

Potentieonderzoek geothermie Noord-Holland en Flevoland

Technische rapportage





Datum 9 november 2022

Referentie 72125/JK/20221109_TR

Betreft 72125 - Potentieonderzoek geothermie provincie Noord-Holland/provincie Flevoland

Behandeld door Lara Borst, Quinten Boersma, Jasper Kwee

Gecontroleerd door Roel Dirkx, Nick Buik

Versienummer 1.3

OPDRACHTGEVER

Provincie Noord-Holland (mede namens provincie Flevoland en EBN)

Houtplein 33

2012 DE Haarlem

Contactpersoon: R. van Os-van den Abeelen

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Provincie Noord-Holland, Provincie Flevoland, EBN, TNO

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	5
2	Geologisch framework	6
2.1	Algemene geologische geschiedenis	6
2.2	Centraal-Nederland Bekken	8
2.3	Friesland Platform	8
2.4	Noord-Holland Platform	9
2.5	Texel-IJsselmeer Hoog	9
2.6	Begravingsgeschiedenis	9
3	Reservoirselectie	11
3.1	Kenozoicum	12
3.2	Jura/Krijt	13
3.3	Trias14	
3.4	Perm	14
3.5	Carboon	15
3.6	Samenvatting geschikte lagen	15
4	Seismische interpretatie en diepte modellering	18
4.1	Seismische data en Putgegevens gebruikt tijdens de seismische interpretatie	18
4.2	Methode	20
4.2.1	Werkwijze	20
4.2.2	Deelregio's waarbinnen de verschillende reservoirs zijn geïnterpreteerd	20
4.3	Seismic well ties	22
4.3.1	Zand van Brussel	22
4.3.2	Rijnland Schieland grens	22
4.3.3	Zechstein en Formatie van Slochteren	22
4.4	Seismische interpretatie	23
4.4.1	3D breuk interpretatie en breukpolygonen	23
4.4.2	3D reservoir interpretatie	23
4.4.3	TWT gridding	35
4.5	Time depth conversie	35
4.5.1	Velocity model	35
4.5.2	Well ties en residuals	36
4.6	Dieptekaarten	36
4.6.1	Zand van Brussel	36
4.6.2	Basis Rijnland groep	37
4.6.3	De Formatie van Slochteren	37
5	Karakterisatie van de reservoirs	39
5.1	Introductie	39
5.2	Formatie van Slochteren	39
5.2.1	[ROSL] Beschikbare data	39
5.2.2	[ROSL] Opdeling in zones	41
5.2.3	[ROSL] Overige data	42
5.2.4	[ROSL] Maximale begravingsdiepte	42
5.2.5	[ROSL] Illiet	43
5.2.6	[ROSL] Kerndata-analyse	44

5.2.7 [ROSL] Petrofysische Log Evaluatie	47
5.2.8 [ROSL] Opschaling	48
5.2.9 [ROSL] Resultaten	51
5.2.10 Zanden van de Rijnland Groep en Schieland groep	54
5.2.11 [KNNSR] Beschikbare data	54
5.2.12 [KNNSR] Kerndata-analyse	54
5.2.13 [KNNSR] Petrofysische analyse	55
5.2.14 [KNNSR] Opschaling	56
5.2.15 [KNNSR] Resultaten	58
5.3 Zand van Brussel	61
6 Formatiewater	67
6.1 Temperatuur	67
6.2 Saliniteit	71
6.3 Hydrostatische druk	71
7 Geothermisch potentieel	73
7.1 Methode	73
7.2 High case potentieberekeningen	74
7.3 Onzekerheden	76
7.3.1 Methode	76
7.3.2 Onzekerheidskaarten	76
7.4 Potentiekaarten	78
8 Warmtevraag en koppeling	81
8.1 GIS workflow	81
8.2 Resultaatkaarten	87
8.2.1 Warmtevraag en warmteclusters	87
8.2.2 Koppeling warmtevraag en ondergrondse potentie per warmtecluster	89
9 Literatuur	93
Bijlage 1 High Case Potentiekaarten	94
Bijlage 2 : Seismic to well ties	97
Bijlage 3 : Berekenen van de warmtevraag	101
Bijlage 4 : Resultaat tabellen van de koppeling vraag en aanbod	102

1 Inleiding

IF Technology heeft in opdracht van de Provincie Noord-Holland, en mede namens provincie Flevoland en EBN, een bureaustudie geothermie voor de provincies Noord-Holland Noord en Flevoland uitgevoerd met als doel:

- I. het regionaal ondergronds potentieel aardwarmte beter in kaart te brengen;
- II. de mate te bepalen waarin geothermie kan bijdragen aan de warmtevoorziening.

De voorliggende technische rapportage beschrijft in de hoofdstukken 2 t/m 6 het geologisch onderzoek en volgt in grote lijnen en waar mogelijk en relevant de “Specificaties geologisch onderzoek voor Geothermieprojecten” van de Rijksdienst voor ondernemend Nederland (RVO). Hoofdstuk 7 beschrijft de verschillende potentie kaarten en bijbehorende onzekerheden en in hoofdstuk 8 staat in detail de workflow voor het bepalen van de warmtevraag en de bijhorende koppeling met de ondergrond beschreven.

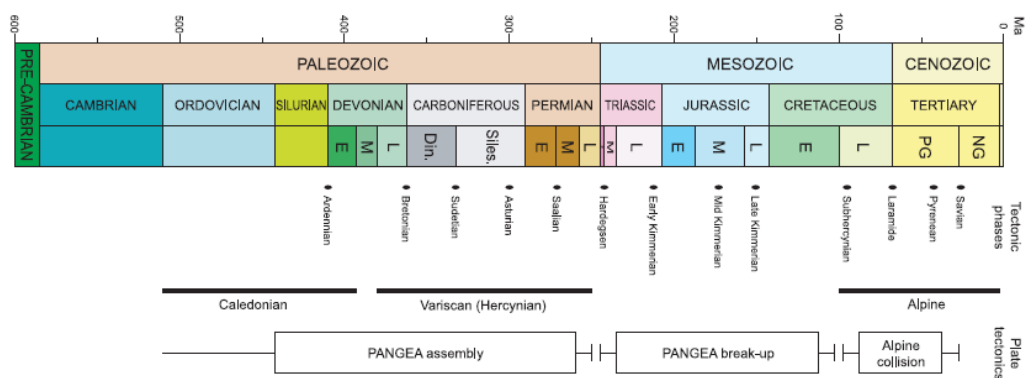
Naast deze rapportage is ook een publieksrapportage opgesteld, die minder technisch van aard is.

2 Geologisch framework

2.1 ALGEMENE GEOLOGISCHE GESCHIEDENIS

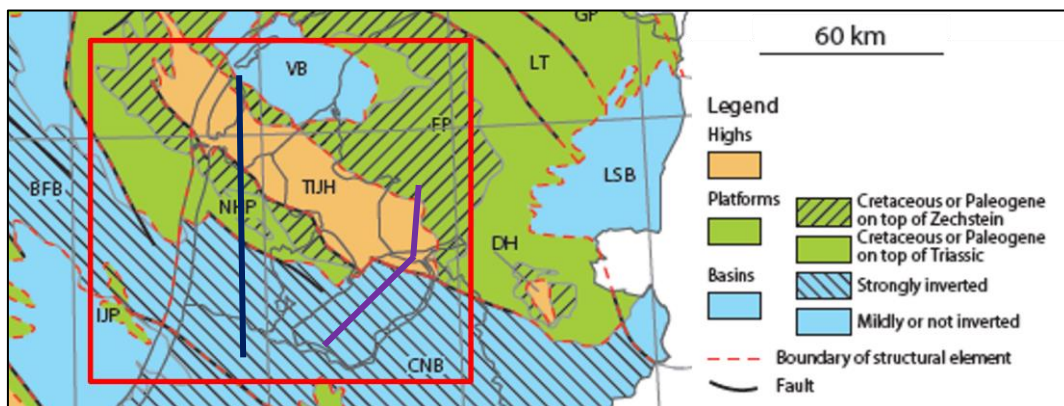
Gedurende miljoenen jaren heeft Nederland zich het grootste gedeelte van de tijd in een deltamilieu bevonden. Dit betekent dat er hier gedurende al die jaren metersdikke sedimenten geaccumuleerd zijn. Deze sedimenten bestaan uit met name zand en klei (ook wel siliciklastisch genoemd), en in mindere mate uit kalkafzettingen (carbonaatgesteenten) en evaporieten. In totaal bestaat de Nederlandse ondergrond hoofdzakelijk uit meer dan 10 kilometer sediment, dat een metamorfe laag bedekt (De Jager 2007). Deze sedimenten zijn door gebergtevorming of juist bekkenvorming omhoog of omlaag bewogen. Dit resulteerde in de vorming van zogenoemde structurele hogen en bekkens. In Nederland hebben grofweg drie grote tektonische gebeurtenissen (de Jager, 2007) plaatsgevonden (Figuur 2.1):

- (1) **Formatie van Pangea:** Supercontinent Pangea is gevormd door twee belangrijke orogeneses. De eerste is de Caledonische orogenese en vond plaats tijdens het Paleozoïcum, vanaf het Ordovicium tot begin Devoon. Deze orogenese heeft ervoor gezorgd dat de kleinere continenten Laurentia, Baltica en Avalonia het paleocontinent Laurussia vormde. De tweede is de Variscische orogenese en vond plaats in het Laat-Paleozoïcum, vanaf Laat Devoon tot aan het Perm, waarbij de paleocontinenten Gondwana en Euramerika samenkwamen en Pangea vormden.
- (2) **Uiteenvallen van Pangea:** Na een periode van voornamelijk collisie (gebergtevorming), brak er een riftfase (bekkenvorming) aan tijdens het Mesozoïcum. Het in het Paleozoïcum opgebouwde continent Pangea brak weer uiteen in de twee paleocontinenten Gondwana en Laurazië. Deze periode van extensie zorgde voor bekkenvorming in Nederland.
- (3) **Alpiene orogenese:** Na de Mesozoïsche riftfase, begon vanaf het Krijt een periode van collisie tijdens de Alpiene orogenese. Hierbij botsten Afrika en India tegen Eurazië aan, waarbij er verschillende gebergtes vormden, zoals de Alpen en Pyreneeën. Door deze collisie zijn verschillende breuken gereactiveerd en heeft er op sommige plekken in Nederland inversie plaatsgevonden, waardoor lager gelegen structurele elementen weer hoger kwamen te liggen.

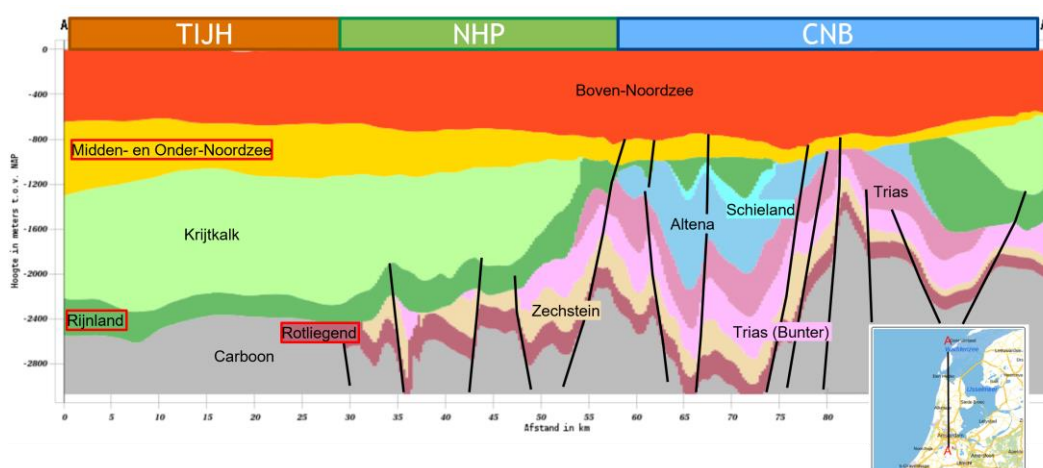


Figuur 2.1 | De geologische tijdschaal met bijbehorende tektonische fasen en plaat tektonische gebeurtenissen (de Jager, 2007).

