie (en dat is denkbaar), toch aan haar CO_2 emissiereductie kan voldoen (de EU/NL bijdrage aan het mondiale tweegradendoel), dan zal de hoeveelheid CCS groter moeten zijn. De scenario's en gevolgtrekkingen hieruit dienen dus niet te letterlijk worden geïnterpreteerd maar geven volgens de huidige en beste inzichten houvast aan de bandbreedte in 'wat mogelijk zou kunnen zijn'.

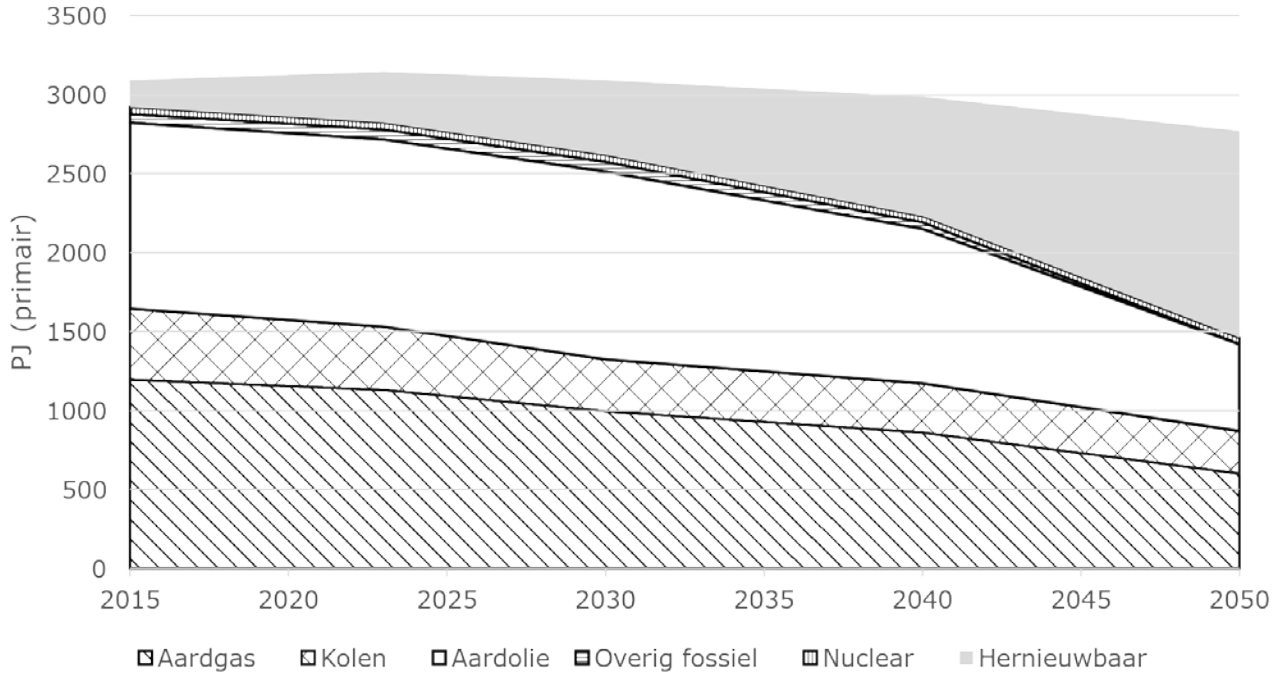
In sectie 5.1 wordt de ontwikkeling van het energiegebruik geschetst. Het energieverbruik zegt echter niet direct iets over het ruimtegebruik in de ondergrond. Zo zal op termijn bijvoorbeeld slechts een deel van het verbruikte aardgas afkomstig zijn van binnenlandse aardgasbronnen, het merendeel wordt geïmporteerd. Het is daarom vooral nuttig te kijken naar de binnenlandse productie van energie. In sectie 5.2 wordt een verwachting gepresenteerd van de energiewinning uit diverse bronnen, zowel uit fossiel (aardgas, schaliegas, aardolie) als uit hernieuwbaar (geothermie en bodemenergie). Daarnaast is er gezien de ontwikkeling van de energiehuishouding een toenemende behoefte aan opslag van CO_2 en perslucht- en waterstofopslag (voor balancering elektriciteit), en buffering van aardgas. In sectie 5.3 worden de verwachtingen geschetst met betrekking tot deze opslagbehoefte en –beschikbaarheid. In sectie 5.4 wordt verder ingegaan op de energietransportbehoefte als gevolg van de ontwikkelingen in het energiesysteem.

5.1 Ontwikkeling van het energieverbruik 2015 - 2050

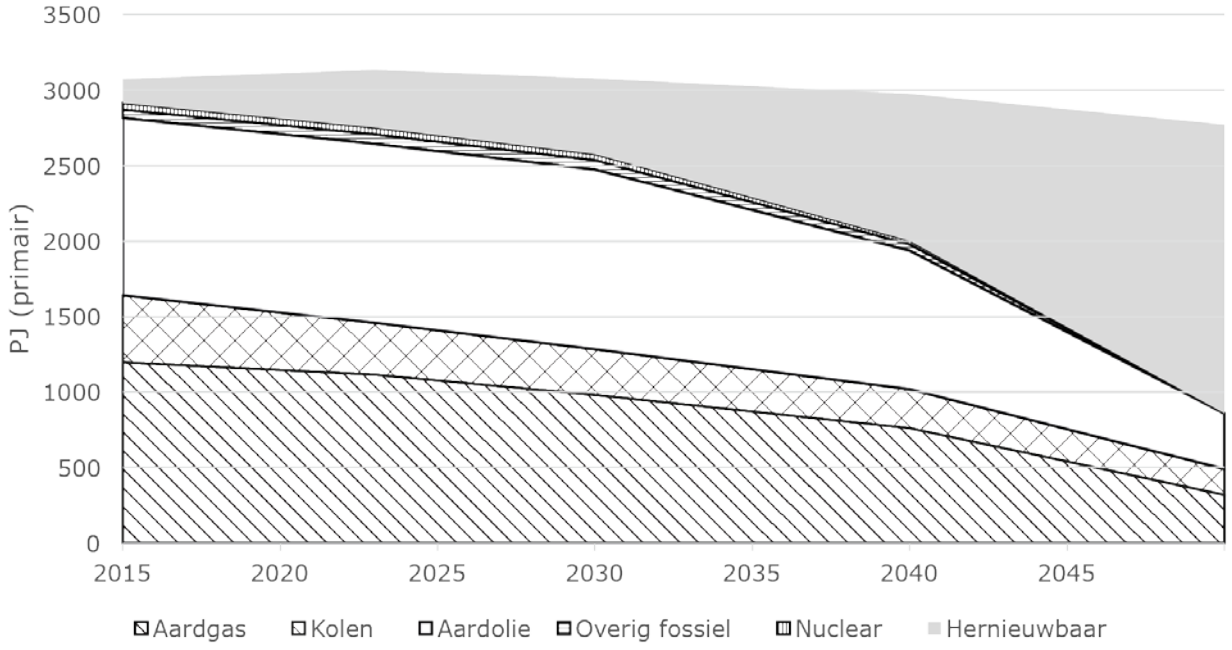
Figuur 4 tot en met 7 schetsen het verwachte energieverbruik in de periode 2015–2050: het totaal en de aandelen van de verschillende energiebronnen en –dragers. Het aandeel gas, kolen en olie in het scenario 'Fossiel met CO_2-opslag' is aanzienlijk groter dan het aandeel van fossiele energiedragers in het scenario 'Hernieuwbaar'.

[4] De WLO scenario's zijn gebruikt voor het bepalen van de benodigde seizoensgebonden aardgasbufferingcapaciteit.

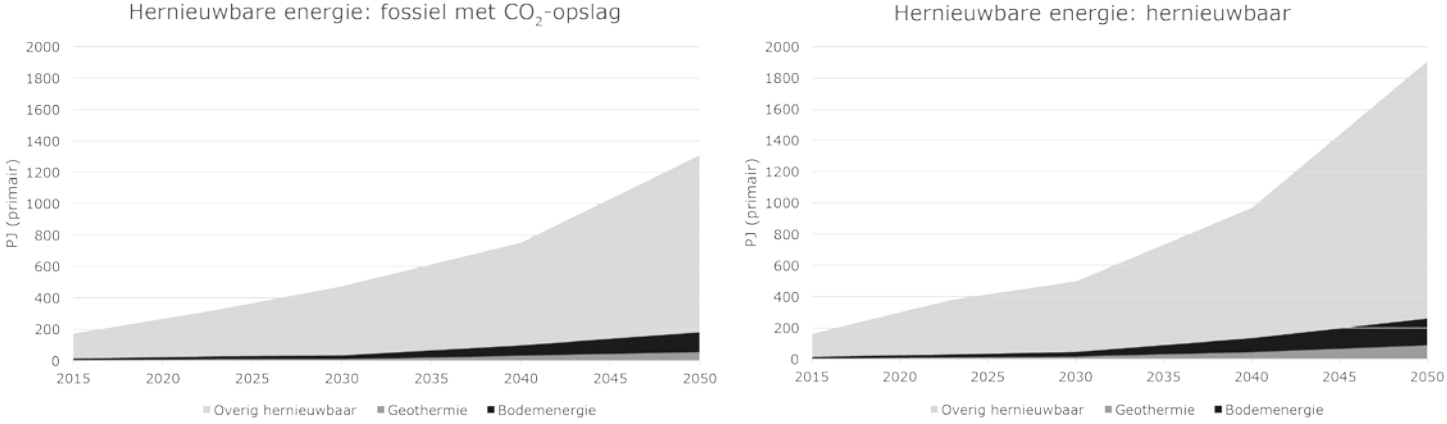
[5] Het PBL rapport 'Routes Verkend' geeft voor het energiegebruik van Nederland met maximale inzet van besparingsopties een index van 83% t.o.v. 2008. Bij autonome ontwikkeling en met huidige technologie is deze index respectievelijk 114% en 147%. Met een primair energieverbruik van 3350 PJ in 2008 is het verwachte energiegebruik 2775 PJ in 2050.



Figuur 4: Scenario voor het energieverbruik in 2015–2050, variant 'Fossiel met CO_2-opslag'. Bron: Ecofys, deze studie, o.b.v. NEV tot 2030 (ECN, 2014), diverse bronnen voor periode 2030–2050. 'Overig fossiel' heeft betrekking op een brede groep fossiele energiedragers zoals aardolieproducten, raffinaderijgassen, cokesovengas, hoogovengas en chemische restgassen.



Figuur 5: Scenario voor het energieverbruik in 2015–2050, variant 'Hernieuwbaar'. Bron: Ecofys, deze studie, o.b.v. NEV tot 2030 (ECN, 2014), diverse bronnen voor de periode 2030–2050.



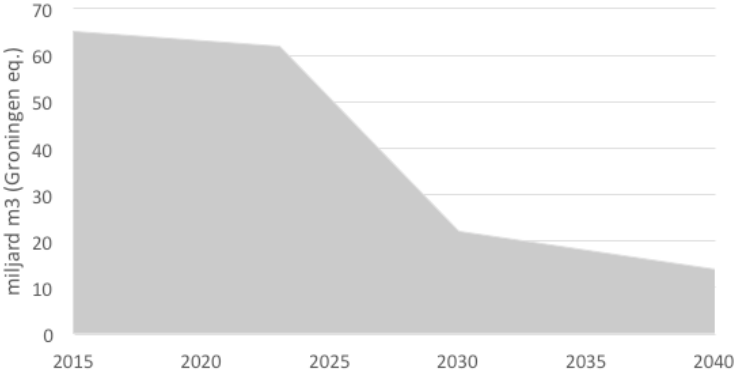
Figuur 6 en 7: Inzet van hernieuwbare energie in 2015–2050. Bron: Ecofys, deze studie, o.b.v. NEV tot 2030 (ECN, 2014), diverse bronnen voor de periode 2030–2050.

Omdat beide scenario's het uitganspunt hebben om een CO_2 emissiereductie van 80–95% in 2050 te halen, speelt CCS in het scenario 'Fossiel met CO_2-opslag' een belangrijkere rol (zie verder sectie 5.3.1).

5.2 Verwachtingen over de ontwikkeling van de energiewinning in Nederland 2015 - 2050

5.2.1 Aardgas

Aardgas komt in Nederland in zeer grote hoeveelheden voor in de diverse gesteentelagen. In 2012 bedroeg de aardgasproductie uit de Nederlandse gasvelden 78,2 miljard miljard kubieke meter (m^3) (59,3 miljard m^3 van het Territoir en 18,9 miljard m^3 van het Continentaal plat). Van de totale productie kwam 26,1 miljard m^3 uit kleine velden en 52,2 miljard m^3 uit het Groningen gasveld. De winning van aardgas in Nederlands is enerzijds afhankelijk van het winbare potentieel, maar anderzijds ook sterk afhankelijk van beleidsmatige keuze, o.a. m.b.t. de exploitatie van het Groningen gasveld. Als gevolg van productiebeperkingen ligt de verwachte productie uit het Groningen-gasveld in 2015 aanzienlijk lager. Tot 1 juli 2015 is de gasproductie uit het Groningen-gasveld beperkt tot 16,5 miljard m^3. Wanneer de eerder vastgestelde jaarproductie gehandhaafd blijft, zal de totale jaarproductie in 2015 maximaal 36,4 miljard m^3 bedragen, met een heroverwegingsmoment per 1-7-2015 over de toegestane productie voor de 2e helft van 2015



Figuur 8: Raming van de aardgaswinning in Nederland in 2015–2040. Bron: NEV (2014) 2015–2030; TNO in Basisdocument Diepe Ondergrond voor 2040; recente ramingen voor 2050 zijn niet beschikbaar.

(NAM Platform, 2015; EZ, 2015).
Figuur 8 beschrijft de verwachte aardgaswinning op basis van de Nationale Energieverkenning en projecties van TNO tot 2040. Volgens deze projecties zal de conventionele gaswinning in de periode van 2020–2030 zeer sterk afnemen. Vanaf 2030 zal de gaswinning langzaam verder afnemen. Recente prognoses voor 2050 die zijn bijgewerkt aan de laatste politieke besluiten zijn niet beschikbaar. De cijfers voor 2015 zijn aangepast aan de uitspraak van de Raad van State in april 2015 waarbij is vastgesteld dat de maximale productie van het Groningerveld in 2015 en 2016 maximaal 36,4 miljard mag bedragen. De situatie daarna is momenteel erg ongewis. In deze studie is aangenomen dat de totale winning in Nederland in 2023 gelijk is aan die in 2015. Voor de verdere toekomst is vastgehouden aan de scenario's uit de Nationale Energieverkenning (ECN, PBL 2014).

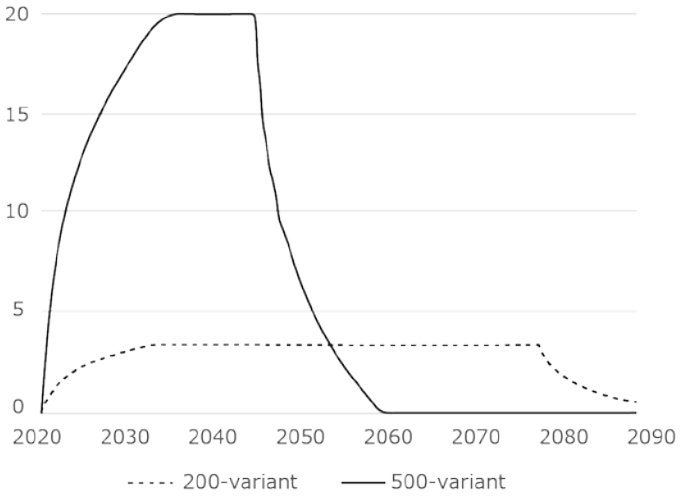
5.2.2 Schaliegas

De winning van schaliegas heeft mogelijke milieugevolgen die kunnen optreden bij het kraken van het gesteente (schalies) waar het gas zich in bevindt (zgn. fracking). Momenteel worden de risico's voor milieu en volksgezondheid van boringen naar schaliegas nader onderzocht (bron: RVO)[6]. Op basis van de uitkomsten van dit onderzoek dient geconcludeerd te worden of winning van schaliegas kan worden toegestaan en zo ja, in welke gebieden en onder welke voorwaarden. De uiteindelijke integrale afweging, of dat ook kan in het licht van de ruimtevraag van andere functies, vindt plaats in de Structuurvisie Ondergrond.

Hoeveel winbaar schaliegas er in de Nederlandse diepe ondergrond aanwezig is, is erg onzeker. De schattingen over totaal technisch winbare volumes lopen uiteen van 200 tot 500 miljard m^3. Deze komen overeen met de waarden die zijn gehanteerd door CE Delft in de studie 'Verkenning van maatschappelijke effecten van schaliegas' (CE Delft 2015[7]). Dit volume houdt echter geen rekening met de bovengrondse en ondergrondse restricties en praktische beperkingen binnen de ontwikkelscenario's. De technische en economische winbaarheid van schaliegas zal in Nederland nog bewezen moeten worden en veel onderzoek vergen, ondersteund door meerdere proefboringen.

In het bovengenoemde CE Delft rapport zijn de de aanwezige hoeveelheid gas en de technisch winbare hoeveelheden schaliegas in Nederland gegeven. Beide zijn in de tijd uiteen gezet volgens een tweetal scenariovarianten: de 200-variant, en de 500-variant[8]. Deze verwachting is geschetst in Figuur 9 op de volgende pagina.

[6] RVO 2015. http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/structuurvisie-schaliegas
[7] CE Delft 2015. Verkenning van maatschappelijke effecten van schaliegas. Eindconcept. 26-3-2015 7.C68.1



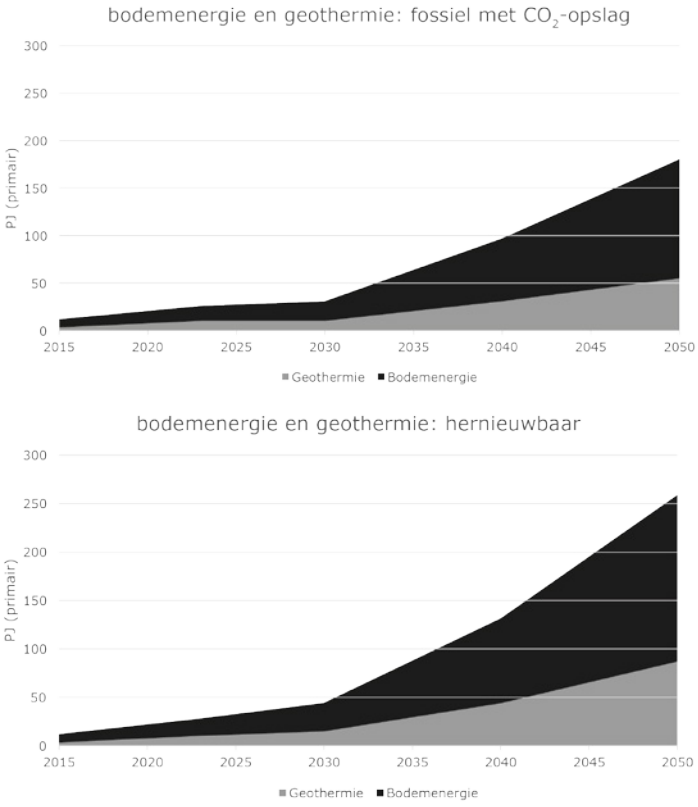
Figuur 9: Jaarlijkse schaliegaswinning (mld. m³) in twee productievarianten. Bron: CE Delft 2015.

De figuur maakt inzichtelijk dat in de 200-variant, de jaarlijkse productie kan pieken naar 3,3 miljard m³ per jaar vanaf 2035. In 2030 bedraagt de productie jaarlijks 2,9 miljard m³, in 2050 3,3 miljard m³[9]. In de 500-variant piekt de gasproductie op 20 miljard m³ per jaar in het jaar 2035. In het jaar 2030 zal zo'n 17,5 miljard m³ gewonnen worden, en 7,5 miljard m³ in 2050[10]. De schaliegaswinning in Nederland zal in de eerste productievariant zijn afgerond na het jaar 2090 en in de tweede variant in 2060. Ter vergelijking: in 2015 bedraagt de totale aardgaswinning in Nederland zo'n 60 miljard m³. In de praktijk kan het economisch potentieel lager maar ook hoger uitpakken dan de bovengenoemde technisch winbare potentiëlen. Ervaringen uit het buitenland (Polen en het Verenigd Koninkrijk) laten zien dat schattingen op basis van proefboringen met een factor tien naar boven kunnen worden bijgesteld (Verenigd Koninkrijk) of een factor 6,5 naar beneden (Polen). Door het ontbreken van proefboringen moeten de scenario's daarom ook worden beschouwd als indicaties om de effecten te verkennen en niet als absolute waarheden[11].

Volgens de twee energievraagscenario's die voor dit rapport door Ecofys zijn samengesteld, blijft gas een rol spelen in een koolstofarme energiehuishouding. Bij teruglopende binnenlandse conventionele aardgaswinning kan de resterende vraag naar aardgas worden ingevuld met geïmporteerd gas en biogas[12], in plaats van, of naast schaliegas.

5.2.3 Bodemenergie en geothermie

Het gebruik van bodemenergie levert een bijdrage aan het realiseren van de doelen voor hernieuwbare energie en CO_2 emissiereductie in 2020 en daarna. Inzetten op gebruik van bodemenergie reduceert CO_2 emissies. Momenteel is de gewonnen warmte uit bodemenergie en geothermie goed voor 13 PJ (primair) (waarvan 4 PJ geothermie en 9 PJ uit de ondiepe ondergrond). Dit dekt grofweg 0,5% van het totale energieverbruik in Nederland.



Figuur 10 en 11: Inzet van geothermie en bodemenergie in Nederland in 2015–2050. Bron: NEV (2014) 2015-2030, inschatting op van maximaal realiseerbaar potentieel tot 2050 (PBL, 2011).

De winning van warmte door middel van bodemenergie en geothermie is geografisch sterk gerelateerd aan de warmtevraag. Warmte kan slechts beperkt worden getransporteerd als gevolg van de transportverliezen. De mogelijkheden voor geothermie en bodemenergie zijn het grootst in een warmtenetwerk waar diverse warmtebronnen en warmteafnemers met elkaar worden gekoppeld. Ook warmteopslag (HTO) hoort daar mogelijk bij. In beide scenario's neemt zowel bodemenergie als geothermie aanzienlijk toe in omvang. Het realiseerbaar potentieel van bodemenergie en geothermie bedraagt respectievelijk 200-300 PJ en 25-100 PJ (PBL, 2011).

[8] De technische winbare hoeveelheden schaliegas in de Nederlandse ondergrond vormen de basis voor de twee opgestelde productievarianten. Hiermee is nog niet beoordeeld of deze ook commercieel winbaar zijn. Om toch de maatschappelijke effecten van deze productievarianten te kunnen beoordelen, is op voorhand bij het opstellen van de varianten nog geen rekening gehouden met de economische beoordeling ervan. Citatie uit; CE Delft 2015, p. 33.

[9] 3,3 miljard m³ komt overeen met zo'n 110 PJ primaire energie.

[10] 7,5 miljard m³ komt overeen met zo'n 237 PJ primaire energie.

[11] CE Delft 2015

[12] Dit is in deze studie niet nader onderzocht. In de NEV van 2014 wordt uitgegaan van 55 – 70 PJ (finaal energiegebruik, overeenkomstig met 65-95 PJ primair energieverbruik) in 2030, t.o.v. 15 PJ op dit moment. Recente ramingen voor 2050 zijn niet beschikbaar.

Naast het voorzien in de warmtevraag kan geothermie in de toekomst mogelijk ook gebruikt worden voor het opwekken van stoom en elektriciteit. Hiervoor zijn hogere temperaturen nodig en moet er noodzakelijkerwijs ook dieper geboord worden. Deze vorm van geothermie wordt onconventionele geothermie genoemd. De toekomstige inzet van deze technologie is nog zeer onzeker. Op dit moment zijn de (financiële) risico's van het boren naar dergelijke diepten te groot.