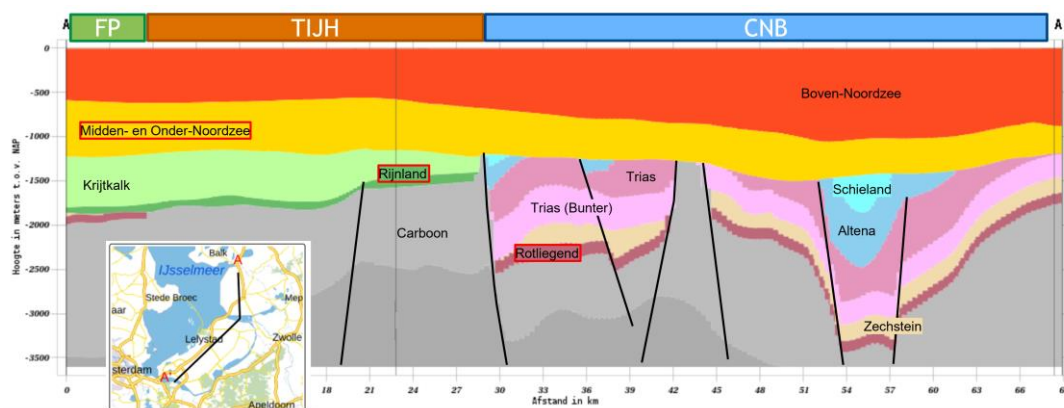
Deze geschiedenis van afwisselend collisie en extensie heeft geresulteerd in de vorming van verschillende structurele elementen (Figuur 2.2, Figuur 2.3 en Figuur 2.4). In de volgende paragrafen wordt de geologische geschiedenis van de verschillende structurele gebieden van dit onderzoeksgebied beschreven.



Figuur 2.2 | Structuurkaart van noordwest Nederland tijdens het Laat Jura - Vroeg Krijt. In het rode vierkant bevinden zich de provincies Noord-Holland en Flevoland. De verschillende kleuren en arceringen reflecteren de verschillen in geologische processen zoals gebergtevorming, bekkenvorming of inversie die de verschillende structuren hebben doorgemaakt. De belangrijkste structurele hoges (higs), platformen (platforms) en bekken (basins) zichtbaar op deze kaart zijn: CNB - Centraal Nederland Bekken, NHP - Noord-Holland Platform, TIJH - Texel-IJsselmeer Hoog en FP - Friesland Platform. In donkerblauw en paars de trajectlijnen van de dwarsdoorsnedes in onderstaand figuren.



Figuur 2.3 | Dwarsdoorsnede door Noord-Holland o.b.v. DGMDiep v5.0 (Dinoloket, geraadpleegd op 13 mei 2022), met daarin de verschillende structurele elementen aangegeven (TIJH - Texel-IJsselmeer Hoog, NHP - Noord-Holland Platform en CNB - Centraal Nederland Bekken). De rood omkaderde aardlagen zijn in deze regio interessant voor geothermie.



Figuur 2.4 | Dwarsdoorsnede door Flevoland o.b.v. DGMdiep v5.0 (Dinoloket, geraadpleegd op 13 mei 2022), met daarin de verschillende structurele elementen aangegeven (TIJH - Texel-IJsselmeer Hoog, NHP - Noord-Holland Platform en CNB - Centraal Nederland Bekken). De rood omkaderde aardlagen zijn in deze regio interessant voor geothermie.

2.2 CENTRAAL-NEDERLAND BEKKEN

Volgens Duin et al. (2006) ontstond het Centraal-Nederland Bekken tijdens het Vroege Perm, toen de Variscische orogenese er bij de vorming van Pangea (Tektonische fase 'Pangea assembly' in paragraaf 2.1) ervoor zorgde dat er extensie plaatsvond. Deze extensie zette door tijdens de Hardegsen- en Vroeg Kimmerische fasen in het Trias. Extensie zorgt voor ruimte voor afzetting: er zijn het Trias en vroege Jura, tijdens het uiteenvallen van Pangea (Tektonische fase 'Pangea break-up' in paragraaf 2.1) in het Centraal-Nederland Bekken dikke pakketten sediment afgezet (Figuur 2.3 en Figuur 2.4). Hierna, tijdens de Laat Kimmerische fase in het Jura, heeft het Centraal-Nederland Bekken een lokale riftfase en opheffing doorgemaakt. Deze opheffing resulteerde in sterke inversie van het bekken door reactivatie van breuken die eerder waren gevormd. Dit zette door tijdens de Laramide fase in het Krijt, onderdeel van de Alpiene orogenese (Tektonische fase 'Alpine collision' in paragraaf 2.1), waarin compressie centraal stond. In het Krijt zijn in het Centraal-Nederland Bekken dus relatief weinig sedimenten afgezet en sedimenten zijn geërodeerd vanwege de hoge ligging. (Kombrink e.a. 2012) (Duin e.a. 2006)

2.3 FRIESLAND PLATFORM

Dit structurele element bevindt zich in slechts een klein deel van het projectgebied: het oosten van de Noordoostpolder. Dat maakt het niet minder relevant: er zijn in dit gebied al meerdere geothermieprojecten succesvol gerealiseerd.

Het Friesland Platform is in het Jura gevormd tijdens de Alpiene orogenese, wat voor opheffing van dit platform heeft gezorgd. Dit vond plaats tijdens de Laat-Kimmerische fase in het Jura tot aan de de compressionele fase van de Laramide fase in het Krijt (Duin et al., 2006). Het platform was destijds een erosief gebied waar Krijt afzettingen non-conform op sedimenten van het Perm of Carboon liggen: de tussenliggende sedimenten zijn geërodeerd toen het gebied omhoog kwam door compressie (Duin et al., 2006).

2.4 NOORD-HOLLAND PLATFORM

Het Noord-Holland Platform vormde zich net als het Friesland Platform tijdens de Alpiene orogenese in het Jura. Tijdens de Laat Kimmerische fase in het Jura kwam het gebied omhoog door lokale opheffing tijdens deze extensie-fase. Het platform was destijds een erosief gebied waar Krijt afzettingen non-conform op sedimenten van het Trias, Perm of Carboon werden afgezet: de tussenliggende sedimenten zijn geërodeerd toen het gebied omhoog kwam door compressie (Duin et al., 2006).

2.5 TEXEL-IJSSELMEER HOOG

Over de timing van het ontstaan van het Texel-IJsselmeer Hoog is niet iedereen het eens. Volgens Duin et al. (2006) komt dit hoog uit het Jura, terwijl andere wetenschappers zeggen dat het Texel-IJsselmeer Hoog al een hoog was in het Perm. Volgens Duin et al. (2006) is dit hoog tijdens dezelfde fases als het Noord-Holland Platform en Friesland Platform actief geweest. Waar men het wel over eens is, is dat er flink wat afzettingen ontbreken, of ze nou niet afgezet of geërodeerd zijn. Zoals te zien is in Figuur 2.3 en Figuur 2.4 liggen de sedimenten van het Krijt direct op het Carboon. De tussenliggende sedimenten zijn bijna overal afwezig. Bijna overal, want in put WGF-01 (kop van Noord-Holland) is enkele tientallen meters Slochteren aangetroffen. Of dit op andere plekken op het Texel-IJsselmeer Hoog dan ook aanwezig is nog onbekend.

2.6 BEGRAVINGSGESCHIEDENIS

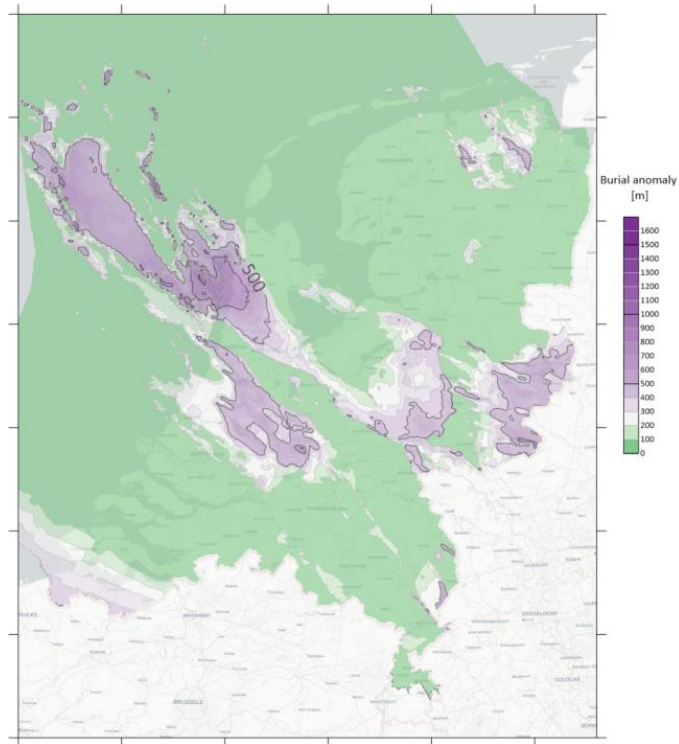
Als gevolg van de structurele extensie zijn sommige delen van Nederland relatief diep begraven geweest. Deze begraving heeft invloed op de doorlatendheid van een pakket, doordat het de temperatuur en de druk beïnvloedt: de hogere temperatuur kan zorgen voor groei van mineralen die bij koudere temperaturen niet vormen, en de hogere druk kan zorgen voor compactie. Een relatief diepe begraving zorgt over het algemeen dus voor een lagere doorlatendheid. De porositeiten en doorlatendheden die uit de in deze studie gepresenteerde petrofysische analyse volgen gelden daarom dus ook voor de maximale diepte waar deze lagen zich op hebben bevonden, en dus niet voor de huidige diepte. De porositeit-diepterelaties worden daarom opgesteld o.b.v. de maximale begravingstiepte. Deze maximale begravingstiepte wordt bepaald door bij de huidige diepte de relatieve begraving (hieronder gepresenteerd) op te tellen.

De relatieve begraving, de zogenoemde begravingstiepte, is bepaald door (Nelskamp en Verweij 2012) en gepresenteerd in onderstaand figuur. Deze begravingstieptekaart is afgeleid van put- en modelgegevens en geeft het verschil weer tussen de huidige begravingstiepte van de verschillende lagen en de maximale begravingstiepte waar het gesteente in het verleden op heeft gelegen (Nelskamp en Verweij 2012). De kaart moet als volgt worden gelezen:

- Een grote anomalie van 400 m impliceert dat het gesteente in het verleden 400 m dieper heeft gelegen en dat de maximale begravingstiepte dus de huidige diepte + 400 m is.
- Een anomalie van 0 m impliceert dat de huidige begravingstiepte de maximale begravingstiepte is.

De relatieve begravingstieptekaart geldt voor de afzettingen vanaf het Krijt en ouder. Het rapport van Nelskamp en Verweij laat alleen de kaart zien voor het West Nederland Bekken, maar de auteurs hebben de rest van de kaart in het verleden gedeeld met IF Technology. Het rapport dat bij deze kaart hoort is dus nog niet beschikbaar, maar de methodiek van de totstandkoming van het

resterende deel van de kaart komt overeen met het rapport van 2012. De kaart heeft een onnauwkeurigheid van 300 m.

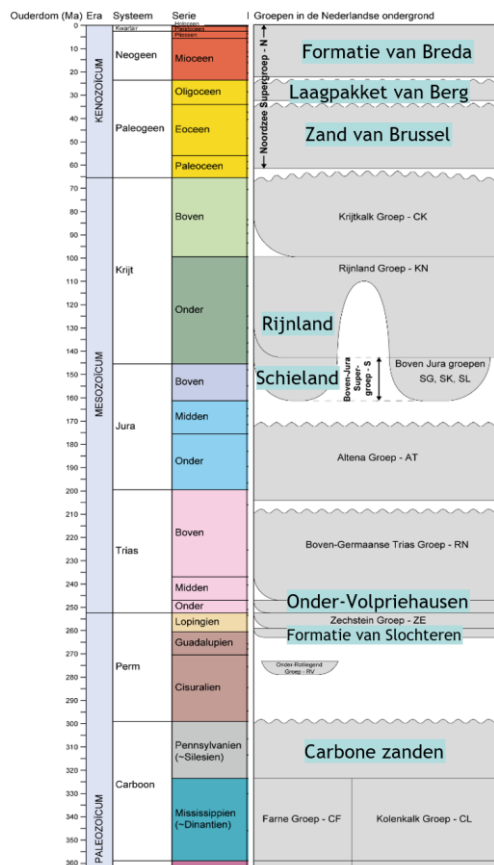


Figuur 2.5 | *Begravingsanomalie, o.b.v. Nelskamp en Verweij (2012). Geldt voor lagen afgezet in het Krijt en ouder. Hoe donkerder paars, hoe dieper de relatieve begraafing. Groene gebieden liggen op de huidige diepte al op hun maximale begraafingsdiepte.*

3 Reservoirselectie

Voor de winning van warm water is een gesteentepakket met een hoge doorlatendheid en een hoge porositeit nodig. Dit wordt een reservoirgesteente genoemd. In de praktijk zijn dit in Nederland vaak zandsteenlagen. De potentie van een reservoir wordt bepaald door de diepteligging, de temperatuur en de dikte van het zandpakket. Hoe warmer en hoe dikker een laag, hoe hoger de potentie.