5.2.4 Aardolie en kolen

De winning van aardolie vindt momenteel op beperkte schaal plaats in Nederland en zal richting 2050 geleidelijk afnemen van 187 PJ in 2015 naar circa 100 PJ in 2050 (NEV, 2014 en extrapolatie). Er blijft in beide scenario's behoefte aan olie voor niet energetische doeleinden en een deel van het (langeafstand) transport.

Kolenwinning vindt sinds een aantal decennia niet meer plaats in Nederland. Het is gezien de transitie naar een koolstofarme energievoorziening niet de verwachting dat er weer kolenwinning zal gaan plaatsvinden. Hernieuwbare bronnen nemen de rol van kolen in de opwekking van elektriciteit over in beide scenario's.

5.3 Ontwikkeling van opslagbehoefte en –beschikbaarheid voor CO_2 en energie

Er is gezien de ontwikkeling van de energiehuishouding een toenemende behoefte aan opslag van CO_2, stikstof en energiedragers (aardgas, olie, perslucht en waterstof).

5.3.1 CO_2 opslag

CO_2 kan zowel op land als op zee in lege gasvelden worden opgeslagen. Het huidige beleid is gericht op opslag op zee. Om een beeld te krijgen van de beschikbare opslagvolumes geeft onderstaande tabel het beschikbare opslagvolume op land en op zee weer. Deze geeft niet het technisch opslagpotentieel weer. De getallen geven de economisch beschikbare opslagvolumes weer bij het voeren van stringent klimaatbeleid (80-95% emissiereductie in 2050). Hierbij is uitgegaan van een CO_2 prijs van €70/ton in 2030 en €170/ton in 2050. Dit economische potentieel zegt meer dan het sec kijken naar technische potentiëlen die hoger, maar tevens veel onzekerder zijn. Het is, ondanks de technisch aanwezige opslagcapaciteit, immers niet zeker of marktpartijen hier bij elke prijs gebruik van maken om in de vraag naar CO_2 opslagcapaciteit te voorzien. De CO_2 prijs speelt dus een doorslaggevende rol in de uiteindelijke toepassing van CCS. Marktpartijen zullen immers niet investeren in een optie die niet of pas op een lange termijn terugverdiend kan worden. De gehanteerde CO_2 prijzen zijn fors en dit scenario mag dan ook ambitieus genoemd worden. Tabel 2 geeft de volumes weer waarvan verwacht wordt dat marktpartijen deze bij de genoemde CO_2 prijzen in exploitatie nemen.

Elk van de scenario's die voor deze studie zijn samengesteld kent een hoeveelheid inzet van fossiele

Tabel 2: Het beschikbare CO_2 opslagvolume in Nederland, bij stringent klimaatbeleid (80-95% emissiereductie in 2050), bij een CO_2 prijs van €70/ton in 2030 en €170/ton in 2050. Bron: CCS Visie, bijlage 2. Voor 2015-2025: mogelijk demonstratie project(en), geen substantiële bijdrage.

Scenario / CCS volume (Mt/jaar)	2015-2030	2030	2050
Opslag op land	>0	31	15
Opslag op zee	>0	15	45
Totaal opslag op land en op zee	**>0**	**46**	**60**

Tabel 3: Benodigde inzet van CCS ('opslagbehoefte') in het scenario Fossiel met CO_2-opslag en het scenario Hernieuwbaar. Bron: Ecofys. Berekening op basis van de emissiereductie ambitie en de inzet van fossiele energie.

Scenario	Aandeel hernieuwbaar in 2050	CO_2 emissies in 2050	CCS opslagbehoefte in 2050
Schoon fossiel	64%	80 Mt/jaar	40 Mt/jaar
Hernieuwbaar	90%	33 Mt/jaar	>0 Mt/jaar

brandstoffen, maar voldoet tegelijkertijd aan de ambitie om een CO_2 emissiereductie van 80-95% t.o.v. 1990 te realiseren. Op basis van de emissies afkomstig van fossiele brandstoffen en een emissiereductie in 2050 van 85% t.o.v. 1990 is door Ecofys de CCS behoefte in 2050 berekend (Tabel 3). In het scenario 'Fossiel met CO_2-opslag' is de inzet van hernieuwbare energie beperkt en het aandeel fossiel relatief groot. De CCS behoefte in dit scenario bedraagt 40 Mton/jaar in 2050[13]. Het blijft wel tussen de opslagvolumes die in Tabel 2 zijn geschetst en waar de markt voor zou 'tekenen'. In het scenario 'Hernieuwbaar' is de CCS behoefte in 2050 beperkt. Afhankelijk van de transitiesnelheid kan er wel een aanzienlijke CCS behoefte zijn in de periode van 2030-2050 om te voldoen aan eventuele doelstellingen voor tussenliggende jaren.

meer om de bufferfunctie van Groningen over te nemen zijn daarom afhankelijk van in hoeverre gas uit deze velden logistiek en financieel kan worden bijgemengd met stikstof. Eventuele schommelingen in de piekvraag kunnen ook worden opgevangen door opslag in kleine gasvelden. Daarnaast kan de (bovengrondse) opslag van LNG hier een rol in spelen. In Rotterdam staat hiervoor op de Maasvlakte een (kleine) opslagtank. Ook staat in Rotterdam op de Maasvlakte de GATE LNG-terminal met een inname capaciteit van ca. 12 miljard m^3/jaar. Mogelijk kan een deel daarvan als 'buffer' worden beschouwd. Projecties van de verwachte benodigde buffercapaciteit zijn veelal niet actueel genoeg en houden daarom geen rekening met de recente ontwikkelingen rond het Groningenveld. Zo wordt in de WLO scenario's een inschatting gemaakt van de benodigde buffercapaciteit tot 2040 (Tabel 4). In deze inschatting wordt zichtbaar dat de vraag naar buffercapaciteit blijft toenemen.

Tabel 4: Benodigde seizoensgebonden aardgasbufferingcapaciteit. Bron: CPB (2006).

	2015	2023	2030	2040	2050
Gasopslag (miljard m^3 per jaar)	1,9–3,0	2,3–3,6	2,3–4,0	2,4–4,2	n/a

5.3.2 Aardgasbuffering

Buffering voor aardgas vindt plaats voor het balanceren van zowel seizoensgebonden als korte termijn (uren, dagen) verschillen tussen vraag en aanbod. Gedurende de wintermaanden in 2013 werd circa 5,5 miljard m^3 geproduceerd[14] uit de ondergrondse gasopslagen Norg, Grijpskerk en Bergermeer[15]. De buffercapaciteit van de grootste ondergrondse gasopslagen bedraagt circa 5 miljard m^3 (NLOG, 2015).

De ontwikkeling van de aardgasbufferingsbehoefte is sterk afhankelijk van het gaswinningsbeleid, maar ook eventuele ambities om een rol te spellen in de Europese gasrotonde. Een gedeelte van de flexibiliteitsvraag in de gasvoorziening wordt namelijk opgevangen door het verlagen of verhogen van de productie van het Groningenveld. Als gevolg van productiebeperkingen zal het Groningenveld in mindere mate kunnen fungeren als buffer voor het balanceren van het gasnet. Recentelijk is gestart met de uitbereiding van de opslagcapaciteit in Nederland. Onder andere de capaciteit van Norg is sterk vergroot. De additionele vraag naar opslagcapaciteit zal daarom beperkt zijn. Voor de gasopslagen Grijpskerk en Bergermeer geldt echter dat het opgeslagen gas hoogcalorisch is. Dit in tegenstelling tot het laagcalorische gas uit Groningen. De mogelijkheden voor Grijpskerk en Berger-

In 2009 heeft ECN met behulp van een marktmodel de ontwikkelingen van de gasmarkt in Noordwest Europa onderzocht, inclusief de behoefte aan seizoensflexibiliteit. In het referentiescenario stijgt de capaciteitsbehoefte in Noordwest Europa van circa 40 miljard m^3 in 2010 naar circa 60 miljard m^3 in 2030 (ECN, 2009). In deze scenario's vind met name een stijging plaats in de periode tussen 2010 en 2020. De beschikbare capaciteit is in de voorgaande jaren sterk toegenomen. Het is erg onzeker of de capaciteit de komende jaren gaat toe – of afnemen.

5.3.3 Olie

Momenteel is Nederland in internationaal verband verplicht tot het aanhouden van een strategische olievoorraad van 4.500.000 ton ruwe olie-equivalenten. Dit dekt ongeveer een binnenlandse olievraag van 90 dagen . Deze voorraden worden in Nederland in bovengrondse terminals opgesla-

[13] Dit betreft CO_2 die uit grote puntbronnen komt en dus kan worden afgevangen en opgeslagen.
[14] De productie wordt gegeven als volume en is niet één-op-één te vertalen in een opslagcapaciteit.
[15] Ook wel aangeduid als Alkmaar.
[16] Volgens IEA verplichting uit 2011.
[17] Er ligt b.v. een aanvraag voor van Akzo om gasolie ondergronds in zoutcavernes te gaan opslaan in het gebied Marssteden.

gen, al wordt opslag in zoutcavernes momenteel wel onderzocht . Het is niet te verwachten dat de verplichting in de toekomst structureel stringenter wordt, ook gezien de verwachting dat het gebruik van olie gaat dalen in de toekomst. In deze studie gaan we daarom uit van een onveranderde olie-opslagbehoefte. Olie legt daarmee geen of slechts een beperkte additionele claim op ruimte in de ondergrond, nu en in de toekomst.

5.3.4 Perslucht en waterstof opslag

Als gevolg van de toenemende elektrificatie van onder andere verwarming en transport, maar ook als gevolg van de stijging van variabele en onzekere[18] energieproductie (zoals windenergie en zonne-energie) zal de behoefte aan energieopslag en voor de balancering van het elektriciteitsnet toenemen. De verwachting is dat de behoefte aan opslag in Europa zal toenemen van 40 GWp in 2014 tot 50-90 GWp in 2050 (IEA, 2014). Power-to-Air (PtA) en Power-to-Gas (PtG) kunnen een bijdrage leveren aan het balanceren van het elektriciteitsnetwerk bij pieken in het aanbod van elektriciteit (zoals overvloedige wind- en zonne-energie).[19] Het elektriciteitsnet wordt zo een smart grid op nationaal niveau.

Deze opties zijn echter niet de enige voor opslag van energie en het opvangen van pieken. Er zijn andere technologieën die voor dezelfde doeleinden kunnen worden ingezet. Het uitbreiden van de interconnectiecapaciteit en opslag in (buitenlandse) waterkrachtcentrales, alsmede het maximaal stuurbaar maken van basislastcentrales is veelal kosteneffectiever en kan daarnaast op grote schaal worden ingezet. Ook andere opties, zoals batterijen, het slim sturen van de energievraag (zoals de productie van warmte bij een piek in aanbod), Power-to-Heat (PtH) of het efficiënt inzetten hernieuwbare centrales of warmtekrachtcentrales (WKK's) die flexibel inzetbaar zijn (zoals biogascentrales of geothermische centrales), concurreren met de inzet van persluchtopslag en waterstofproductie/opslag.

Op systeemniveau zal de bijdrage van energie-opslag in de vorm van gassen naar verwachting beperkt blijven zolang het om kleine hoeveelheden energie gaat. PtG bijvoorbeeld wordt commercieel pas interessant in geval van veelvoorkomende overschotten aan hernieuwbare energie. Mogelijk met uitzondering van bepaalde niches. In de studie "Exploring the role for power-to-gas in the future Dutch energy system" door ECN en DNV GL [2014] is de potentiële rol van PtG in het Nederlandse energiesysteem onderzocht. PtG wordt daar alleen ingezet voor het bereiken van een hoge mate van CO_2 emissiereductie. PtG wordt dan vooral ingezet voor het verduurzamen van de gasvoorziening. Inzet van interconnectorcapaciteit en het sturen van vraag en aanbod heeft een grotere rol in het balanceren van de elektriciteitsvoorziening. In Duitsland wordt verwacht dat door een combinatie van de uitbreiding van interconnectoren en het maximaal sturen van centrales slechts gedurende 200 uur het aanbod van elektriciteit de vraag zal overstijgen (in 2025). Dat is in een situatie dat 40% van de elektriciteit door wind + zon-PV wordt opgewekt. Het is de vraag of specifieke PtG productiefaciliteiten rendabel kunnen zijn bij lagere aandelen wind en zon-PV (ECN, PBL, CE Delft 2014).

5.4 Match van vraag en aanbod naar ondergrondse ruimte voor energie (op schaal van Nederland)

Volgens de binnen deze verkenning gehanteerde bandbreedte van de twee toekomstscenario's (zie voorgaande paragrafen) blijft de te verwachten toekomstige inzet van energievormen op bijna alle gebieden ruim binnen de grenzen van de ondergrondse capaciteiten (zie bijlage I). Een uitzonderingen is geothermie waarbij op middellange en lange termijn de ondergrondse capaciteit kan worden bereikt (zie ook het kader op pagina 31).

Voorts geldt bij de opslag van CO_2 dat dit deels kan gaan concurreren met gasopslag en dat de benutting van bepaalde locaties afhangt van de markt om deze daadwerkelijk te gaan ontwikkelen. Dit is in sterke mate afhankelijk van de prijsontwikkeling van CO_2 (zie kader).

Het beleid is gericht op het eerst benutten van opslagmogelijkheden op zee. In het noordwestelijk deel van de Noordzee (buiten de Nederlandse wateren) bevinden zich grote aquifers, die mogelijk

[18] Met variabele elektriciteitsproductie wordt bedoeld dat bijvoorbeeld zonnepanelen in de tijd een variabele productie hebben, i.e. alleen overdag genereren ze opbrengst. Met onzekere elektriciteitsproductie wordt bedoeld dat de productie naast variabel in de tijd ook een onzekerheid heeft, i.e. er is sprake van een foutmarge in de opbrengstvoorspellingen voor windenergie.

[19] Bijmengen van waterstof in het gasnet is technisch mogelijk, maar slechts in beperkte mate, o.a. vanwege invloedvoorwaarden van Gasunie/EZ op basis van studies naar gedrag van waterstof in de netten (kansen op lekkage bij grotere aandelen, ook beïnvloeding van vlamgedrag aan onze fornuizen etc. momenteel niet veilig).

gedurende een aantal decennia voldoende opslagcapaciteit bieden voor heel Europa. Omdat er nog weinig of geen ervaring is met het verregaand vullen van dergelijke opslagreservoirs, bestaat nog veel onzekerheid over de feitelijke opslagmogelijkheden (PBL 2011).

Kader: meer over de ondergrondse capaciteiten voor geothermie en CCS

De ondergrondse capaciteit voor geothermie wordt geschat op 25–100 PJ per jaar. De vraag naar geothermie kan in 2050 oplopen tot 55–87 PJ per jaar. De kans is aanwezig dat richting 2050 de maximale capaciteit moet worden ingezet. De complicerende factor van de (momenteel) beperkte mogelijkheden en hoge kosten om warmte over grote afstanden te transporteren wordt besproken in hoofdstuk 7.

Voor CO_2 opslag (CCS) worden de grenzen van het ondergrondse en economische potentieel mogelijk bereikt (bij hoge CO_2 prijzen tot €170/ton in 2050). De vraag naar CO_2 opslag zal naar verwachting rond het jaar 2030 pieken. Alleen in een sterk op fossiele brandstoffen leunend scenario zal de behoefte daarna doorstijgen. De totale economisch rendabele opslagcapaciteit op zee wordt geschat op 24 Mton/CO_2 per jaar. Alleen als er locaties op land meegenomen worden kan een totale capaciteit van 44 Mton/CO_2 per jaar gerealiseerd worden bij ambitieus (internationaal) klimaatbeleid (CCS Visie, Bijlage 2).

Zie verder Bijlage 1.

6 LOKALE SYNERGIE, CONCURRENTIE EN UITSLUITING
in ruimte en tijd

In het voorgaande hoofdstuk is duidelijk geworden dat de ondergrond, op landelijke schaal, alleen voor de winning van geothermie en de opslag van CO_2 op termijn limiterend kan zijn.
Voor de andere energievormen zijn vraag en ondergronds aanbod goed te matchen. Dankzij de relatief lage energieverliezen en kosten van het transport van elektriciteit en gassen over lange afstanden, en de fijn vertakte netwerken die daarvoor reeds aanwezig zijn, geldt dit in de meeste gevallen ook voor lagere schaalniveaus.

Alleen voor warmtewinning in de vorm van (conventionele) geothermie en bodemenergie geldt dat vraag en aanbod vooralsnog (innovaties en systeemkeuzes daargelaten) op beperkte afstand van elkaar dienen te liggen. De warmtekaart in bijlage III laat echter zien dat concentraties van vraag naar warmte en aanbod van geothermie vaak ver uit elkaar liggen. Alleen in Zuid-Holland liggen deze twee (kaart)lagen voor een groot gebied over elkaar heen en zijn er dus goede mogelijkheden voor een effectieve exploitatie van het geothermiepotentieel. In deze regio is echter momenteel nog een dermate groot aanbod van restwarmte aanwezig dat uitbreidingen van warmtenetten zich de komende tijd niet primair op geothermie zullen richten. Met deze netwerken wordt wel een basis gelegd voor een mogelijk toekomstig door geothermie gevoed warmtenet.

Voor aardgasvelden zal in eerste instantie per veld een afweging gemaakt moeten worden tussen (het tempo van) aardgaswinning, buffering van aardgas, de opslag van met name CO_2 en indien mogelijk inzet van geothermie. Bij stringent klimaatbeleid ontstaat er op de middellange en lange termijn een grote toekomstige behoefte aan CO_2 opslaglocaties (in geval van beide scenario's zie hoofdstuk 5). Mede omdat voor aardgasbuffering de doorlatendheid en de drukopbouw van een veld belangrijker zijn dan het volume, ligt voor CO_2 opslag een reservering van grote (en op zee gelegen) aardgasvelden voor de hand. Kleinere velden op land zouden dan in eerste instantie ingezet kunnen worden voor aardgasbuffering (indien daarvoor geschikt) voor de winning van geothermie.

In de ondiepe ondergrond zal op lokale schaal vooral de concurrentie om ruimte voor bodemenergie kunnen toenemen. Dit is een belangrijk aandachtspunt voor de structurering van de ondergrond, al ligt deze vraag niet primair bij het Rijk.

7 ONTWIKKELING ONDER-GRONDSE RUIMTEVRAAG van een energievoorziening in transitie

De ondergrond speelt een belangrijke faciliterende rol bij de transitie naar een schonere energievoorziening. Of de toekomstige ontwikkeling nu meer de richting van schone fossiele energiebronnen, of die van hernieuwbare energiebronnen op gaat, de ondergrondse ruimte voor met name geothermie, CO_2 opslag en de buffering van waterstof zullen hard nodig zijn. Ongeacht het scenario, om vraag en aanbod in ruimte en tijd goed op elkaar af te stemmen zullen netwerken (interconnectie) en bufferingsmogelijkheden steeds belangrijker worden.

Voor transport van elektriciteit en gassen beschikt Nederland over een landsdekkend en fijn vertakt transportnetwerk. Wel zullen voor het elektriciteitsnetwerk aanpassingen nodig zijn om de (internationale) connectiviteit te verbeteren, en mogelijk ook voor een gedeeltelijke omvorming naar smart grids om lokale vraag en aanbod ook op lokale schaal efficiënt te kunnen koppelen.

De toekomstige decentralisatie van de (grotendeels hernieuwbare) elektriciteitsopwekking stelt andere eisen aan het elektriciteitsnet. Ook zijn in de toekomst waarschijnlijk meer (hoogspannings) tracés nodig, waarbij problematische trajecten steeds vaker ondergrondse ruimte kunnen gaan vragen. Het is daarom zaak om hiervoor tijdig ondergrondse ruimte te reserveren. Het duiden van locaties en tijdspaden hiervoor valt buiten de scope van deze studie.

Het Nederlandse gasnetwerk zal in de toekomst steeds minder gebruikt worden om aardgas van binnenlandse bronnen naar eindgebruikers te transporteren. Nederland zal naar verwachting veel meer een doorvoerland van buitenlands (hoogcalorisch) aardgas worden, waarbij ons land een belangrijke rol kan vervullen in het balanceren van vraag en aanbod en tijdelijk voor de bijmenging van stikstof (totdat onze apparatuur geschikt is gemaakt voor hoogcalorisch gas).

Naarmate meer aardgasvelden uit productie raken zullen ook steeds meer verbindingen tussen gasvelden en het hoofdtransport-netwerk 'uitdoven'. Deze delen van het netwerk kunnen potentieel samen met de corresponderende reservoirs gebruikt worden voor het transport en de opslag van CO_2. CCS vraagt om een omvangrijk netwerk van leidingen (op land en op de zeebodem).

Op een aantal lokale stadsverwarmingsnetwerken na staat het transport van warmte in Nederland nog in de kinderschoenen. De geografische spreiding van vraag en aanbod van geothermie (figuur 10 en kaart 6.2 in bijlage III) laat echter zien dat veel gewonnen zou kunnen worden door voor dit type energienetwerk een schaalsprong te maken. Dit vraagt om grote investeringen en pilotprojecten, maar met name de vraag naar en het aanbod van geothermie zouden dan veel beter op elkaar afgestemd kunnen worden, waardoor de potentie van de ondergrond op dit gebied beter benut kan worden. De huidige verwachting is dat door toename van de hoeveelheid warmtenetten in de komende decennia het hierdoor voorzien in de warmtevraag kan verdubbelen; van 5% van de totale warmtevraag naar 10% in 2050.

Om vraag en aanbod van met name hernieuwbare elektriciteit op elkaar af te blijven stemmen ontstaat er naast een toenemende noodzaak voor interconnectiviteit met het buitenland een behoefte voor opslagcapaciteit, met name als de ontwikkelingen meer richting kleine, decentrale energienetwerken gaan. De mogelijkheden hiervoor liggen ondergronds in de vorm van zoutcavernes waarin elektriciteit in perslucht en waterstof kan worden omgezet en opgeslagen. De opslagcapaciteit in de huidige cavernes is echter beperkt en het speciaal voor energetische toepassingen aanleggen van nieuwe cavernes zal zwaar op de business cases drukken. Ook om deze technieken te faciliteren zal het elektriciteitsnet echter moeten worden uitgebreid. Ook zijn op diverse plaatsen in het net mogelijk faciliteiten voor power-to-gas, gas-to-power en daarnaast power-to-heat nodig.

8 CONCLUSIES

Door het uitgeput raken van de voorraden aan fossiele brandstoffen en de verwachte toenemende inzet van hernieuwbare energievormen, zal de ondergrondse ruimtevraag voor energetische toepassingen de komende decennia gaan veranderen. Door het in toenemende mate uitgeproduceerd raken van met name de aardgasvelden komt onder de grond ruimte vrij die gebruikt kan worden voor de (tijdelijke) buffering van aardgas, biogas en stikstof, en de permanente opslag van CO_2. Voor de buffering van elektriciteit door omzetting in perslucht of waterstof biedt de (diepe) ondergrond reeds ruimte in de vorm van door zoutwinning ontstane cavernes.

Ook nieuwe vormen van ondergrondse energiewinning zullen de komende decennia aanzienlijke hoeveelheden ruimte kunnen gaan vragen. Bodemenergie in de ondiepe ondergrond en geothermie in de diepe ondergrond worden nu al toegepast en kunnen in de komende jaren een schaalsprong maken. De ontwikkeling van onconventionele (hoge temperatuur) geothermie staat in Nederland nog in de kinderschoenen en zal naar verwachting pas op de langere termijn een rol van betekenis kunnen spelen. Schaliegas is omgeven door veel onzekerheden ten aanzien van de beschikbare voorraden en economische winbaarheid. Voor het bepalen van mogelijk negatieve milieueffecten wordt momenteel een planMER schaliegas uitgevoerd.

In deze studie is aan de hand van twee scenario's verkend wat de mogelijke bandbreedte van de ontwikkeling van de ondergrondse ruimtevraag voor energie kan zijn. Deze scenario's zijn zo samengesteld dat het waarschijnlijk is dat de toekomstige ontwikkelingen zich binnen deze bandbreedte bevinden.