In onderstaande paragrafen wordt voor elk tijdvak (zie Figuur 3.1 en hoofdstuk 2) behandeld welke gesteentelagen, ook wel “formaties” genoemd, er voor het studiegebied potentieel kunnen dienen als een reservoirgesteente voor geothermie. Dit is gedaan met behulp van ThermoGIS (Van Wees e.a. 2010), Dinoloket (‘Ondergrondmodellen | DINOluket’ z.d.) en data uit verschillende boringen.



Figuur 3.1 | Overzicht van de afzettinggroepen in de Nederlandse Ondergrond, aangepast o.b.v. (Kombrink e.a. 2012). De formaties die mogelijk geschikt zijn voor geothermie zijn in blauw gehighlight, en worden in onderstaande paragrafen besproken.

3.1 KENOZOICUM

Tijdens het Neogeen en Paleogeen zijn de pakketten van de Boven-, Midden- en Onder-Noordzee Groep afgezet. Deze bestaan uit afwisselend zand- en kleipakketten. Er zijn drie zandpakketten die in het studiegebied mogelijk potentie hebben voor geothermie: de Formatie van Breda, het Laagpakket van Berg en het Zand van Brussel. In deze studie is ook gekeken of deze pakketten lokaal direct bovenop elkaar liggen. Dit zou ervoor kunnen zorgen dat de totale dikte groter is en dit kan daarmee de potentie kunnen verhogen, maar over het algemeen zijn de drie formaties middels kleilagen van soms tientallen meters dik van elkaar gescheiden. Van deze drie is alleen de Formatie van Breda in het gehele gebied aanwezig.

Potentieel reservoir	Eigenschappen	Opmerkingen
Formatie van Breda	Dit fijnzandige/kleiige pakket wordt in het gehele projectgebied aangetroffen, in het diepteinterval tussen 400 tot ongeveer 1.000 m. Aan de top zit een wat grovere zandlaag van zo'n 50 m dik. De doorlatendheid van dit pakket is zo'n 200 mD. Ook deze laag bevat over het algemeen veel klei. Klei heeft een lage porositeit en permeabiliteit en heeft over het algemeen een slechte geothermische potentie. De temperatuur van dit pakket ligt naar verwachting tussen de 20 en 35°C.	
Laagpakket van Berg	Dit pakket wordt in het gehele projectgebied aangetroffen. Sterk variërend in diepte (aangetroffen tussen de 600 en 1.400 m). Volgens ThermoGIS is dit pakket maximaal 40 m dik (netto) met een doorlatendheid van 150 - 350 mD. Logs laten zien dat het pakket veel klei kan bevatten, met name daar waar de dikte het hoogst ingeschat wordt. De temperatuur van dit pakket ligt naar verwachting tussen de 20 en 40 °C.	Putlogs laten hogere kleigehaltes zien dan ThermoGIS.
Zand van Brussel	Aanwezig in het noordoosten van het projectgebied. Sterk variërend in diepte (tussen de 700 en 1.300 m). Volgens ThermoGIS is dit pakket maximaal 80 m dik (netto) met een doorlatendheid van 150 - 350 mD. Het pakket wordt onderbroken door een aantal kalkhoudende en kleirijke lagen, maar over het algemeen bevat het pakket voornamelijk zand. De temperatuur van dit pakket ligt naar verwachting tussen de 20 en 40 °C.	Weinig log- en kerndata beschikbaar.

Conclusie

- De Formatie van Breda heeft een te lage transmissiviteit (de mate waarin water door een aquifer kan stromen, gelijk aan het product van de laagdikte en de doorlatendheid) voor de winning van aardwarmte. Dit pakket wordt daarom buiten beschouwing gelaten.
- Op basis van de putlogs heeft het Laagpakket van Berg een hoog kleigehalte, geringe dikte (max 40 m) en relatief lage temperaturen (< 40 °C). Dit pakket wordt daarom buiten beschouwing gelaten.
- Het Zand van Brussel heeft een relatief hoge transmissiviteit en temperatuur en is daarom wel meegenomen in deze potentiëstudie. Er is weinig log- en kerndata beschikbaar, dus de studie wordt uitgevoerd op basis van beschikbare kaarten en geïnterpreteerde data uit een studie van WarmingUP (de Haan e.a. 2020; Geel en Foeken 2021).

3.2 JURA/KRIJT

De afzettingen uit het Jura en het Krijt zijn afgezet in de ondiepe zeeën die ontstonden na het opbreken van Pangea, en bestaan daarom uit onder meer kalkstenen, zandstenen, mergels en kleien. Groepen waar voor geothermieprojecten naar gekeken wordt zijn de Rijnland Groep en de Schieland Groep. De zandpakketten die vanwege de hoge doorlatendheid mogelijk geschikt zijn als geothermiereservoir zijn de Vlieland Zandsteen (onderdeel van de Rijnland Groep) en de Delfland Zandsteen (onderdeel van de Schieland Groep) kunnen in het projectgebied aangetroffen worden. Ze zijn niet in het gehele projectgebied afgezet, slechts rondom Purmerend (Vlieland Zandsteen) en in het zuiden van Noord-Holland (Delfland Zandsteen, zie Figuur 3.2).



Figuur 3.2 | De verspreiding van de afzettingen uit het Laat-Krijt/Vroeg-Jura (Van Adrichem Boogaert en Kouwe 1993).

Potentieel reservoir	Eigenschappen	Opmerkingen
Rondom Purmerend: Rijnland Groep (Vlieland Zandsteen)	De top is gelegen tussen de 100 en 1300 m diepte. De netto dikte van het zandpakket is enkele tientallen meters. De doorlatendheid ligt tussen de 100 en 700 mD, en de onzekerheid is groot. De temperatuur van dit pakket is naar verwachting maximaal 60°C.	De Vlieland Zandsteen bestaat uit meerdere zandige laagpakketten, waarvan de Friesland Member in Noord-Holland aanwezig is.
Rondom Haarlem: Schieland Groep (Delfland subgroep - Laagpakket van Ablasserdam)	Gelegen tussen de 700 en 1300 m diepte. Het pakket wordt aangetroffen in Zuid-Holland, maar de noordgrens van de afzetting staat nog ter discussie. Ook de dikte van het zandpakket is in Noord-Holland onbekend. Er wordt een relatief hoge doorlatendheid (>500 mD) verwacht. De temperatuur van dit pakket is naar verwachting maximaal 60°C.	Onduidelijk wat de dikte van het zandpakket is en waar de noordgrens van dit pakket zich bevindt.

Conclusie

- Rondom Purmerend is door een combinatie van voldoende dikte en doorlaatbaarheid potentie voor geothermie in de Vlieland Zandsteen.
- De Delfland Subgroep en/of de Vlieland Zandsteen worden in Zuid-Holland al gebruikt voor de toepassing van geothermie. Uit de seismische interpretatie die uitgevoerd binnen deze studie blijkt dat deze zandpakketten uit de Rijnland Groep en Schieland groep vanuit Zuid-Holland ook doorlopen in het zuidwestelijke deel van Noord-Holland. Net als in de regio Katwijk-Noordwijk liggen de twee zandrijke pakketten direct op elkaar, waardoor voor de potentie de gezamenlijke dikte van de pakketten is meegenomen.

3.3 TRIAS

Het trias bestaat uit afwisselend zand- en kleirijke pakketten. Verschillende hiervan zijn in Nederland aangemerkt als potentiële geothermiereservoirs. In het onderzoeksgebied zijn meerdere van deze zandrijke pakketten afgezet. De dikste hiervan, en daardoor naar verwachting het pakket met de hoogste potentie, is de Onder-Volprieausen Zandsteen. Dit pakket wordt aangetroffen in het zuidelijke deel van Noord-Holland en in de Flevopolder. Dit pakket wordt aan de boven- en onderkant begrensd door afzettingen van tientallen meters dikte met een lage doorlatendheid: respectievelijk de Muschelkalk en kleilagen uit het Trias. Het is dus niet mogelijk de relatief dunne reservoirdikte te combineren met een nabijgelegen ander reservoir.

Potentieel reservoir	Eigenschappen	Opmerkingen
Onder-Volprieausen Zandsteen	De doorlatendheid volgens een regionale poro-perm: 50 - 100 mD. De netto dikte is maximaal 25 m (nabij Alkmaar). De temperatuur van dit pakket ligt naar verwachting tussen de 50 en 100°C.	Doorlatendheid mogelijk hoger vanwege inspoeling zuur regenwater langs rand bekken (EBN 2021).

Conclusie

Eén van de zandpakketten van het Trias, de Onder-Volprieausen Zandsteen, is aanwezig in grote delen van het onderzoeksgebied. Echter heeft het pakket een geringe dikte (max 25 m) en een zeer beperkte doorlaatbaarheid (max 100 mD) wat resulteert in een maximale transmissiviteit van 2.5 Dm. Door de lage transmissiviteit wordt dit pakket als niet kansrijk geacht en om deze redenen meegenomen in verdere analyses.

3.4 PERM

De Formatie van Slochteren is zandpakket dat is afgezet in het Perm en dat in bijna het gehele onderzoeksgebied wordt aangetroffen. Het wordt op verschillende plekken in Nederland geschikt geacht voor de winning van aardwarmte. Ook zijn er al meerdere geothermieprojecten binnen het onderzoeksgebied in dit pakket gerealiseerd, waaronder het ECW project in Middenmeer en de ACL en Hoogweg projecten in Luttelgeest.

Potentieel reservoir	Eigenschappen	Opmerkingen
Formatie van Slochteren	Top tussen de 1500 en 3000 m diepte. De dikte is relatief hoog, soms zelfs ruim 200 m (zoals bij het geothermieproject van ECW). Ook de doorlatendheid kan hoog zijn, tot	De inspoeling van zuur regenwater en de begravingsgeschiedenis hebben de lokale doorlatendheid beïnvloed.

zo'n 500 mD. De temperatuur van dit pakket ligt naar verwachting tussen de 50 en 110°C.

Conclusie

Omdat de Formatie van Slochteren gunstige eigenschappen heeft en er al meerdere geothermische projecten in deze regio warmte uit dit laagpakket produceren, wordt de geothermische potentie in deze studie verder in kaart gebracht. Om de potentie van de Formatie van Slochteren in kaart te brengen is een volledige petrofysische en seismische analyse uitgevoerd. Hierbij is rekening gehouden met de geologische gebeurtenissen die na afzetting invloed hebben gehad op de kwaliteit van het reservoir: o.a. de begravingsgeschiedenis en uitloging door de inspoeling van zuur regenwater.

3.5 CARBOON

In het Carboon zijn in Nederland verschillende typen sediment afgezet: zand, klei en kalksteen. De zanden zijn onderdeel van de Hunze Subgroep en de Dinkel Subgroep. Deze zijn beiden niet afgezet in het projectgebied, maar wel aanwezig in bijvoorbeeld Zuid-Holland en het oosten van Overijssel, Drenthe en Groningen.

De kalkstenen zijn afgezet als onderdeel van de Formatie van Zeeland, wat weer onderdeel is van de Kolenkalk Groep. Deze kalkstenen (ook wel vernoemd naar de tijdsperiode waar ze uit komen, het Dinantiën) worden in Nederland gezien als potentieel voor Ultra Diepe Geothermie (UDG). Echter, door de grote diepte waar ze op liggen is er weinig over bekend. Doorgaans hebben kalkstenen veel minder ruimte tussen de korrels dan zandstenen. Water produceren gaat daarom via de zogenoemde secundaire permeabiliteit: breuken en scheuren die na afzetting gevormd zijn en waar het water doorheen kan stromen met mogelijke karstvorming tot gevolg.

In de Noordoostpolder is het Dinantiën aangeboord door de LTG-01 put (Dinantiën op 4350 - 5100 MD) en in 2019 is deze put opnieuw bekeken als onderdeel van het Green Deal UDG programma ([SCAN UDG Rapport 2019](#)). Bij deze herinterpretatie zijn er in het Dinantiën veel breuken en scheuren aangetroffen (1.2 breuken per meter). In het onderzoek werd ook geconcludeerd dat de deze breuken en scheuren waarschijnlijk geen aaneengesloten en doorlatend systeem vormen. Dit staat in contrast met andere putten die zijn geboord in het Dinantiën zoals CAL-GT-01 en MOL-GT waar breuken en scheuren wel bijdragen aan de secundaire doorlatendheid van het reservoir. Uit het [SCAN UDG Rapport 2019](#) blijkt dus dat het heel lastig te voorspellen is wat de effectieve bijdrage is van breuken en scheuren aan de secundaire doorlatendheid van een kalksteen reservoir.

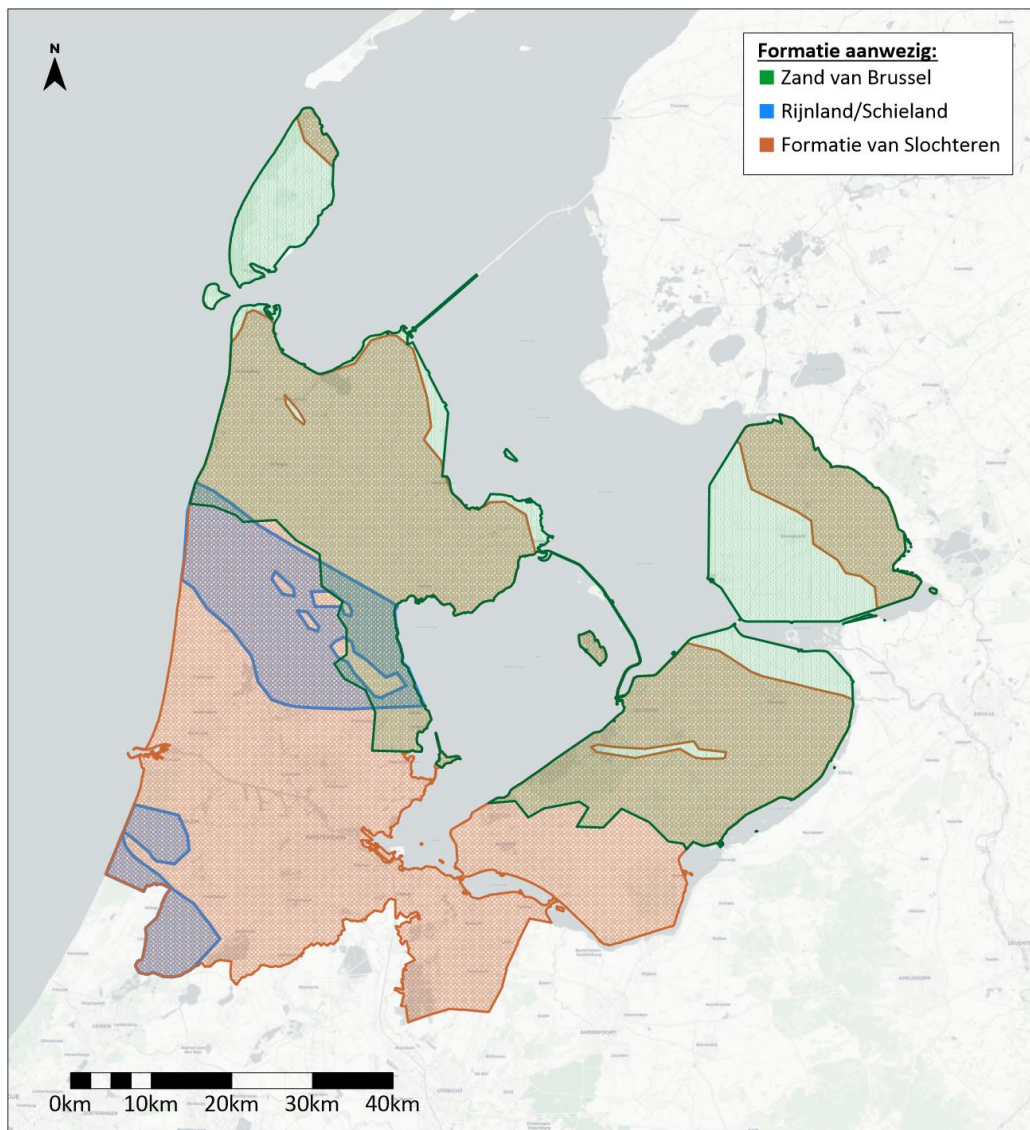
Conclusie

Door de geringe informatie in het projectgebied (enkel de LTG-01 put), grote onzekerheid of de breuken en scheuren een voldoende doorlatend systeem vormen en de diepe ligging (> 4000 m) wordt er binnen deze studie geen potentie berekend voor het Dinantiën. Wel is tijdens de interpretatie van de nieuwe SCAN-data, waar mogelijk, in de Noordoostpolder de top van het Dinantiën mee gekarteerd.

3.6 SAMENVATTING GESCHIKTE LAGEN

Op basis van de reservoirinventarisatie wordt van drie formaties verwacht dat ze mogelijk potentie bieden voor de toepassing voor geothermie: het Zand van Brussel, de Rijnland/Schieland zanden en

de Formatie van Slochteren. Waar deze formaties aangetroffen kunnen worden is gepresenteerd in onderstaand figuur. Deze figuur laat zien dat de Formatie van Slochteren in vrijwel het gehele onderzoeksgebied aanwezig is, terwijl de Rijnland/Schieland zanden slechts in delen van Noord-Holland aangetroffen worden. Het Zand van Brussel is in ongeveer de helft van het onderzoeksgebied aanwezig, met name in het noorden van Noord-Holland en in Flevoland.



Figuur 3.3 | Verbreidingskaart van de drie formaties die uitgewerkt worden in deze studie.

Formatie van Slochteren

De Formatie van Slochteren is een zandpakket met Perm-ouderdom dat in bijna het gehele onderzoeksgebied wordt aangetroffen. De diepteligging is tussen 1500 en 3000 m. Het wordt op verschillende plekken in Nederland, waaronder in noord Noord-Holland en de Noordoostpolder, al gebruikt voor de winning van aardwarmte. De doorlaatbaarheid kan lokaal sterk variëren door de begravingsgeschiedenis en de inspoeling van zuur regenwater. Om de potentie van de Formatie van

Slochteren in kaart te brengen is een volledige petrofysische en seismische analyse uitgevoerd. Hierbij is rekening gehouden met de gebeurtenissen die na afzetting invloed hebben gehad op de kwaliteit van het reservoir.

Rijnland/Schieland

De Vlieland Zandsteen en de Delfland Zandsteen zijn zandpakketten binnen respectievelijk de Rijnland Groep en de Schieland Groep die mogelijk geschikt zijn voor de winning van aardwarmte. Deze pakketten liggen in sommige gebieden op elkaar, zonder dat hier altijd een duidelijke overgang is waar te nemen. In deze studie zijn deze twee zandpakketten gezamenlijk behandeld. De zandpakketten worden op twee locaties in Noord-Holland aangetroffen, in Flevoland zijn de zandpakketten niet aanwezig. De diepte van deze pakketten is maximaal 1300 m. Om de verbrediging van de zandpakketten inzichtelijk te maken is een seismische interpretatie uitgevoerd. De gesteente eigenschappen zijn bepaald met behulp van literatuurbedata.

Zand van Brussel

Dit pakket is aanwezig het noordoostelijke gedeelte van het projectgebied. De diepte varieert van 700 tot 1300 m en het pakket heeft een maximale dikte van 80 m. Er is weinig log- en kerndata beschikbaar, dus er wordt in de petrofysische analyse gebruik gemaakt van reeds beschikbare data en kaarten.

Overige lagen

De Formatie van Breda, het Laagpakket van Berg, de Onder Volpriehausen Zandsteen en het Carboon zijn na een eerste analyse afgevalen als geschikte pakketten voor de winning van aardwarmte. De lagen zijn dan ook niet verder uitgewerkt in deze studie.

4 Seismische interpretatie en diepte modellering

4.1 SEISMISCHE DATA EN PUTGEGEVENS GEBRUIKT TIJDENS DE SEISMISCHE INTERPRETATIE

Om de potentie voor geothermie in de provincies Noord-Holland en Flevoland beter in kaart te brengen is er voor deze studie een mix van 2D en 3D seismische data geïnterpreteerd. De polygoon van de gebruikte seismische data zijn te zien in Figuur 4.1. De seismische interpretatie is ondersteund door putgegevens, welke naar tijd zijn geconverteerd middels tijd-diepte relaties of seismic-to-well ties (Tabel 4.3 en Tabel 4.1). De subsets van de seismische data gepresenteerd in Figuur 4.1 zijn als volgt:

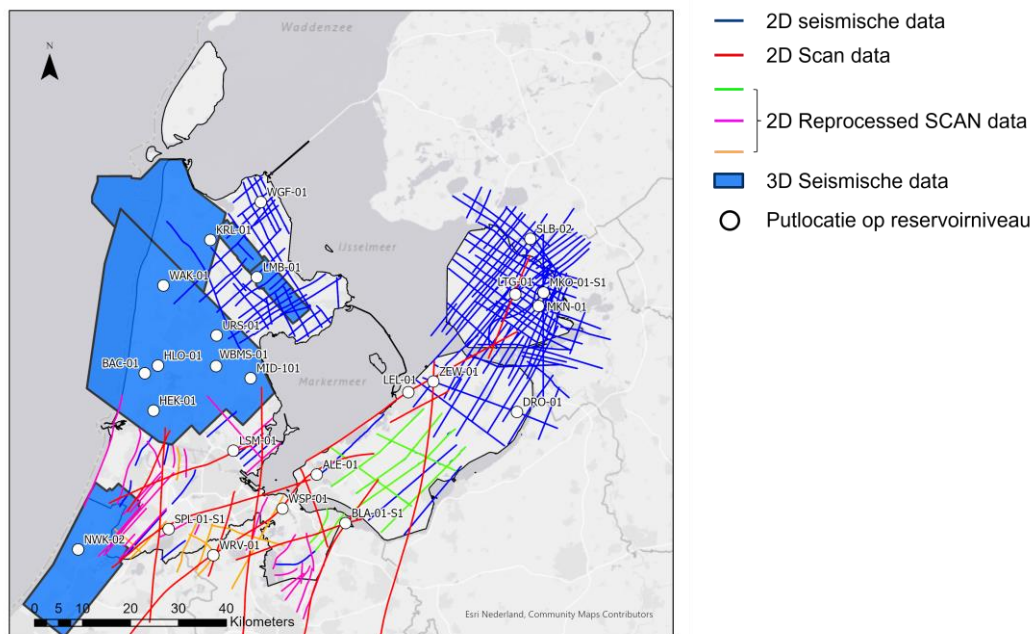
- 2D vintage seismische data (blauwe lijnen): Originele 2D seismische data beschikbaar via <https://www.nlog.nl/datacenter/smc-surveys>.
- 2D SCAN data (rode lijnen): Nieuwe seismische lijnen verkregen vanuit het SCAN programma. Deze lijnen zijn beschikbaar via <https://www.nlog.nl/scan-2d-seismische-data>
- 2D reprocessed data (groene -, magenta en oranje lijnen): Bestaande 2D seismische lijnen welke zijn gereprocessed binnen het SCAN programma. Deze lijnen zijn beschikbaar via <https://www.nlog.nl/scan-2d-seismische-data>
- 3D seismische data (lichtblauwe polygoon): Originele 3D seismische surveys beschikbaar via <https://www.nlog.nl/datacenter/smc-3d-surveys>

De kwaliteit van de seismische data is afhankelijk van de ouderdom, het type dataset (2D, 3D, reprocessed of nieuwe SCAN data) en de locatie. Zo zijn de gebruikte vintage 2D seismische lijnen (blauwe lijnen) van sterk wisselende kwaliteit. De beschikbare 3D, reprocessed en nieuwe SCAN data is over het algemeen van goede kwaliteit binnen de provincies Noord-Holland en Flevoland.