Ondanks dat de ondergrond in de meeste gevallen voldoende ruimte aan deze ontwikkelingen kan bieden, zal het in toenemende mate noodzakelijk zijn om ondergrondse activiteiten met betrekking tot de energievoorziening op elkaar (en op andere functies) af te stemmen. De plekken waar winning en opslag van energie (en energie-gerelateerde stoffen) mogelijk is, zijn weliswaar in de meeste gevallen ruimtelijk of functioneel van elkaar gescheiden, maar tussen een aantal energievormen kan synergie of verdringing optreden. Hieronder wordt per ondergrondse energetische toepassing aangegeven waarmee in de tijd rekening moet worden gehouden bij het plannen van het ondergrondse ruimtegebruik. We maken onderscheid tussen energiewinning, energieopslag en transport.

8.1 Energiewinning

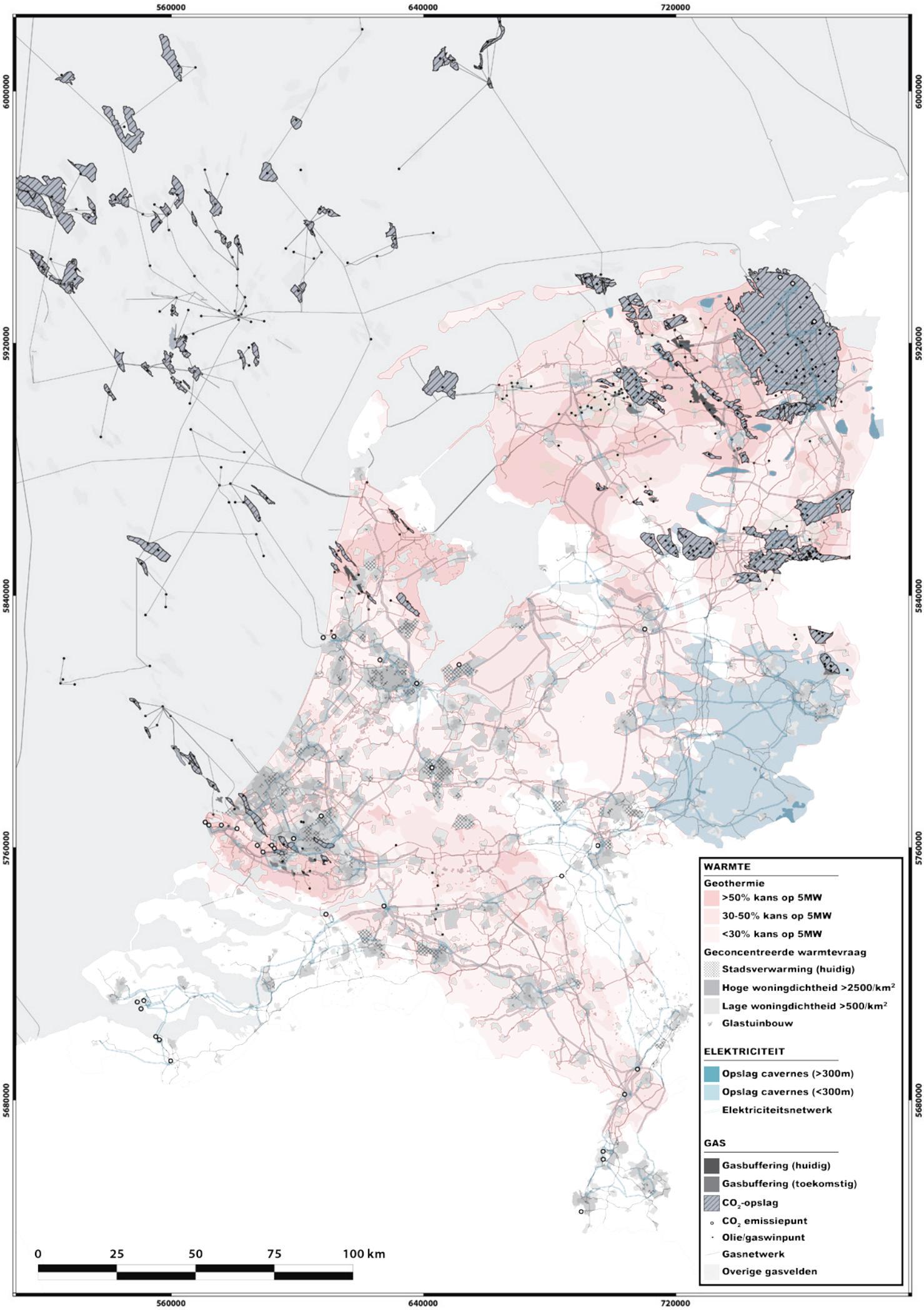
Aardgas

Door recente politiek–maatschappelijke ontwikkelingen met betrekking tot het Groningen gasveld zal de winning van dat aardgas worden getemporiseerd. Volgens de data die in deze studie gebruikt zijn, betekent dit een afname van ruim 2.000 PJ per jaar naar zo'n 400 PJ per jaar in 2040 (65, respectievelijk 14 miljard m^3). Alleen wanneer gasvelden uitgeproduceerd zijn, komen deze beschikbaar voor andere toepassingen zoals buffering en opslag. Om aan deze toepassingen optimaal ruimte te kunnen bieden dient het beleid er op gericht te zijn om de voor deze toepassingen gunstig liggende kleine (buffering) en grote velden (opslag) in een nader te bepalen volgorde volledig uit te putten.

Geothermie

Geothermie zal zich op de korte en middellange termijn vooral ontwikkelen op plekken waar zich

Geothermie zal met name op locaties met grote potentie en een warmtevraag gewonnen worden. Warmtenetwerken zijn kostbaar, waardoor de ontwikkeling slechts op een aantal plaatsen zal plaatsvinden. Transport van warmte over grote afstand is hierom, op dit moment, ook niet haalbaar. Planning in de tijd is noodzakelijk vanwege het 'uitdoven' van geothermie doublets na enkele decennia.


560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
WARMTE
Geothermie
>50% kans op 5MW
30-50% kans op 5MW
<30% kans op 5MW
Geconcentreerde warmtevraag
Stadsverwarming (huidig)
Hoge woningdichtheid >2500/km²
Lage woningdichtheid >500/km²
Glastuinbouw
ELEKTRICITEIT
Opslag cavernes (>300m)
Opslag cavernes (<300m)
Elektriciteitsnetwerk
GAS
Gasbuffering (huidig)
Gasbuffering (toekomstig)
CO2-opslag
CO2 emissiepunt
Olie/gaswinpunt
Gasnetwerk
Overige gasvelden
0
25
50
75
100 km

< Figuur 12: Geografische duiding van de voornaamste aandachtpunten ten aanzien van het ondegrondse ruimtegebruik voor energie (samenvoeging van kaarten 6.1, 6.2 en 6.3 uit bijlage III).

bovengronds een geconcentreerde warmtevraag voordoet of waar reeds een warmtenetwerk aanwezig is. De ontwikkeling van nieuwe warmtenetwerken is momenteel een kostbare aangelegenheid die daardoor slechts op een aantal plaatsen van de grond zal komen. De winning van geothermie zal daardoor naar verwachting tot 2030 slechts gestaag toenemen: van 4 naar 10-15 PJ per jaar. Om de internationale klimaatdoelstellingen te halen zal daarna echter een flinke versnelling moeten plaatsvinden, om in 2050 uit te komen op een jaarlijkse productie van 55-89 PJ per jaar. Het totale realistisch potentieel wordt geschat op maximaal 100 PJ per jaar. Planning in de tijd is vanwege het (na enkele decennia) 'uitdoven' van geothermie doublets een belangrijk aandachtpunt: binnen een warmtenetwerk zullen doublets elkaar uiteindelijk moeten gaan aflossen.

Voor het transport van warmte over grote afstanden zijn de kosten nu nog te hoog. Prijsontwikkeling, innovaties of systeemkeuzes zouden er op langere termijn echter toe kunnen leiden dat ook vraag en aanbod van warmte over langere afstanden aan elkaar gekoppeld worden. Hierdoor wordt de winning van geothermie mogelijk ook in dunbevolkte gebieden interessant. Om dit te bewerkstelligen zal op nationaal niveau een sterke regie nodig zijn. Geothermie en gasvoorraden komen vaak in dezelfde lagen voor. Geothermie kan hierbij worden verdrongen door de winning of buffering van aardgas en opslag van CO_2.

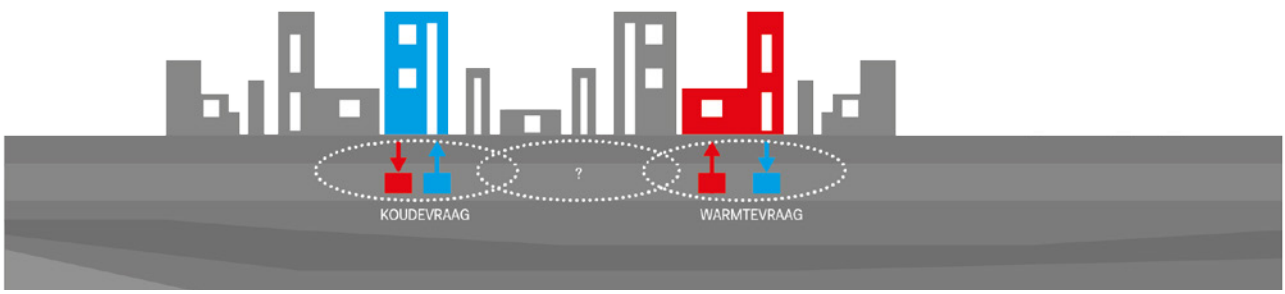
Bodemenergie

Bodemenergie zal de komende decennia aanzienlijk in omvang toenemen, van een huidige 9 PJ per jaar naar een bandbreedte van ruwweg 125 tot 172 PJ per jaar in 2050. Het realistische potentieel wordt geschat op zo'n. 300 PJ per jaar. Ook wordt pas na 2030 een versnelling verwacht waarbij bodemenergie steeds vaker kan worden ingezet voor de verwarming en koeling van woningen en utiliteitsgebouwen (kantoren, winkels, ziekenhuizen, e.d.). Open systemen vergen in sommige gevallen nu al actieve regie op gemeentelijk niveau. Na jarenlang gebruik gaat de capaciteit van warmtebronnen achteruit en hebben deze tijd nodig om te herstellen. Hierdoor zijn lokale potentiëlen beperkt en kan er (ook in de tijd) concurrentie tussen installaties ontstaan. Ook de ondergrondse infrastructuur legt beperkingen op aan de winning van bodemenergie. Ondanks deze concurrentie is bodemenergie met een goede ruimtelijke ordening en regie van de ondergrond op gebiedsniveau vrijwel overal goed in te passen. Veel gemeentes hebben hier inmiddels ervaring mee. Het Programma Bodem en Ondergrond kan een belangrijke rol spelen om deze lokale kennis te ontsluiten.

Schaliegaswinning en onconventionele geothermie

De technische en economische winbaarheid van schaliegas moet in Nederland nog bewezen worden. Dit vergt meer onderzoek dat moet worden ondersteund door verscheidene proefboringen. De schattingen over totaal technisch winbare volumes lopen uiteen. Voor het bepalen van milieueffecten wordt momenteel een planMER uitgevoerd. Dit alles maakt dat de potentiële bijdrage hiervan momenteel zeer onzeker is.

Fracking kan leiden tot vorming van scheuren die eventueel kunnen doorlopen naar nabij gelegen diepe aquifers en reservoirs. Hierbij moet in principe voorkomen worden dat cruciale afsluitende lagen (bijvoorbeeld boven een gasveld of een CO_2 opslaglocatie) worden aangetast. Omdat schaliegas grotendeels in andere gebieden wordt gewonnen als waar CO_2 opslag mogelijk is, zal tussen deze twee functies naar verwachting nauwelijks concur-



Ondiepe bodemenergie is met een goede ruimtelijke ordening en regie van de ondergrond op gebiedsniveau vrijwel overal goed in te passen. Er is geen inteferentie met andere bodemlagen.

rentie voorkomen. In hoeverre grootschalige toepassing van onconventionele geothermie (dieptes van enkele kilometers, fracking, hoge temperatuur, stoom, elektriciteitsproductie) vóór 2050 een rol zal spelen is moeilijk te zeggen, maar ook deze techniek dient vanuit de planning van de ondergrond gefaciliteerd te worden.

Interferentie tussen schaliegaswinning en geothermie is in theorie mogelijk, maar ook dit zal in de praktijk weinig voorkomen. Dit omdat verschillende lagen beoogd worden die doorgaans op verschillende diepteniveaus voorkomen.

8.2 Buffering en opslag

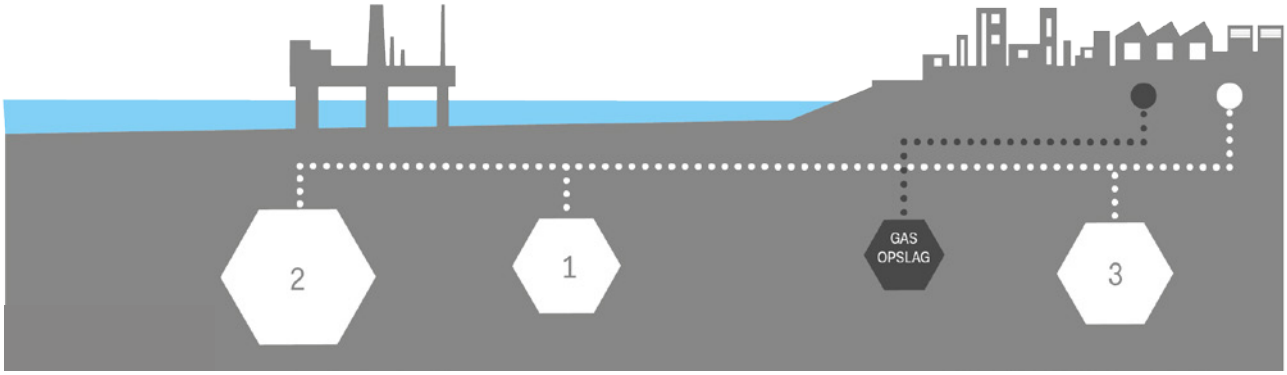
Ondergrondse buffering en opslag van energie-gerelateerde gassen is alleen mogelijk als er door exploitatie van (andere) grondstoffen ruimte vrijkomt. Verreweg de grootste ondergrondse ruimten zijn de lege reservoirs die ontstaan door exploitatie van aardgas. Daarnaast levert de exploitatie van zout cavernes op in relatief stabiele steenzoutlagen. Deze ondergrondse ruimten hebben verschillende fysische eigenschappen waardoor zij voor verschillende toepassingen ingezet worden.

Opslag van CO_2 (CCS)

Naar verwachting zal de behoefte aan opslag van CO_2 de komende decennia veel ondergrondse ruimte gaan vragen. Bovendien zal deze behoefte al in 2030 fors kunnen zijn: 40 Mton/jaar richting 2050. Uit fysisch oogpunt zijn met name de grotere uitgeproduceerde aardgasvelden geschikt. Voor zeer grote aardgasvelden zoals het Groningen veld zal het echter nog lang duren voordat deze uitgeproduceerd zijn en beschikbaar voor CO_2 opslag komen. Met het oog op (infrastructurele) kosten ligt het voor de hand om te kiezen voor velden dichtbij de CO_2 (punt)bronnen (met name Eemshaven, Rotterdam-Rijnmond, IJmuiden en Vlissingen). Onder land opslaan is doorgaans goedkoper dan opslag onder zee. Echter, vanuit maatschappelijk oogpunt zijn voor CO_2 opslag met name de (grotere) gasvelden onder de Noordzee te prefereren. Dit sluit aan bij het huidige beleid van de overheid.

Wanneer de ontwikkelingen zo zijn dat met een beperkter aandeel hernieuwbare energie aan de klimaatdoelstellingen zal worden voldaan, dan kan de benodigde opslagcapaciteit van CO_2 gaan knellen met de beschikbare opslagcapaciteit van aardgasvelden op zowel zee als land. Dit heeft niet zozeer te maken met een technisch tekort aan ondergrondse opslagruimte. Het is eerder de te lage CO_2 prijs waardoor het in exploitatie nemen van lege aardgasvelden voor CO_2 opslag onvoldoende van de grond komt. Daarnaast is de verwachting dat er vanuit het buitenland een aanvullende vraag naar CO_2 opslag zal komen. Met name de periode 2030 – 2040 is een lastige omdat dit relatief dichtbij komt en er in deze periode een aanzienlijke opslagbehoefte bestaat. CO_2 opslag dient op basis van de netwerkstructuur gefaseerd te worden, volgens de volgende redeneerlijn:

De nadruk ligt op zoeken van geschikte locaties offshore, en pas als het nodig is (bij gebrek aan capaciteit op zee) ook op land. Op land komen in aanmerking de middelgrote velden, want het Groningenveld is immers nog tot voorbij de planperiode in productie. Binnen die middelgrote velden verdienen velden van relatief minder goede kwaliteit (niet/minder geschikt voor herhaaldelijk vol- en leegpompen met gassen) de voorkeur, vooral als deze nabij CO_2 puntbronnen gelegen zijn.



CO_2-opslag eerst in de lege gasvelden op zee vlakbij de kust, daarna verderop zee. Als laatste zijn middelgrote gasvelden op land geschikt. Kleine gasvelden op land zijn geschikt voor gasopslag/-buffering. Benut het bestaande gasnetwerk.

Het is met het oog op de klimaatdoelstelling en gezien de CO_2 opslagbehoefte cruciaal dat de CO_2-opslagcapaciteit tijdig beschikbaar komt om vertraging te voorkomen. Momenteel is er geen duidelijk wettelijk kader voor de transitie van winningsvergunningen naar opslagvergunningen. Hierdoor is het moeilijk om een strategie te formuleren over welke velden wanneer beschikbaar komen en om dit te regisseren. Er zal hiervoor dus een wettelijk kader moeten komen.

Momenteel is het bij wet verplicht om de mijnbouwwerken nadat de productie is gestopt af te breken. Dit is echter niet altijd gewenst wanneer deze infrastructuur gebruikt kan worden voor CO_2 transport en opslag. Hiervoor zal bestaande (mijnbouw)wetgeving dus moeten worden aangepast.

Buffering van aardgas (biogas) en stikstof
De vraag naar tijdelijke opslagcapaciteit voor aardgas en stikstof is momenteel beperkt maar kan in de toekomst toenemen tot zo'n 130 PJ. Voor de tijdelijke opslag van gassen zijn kleine gasvelden op land het meest geschikt. Mede door de recente uitbreiding van Norg is de capaciteit voor buffering van gassen voorlopig voldoende.

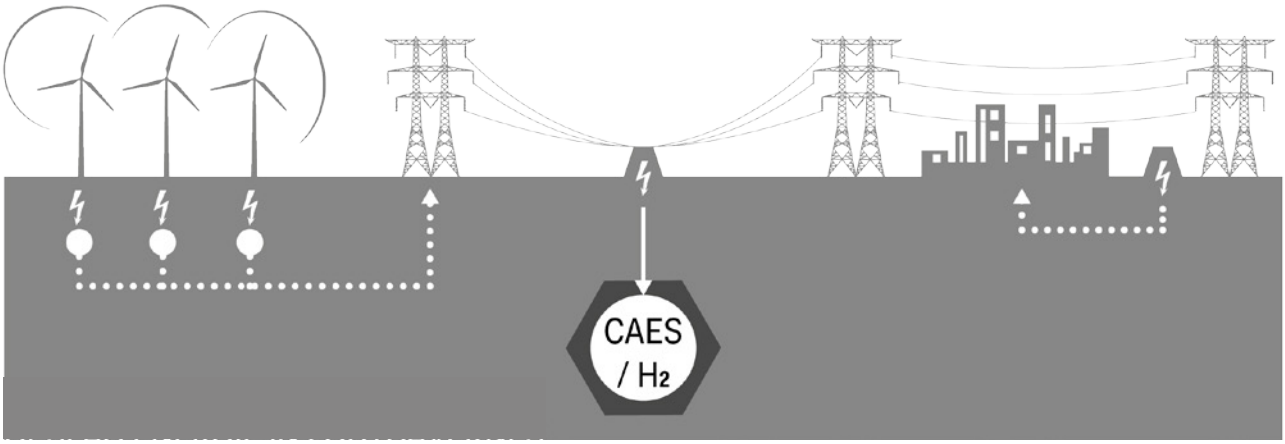
Omdat de rol van aardgas in de toekomstige energiehuishouding afneemt, zal de behoefte aan (seizoens-)opslag door de recente uitbreiding van de capaciteit van de faciliteit Norg beperkt blijven. Indien er in de toekomst een grote behoefte bestaat aan het aanhouden van grote (strategische) voorraden aardgas, dan zullen mogelijk ook grotere velden moeten worden benut. Dit kan in hooguit een aantal gevallen interfereren met CO_2 opslag.

Stikstofopslag (voor bijmenging met hoogcalorisch geïmporteerd gas) is een tijdelijke kwestie. Het is de huidige verwachting dat we in Nederland uiteindelijk (maar ruim voor 2050) over gaan op hoog calorisch gas. Dit gezien een verwachte toename van geïmporteerd gas dat hoogcalorisch van aard is. Hiervoor hoeft daarom geen permanente ondergrondse ruimte te worden gereserveerd. Bovengrondse opslag behoort tevens tot de mogelijkheden.

Opslag van energie in zoutcavernes
Zoutcavernes zijn door zoutwinning middels oplossing in water ontstane holtes in zoutkoepels. Hierin kunnen gassen worden opgeslagen, waaronder aardgas, biogas, waterstof en perslucht, maar ook (gas)olie.

Door een verdergaande 'elektrificatie' van de energiehuishouding en de grotere afhankelijkheid van hernieuwbare energiebronnen met een variabele output neemt de behoefte voor de opslag van gassen voor het balanceren van elektriciteit de komende decennia mogelijk sterk toe. In seizoenen met overschotten van elektriciteit kan deze worden omgezet in warmte, gas, perslucht of waterstof. Zoutcavernes zijn vooral geschikt om tijdelijk perslucht en waterstof op te slaan, en voor piek-balancering van aardgas. Voor seizoensgebonden buffering van aardgas zijn de gasvelden geschikter.

Perslucht en waterstofopslag zijn momenteel dure oplossingen die weliswaar technisch bewezen zijn, maar vanuit kosten–baten perspectief voorlopig negatief uitvallen. Het is momenteel niet duidelijk of deze technieken überhaupt zullen worden ingezet en zo ja, op welke schaal. Het uitbreiden van



Energieopslag in lege zoutcavernes: omzetten elektriciteit naar waterstof (H2), of met elektriciteit lucht in zoutcavernes onder druk zetten (perslucht, of 'compressed air energy storage'). Hiermee kan later als er energievraag ontstaat weer elektriciteit mee opgewekt worden.

de interconnectie capaciteit tussen landen (voor het opvangen van pieken in het aanbod) ligt op de korte en middellange termijn macro-economisch meer voor de hand. Dit volgt ook het lange-termijn beleid van de EU. Mocht dit nodig zijn, dan zijn er in Nederland echter ruime mogelijkheden voor opslag in zoutcavernes, waarbij verschillende stoffen elkaar niet per definitie uitsluiten. Zo is er de mogelijkheid om zoutcavernes eerst voor gasopslag en na 10 jaar voor perslucht opslag te gebruiken. Het is aan te bevelen om de mogelijkheden van zoutcavernes voor de opslag van perslucht en waterstof open te houden en deze dus niet af te sluiten of irreversibel voor andere functies in te zetten (no-regret).

8.3 Transport infrastructuur

De verdere elektrificatie van het energiesysteem en de inpassing van hernieuwbare energiebronnen maakt een toenemende aanspraak op de ondiepe ondergrond. Om dit te faciliteren zal het elektriciteitsnetwerk moeten worden uitgebreid en de interconnectiecapaciteit sterk moeten toenemen. Daar komt bij dat delen van het netwerk tot smart grids kunnen worden omgevormd. Op nationaal niveau gaat het om faciliteiten voor power to gas, gas to power en power to heat. Op regionaal en lokaal niveau moet het netwerk geschikt worden gemaakt voor tweezijdige elektriciteitslevering. De uitbreiding van het elektriciteitsnetwerk zal voornamelijk een bovengrondse kwestie zijn, al is de verwachting dat in de toekomst kabels vaker ondergronds moeten worden aangelegd. Dit speelt vooral in dichtbevolkte gebieden waar juist de aanleg van bovengrondse hoogspanningsleidingen op maatschappelijke weerstand stuit.

Voor de inzet van restwarmtebronnen en geothermie in de gebouwde omgeving zijn warmtenetten nodig. In sommige wijken kan gebruik worden gemaakt van de bestaande stadsverwarming, maar het merendeel van de Nederlandse huishoudens is daar niet op aangesloten. De aanleg van nieuwe warmtenetten is momenteel duur en logistiek complex: in veel gevallen zullen straten opengebroken moeten worden. Bovendien is het door de vele kabels en leidingen in stedelijke gebieden erg druk onder de grond. Er is hiervoor op lokale en regionale schaal toenemende regie nodig tussen de verschillende gebruiken in de ondiepe ondergrond en er zullen in sommige gevallen keuzes gemaakt moeten worden. Indien in een warmtenet geothermie met daarnaast restwarmte industrie, bodemenergie en dergelijke wordt opgenomen met daarbij gediversifieerde afnemers (bedrijven, woningen, enzovoorts) verhoogt dit de financiële haalbaarheid.

Ook de toepassing van CCS vraagt om infrastructuur om de CO_2 die vrijkomt op te vangen in de betreffende velden. Op de korte termijn zal opslag waarschijnlijk zoveel mogelijk in de nabijheid van de kust plaatsvinden. Dit om de transportafstanden en -kosten zo laag mogelijk te houden. Nadat de velden in de nabijheid van de kust gevuld zijn, zal het transportnetwerk uitgebreid moeten worden met nieuwe pijpleidingen in de richting van verder liggende offshore velden. Bij onshore opslag en tegen de tijd dat grotere aardgasvelden op land zijn uitgeproduceerd, kan er ook op land sprake zijn van een noodzaak om nieuwe pijpleidingen aan te leggen of bestaande uit te breiden. Hierbij zullen in de beginfase kleinschalige puntverbindingen afdoende zijn, maar zal er op termijn een meer grootschalige infrastructuur nodig zijn. Bestaande pijpleidingen voor gas - en olietransport zijn beschikbaar maar niet altijd geschikt of afdoende.

Als het plan is om delen van het huidige netwerk voor aardgas in de toekomst voor waterstof te gaan gebruiken, dan moeten deze daarvoor worden aangepast.

REFERENTIES

Basisdocument Diepe Ondergrond (2014).

CCS Visie. Concept. Rijksoverheid (2015).

CPB (2006) Welvaart en Leefomgeving, een scenariostudie voor Nederland in 2040. Den Haag: Centraal Plan Bureau.

EBN (2013) Focus on Dutch Oil and Gas 2013. Utrecht: Energiebeheer Nederland.

ECN (2009) Developments on the northwest European market for seasonal gas storage: Historical analysis and future projections. ECN-E--09-065. Petten: Energieonderzoek Centrum Nederland.

ECN, PBL, CE Delft (2014) Verzamelde kennisnoties Visie Duurzame Brandstoffenmix. In het kader van de ontwikkeling van een duurzame brandstofvisie voor transport (SER). http://www.energieakkoordser.nl/nieuws/brandstofvisie.aspx#

EZ en IenM (2011) Gasopslag Bergermeer: Nota van antwoord Zienswijzen op de ontwerpbesluiten. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

EZ (2015) Instemming gewijzigd winningsplan Groningenveld. ETM/EM /13208000. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.

Hekkenberg en Verdonk (2014) Nationale Energieverkenning 2014. ECN-O--14-036. Petten: Energieonderzoek Centrum Nederland.

IEA (2014) Technology Roadmap Energy Storage.
NAM Platform (2015) Aardgas uit het Groningen-gasveld. Geraadpleegd op 17 april 2015, van http://www.namplatform.nl/gaswinning/het-groningen-gasveld.html.

NLOG (2015) Kenmerken van de drie Nederlandse ondergrondse gasopslagen. Geraadpleegd op 21 april 2015, van http://www.nlog.nl/nl/pubs/atlas/doAtlas/geolog/storage/storage.html.

PBL/ECN (2011) Naar een schone economie in 2050: routes verkend. Hoe Nederland klimaatneutraal kan worden. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL/CPB (2013) Welvaart en Leefomgeving. Horizonscan. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

COLOFON

Het rapport **'Verkenning ondergrondse ruimtevraag voor energie'** is opgesteld in het kader van het **Programma Bodem en Ondergrond** door **H+N+S Landschapsarchitecten**, in samenwerking met **Ecofys** en in opdtacht van het **Ministerie van Infrastructuur en Milieu.**

Samenstelling
Jasper Hugtenburg (H+N+S Landschapsarchitecten)
Thomas Winkel (Ecofys)
Wouter Terlouw (Ecofys)
Joppe Veul (H+N+S Landschapsarchitecten)
Peter Veldt (zelfstandig GIS-adviseur)

Supervisie
Nikol Dietz (H+N+S Landschapsarchitecten)
Joop Oude Lohuis (Ecofys)

Opdrachtbegeleiding
Roel Teeuwen (Ministerie van Infrastructuur en Milieu)

Begeleidingsgroep
Douwe Jonkers (Ministerie van Infrastructuur en Milieu)
Anita Bijvoet (Ministerie van Infrastructuur en Milieu)
Frank Stevens van Abbe (Ministerie van Infrastructuur en Milieu)
Dré van den Elzen (Ministerie van Economische Zaken)
Jan Matthijsen (Planbureau voor de Leefomgeving)
Anton van Hoorn (Planbureau voor de Leefomgeving)
Serge van Gessel (TNO)
Jaap Breunese (TNO)

		Binnenlandse productie, opslag potentieel, transportbehoefte Scenario: hernieuwbaar – fossiel met CO_2-opslag[20]				
		2015	**2023**	**2030**	**2040[21]**	**2050**
Binnenlandse productie	Aardgaswinning (conventioneel, mld. m^3/jaar)[22]	65	62	22	14	14 (2040)[23]
	Schaliegas (200 variant, 500 variant, mld. m^3/jaar)	0	0	0-3 – 0-17	0-3,15 – 0-12	0-3,3 – 0-7,5
	Aardolie (PJ/jaar, primair)	187	138	126	115	103
	Diepe geothermie (warmte, PJ/jaar, primair)	4	10	15 – 10	52 – 33	89 – 55
	Bodemenergie[24] (warmte/koude, PJ/jaar, primair)	9	16	30 – 21	101 – 73	172 –125
Opslag	CO_2 opslag (behoefte, mld. m^3/jaar)	0	0-8	21 – 23	11 – 25	0,6 – 27
	CO_2 opslag (behoefte, Mton/jaar)	0	0 –15	38 – 42	20 – 45	1 – 48
	Gasopslag (PJ/jaar, primair)	60 – 95	70 –110	70 – 125	73 – 128	75 – 130
	Waterstof opslag (PJ/jaar, primair)	0	0	Onbekend	Onbekend	Onbekend
	Olie (reserve in dagen)	90 dagen[26]	90 dagen	90 dagen	90 dagen	90 dagen
	Perslucht (PJ/jaar, primair)	0	0	Onbekend	Onbekend	Onbekend
Transport	Warmtenetten (% van de totale warmtevraag)	5%	6%	7%	9%	10%
	Gasnetwerk	Landelijk dekkend (5.330 km landelijk, 5.926 km regionaal)				Hoge landelijke dekking (uitz.: energie neutrale wijken)

BIJLAGE I

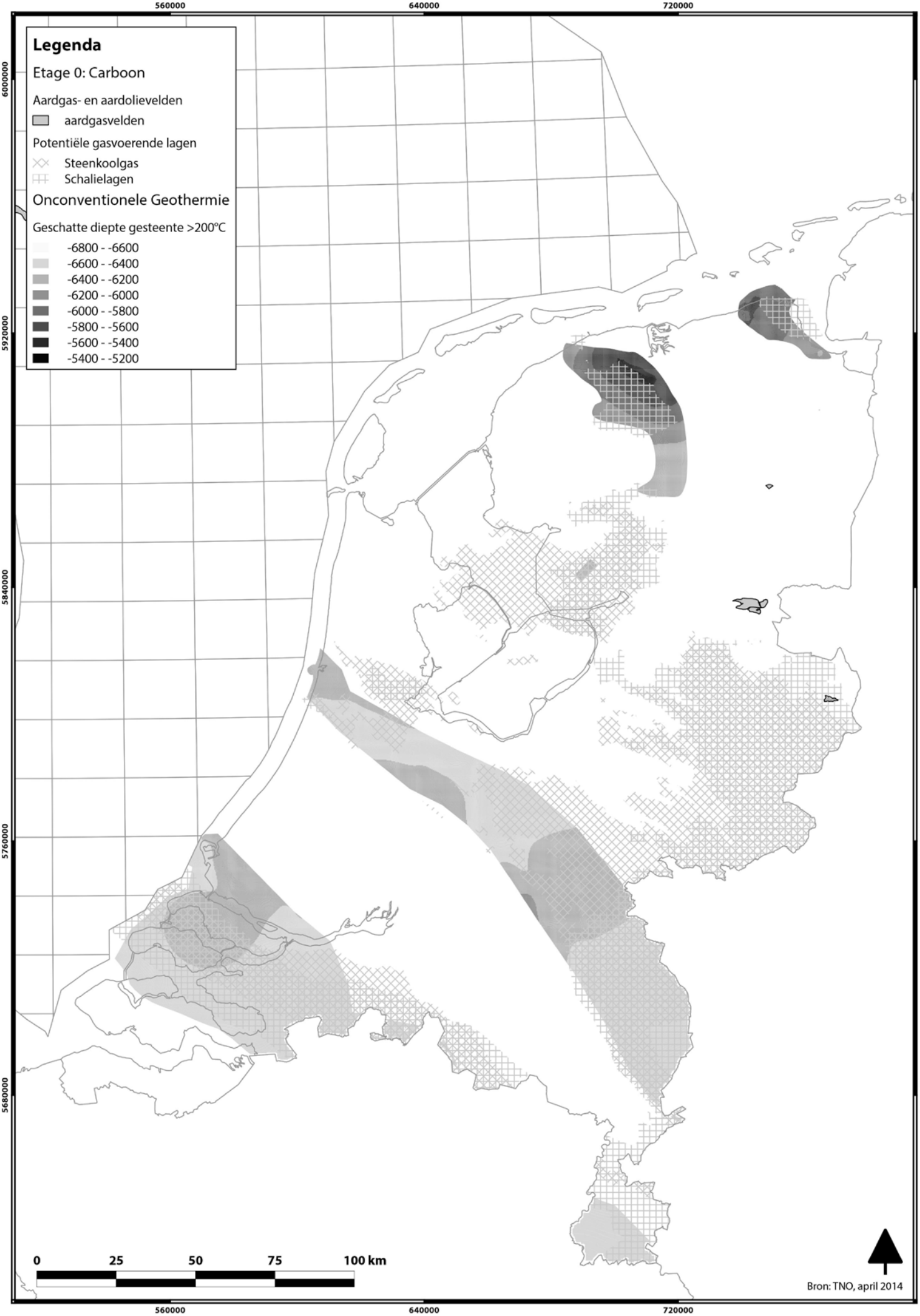
Overzichtstabel: energie en ondergrond

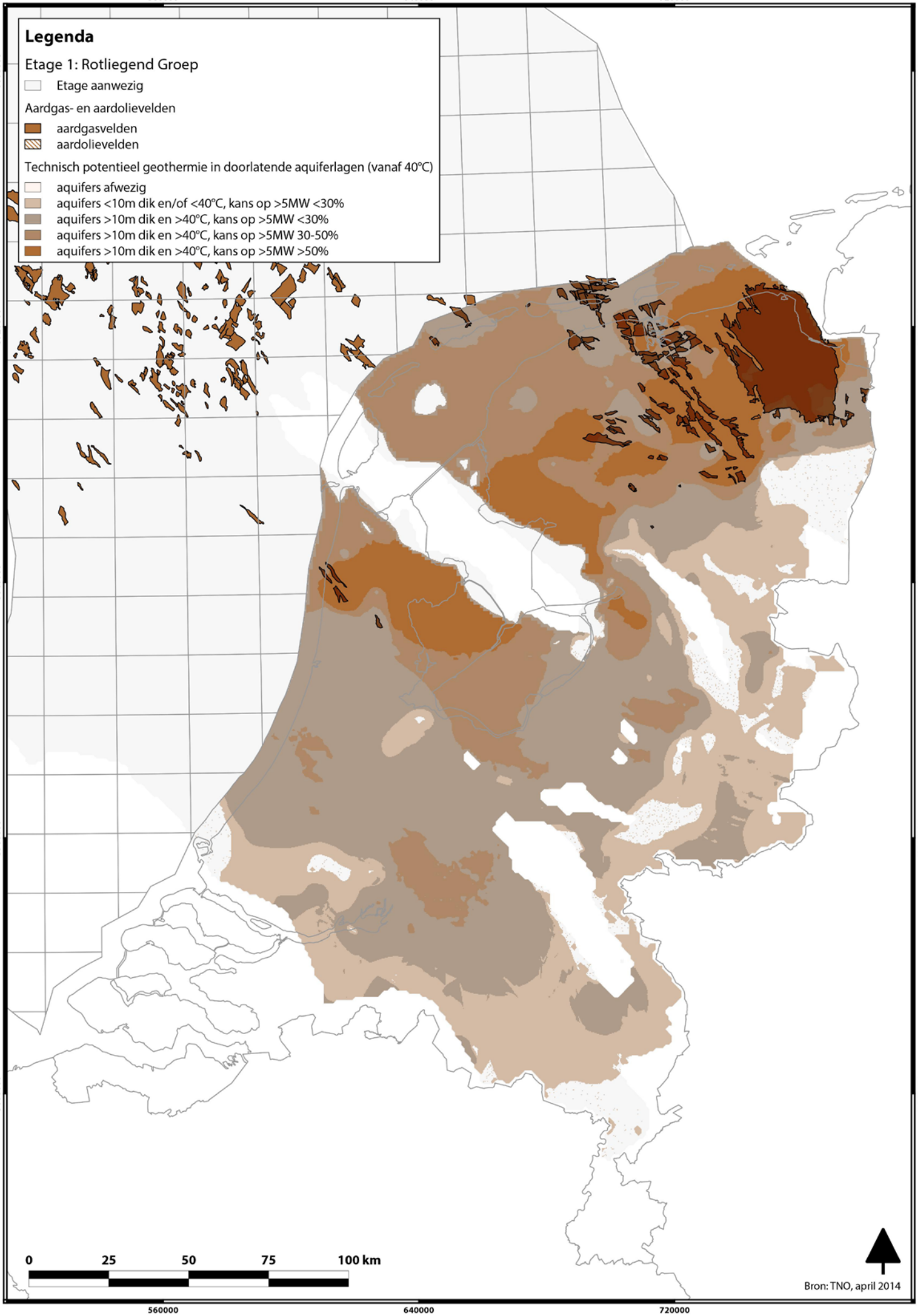
Beschikbaarheid NL ondergrond (potentieel)	Regio (concentratie)	Ondergrondse diepte voor productie/winning	Volume / ruimtegebruik (indicatoren)
35.000 PJ (technisch potentieel)	Noordzee, Noord-Oost Nederland	2-4,5km	35,17 MJ/Nm^3 (standaard m^3 Groningen gas equivalent)
200-500 PJ (technisch potentieel)	Zuidelijke helft van Nederland	1,5-5km (3-4km meest voorkomend)	35,17 MJ/Nm^3 (standaard m^3 Groningen gas equivalent)
1.700 PJ (technisch potentieel)	Noord-Oost Nederland (Schoonebeek), Zuid-Holland, Noordzee	2-4,5km	~ 38 GJ/Sm^3 (standaard m^3 ruwe olie)
25-100 PJ/jaar (technisch potentieel)	In de buurt van warmteafnemers (bestaande warmtenetten, glastuinbouw), hoog potentieel op meerdere plekken in Noord en West Nederland	1-4/5km (>4 km onconventionele geothermie)	Locatie afhankelijk: 0-1000 MJ/m^2 per jaar.
200-300 PJ/jaar (technisch potentieel)	Hele land (niet regio gebonden)	Enkele meters -50m (open); tot 200m (gesloten) (tot 500m hoge temp. opslag)	Locatieafhankelijk
11 mld. m^3/jaar op land, 13 mld. m^3/jaar op zee, 24 mld. m^3/jaar totaal (economisch potentieel) [25]	Noordzee, in de buurt van (CO_2 puntbronnen als Vlissingen, Rotterdam, Amsterdam/IJmuiden, Eemshaven), technisch mogelijk op land in lege (grotere) aardgasvelden	2-3/4km	556 m^3/tonCO_2
20 Mton/jaar op land, 24 Mton/jaar op zee, 44 Mton/jaar totaal (econ. potentieel)	Noordzee, in de buurt van (CO_2 puntbronnen als Vlissingen, Rotterdam, Amsterdam/IJmuiden, Eemshaven), technisch mogelijk op land in lege (grotere) aardgasvelden	2-3/4km	556 m^3/tonCO_2
Onbekend	Lege gasvelden (kleine velden), zoutcavernes	1-1,5/2km (100-500m zout cavernes)	35,17 MJ/Nm^3 (standaard m3 Groningen gas equivalent)
Onbekend	Lege gasvelden (kleine velden), zoutcavernes	1-1,5/2km (100-500m zoutcavernes)	Locatieafhankelijk
n.v.t	Bovengrondse terminals in NL en buiteland. Nu: cavernes in Noord-Duitsland. Toekomst mogelijk cavernes in NL.	100-500m zoutcavernes	~ 38 GJ/Sm^3 (standaard m^3 ruwe olie)
Onbekend	Zoutcavernes	100-500m zoutcavernes	Locatieafhankelijk
N.v.t	N.v.t.	Enkele meters diep	N.v.t.
N.v.t.	N.v.t.	Enkele meters diep	N.v.t.

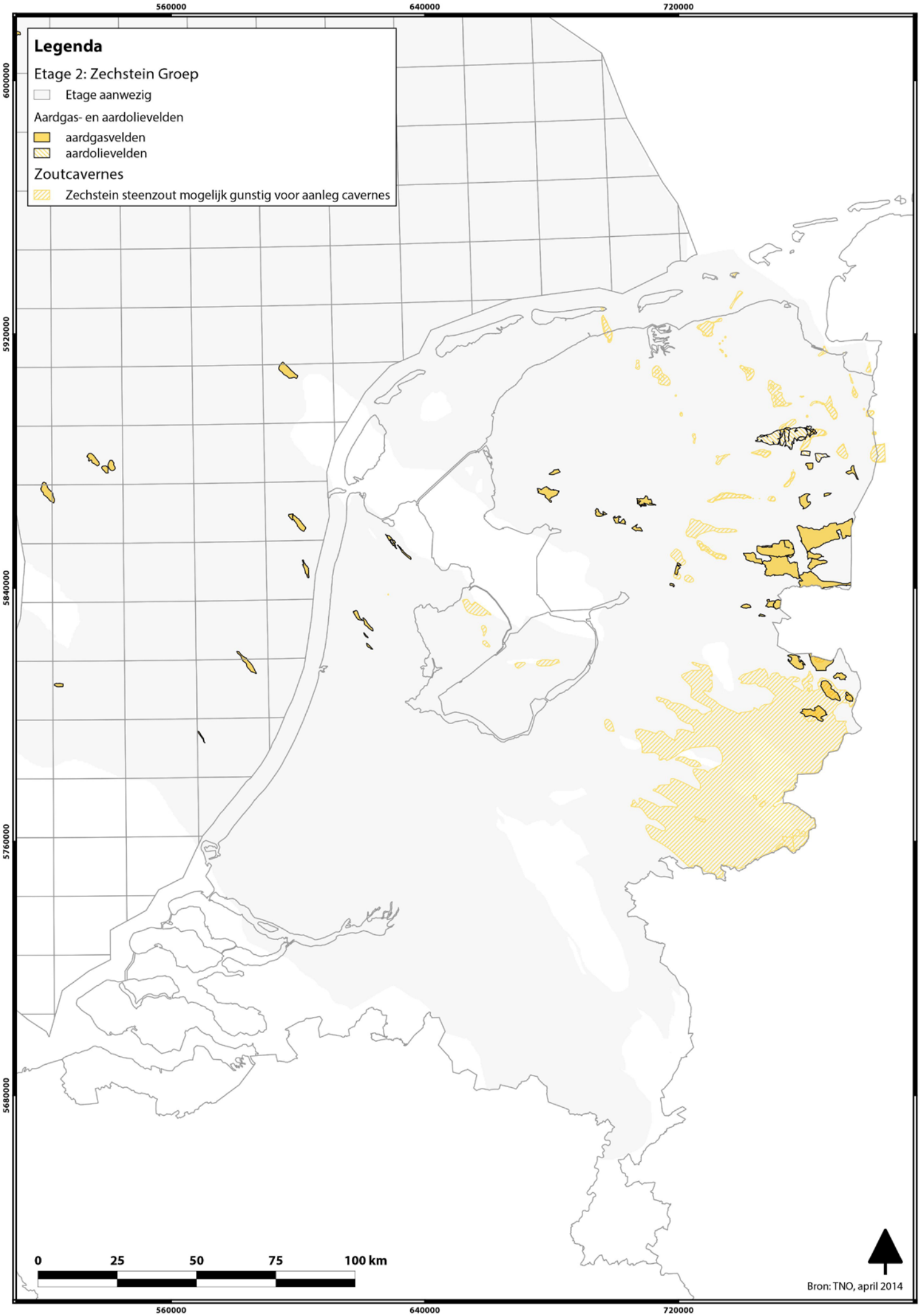
[20] Scenario's van de Nederlandse energiehuishouding, zoals samengesteld door Ecofys voor deze opdracht.
[21] De getallen voor 2040 betreffen interpolaties tussen 2030 en 2050 en zijn op verzoek van het ministerie in de tabel opgemomen. De scenario's geven uitkomsten voor de jaren 2023, 2030 en 2050.
[22] Verwachting van eind 2014. Moet nog worden aangepast aan beslissing van minister Kamp voor het verlagen van de gasproductie uit Groningen.
[23] Dit getal geldt voor het jaar 2040. Voor 2050 zijn er door EBN geen prognoses gedaan.
[24] N.B. bodemenergie wordt volgens de EU definities aangemerkt als hernieuwbare energiebron (en niet als opslag).
[25] Dit betreffen geschatte totale opslagcapaciteiten voor CO_2, verdeeld over een periode van 50 jaar (bron: PBL Routes Verkend).
[26] Strategische olievoorraad, volgens verplichting IEA uit 2011: 4.500.000 ton ruwe olie-equivalent (~90 dagen).