Omdat de gebruikte data uit verschillende surveys komt kunnen er tussen de individuele lijnen en 3D volumes verticale miss-ties zitten. Ook kan er afhankelijk van de originele leverancier van de data een verschil zitten in seismische polariteit (SEG vs. NON-SEG). Voor deze studie is dit als volgt opgelost:

- Noord-Holland-Noord: Alle 2D seismische lijnen en 3D volumes zijn getied aan de L3NAM1996C-Schagen survey door middel van verticale seismische shifts en waar nodig het omdraaien van de seismische polariteit.
- Noord-Holland-Zuid: Alle 2D seismische lijnen zijn getied aan de nieuwe 2D SCAN lijnen door middel van verticale seismische shifts. Deze vertoonden onderling geen miss-tie.
- Flevoland: Alle 2D seismische lijnen zijn getied aan de nieuwe 2D SCAN lijnen door middel van verticale seismische shifts en waar nodig het omdraaien van de seismische polariteit.

Seismische lijnen die niet konden worden getied door middel van de bovengenoemde werkwijze zijn verwijderd uit de dataset en niet geïnterpreteerd. Dit zijn echter maar 3 lijnen. Eén in Noord-Holland Noord en twee in Flevoland-Zuid.



Figuur 4.1 | Kaart met seismische- en putgegevens gebruikt tijdens de seismische interpretaties van de provincies Flevoland en Noord-Holland.

Tabel 4.1 | Lijst putgegevens gebruikt tijdens de seismische interpretatie.

Regio	Well	Velocity model	Seismic to well tie?
Noordoostpolder (NOP)	LTG-01	Velocity model from seismic to well tie	Ja
	MKN-01	Velocity model from seismic to well tie	Ja
	MKO-01-S1	Velocity model from seismic to well tie	Ja
	SLB-02	Velocity model from seismic to well tie	Ja
	NAG-01	Velocity model from TZ curve	no
Flevoland Zuid (FLZ)	ZEW-01	Velocity model from seismic to well tie	Ja
	DRO-01	Velocity model from seismic to well tie	Ja
	LEL-01	Velocity model from seismic to well tie	Ja
	ALE-01	Velocity model from seismic to well tie	Ja
Noord-Holland (NHN & NHZ)	WSP-01	Velocity model from seismic to well tie	Ja
	BLA-01-S1	Velocity model from seismic to well tie	Ja
	WRV-01	Velocity model from seismic to well tie	Ja
	SPL-01-S1	Velocity model from seismic to well tie	Ja
	LSM-01	Velocity model from seismic to well tie	Ja
	NWK-02	Velocity model from seismic to well tie	Ja
	LMB-01	Velocity model from TZ curve	Nee (geen RHOB)
	KRL-01	Velocity model from seismic to well tie	Yes
	WGF-01	Velocity model from TZ curve	Nee (geen RHOB)

WAK-01	Velocity model from TZ curve	Nee (geen RHOB)
BAC-01	Velocity model from TZ curve	Nee (geen RHOB)
HEK-01	Velocity model from TZ curve	Nee (geen RHOB)
HLO-01	Velocity model from TZ curve	Nee (geen RHOB)
MID-101	Velocity model from TZ curve	Nee (geen RHOB)
URS-01	Velocity model from TZ curve	Nee (geen RHOB)
WBMS-01	Velocity model from seismic to well tie	Yes

4.2 METHODE

4.2.1 Werkwijze

Alle seismische - en putgegevens (Figuur 4.1) zijn ingeladen en geïnterpreteerd in OpendTect versie 6.6.7 in het Amersfoort / RD New (EPSG:28992) coördinatenstelsel. Ook zijn alle seismische gegevens ingeladen als - of geconverteerd naar, de NON-SEG polariteitsconventie. Alle putten zijn in eerste instantie naar tijd geconverteerd middels bestaande T-Z curves (Tabel 4.1). Voor putten waar zowel density als sonic logs beschikbaar zijn is de tijd-diepte conversie verder verfijnd middels seismic-to-well-ties (Appendix 1). De seismische interpretaties van de verschillende lagen zijn vervolgens met behulp van de naar tijd-converteerde well-tops en seismic-to-well-tie resultaten uitgevoerd. Alle 2D seismische lijnen gepresenteerd in Figuur 4.1 zijn binnen de provincie grenzen volledig geïnterpreteerd. Voor de 3D seismiek zijn de reservoir markers (i.e. Zand van Brussel, Formatie van Slochteren en/of de Rijnland-Schieland grens) elke 40^{ste} inline (NW-SE strekkend) en langs putten geïnterpreteerd.

Alle seismische figuren en resultaten gepresenteerd in dit rapport hanteren de NON-SEG conventie.

4.2.2 Deelregio's waarbinnen de verschillende reservoirs zijn geïnterpreteerd

Vanwege verschillen in type data, data-dichtheid, data-kwaliteit en geologie is de seismische interpretatie van de provincies Noord-Holland en Flevoland opgedeeld in verschillende deelregio's, namelijk:

- Noordoostpolder (NOP): In de Noordoostpolder wordt het belangrijkste reservoir (Slochteren) afgesneden door het Texel-IJsselmeer hoog van de rest van Flevoland. De geologie is hierdoor anders en is daarom als aparte deelregio geïnterpreteerd.
- Flevoland-Zuid (FLZ): Flevoland-Zuid wordt door het Texel-IJsselmeer hoog van de Noordoostpolder afgesneden en is daarom als aparte deelregio geïnterpreteerd.
- Noord-Holland Noord (NHN): Vanwege de relatief hoge datadichtheid en beschikbaarheid van 3D seismiek is Noord-Holland Noord (ten noorden van Amsterdam) als aparte deelregio geïnterpreteerd.
- Noord-Holland Zuid (NHZ): Vanwege de relatief lage datadichtheid en beschikbaarheid van nieuwe 2D SCAN seismische lijnen is Noord-Holland Zuid (ten zuiden van Amsterdam) als aparte deelregio geïnterpreteerd.

Per deelregio zijn er verschillende geologische formaties geïnterpreteerd (Tabel 4.2), namelijk:

- NOP: Alle belangrijke horizons uit DGM V5 en alle reservoir markers zijn geïnterpreteerd.
- FLZ: Alle belangrijke horizons uit DGM V5 en alle reservoir markers zijn geïnterpreteerd.

- NHN: Voor de deelregio NHN is vanwege de goede fit met de data, DGM V5 aangehouden voor BNS, BCK, BKN, BS en BAT. Alle reservoir markers zijn geïnterpreteerd (TZE, TROSL en BROSL).
- NHZ: Vanwege mis-matches met de nieuwe SCAN data zijn alle horizons uit DGM V5 en alle reservoir markers geëvalueerd en waar nodig opnieuw geïnterpreteerd (Zie Tabel 4.2).

Tabel 4.2 | Lijst met seismisch geïnterpreteerde lagen per deelgebied.

Regio	Formatie	Formatie code	Opmerking
NOP	Top Zand van Brussel	TZvB	Reservoir marker, fully interpreted
	Base Zand van Brussel	BZvB	Reservoir marker, fully interpreted
	Base North Sea Group	BNS	Only used as indicative marker
	Base Chalk	BCK	Only used as indicative marker
	Top Zechstein	TZE	Reservoir marker, fully interpreted
	Top Slochteren	TROSL	Reservoir marker, fully interpreted
	Base Slochteren	BROSL	Reservoir marker, fully interpreted
FLZ	Top Zand van Brussel	TZvB	Reservoir marker, fully interpreted
	Base Zand van Brussel	BZvB	Reservoir marker, fully interpreted
	Base North Sea Group	BNS	Only used as indicative marker
	Base Chalk	BCK	Only used as indicative marker
	Base Rijnland	BKN	Only used as indicative marker
	Base Schieland	BS	Only used as indicative marker
	Base Altena	BAT	Only used as indicative marker
	Top Zechstein	TZE	Reservoir marker, fully interpreted
	Top Slochteren	TROSL	Reservoir marker, fully interpreted
	Base Slochteren	BROSL	Reservoir marker, fully interpreted
NHN	Top Zand van Brussel	TZvB	Reservoir marker, fully interpreted
	Base Zand van Brussel	BZvB	Reservoir marker, fully interpreted
	Rijnland-Schieland Grens	KN-S Grens	Reservoir marker: Because of the good fit with the DGM-V5 BKN marker with the seismic and well data, the depth map of BKN from DGM-V5 has directly been used to indicate the depth of the Vlieland sandstones in the NHN region
	Top Zechstein	TZE	Reservoir marker, fully interpreted
	Top Slochteren	TROSL	Reservoir marker, fully interpreted
	Base Slochteren	BROSL	Reservoir marker, fully interpreted
	Base Schieland	BS	Only used as indicative marker
NHZ	Top Zand van Brussel	TZvB	Reservoir marker, fully interpreted
	Base Zand van Brussel	BZvB	Reservoir marker, fully interpreted
	Base North Sea Group	BNS	Only used as indicative marker
	Base Chalk	BCK	Only used as indicative marker
	Base Rijnland	BKN	Only used as indicative marker
	Rijnland-Schieland Grens	KN-S Grens	Reservoir marker, fully interpreted
	Base Schieland	BS	Only used as indicative marker

Base Altena	BAT	Only used as indicative marker
Top Zechstein	TZE	Revervoir marker, fully interpreted
Top Slochteren	TROSL	Revervoir marker, fully interpreted
Base Slochteren	BROSL	Revervoir marker, fully interpreted

4.3 SEISMIC WELL TIES

Alle putten waarvan een digitale density en sonic log beschikbaar was zijn getied aan de seismiek (Tabel 4.1). Met behulp van deze seismiek-to-well-ties kon het seismisch karakter van alle formaties worden bepaald, om zo de seismische interpretatie van de verschillende reservoir markers te ondersteunen. Alle seismic-to-well-ties zijn uitgevoerd in Opendtect met een reverse Ricker wavelet. Voorbeelden van de well-ties voor alle deelregio's zijn te vinden in Bijlage 2.

4.3.1 Zand van Brussel

Het Zand van Brussel is afgezet in de deelregio's NOP, FLZ en NHN. Het Zand van Brussel wordt gekarakteriseerd door een zwak seismisch signaal dat ontstaat door een lichte verandering in de acoustic impedance. In alle deelregio's wordt de top gekarakteriseerd door een zero-crossing en de basis door een zwakke negatieve reflector.

4.3.2 Rijnland Schieland grens

De Rijnland-Schieland grens is indicatief voor de aanwezigheid van de zandlagen van de Vlieland Subgroep (KNN) en Delfland Subgroep (SLD), welke zijn afgezet in delen van Noord-Holland Noord (Alkmaar - Purmerend) en Noord-Holland Zuid (Haarlem - Nieuw-Vennep - Noordwijk). In beide deelgebieden worden Vlieland - en Delfland Subgroep gekarakteriseerd door alternaties van klei en zand wat resulteert in sterke verschillen in acoustic impedance en sterke seismische reflecties. In beide deelgebieden is de Rijnland-Schieland grens (KN-S grens) geïnterpreteerd als zero crossing (Tabel 4.3).

4.3.3 Zechstein en Formatie van Slochteren

De Zechstein en Formatie van Slochteren zijn met uitzondering van delen van het Texel-IJsselmeer Hoog in alle deelregio's afgezet en geïnterpreteerd. In alle deelgebieden (NOP, FLZ, NHN en NHZ) wordt de top van de Zechstein formatie gekarakteriseerd door een sterke toename in de acoustic impedance, wat gepaard gaat met een sterke negatieve reflector (Appendix 1). De top van het Slochteren wordt, als er Zechstein aanwezig is, gekarakteriseerd door een sterke verlaging van de acoustic impedance en daarmee een sterk positieve reflector. Als de Zechstein formatie afwezig is (delen van de NOP), wordt de top van de Slochteren gekarakteriseerd door een zero-crossing (Tabel 4.3). De basis van het Slochteren wordt in alle deelregio's over het algemeen gekenmerkt door een negatieve reflector.