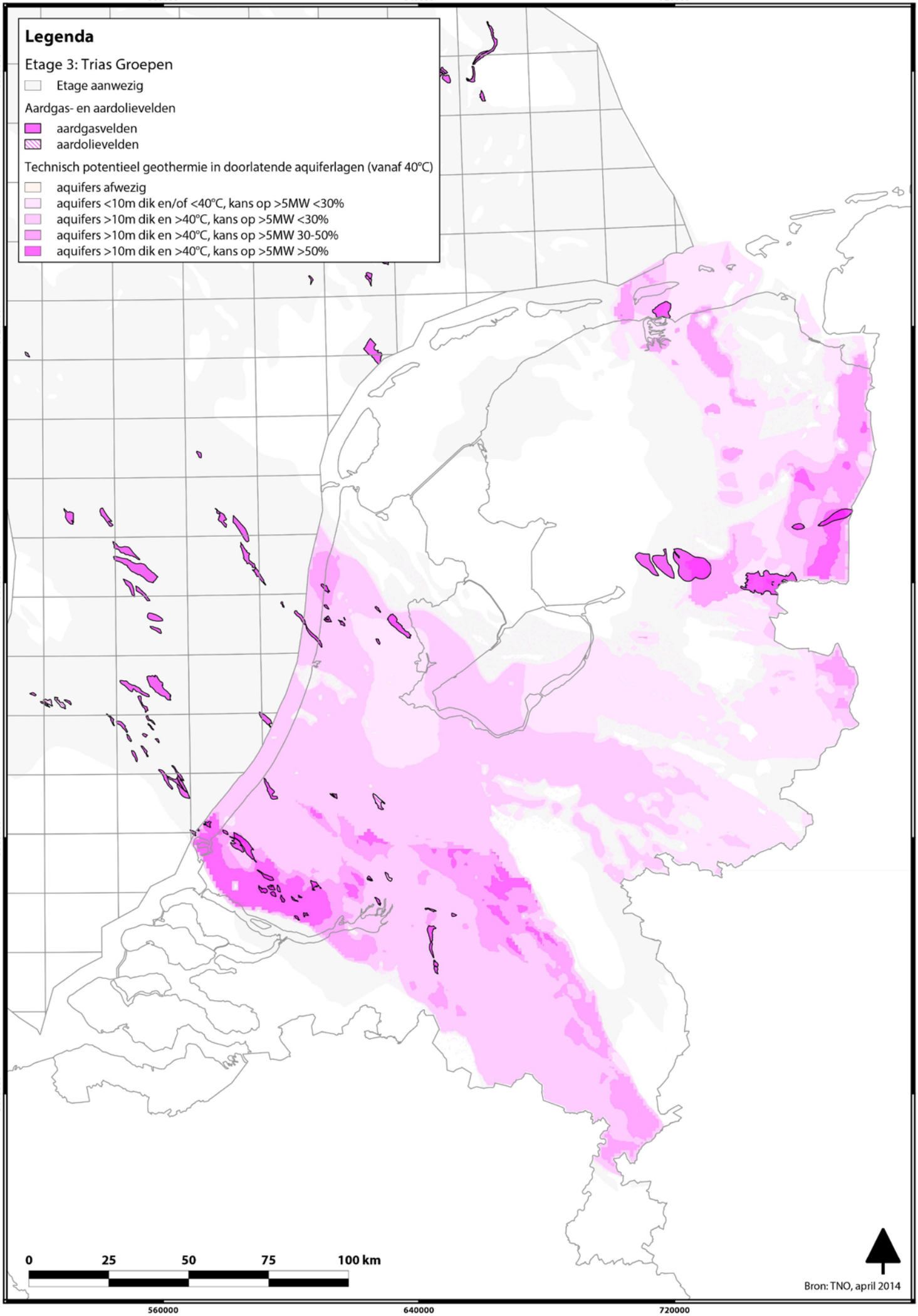
BIJLAGE II

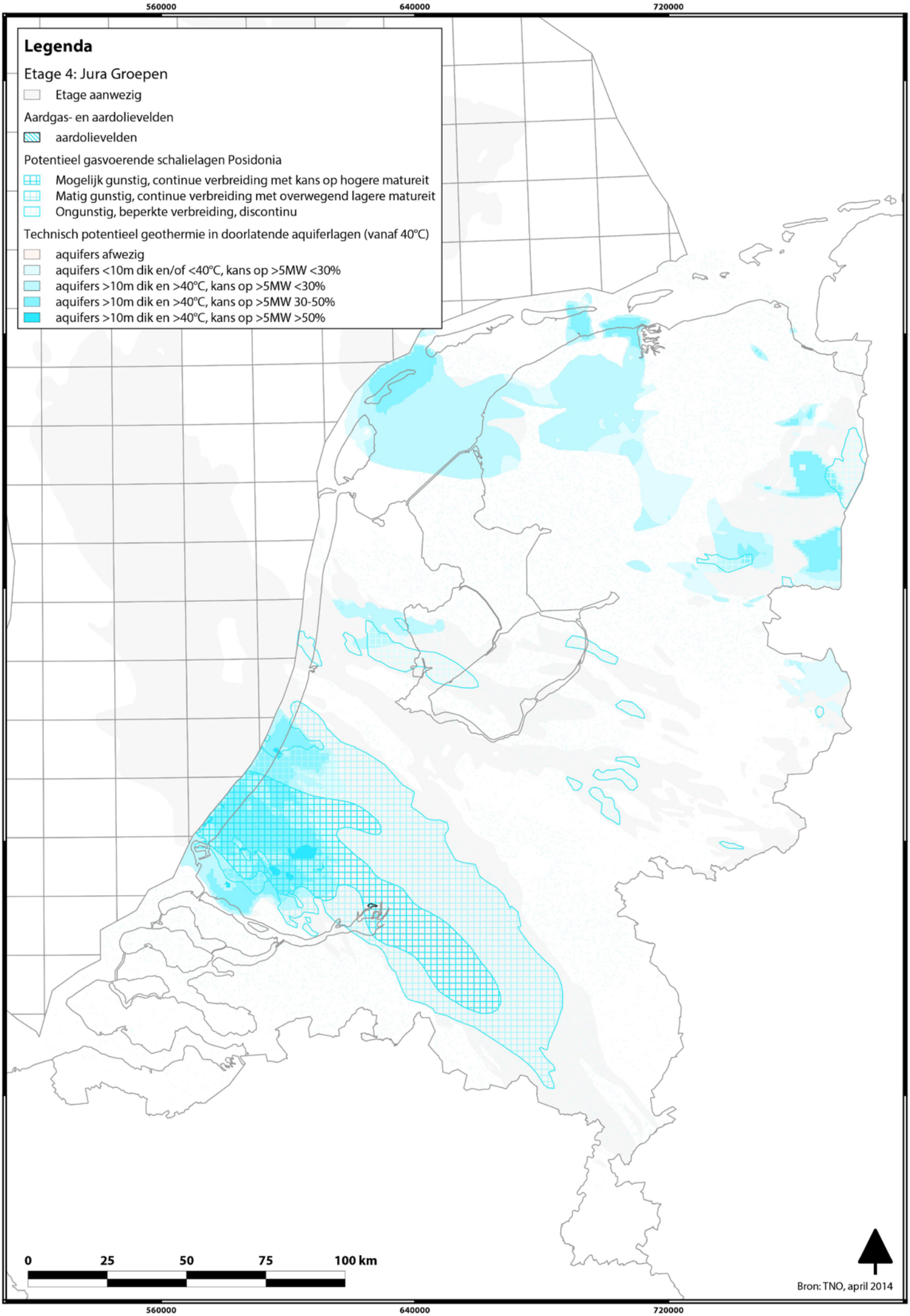
Kaartenserie ondergrond

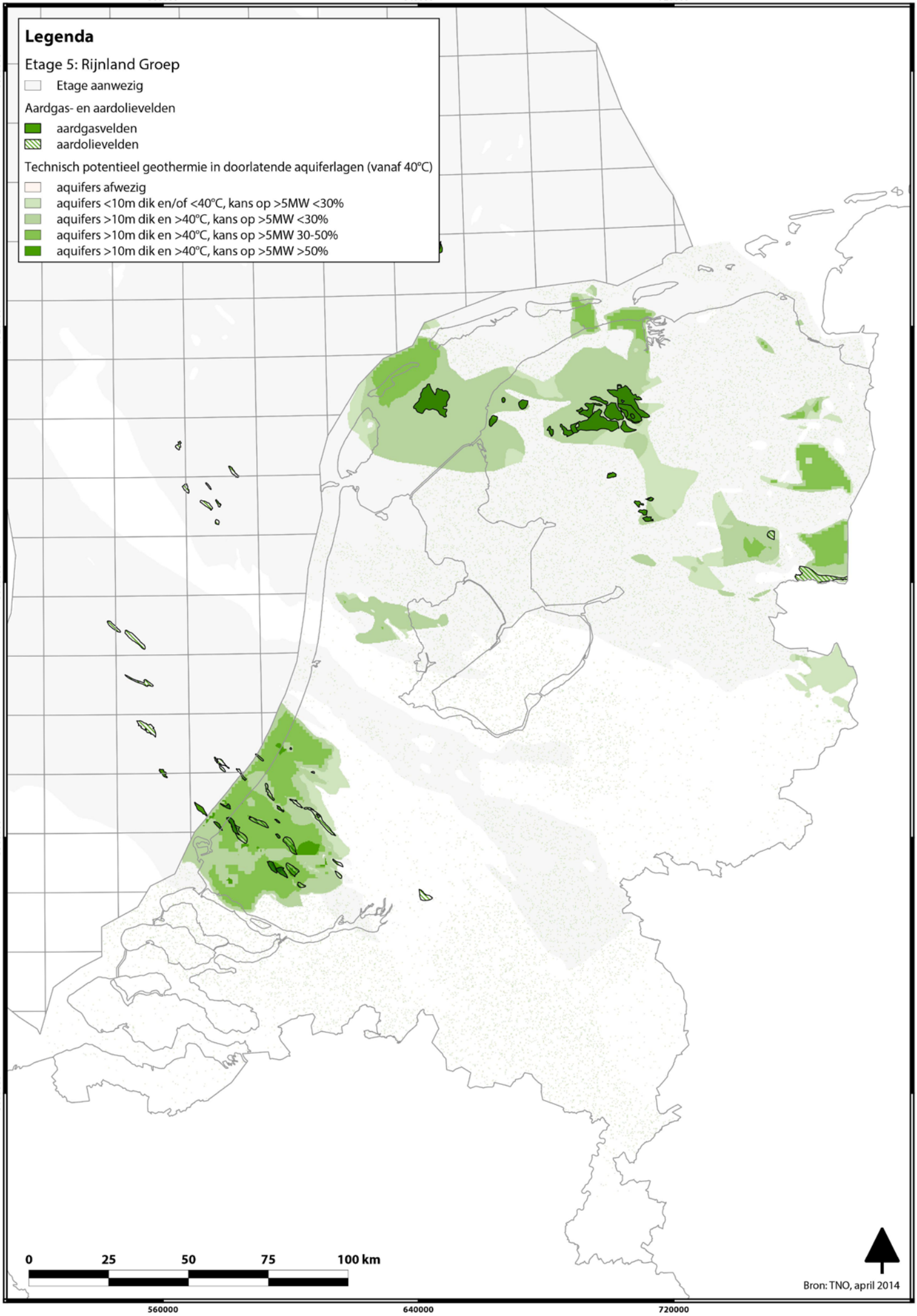

560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
Legenda
Etage 0: Carboon
Aardgas- en aardolievelden
aardgasvelden
Potentiële gasvoerende lagen
Steenkoolgas
Schalielagen
Onconventionele Geothermie
Geschatte diepte gesteente >200°C
-6800 - -6600
-6600 - -6400
-6400 - -6200
-6200 - -6000
-6000 - -5800
-5800 - -5600
-5600 - -5400
-5400 - -5200
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, april 2014

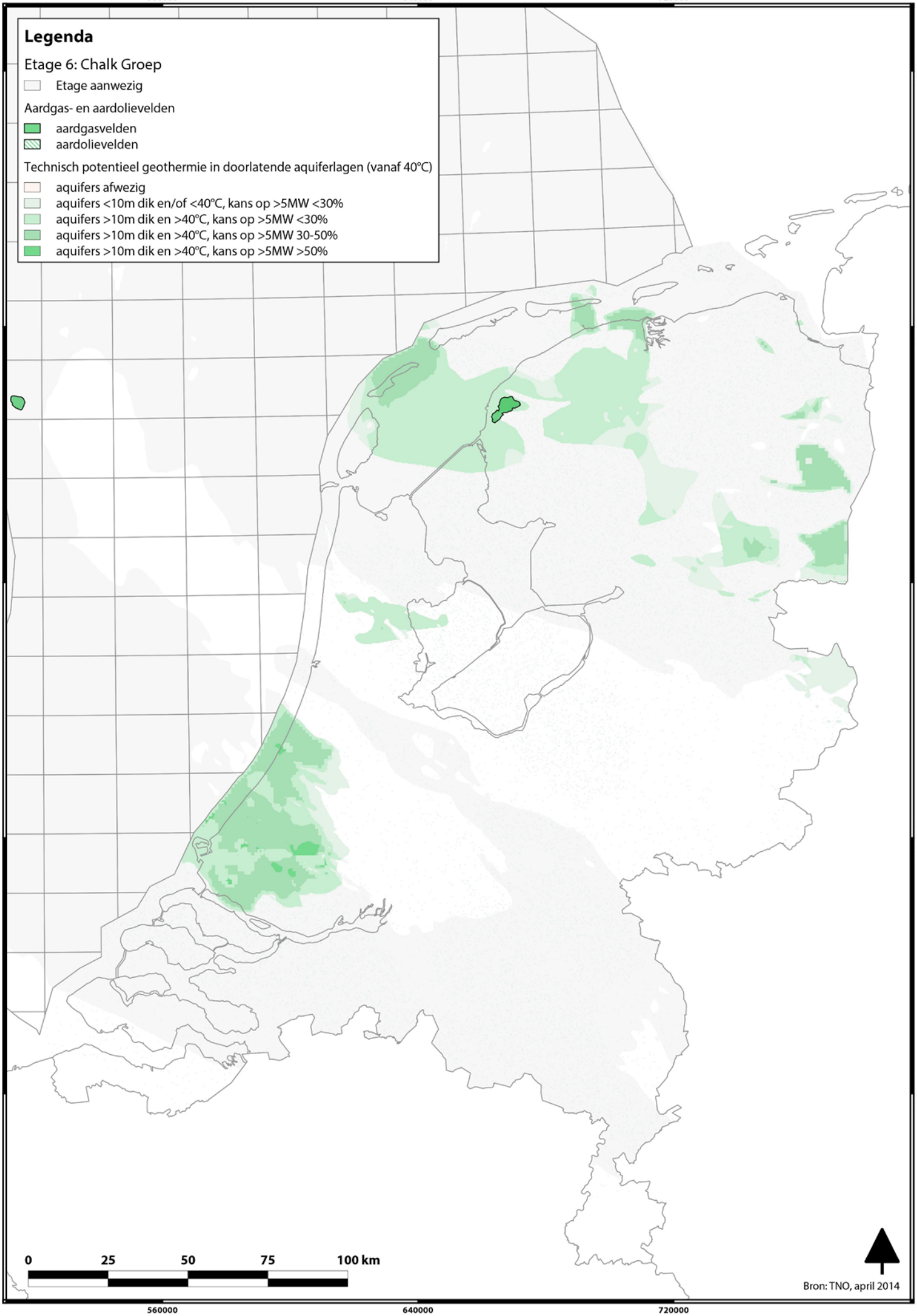

560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
Legenda
Etage 1: Rotliegend Groep
Etage aanwezig
Aardgas- en aardolievelden
aardgasvelden
aardolievelden
Technisch potentieel geothermie in doorlatende aquiferlagen (vanaf 40°C)
aquifers afwezig
aquifers <10m dik en/of <40°C, kans op >5MW <30%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW <30%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW 30-50%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW >50%
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, april 2014

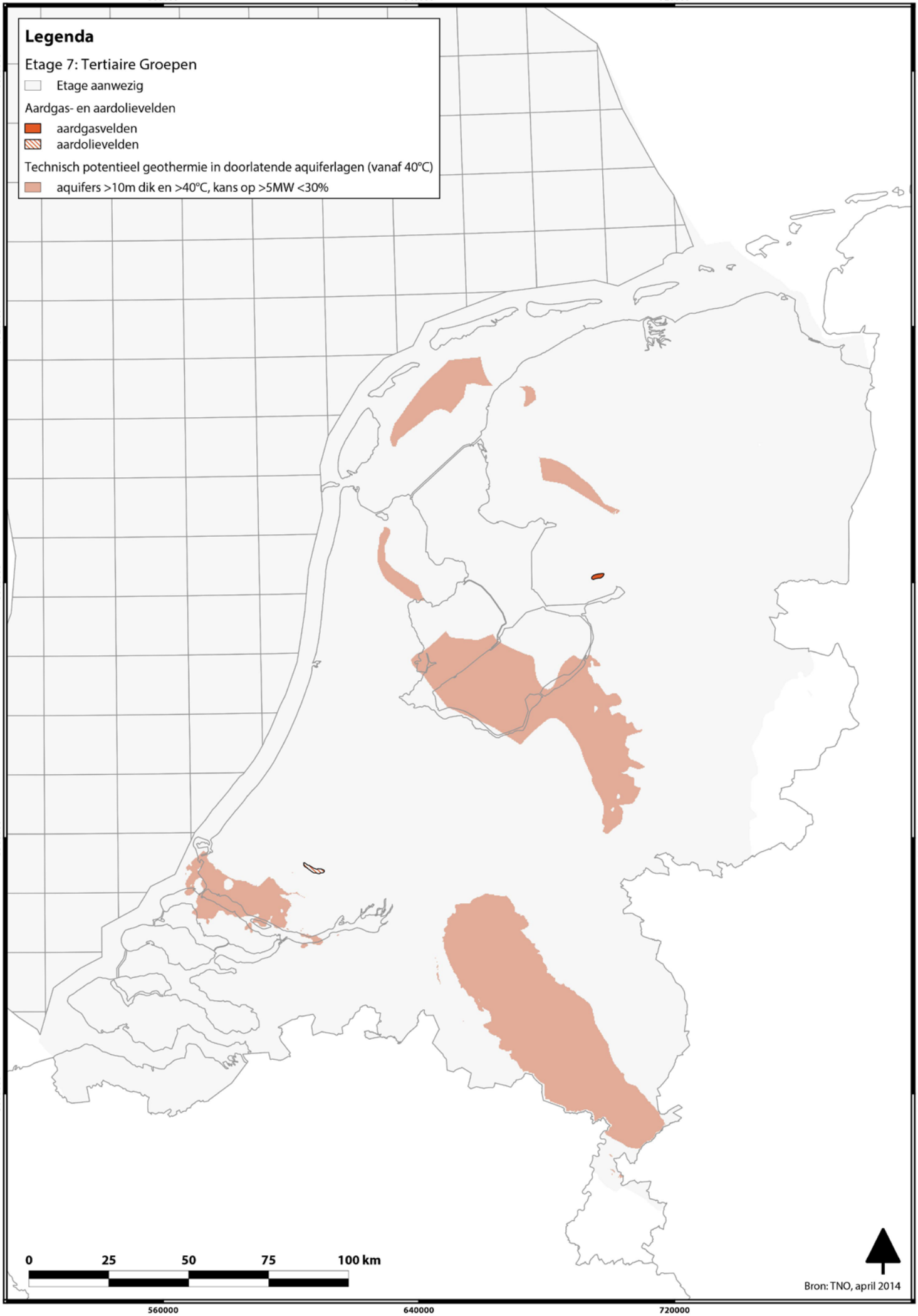

Legenda
Etage 2: Zechstein Groep
Etage aanwezig
Aardgas- en aardolievelden
aardgasvelden
aardolievelden
Zoutcavernes
Zechstein steenzout mogelijk gunstig voor aanleg cavernes
560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, april 2014

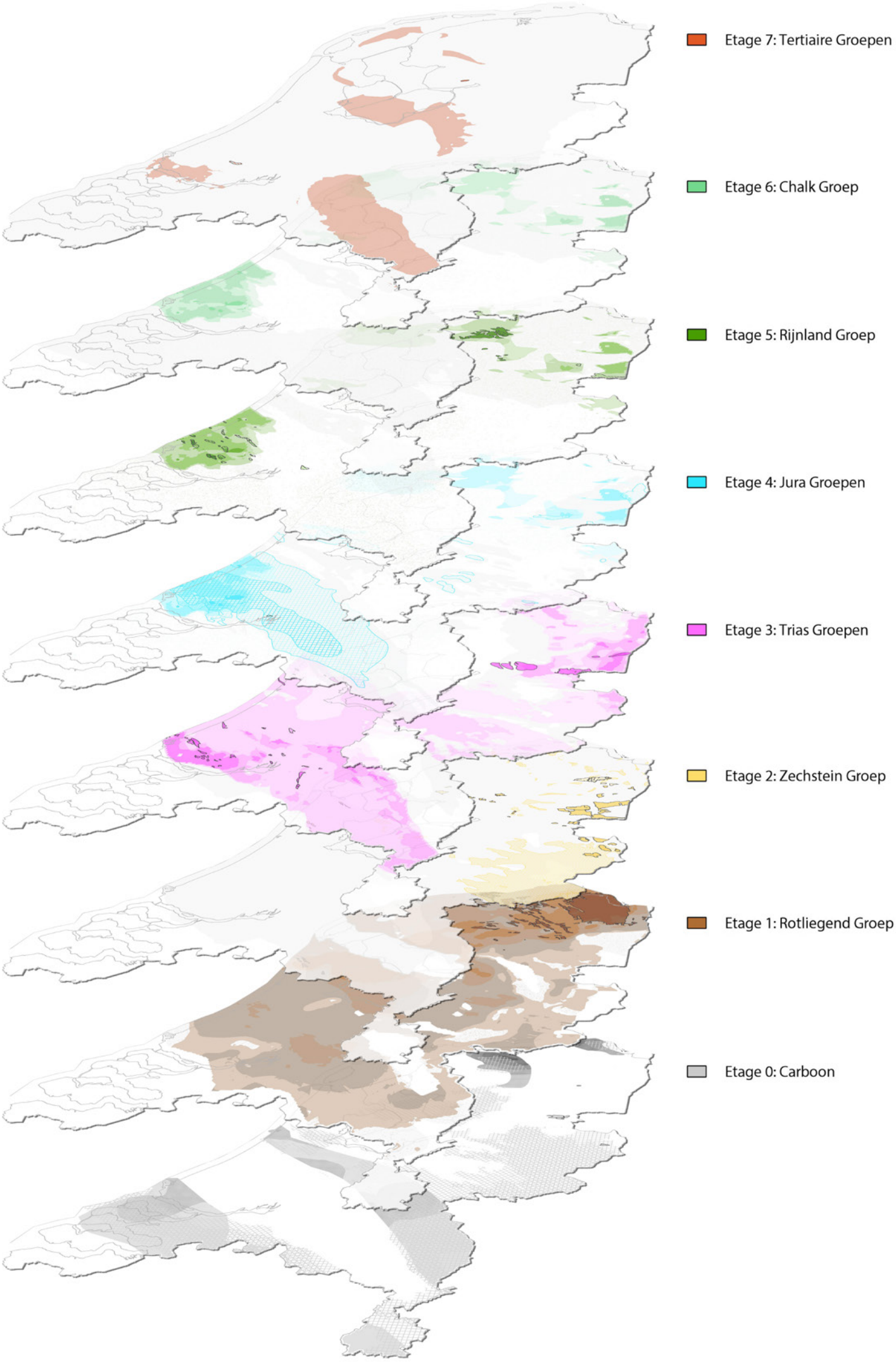

Legenda
Etage 3: Trias Groepen
Etage aanwezig
Aardgas- en aardolievelden
aardgasvelden
aardolievelden
Technisch potentieel geothermie in doorlatende aquiferlagen (vanaf 40°C)
aquifers afwezig
aquifers <10m dik en/of <40°C, kans op >5MW <30%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW <30%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW 30-50%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW >50%
560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, april 2014


560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
Legenda
Etage 4: Jura Groepen
Etage aanwezig
Aardgas- en aardolievelden
aardolievelden
Potentieel gasvoerende schalielagen Posidonia
Mogelijk gunstig, continue verbreiding met kans op hogere matureit
Matig gunstig, continue verbreiding met overwegend lagere matureit
Ongunstig, beperkte verbreiding, discontinu
Technisch potentieel geothermie in doorlatende aquiferlagen (vanaf 40°C)
aquifers afwezig
aquifers <10m dik en/of <40°C, kans op >5MW <30%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW <30%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW 30-50%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW >50%
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, april 2014


Legenda
Etage 5: Rijnland Groep
Etage aanwezig
Aardgas- en aardolievelden
aardgasvelden
aardolievelden
Technisch potentieel geothermie in doorlatende aquiferlagen (vanaf 40°C)
aquifers afwezig
aquifers <10m dik en/of <40°C, kans op >5MW <30%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW <30%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW 30-50%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW >50%
560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, april 2014


Legenda
Etage 6: Chalk Groep
Etage aanwezig
Aardgas- en aardolievelden
aardgasvelden
aardolievelden
Technisch potentieel geothermie in doorlatende aquiferlagen (vanaf 40°C)
aquifers afwezig
aquifers <10m dik en/of <40°C, kans op >5MW <30%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW <30%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW 30-50%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW >50%
560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, april 2014


560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
Legenda
Etage 7: Tertiaire Groepen
Etage aanwezig
Aardgas- en aardolievelden
aardgasvelden
aardolievelden
Technisch potentieel geothermie in doorlatende aquiferlagen (vanaf 40°C)
aquifers >10m dik en >40°C, kans op >5MW <30%
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, april 2014

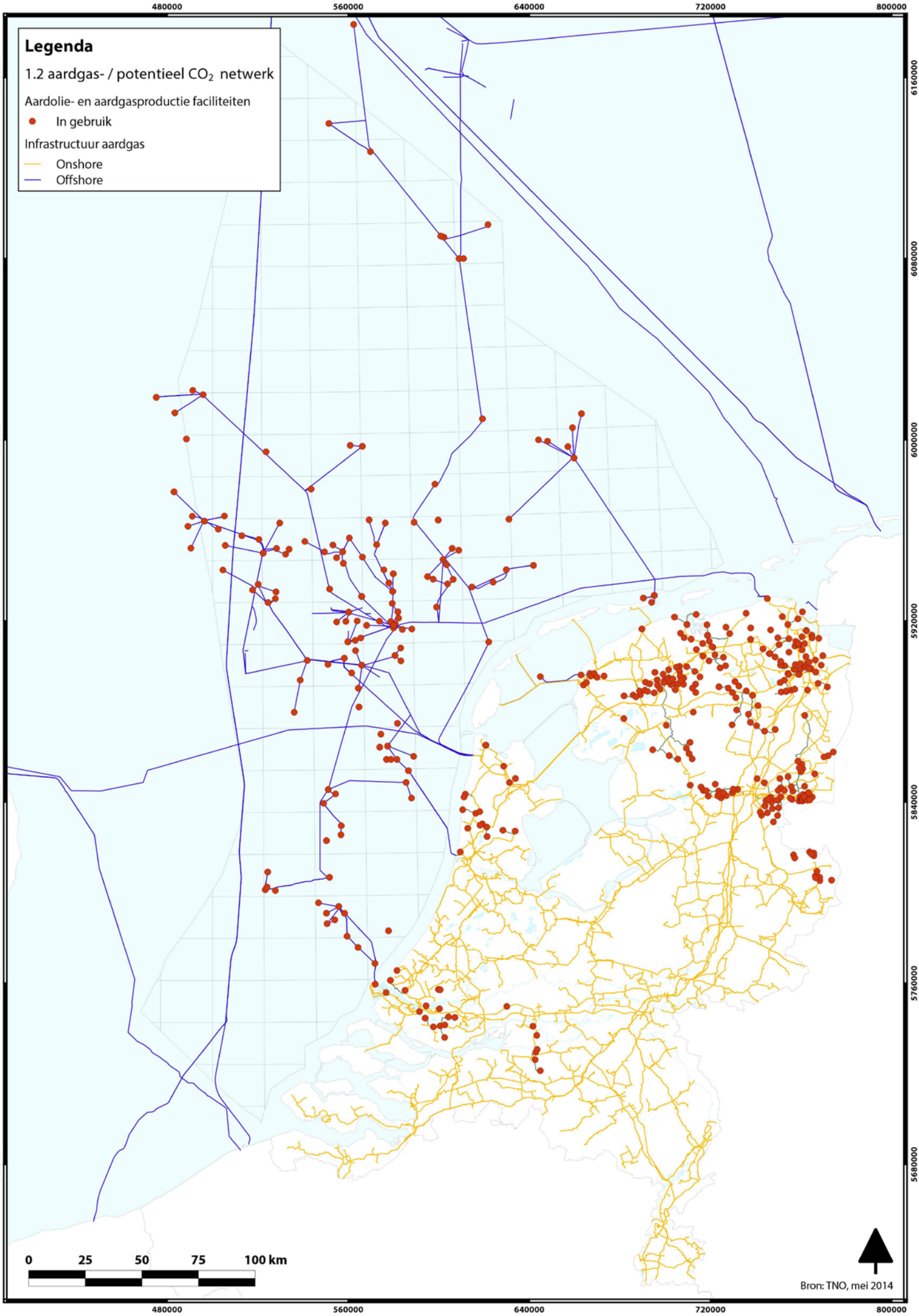

Etage 7: Tertiaire Groepen
Etage 6: Chalk Groep
Etage 5: Rijnland Groep
Etage 4: Jura Groepen
Etage 3: Trias Groepen
Etage 2: Zechstein Groep
Etage 1: Rotliegend Groep
Etage 0: Carboon

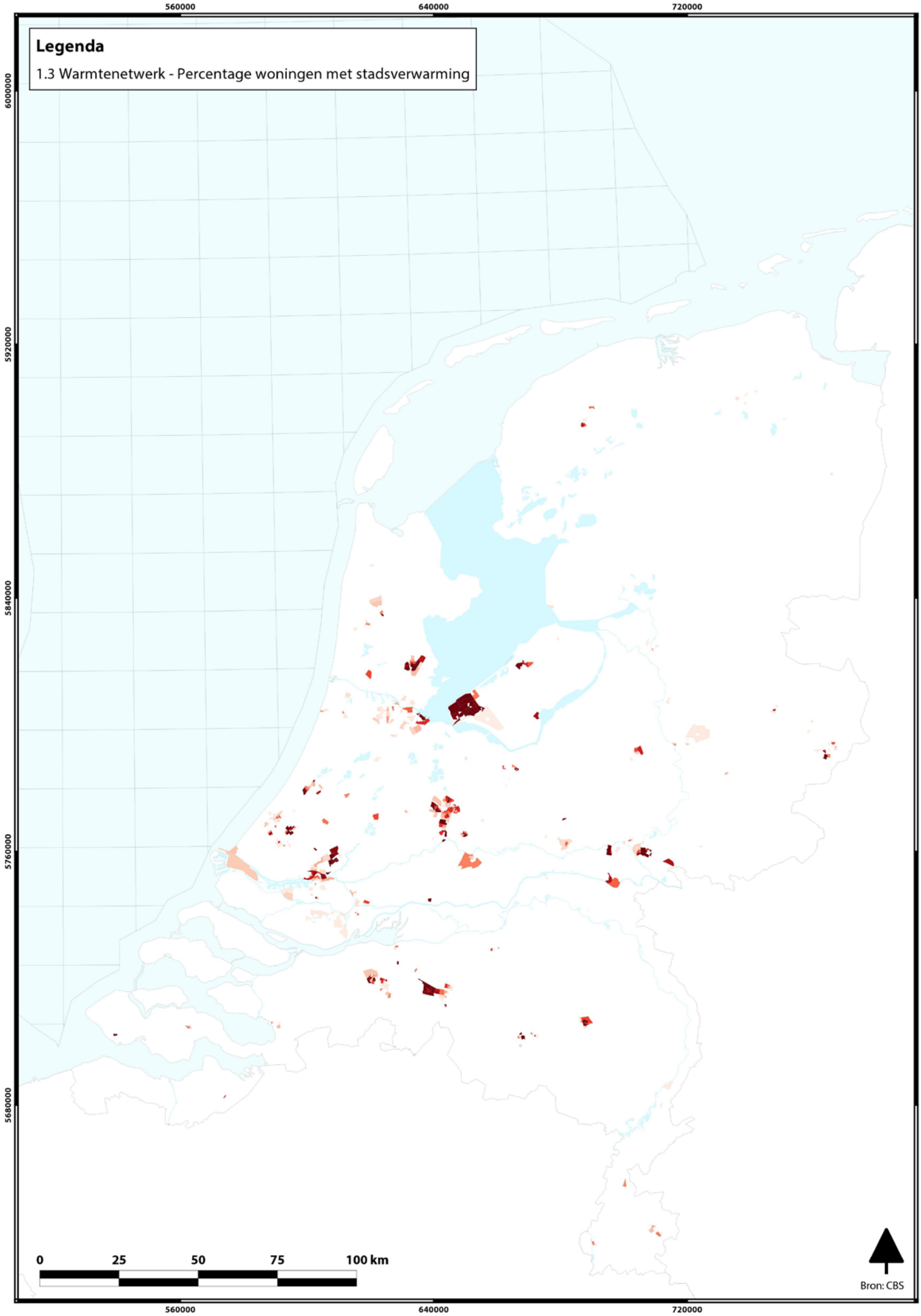
BIJLAGE III

Kaartenserie energie

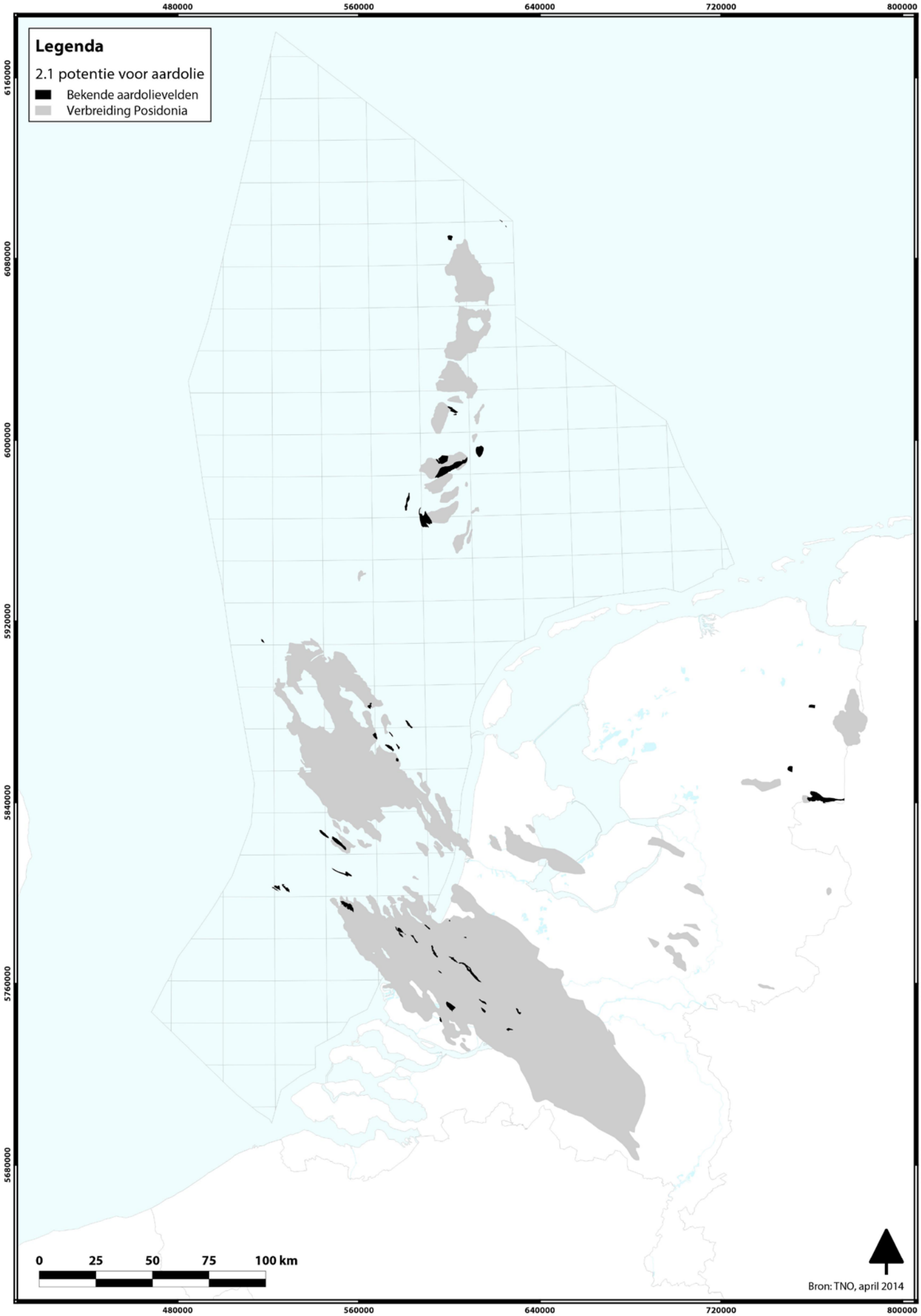
I ENERGIENETWERK

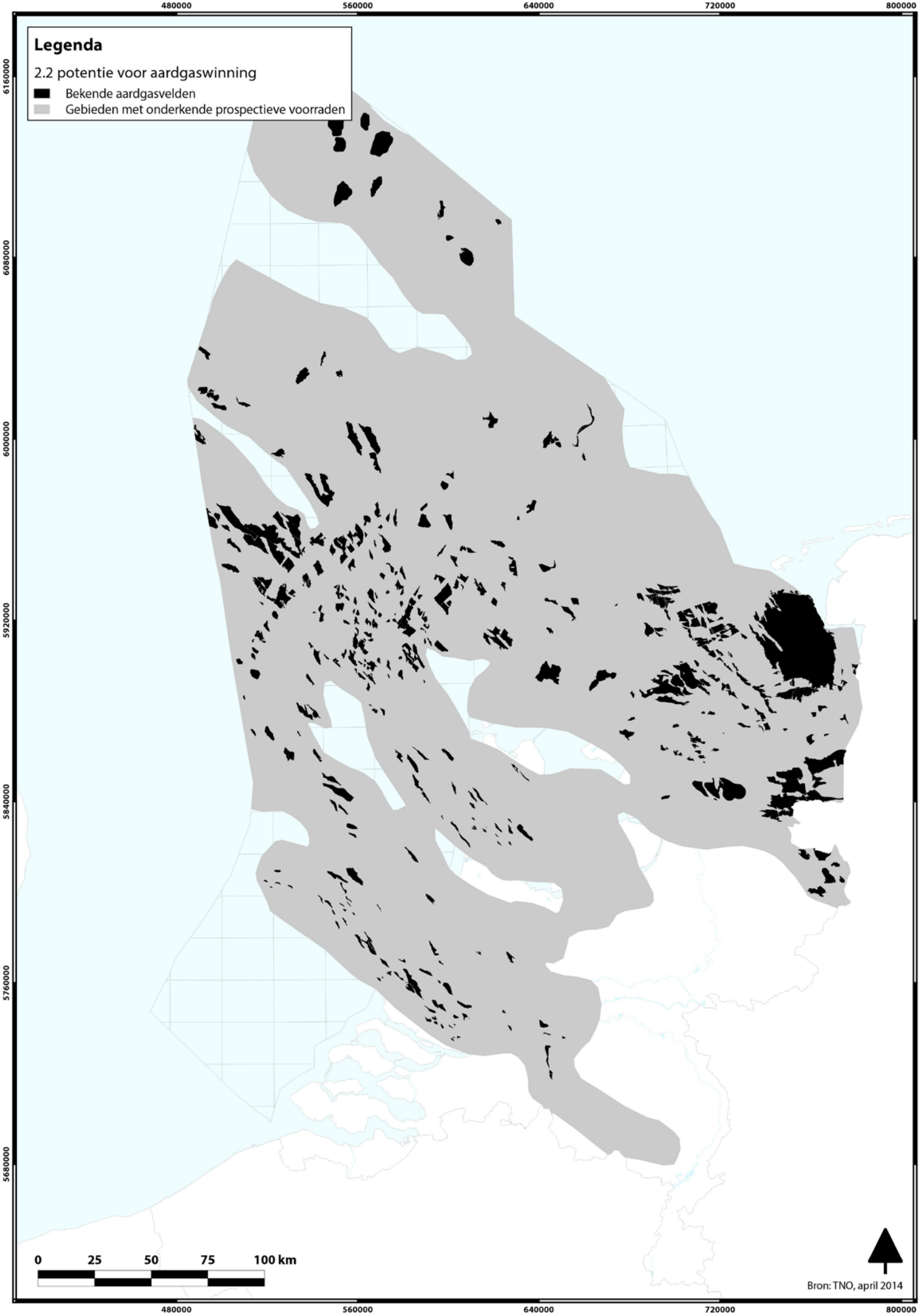
Legenda
1.1 elektriciteitsnetwerk
Netkaart
110
150
220
380
450
560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TenneT

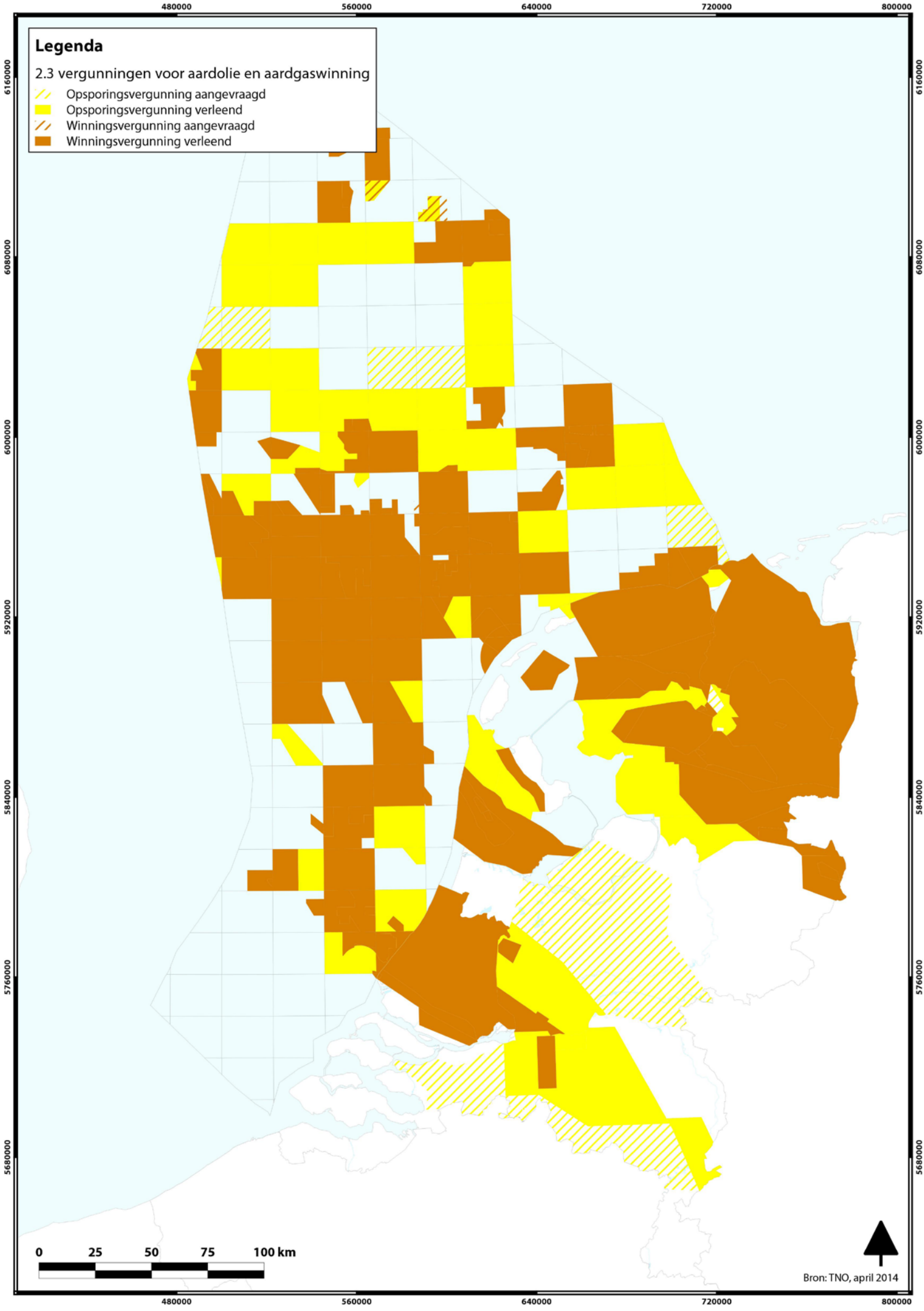

Legenda
1.2 aardgas- / potentieel CO_2 netwerk
Aardolie- en aardgasproductie faciliteiten
In gebruik
Infrastructuur aardgas
Onshore
Offshore
480000
560000
640000
720000
800000
6160000
6080000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, mei 2014

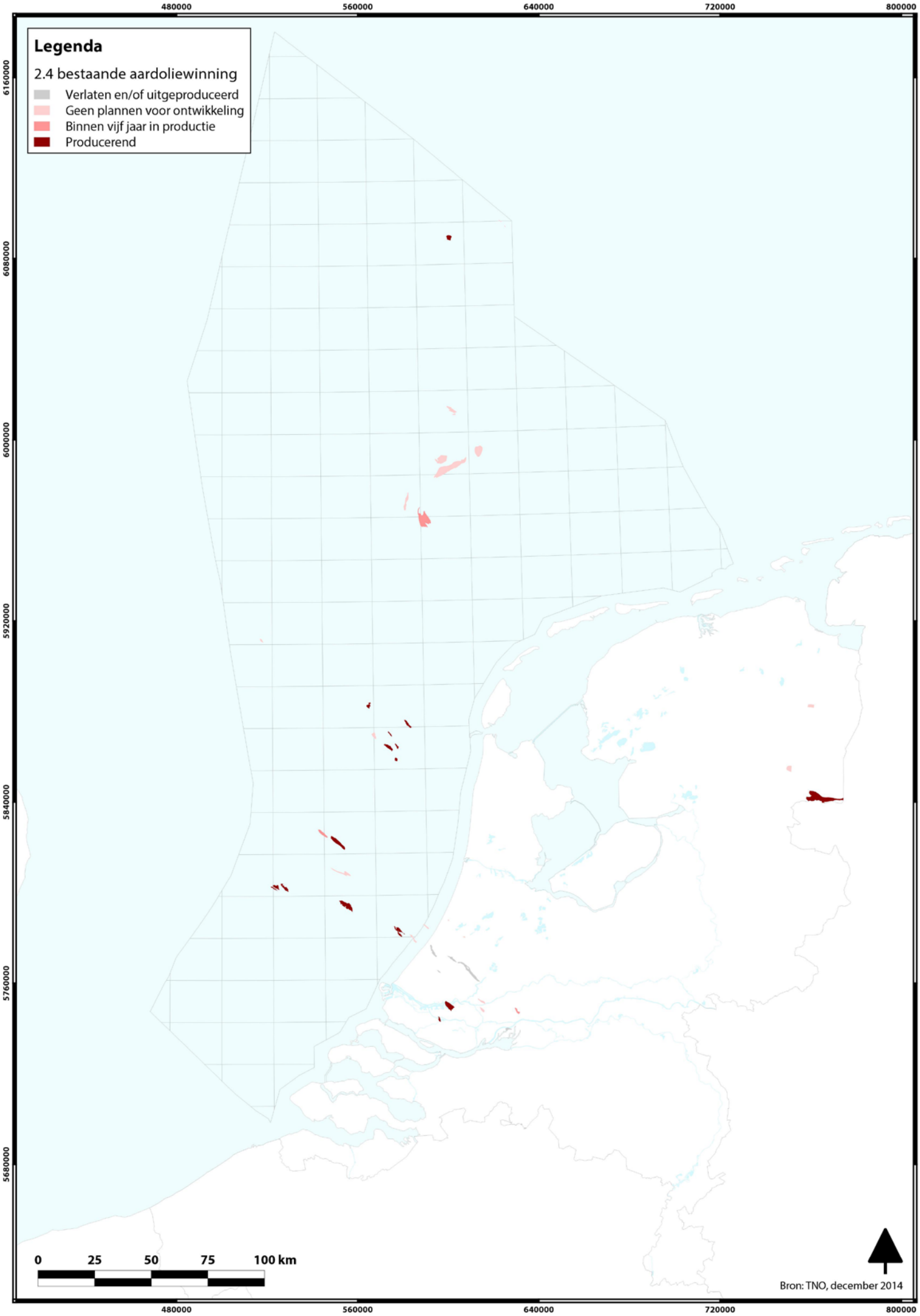

Legenda
1.3 Warmtenetwerk - Percentage woningen met stadsverwarming
560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: CBS