Tabel 4.3 | Het seismisch karakter bepaald aan de hand van de seismic-to-well-ties van alle reservoir markers per deelgebied.

Region	Formation	Seismic character
NOP	TZvB	Zero crossing (-+)
	BZvB	Negative (-)
	TZE	Negative (-)
	TROSL (No Zechstein)	ZC (-+)
	TROSL (Zechstein)	Positive (+)

	BROSL	Negative (-)
FLZ	TZvB	Zero crossing (++)
	BZvB	Zero crossing (++)
	TZE	Negative (-)
	TROSL (Zechstein)	Positive (+)
	BROSL	Negative (-)
Noord-Holland	TZvB	Zero crossing (++)
	BZvB	Negative (-)
	KN-S grens (NHN)	Zero crossing (++)
	KN-S grens (NHZ)	Zero crossing (++)
	TZE	Negative (-)
	TROSL (Zechstein)	Positive (+)
	BROSL	Negative (-) / Zero Crossing (++)

4.4 SEISMISCHE INTERPRETATIE

Met behulp van de boven genoemde methodes zijn de verschillende reservoirlagen (ZvB, KN-S en ROSL) en grote breuken in alle deelregio's volledig in 3D in kaart gebracht. Na interpretatie zijn alle reservoir lagen in Opendtect met breukpolygonen in alle deelgebieden gegrid met behulp van de [grid 2D-3D horizon tool en het Local Thin Plate Spline \(LPTS\) algoritme](#) (settings: IL = 1, XL = 1, influence radius = 8000 m en number points per sector = 4). Er is voor deze methodiek gekozen omdat dit het mogelijk maakt om met behulp van OpendTect met breukpolygonen te gridden. In de hierna volgende sub-hoofdstukken volgt een korte beschrijving van de verkregen resultaten.

4.4.1 3D breuk interpretatie en breukpolygonen

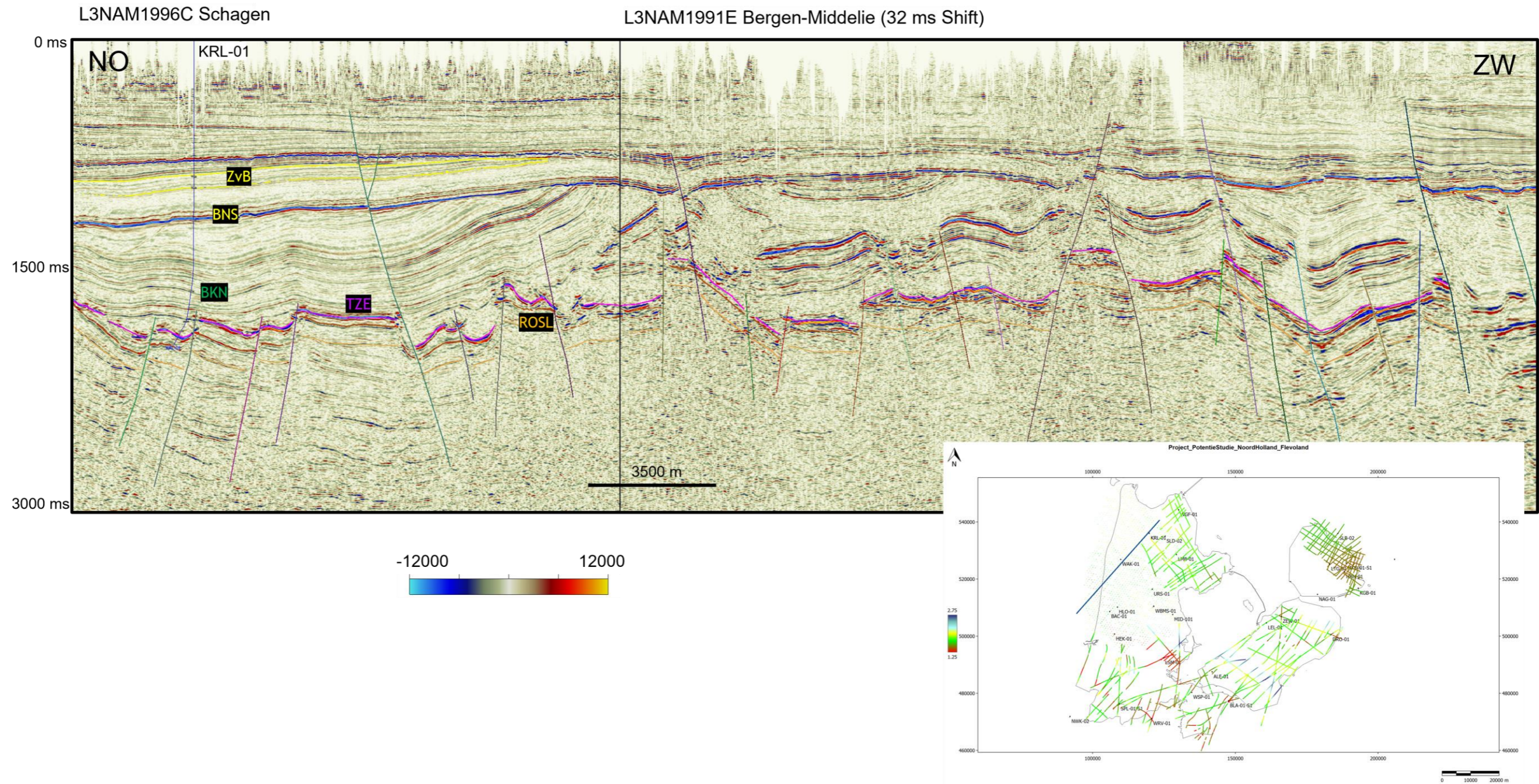
De grote breuken zijn in alle deelgebieden in 3D geïnterpreteerd als fault sticks en fault planes (e.g. Figuur 4.2 en Figuur 4.3). Langs de horizons van de top ZvB, KN-S grens en de top ROSL zijn vervolgens breukpolygonen geëxtraheerd, welke vervolgens in QGIS 3.10 zijn opgeschoond en geconverteerd naar shapefiles. Zie Figuur 4.4 voor een voorbeeld van de breukpolygonen langs de TZvB.

4.4.2 3D reservoir interpretatie

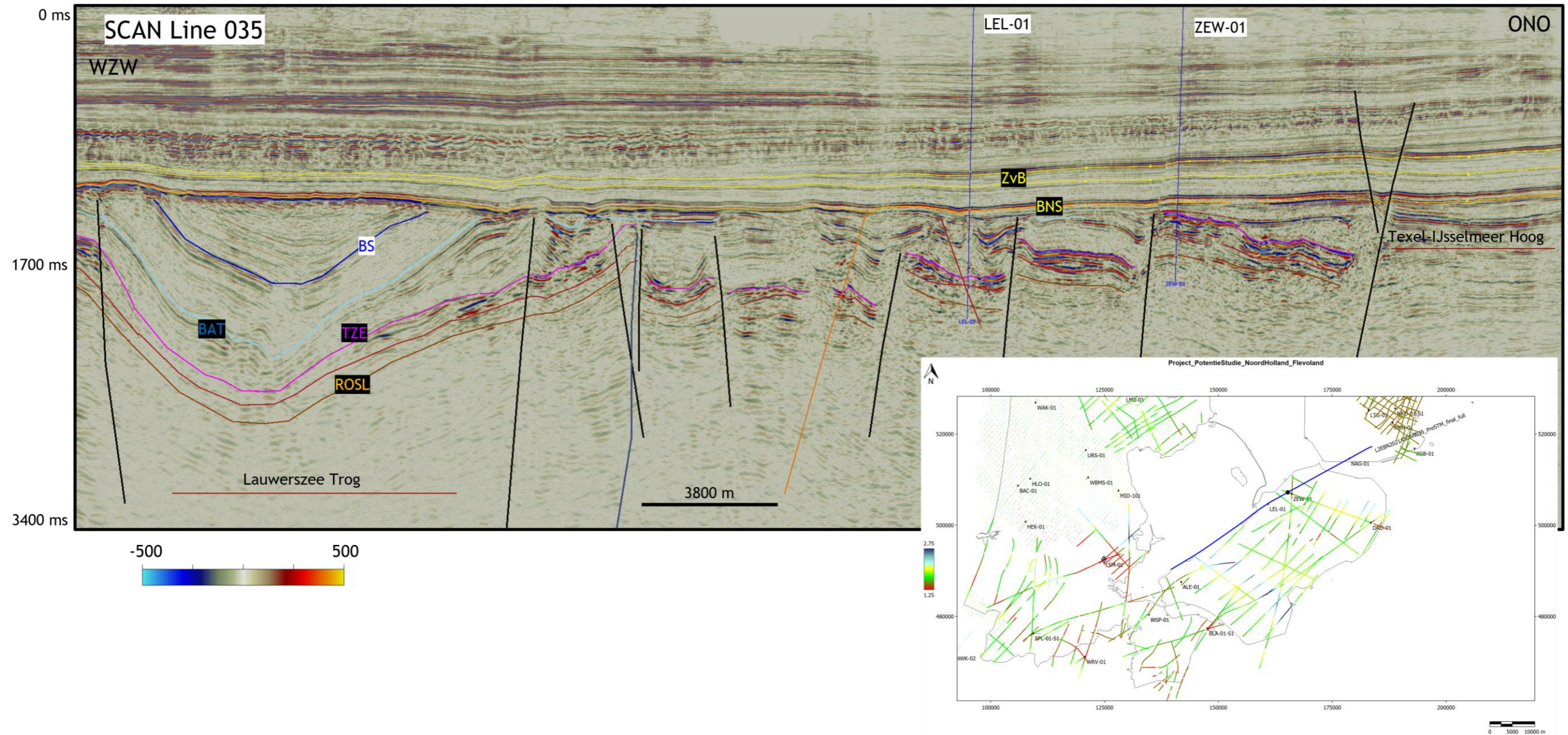
Zand van Brussel (ZvB)

Noord-Holland Noord en Texel: Het Zand van Brussel is in grote delen van Noord-Holland Noord afgezet en de TWT diepte van de TZvB varieert tussen de 0.75 en 1.0 s (Figuur 4.4). Over het algemeen laat de seismische interpretatie zien dat het ZvB sterk verdund richting het zuiden (Figuur 4.2 & Figuur 4.4). In het noorden ligt het ZvB over het algemeen iets dieper en is de dikte redelijk constant. Vanwege gebrekkige seismische data is het ZvB niet op Texel geïnterpreteerd.