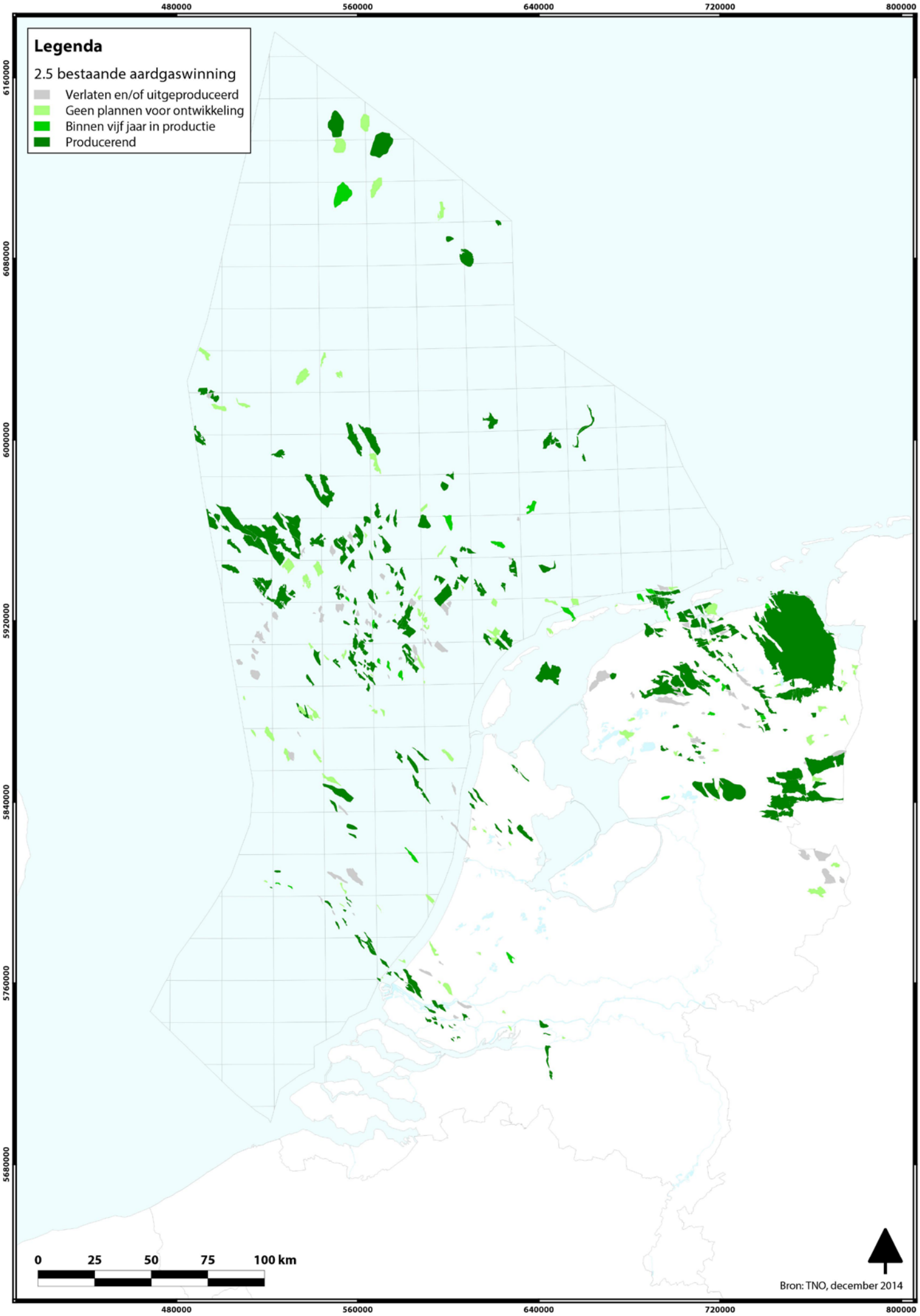
2 ENERGIEPOTENTIE FOSSIEL


Legenda
2.1 potentie voor aardolie
Bekende aardolievelden
Verbreiding Posidonia
480000
560000
640000
720000
800000
6160000
6080000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, april 2014

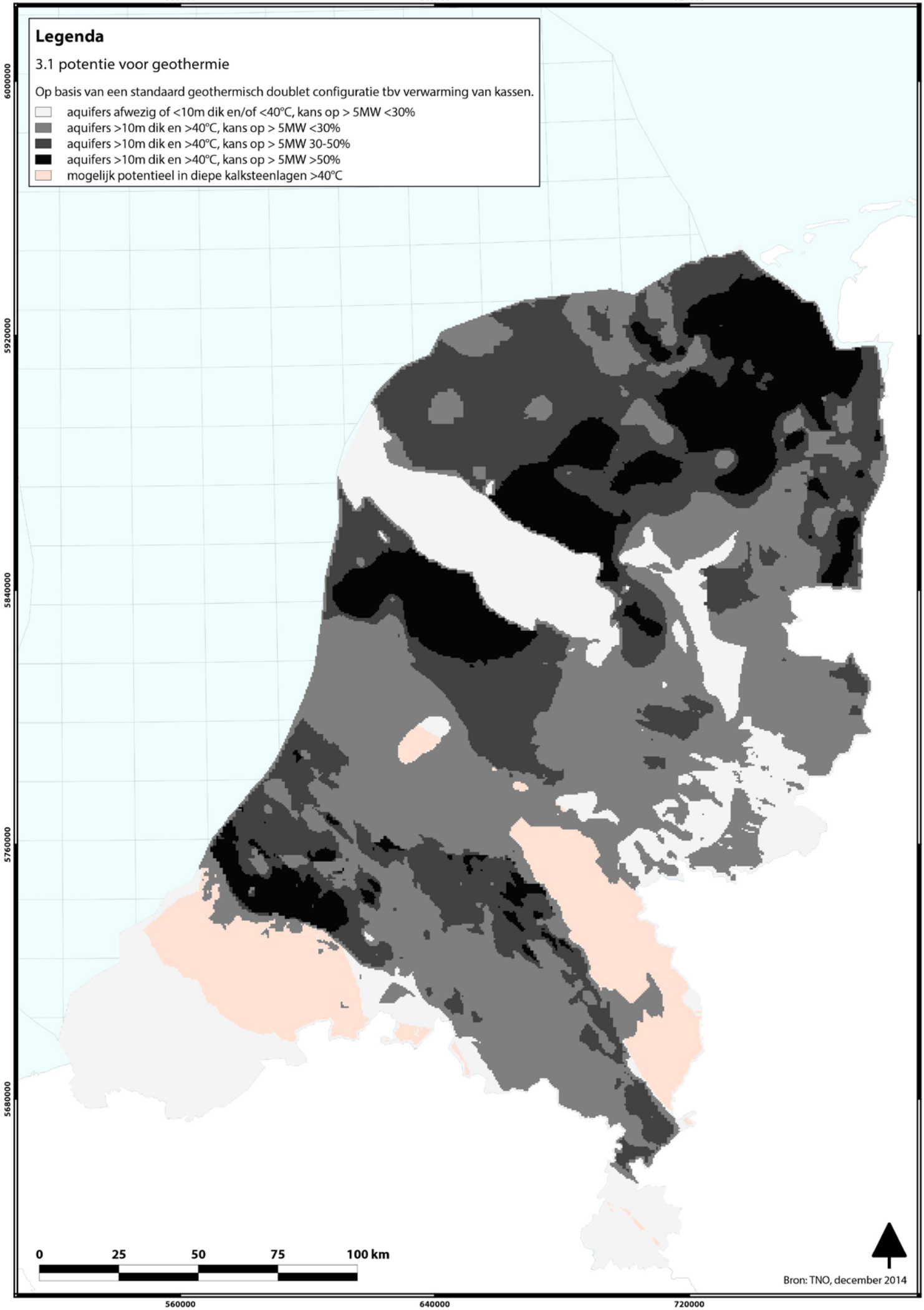

Legenda
2.2 potentie voor aardgaswinning
Bekende aardgasvelden
Gebieden met onderkende prospectieve voorraden
480000
560000
640000
720000
800000
6160000
6080000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, april 2014

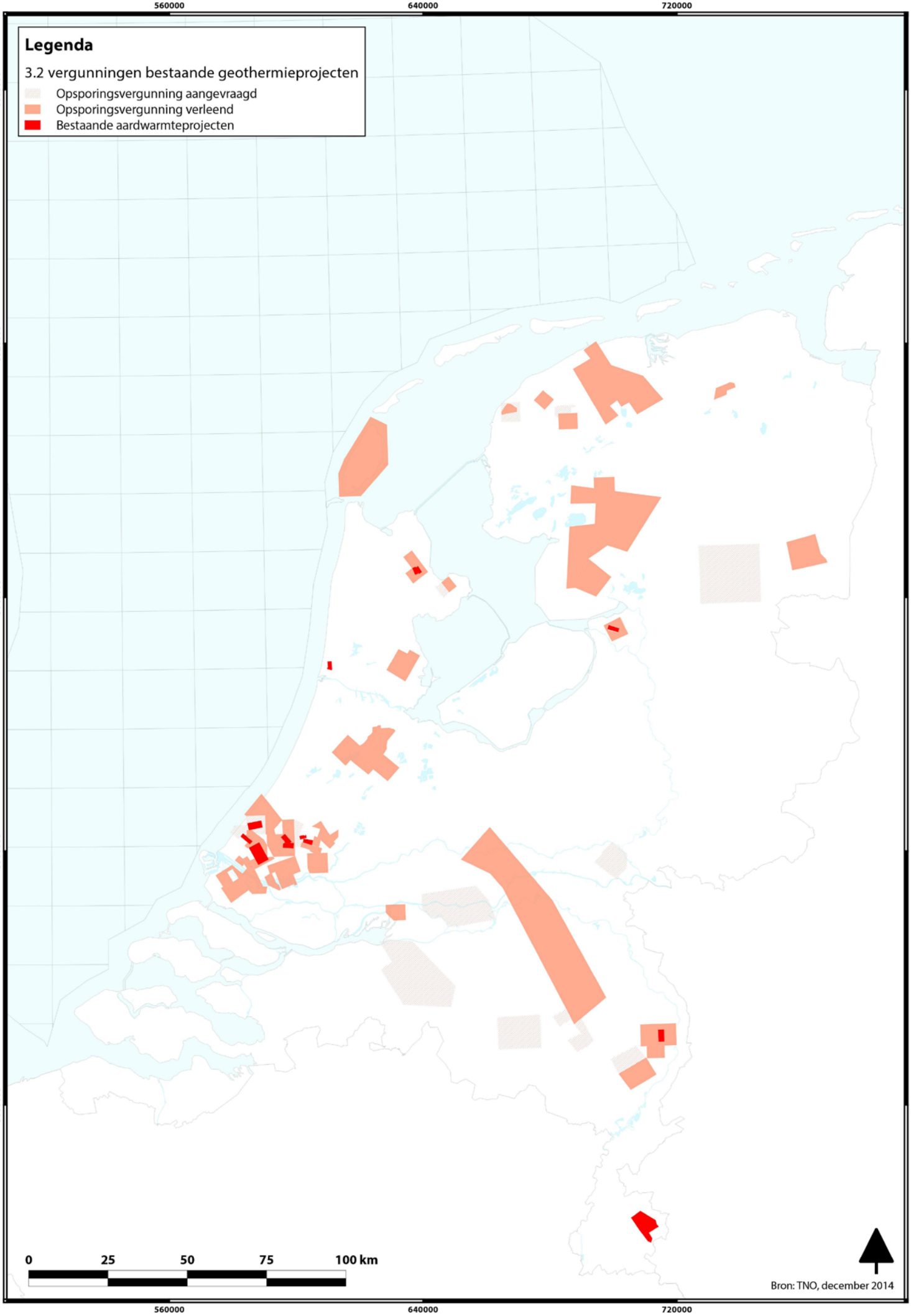

Legenda
2.3 vergunningen voor aardolie en aardgaswinning
Opsporingsvergunning aangevraagd
Opsporingsvergunning verleend
Winningsvergunning aangevraagd
Winningsvergunning verleend
480000
560000
640000
720000
800000
6160000
6080000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, april 2014

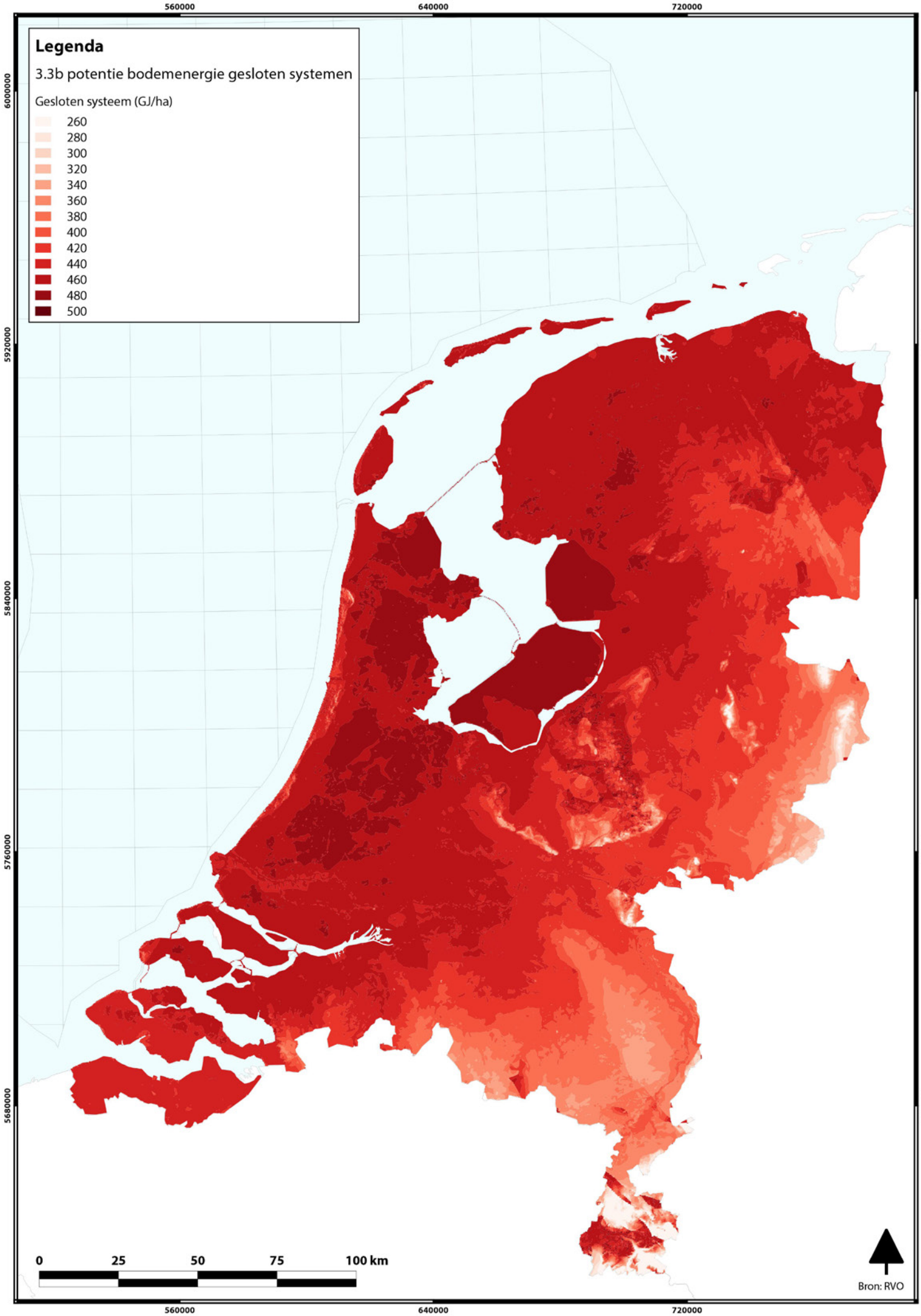

Legenda
2.4 bestaande aardoliewinning
Verlaten en/of uitgeproduceerd
Geen plannen voor ontwikkeling
Binnen vijf jaar in productie
Producerend
480000
560000
640000
720000
800000
6160000
6080000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, december 2014

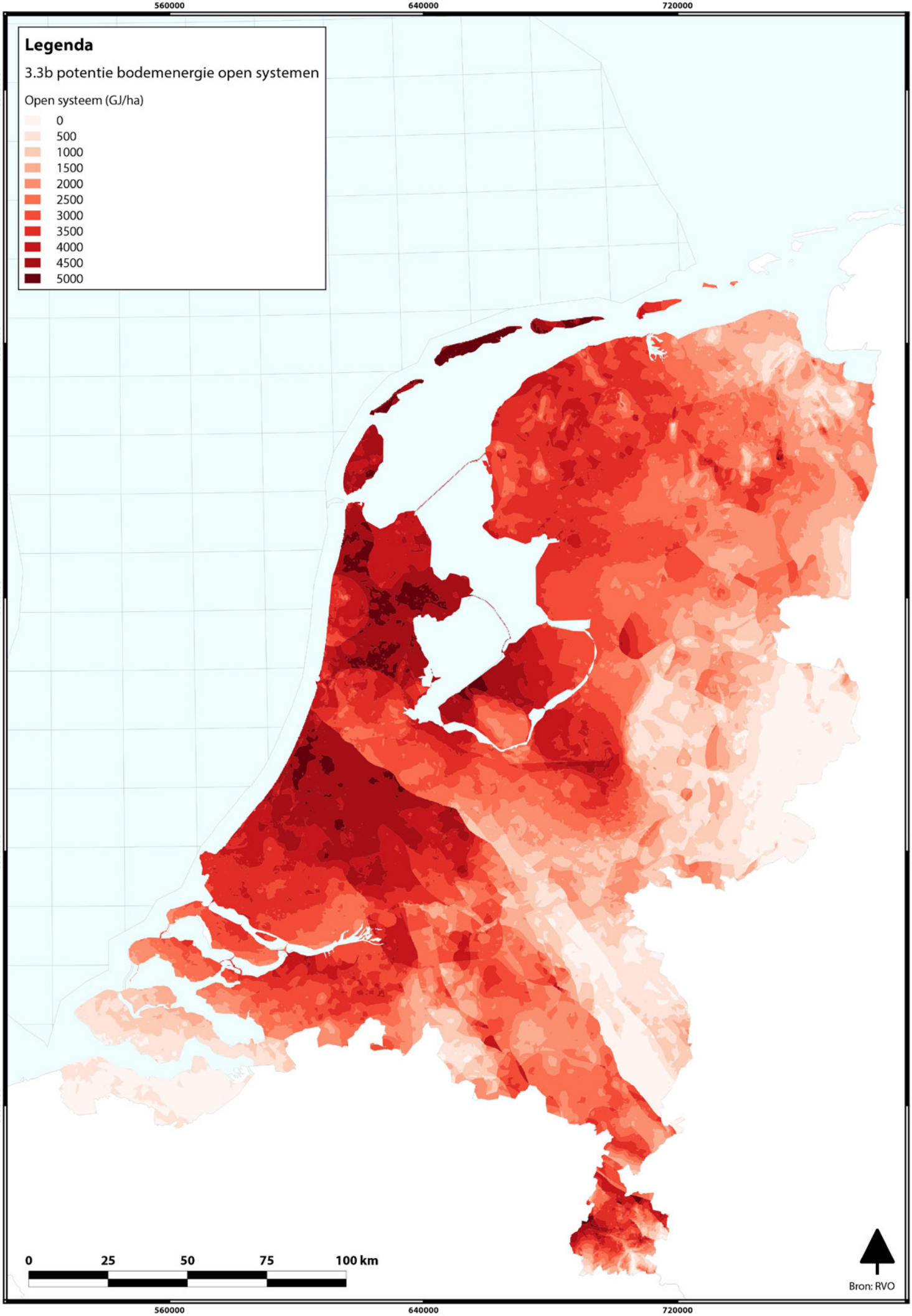

Legenda
2.5 bestaande aardgaswinning
Verlaten en/of uitgeproduceerd
Geen plannen voor ontwikkeling
Binnen vijf jaar in productie
Producerend
480000
560000
640000
720000
800000
6160000
6080000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, december 2014

3 ENERGIEPOTENTIE WARMTE


Legenda
3.1 potentie voor geothermie
Op basis van een standaard geothermisch doublet configuratie tbv verwarming van kassen.
aquifers afwezig of <10m dik en/of <40°C, kans op > 5MW <30%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op > 5MW <30%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op > 5MW 30-50%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op > 5MW >50%
mogelijk potentieel in diepe kalksteenlagen >40°C
560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, december 2014


Legenda
3.2 vergunningen bestaande geothermieprojecten
Opsporingsvergunning aangevraagd
Opsporingsvergunning verleend
Bestaande aardwarmteprojecten
560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, december 2014

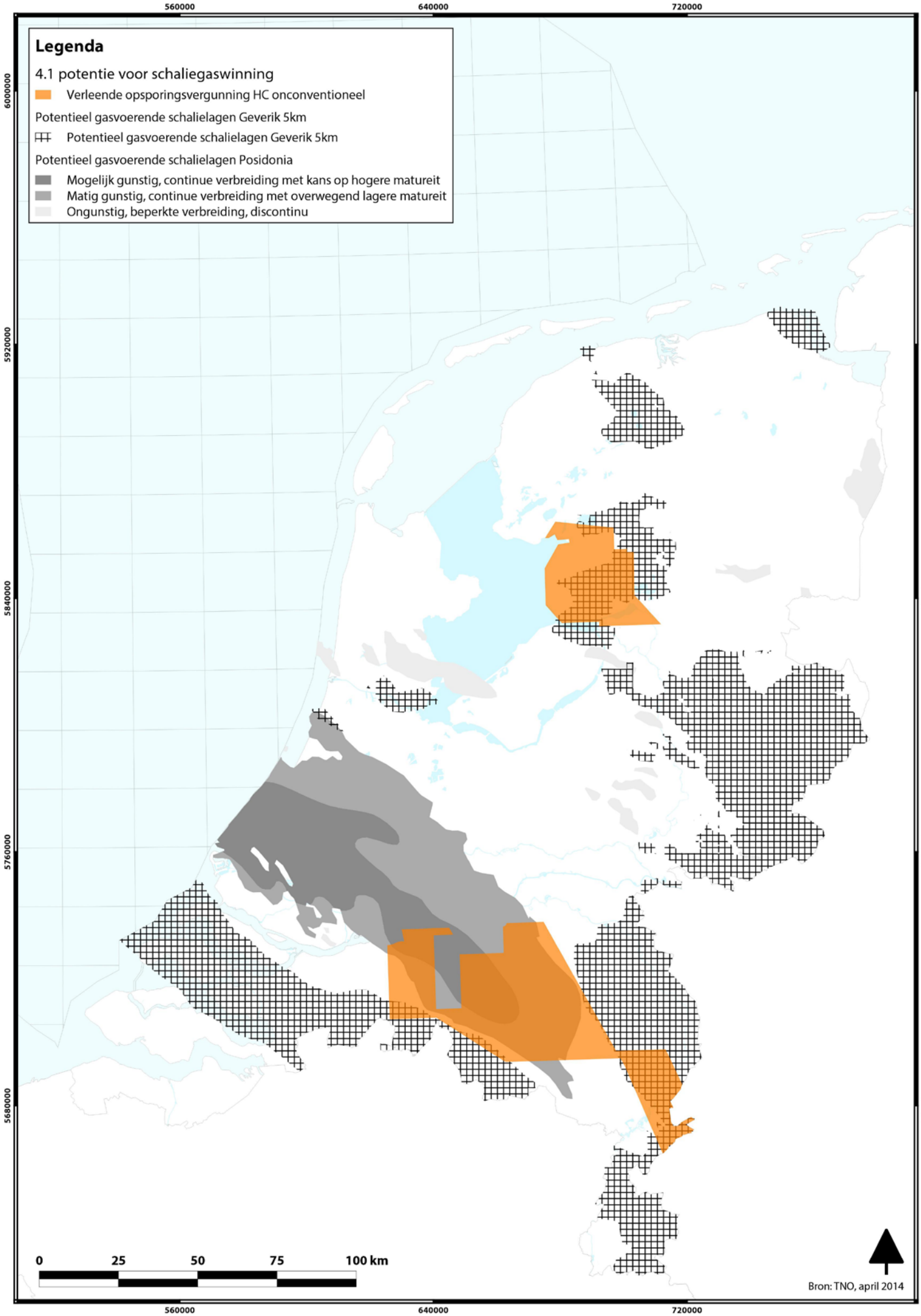

Legenda
3.3b potentie bodemenergie gesloten systemen
Gesloten systeem (GJ/ha)
260
280
300
320
340
360
380
400
420
440
460
480
500
560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: RVO