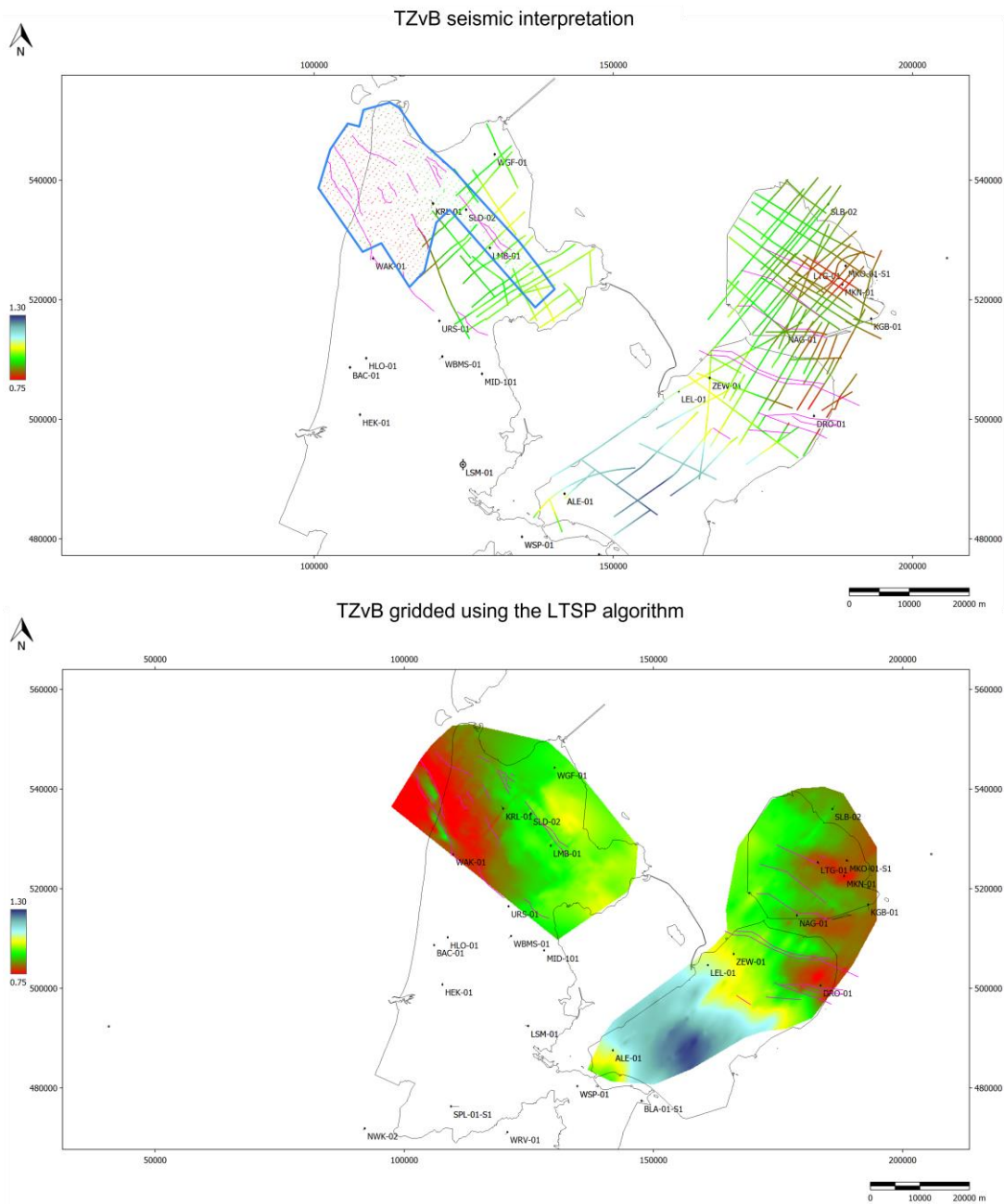
Flevoland: Het ZvB is bijna in de gehele provincie Flevoland afgezet. In de Noordoostpolder is zowel de diepte als de dikte redelijk constant (Figuur 4.3 en Figuur 4.4). In Flevoland Zuid ligt het ZvB over het algemeen dieper (tussen 1.0 en 1.3 [TWT s]). Ook is er een sterk verdunnende trend te zien richting het zuidwesten (e.g. Figuur 4.3). In het zuiden van de provincie en rondom de DRO-01 put is het ZvB niet afgezet of geërodeerd.



Figuur 4.2 | NO-ZW strekkende dwarssectie langs de seismische volumes L3NAM1996C Schagen en L3NAM1991E Bergen-Middelie in de deelregio NHN. Kleurcodes voor de geïnterpreteerde reservoir markers: ZvB is geel, TZE is magenta, TROSL is bruin en BROSL is oranje. Breuken kunnen meerdere kleuren hebben. Positie van de lijn en de TROSL interpretatie worden weergegeven op de basemap rechtsonder.



Figuur 4.3 | WZW-OSO strekkende dwarssectie langs SCAN Lijn 035 in de deelregio FLZ. Kleurcodes voor de geïnterpreteerde reservoir markers: ZvB is geel, TZE is magenta, TROSL is lichtbruin en BROSL is donkerbruin. Breuken kunnen meerdere kleuren hebben. Positie van de lijn en de TROSL interpretatie worden weergegeven op de basemap rechtsonder.



Figuur 4.4 | Boven) De interpretatie van de Top ZvB voor alle deelgebieden in TWT s. Het blauwe polygon geeft aan waar de horizon in 3D is geïnterpreteerd. Onder) Geïnterpoleerde horizon (TWT s) van de seismische resultaten met behulp van het LTSP algoritme. Voor beide kaarten zijn de breukpolygonen op TZvB geprojecteerd en weergegeven in magenta.

WarmingUp resultaten van ZvB: De resultaten van de seismische interpretatie van het ZvB (Figuur 4.4) zijn vergeleken met de resultaten van de in 2021 gepubliceerde WarmingUp resultaten (de Haan e.a. 2020; Geel en Foeken 2021), welke een landelijke en gedetailleerde interpretatie van het ZvB betreft. Beide studies laten dezelfde diepte en dikte trends voor het ZvB zien binnen de provincies Noord-Holland en Flevoland. Vanwege deze gelijkenissen en omdat de resultaten uit de WarmingUP studie op meer putgegevens gebaseerd zijn, is er besloten om in de verdere analyses van deze studie de WarmingUP resultaten te gebruiken.

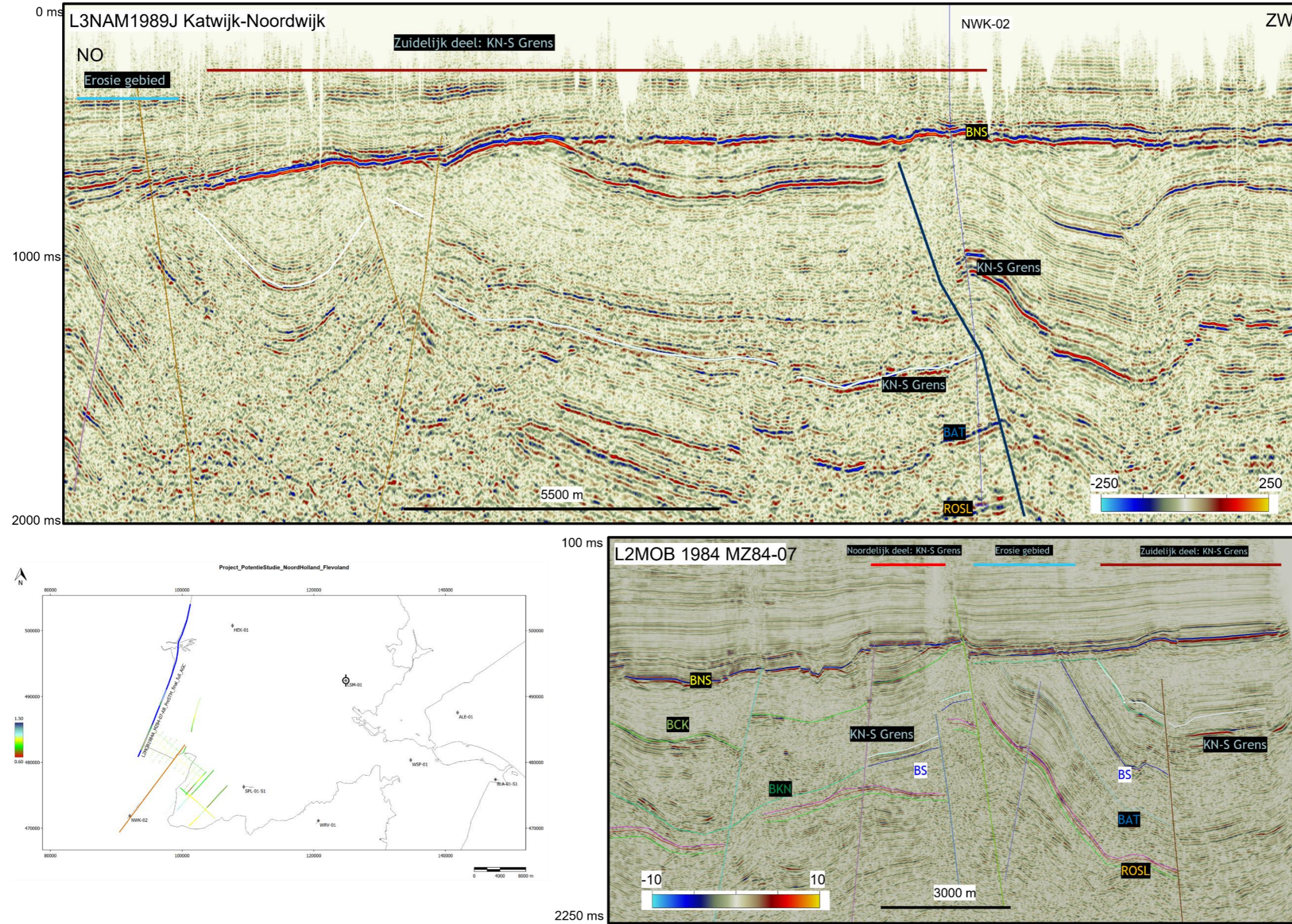
Rijnland-Schieland grens (KN-S grens)

Noord-Holland Noord: In Noord-Holland Noord is de Rijnland-Schieland grens indicatief voor de aanwezigheid van de zandlagen van de Vlieland Subgroep (KNN), welke zijn afgezet in de regio Alkmaar - Purmerend (Figuur 3.2). In deze regio is vanwege de goede 3D seismiek, DGM-V5 over het algemeen accuraat. Daarom is er besloten om in deze deelregio de Rijnland-Schieland grens niet te interpreteren en om in de verdere analyses van deze studie de Base KN horizon uit DGM-V5 te gebruiken. Breuken in dit deelgebied zijn wel handmatig in 3D geïnterpreteerd en deze breuken laten een NW-ZO strekking zien (zie sectie 4.6).

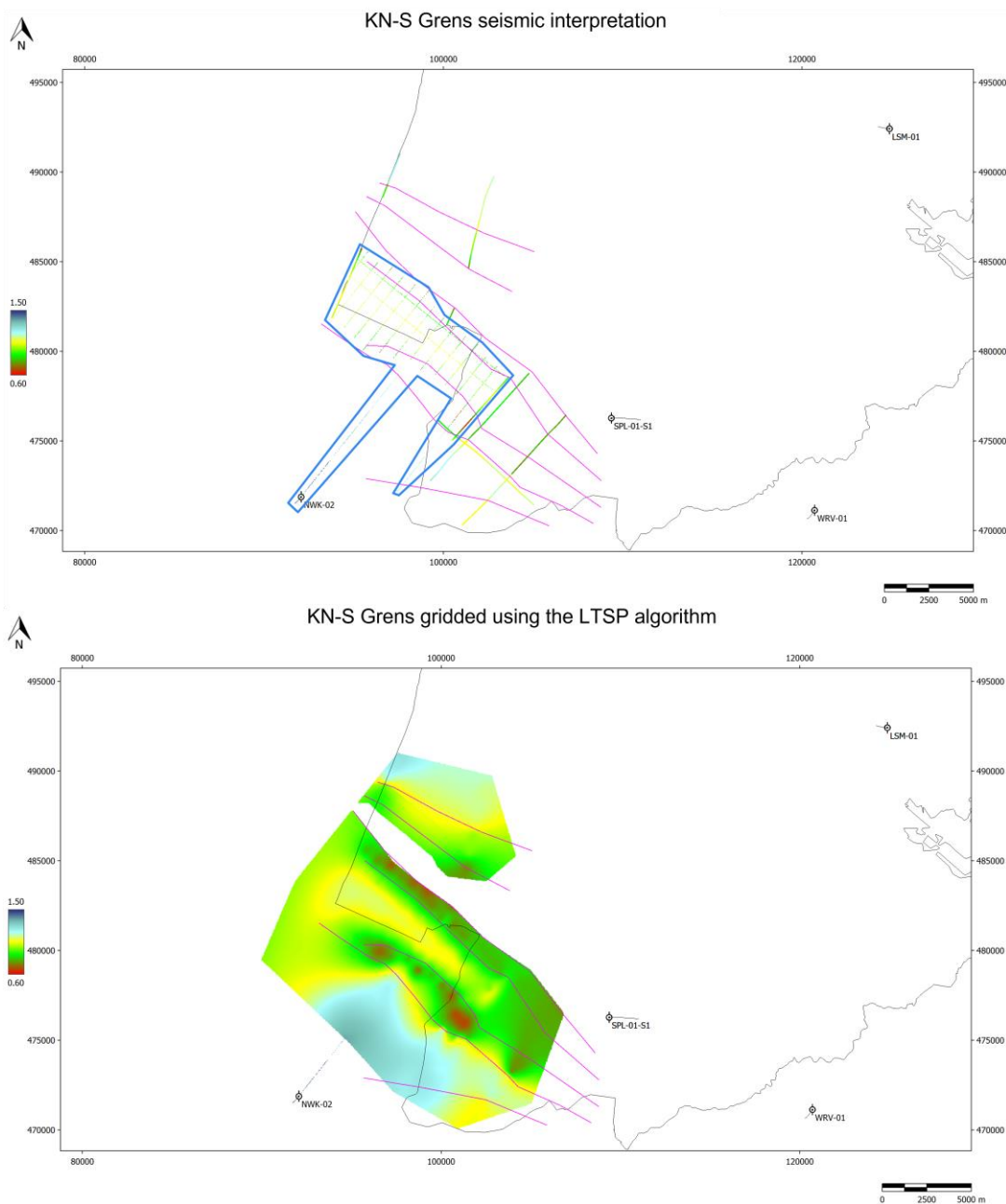
Noord-Holland Zuid: In Noord-Holland Zuid is de Rijnland-Schieland grens indicatief voor de aanwezigheid van de zandlagen van de Vlieland Subgroep (KNN) en Delfland Subgroep (SLD), welke zijn afgezet in de regio van Haarlem - Nieuw-Vennep - Noordwijk (Figuur 4.5 & Figuur 4.6). Met behulp van de NWK-02 put is het seismische karakter van de KN-S overgang vastgesteld, waarna de laag naar het noorden toe is geïnterpreteerd (Figuur 4.5). Uit de interpretatie blijkt dat de zandlagen van de Vlieland - en Delfland Subgroep sterk zijn verbreukt en dat ze op meerdere plekken zijn geërodeerd (Figuur 4.5 & Figuur 4.6). Deze breuken hebben hoofdzakelijk een NW-ZO strekking. Geïnterpreteerde TWT dieptes van de KN-S grens liggen tussen de 0.65 en 1.4 [TWT s]. Richting Haarlem lijkt de KN-S grens ook aanwezig (e.g. Figuur 4.5: seismische lijn L2MOB1984 MZ84-07), alleen is dit door gebrekkige data relatief onzeker.