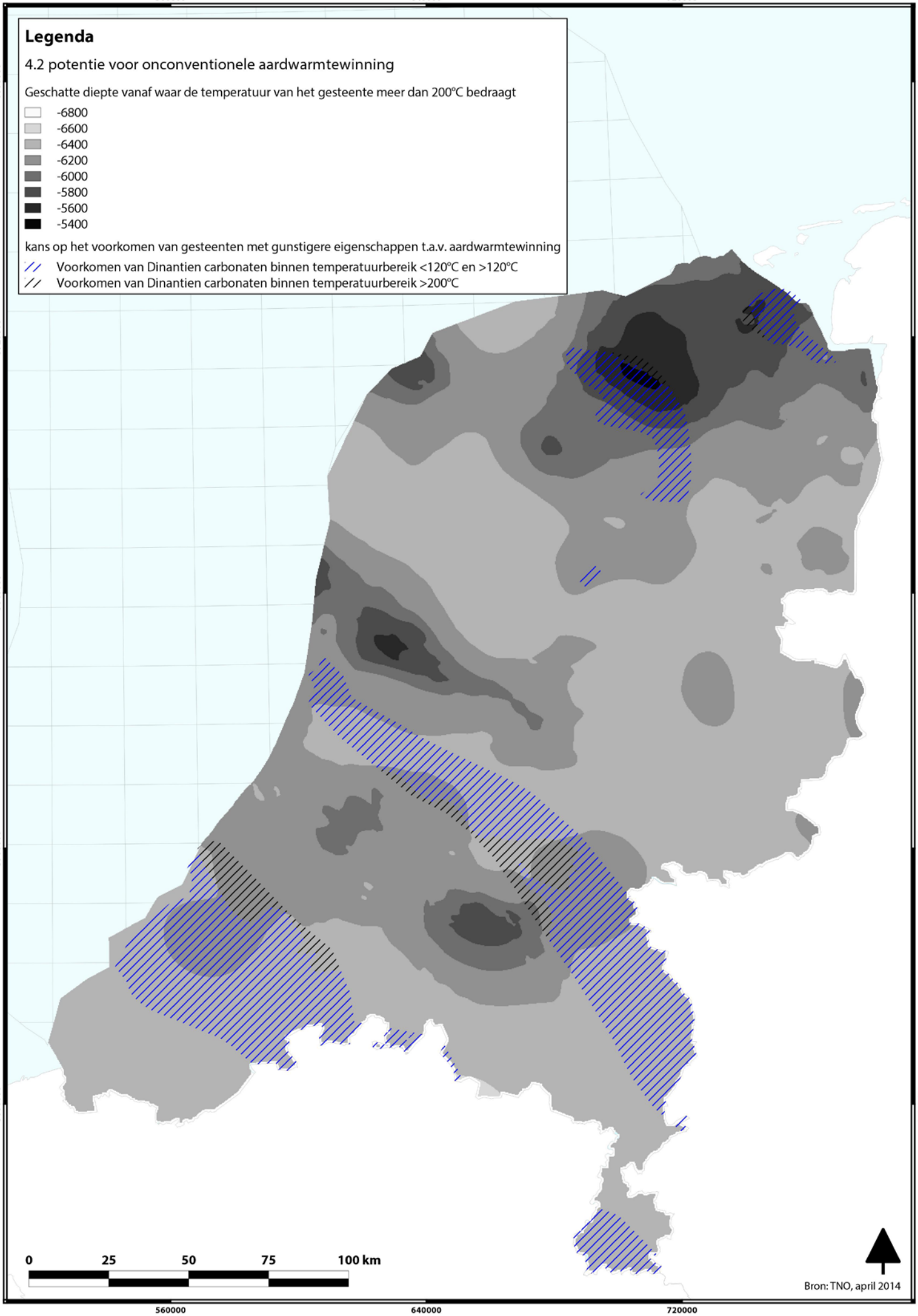

Legenda
3.3b potentie bodemenergie open systemen
Open systeem (GJ/ha)
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: RVO

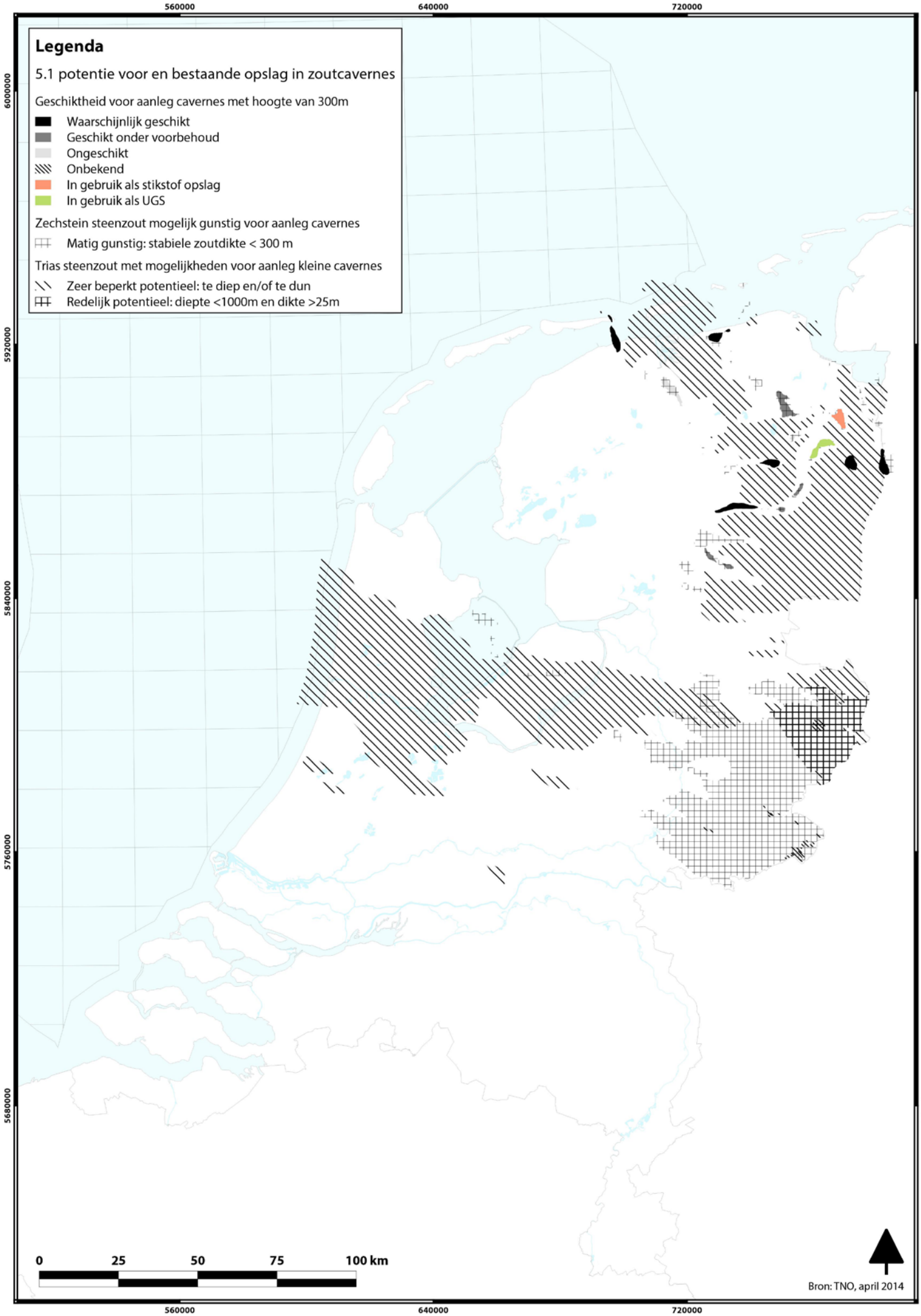
4 ENERGIEPOTENTIE ONCONVENTIONEEL

en

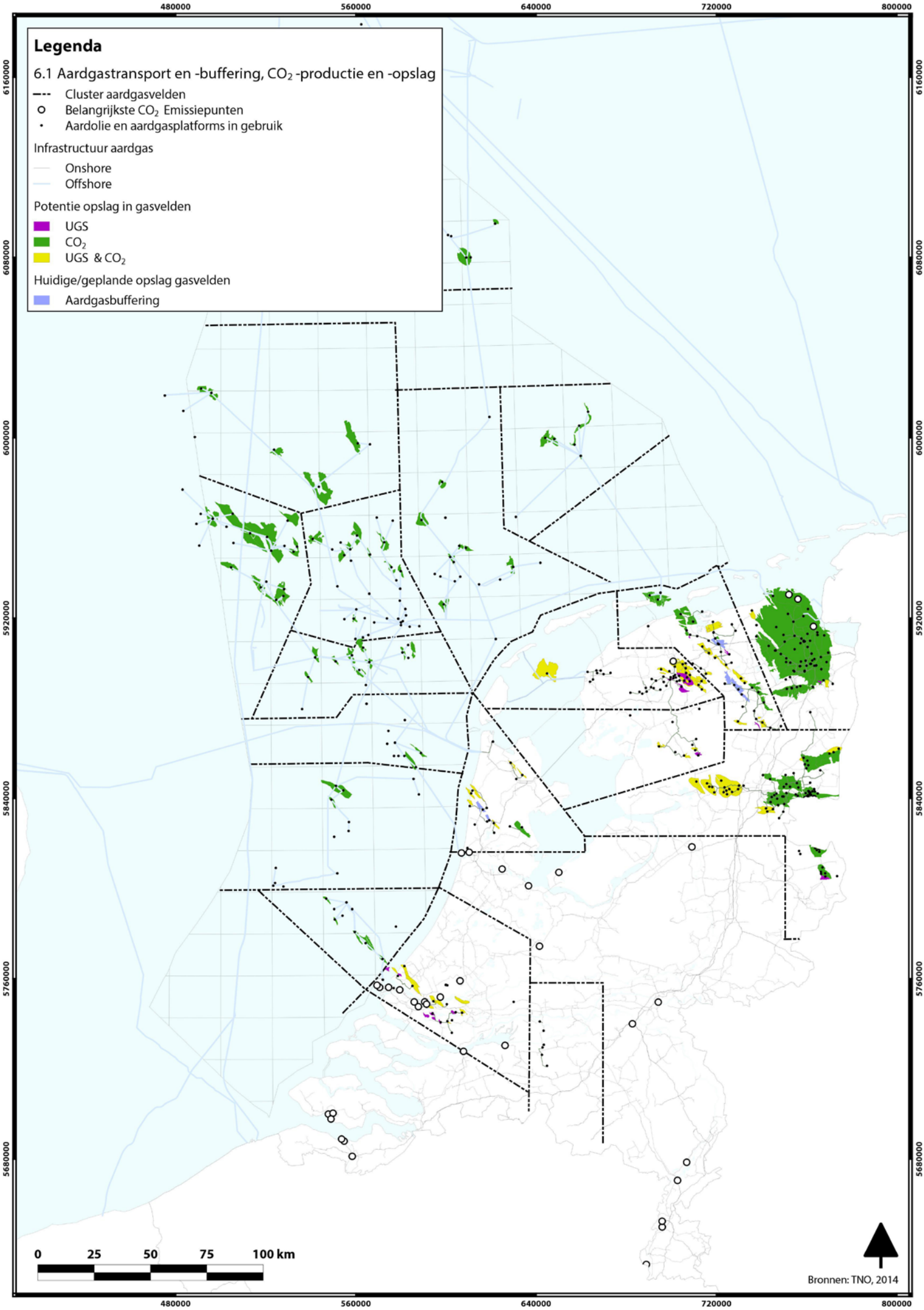
5 POTENTIËLE OPSLAG CAVERNES

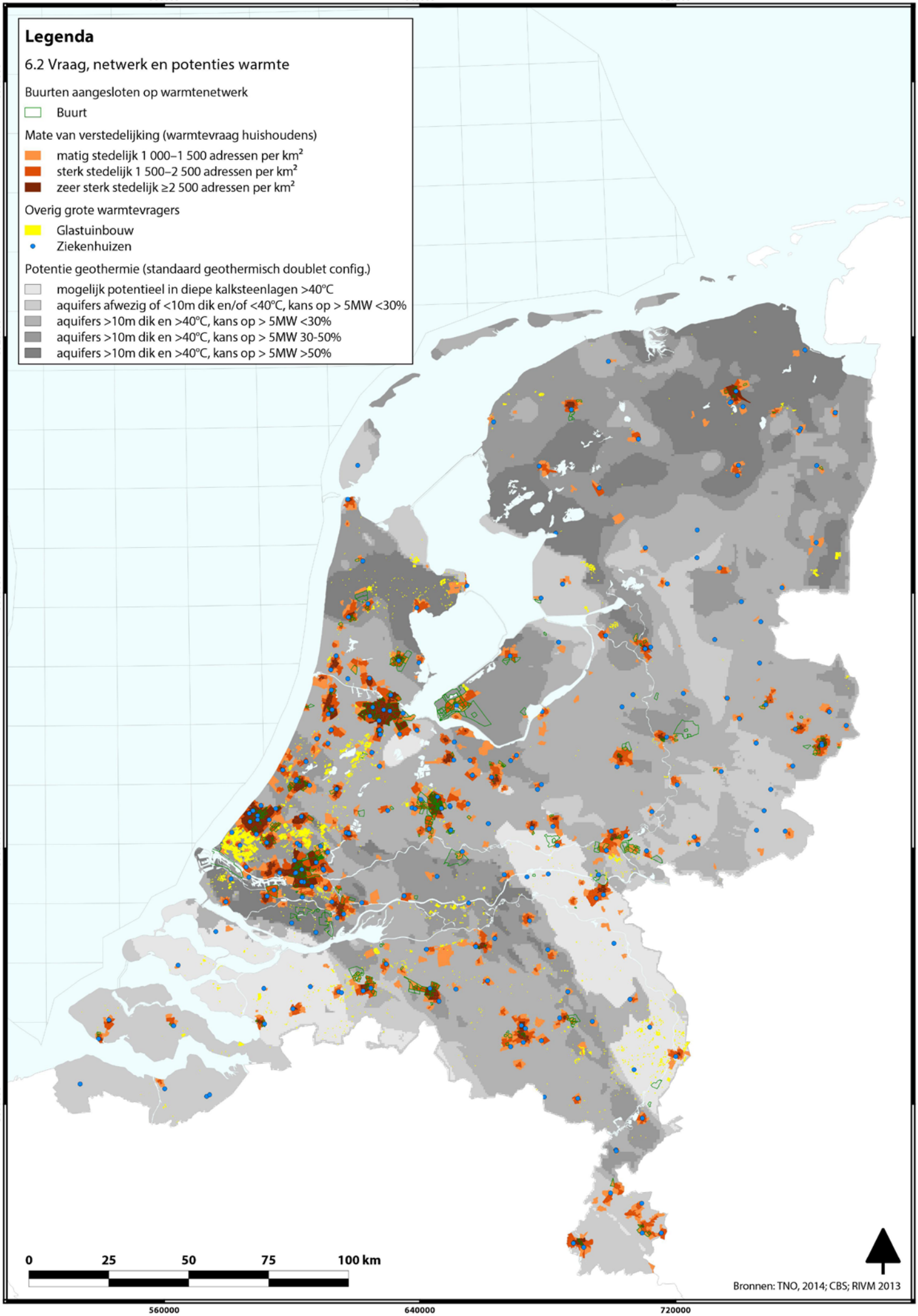

Legenda
4.1 potentie voor schaliegaswinning
Verleende opsporingsvergunning HC onconventioneel
Potentieel gasvoerende schalielagen Geverik 5km
Potentieel gasvoerende schalielagen Geverik 5km
Potentieel gasvoerende schalielagen Posidonia
Mogelijk gunstig, continue verbreiding met kans op hogere matureit
Matig gunstig, continue verbreiding met overwegend lagere matureit
Ongunstig, beperkte verbreiding, discontinu
560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, april 2014

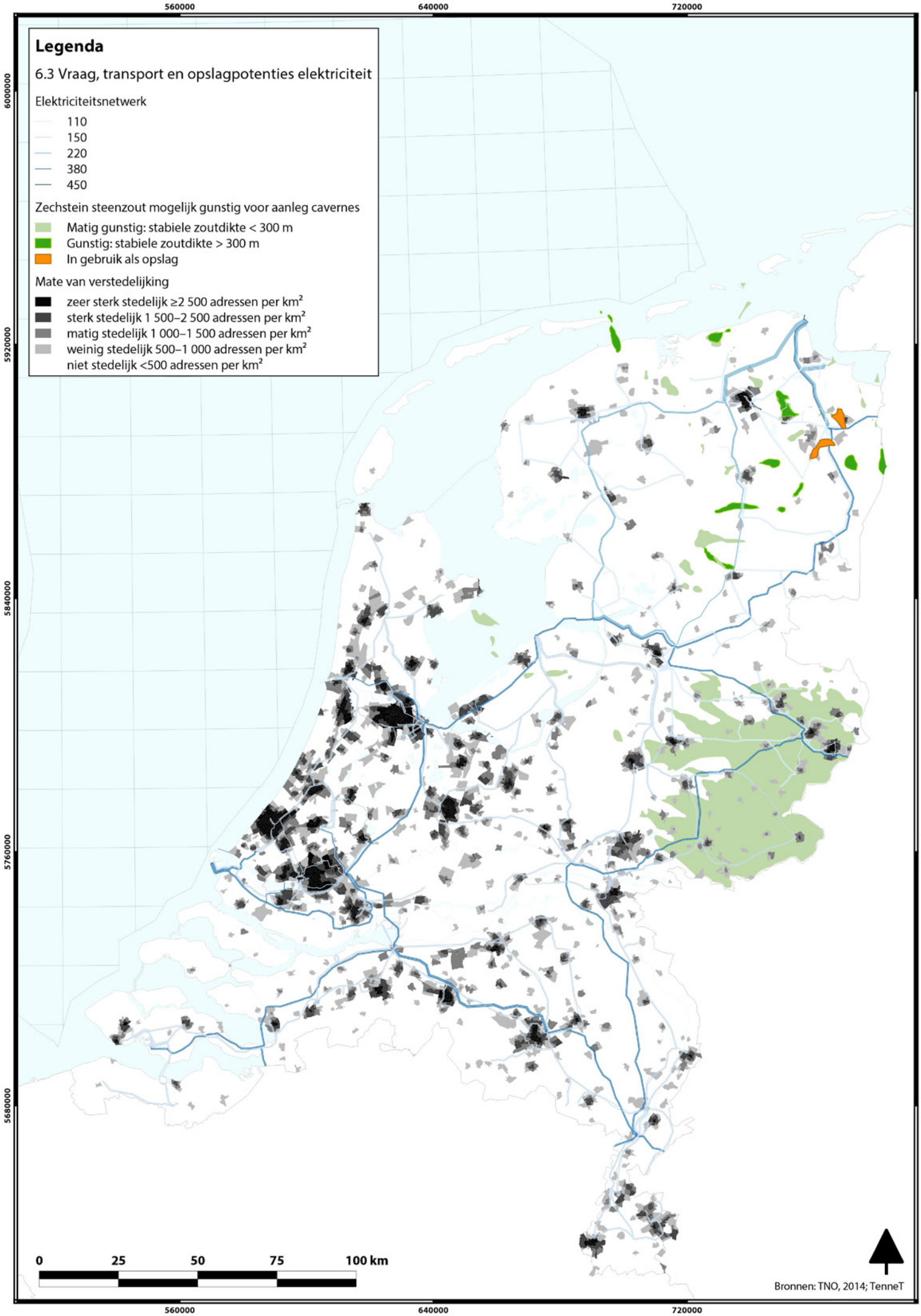

560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
Legenda
4.2 potentie voor onconventionele aardwarmtewinning
Geschatte diepte vanaf waar de temperatuur van het gesteente meer dan 200°C bedraagt
-6800
-6600
-6400
-6200
-6000
-5800
-5600
-5400
kans op het voorkomen van gesteenten met gunstigere eigenschappen t.a.v. aardwarmtewinning
Voorkomen van Dinantien carbonaten binnen temperatuurbereik <120°C en >120°C
Voorkomen van Dinantien carbonaten binnen temperatuurbereik >200°C
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, april 2014


Legenda
5.1 potentie voor en bestaande opslag in zoutcavernes
Geschiktheid voor aanleg cavernes met hoogte van 300m
Waarschijnlijk geschikt
Geschikt onder voorbehoud
Ongeschikt
Onbekend
In gebruik als stikstof opslag
In gebruik als UGS
Zechstein steenzout mogelijk gunstig voor aanleg cavernes
Matig gunstig: stabiele zoutdikte < 300 m
Trias steenzout met mogelijkheden voor aanleg kleine cavernes
Zeer beperkt potentieel: te diep en/of te dun
Redelijk potentieel: diepte <1000m en dikte >25m
560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bron: TNO, april 2014

6 COMBINATIEKAARTEN
per energiedrager


480000
560000
640000
720000
800000
6160000
6080000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
Legenda
6.1 Aardgastransport en -buffering, CO_2 -productie en -opslag
Cluster aardgasvelden
Belangrijkste CO_2 Emissiepunten
Aardolie en aardgasplatforms in gebruik
Infrastructuur aardgas
Onshore
Offshore
Potentie opslag in gasvelden
UGS
CO_2
UGS & CO_2
Huidige/geplande opslag gasvelden
Aardgasbuffering
0
25
50
75
100 km
Bronnen: TNO, 2014


560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
Legenda
6.2 Vraag, netwerk en potenties warmte
Buurten aangesloten op warmtenetwerk
Buurt
Mate van verstedelijking (warmtevraag huishoudens)
matig stedelijk 1 000–1 500 adressen per km²
sterk stedelijk 1 500–2 500 adressen per km²
zeer sterk stedelijk ≥2 500 adressen per km²
Overig grote warmtevragers
Glastuinbouw
Ziekenhuizen
Potentie geothermie (standaard geothermisch doublet config.)
mogelijk potentieel in diepe kalksteenlagen >40°C
aquifers afwezig of <10m dik en/of <40°C, kans op > 5MW <30%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op > 5MW <30%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op > 5MW 30-50%
aquifers >10m dik en >40°C, kans op > 5MW >50%
0
25
50
75
100 km
Bronnen: TNO, 2014; CBS; RIVM 2013


Legenda
6.3 Vraag, transport en opslagpotenties elektriciteit
Elektriciteitsnetwerk
110
150
220
380
450
Zechstein steenzout mogelijk gunstig voor aanleg cavernes
Matig gunstig: stabiele zoutdikte < 300 m
Gunstig: stabiele zoutdikte > 300 m
In gebruik als opslag
Mate van verstedelijking
zeer sterk stedelijk ≥2 500 adressen per km²
sterk stedelijk 1 500–2 500 adressen per km²
matig stedelijk 1 000–1 500 adressen per km²
weinig stedelijk 500–1 000 adressen per km²
niet stedelijk <500 adressen per km²
560000
640000
720000
6000000
5920000
5840000
5760000
5680000
0
25
50
75
100 km
Bronnen: TNO, 2014; TenneT

ECOFYS

sustainable energy for everyone