Bij de interpretatie van Noord-Holland Zuid is er in het Amstelland (Nabij de WSP-01 put) ook nog een eventueel zandlichaam aangetroffen, genaamd de Rijnland Zand (b.v. SCAN Lijn 025: Figuur 4.8). Dit zandlichaam was eerder al door EBN geïdentificeerd, en wordt door EBN als mogelijk reservoir voor geothermie beschouwd.

Over dit mogelijke 'zandlichaam' zijn echter weinig petrofysische gegevens, waardoor de kwaliteit en dikte van dit reservoir onzeker is. Daarom wordt dit reservoir niet verder meegenomen binnen deze studie. Wel komt er in de nabije toekomst een mogelijke SCAN-boring naar dit reservoir welke uitsluitsel kan geven over de aanwezigheid, dikte en kwaliteit van de Rijnland Zand.



Figuur 4.5 | Boven) NO-ZW strekkende dwarssectie langs L3NAM1989J Katwijk-Noordwijk in de deelregio NHZ. Kleurcodes voor de geïnterpreteerde reservoir markers: KN-S grens is wit. Breuken kunnen meerdere kleuren hebben. Rechtsonder) NO-ZW strekkende dwarssectie langs de seismische lijn L2MOB1984 MZ84-07 in de deelregio NHZ. Kleurcodes voor de geïnterpreteerde reservoir markers: KN-S grens is wit, TZE is magenta, TROSL is bruin en BROSL is groen. Positie van de lijn en de KN-S grens interpretatie worden weergegeven op de basemap links onder.



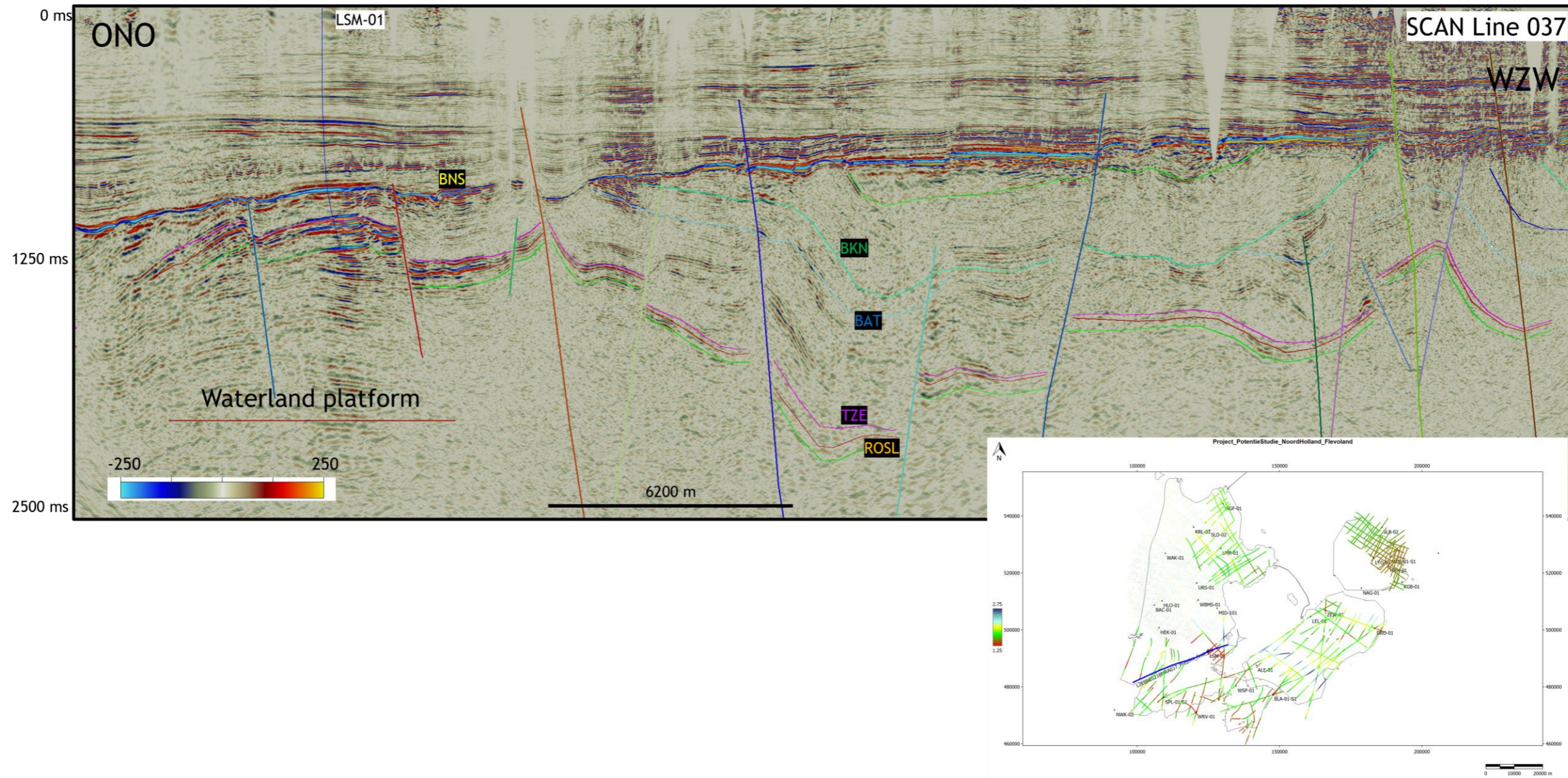
Figuur 4.6 | Boven) De interpretatie van de KN-S grens voor het deelgebied NHZ in TWT s. Het blauwe polygon geeft aan waar de horizon in 3D is geïnterpreteerd. Onder) Geïnterpoleerde horizon (TWT s) van de seismische resultaten met behulp van het LTSP algoritme. Voor beide kaarten zijn de breukpolygonen op KN-S grens geprojecteerd en weergegeven in magenta.

De Formatie van Slochteren (ROSL)

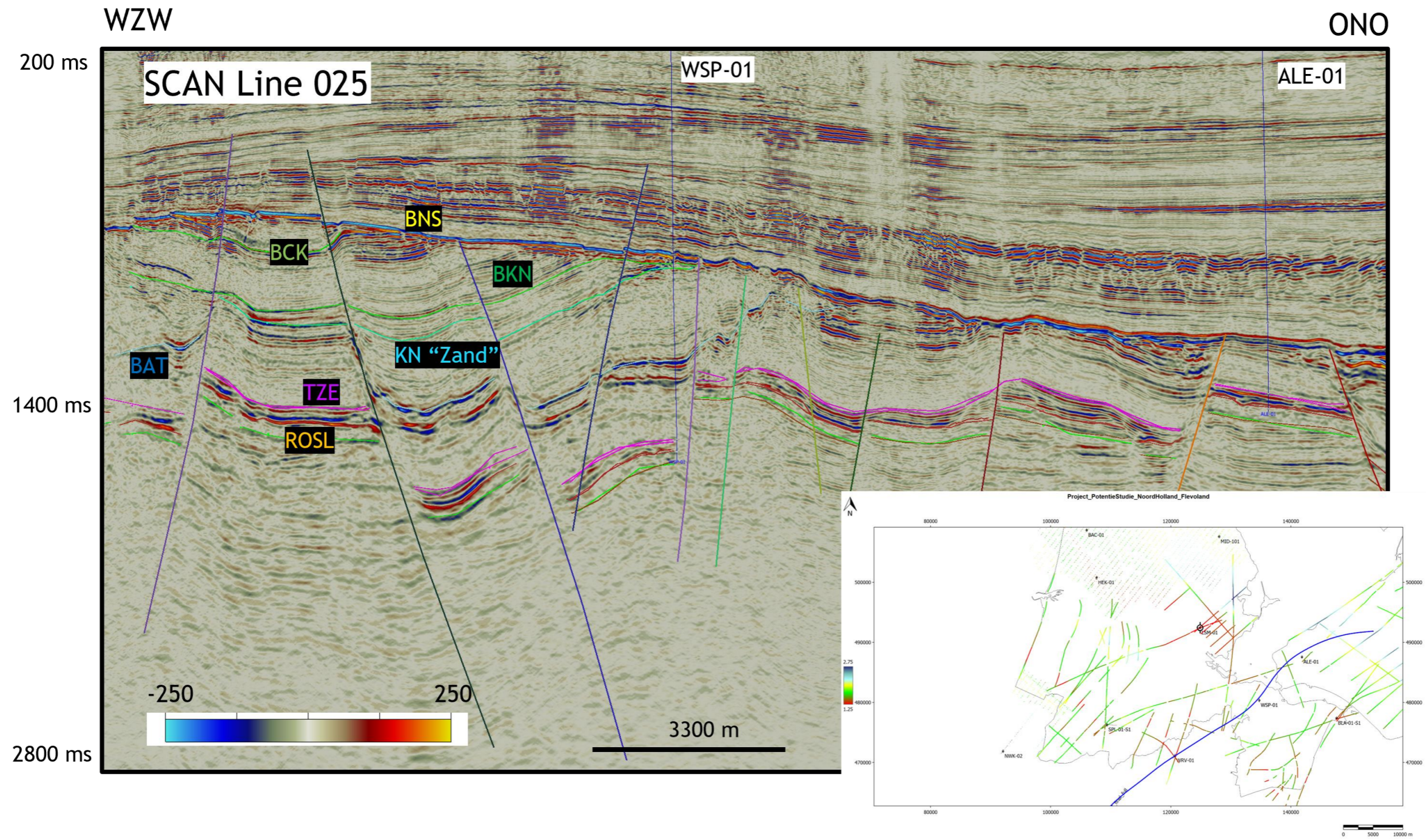
Noord-Holland-Noord en Texel: Binnen de deelregio Noord-Holland Noord is de Formatie van Slochteren met uitzondering van delen van het Texel IJsselmeer Hoog (Figuur 2.2) overal aanwezig. Uit de seismische interpretatie blijkt dat het Slochteren binnen de deelregio sterk verbreekt is, wat heeft geresulteerd in grote diepte verschillen tussen de verschillende breukblokken (Figuur 4.2). De breuken hebben hoofdzakelijk een NW-ZO strekking. Geïnterpreteerde TWT dieptes van de top van het Slochteren variëren van 2.75 [TWT s] in de Lauwerszee trog tot ongeveer 1.25 - 1.50 [TWT s] in de hoger gelegen breukblokken, het Waterland Platform (nabij LSM-01) en het Noord-Holland Platform (NHP) (Figuur 4.2, Figuur 4.7 en Figuur 4.10). Diktes van het Slochteren in Noord-Holland Noord zijn bijna overal relatief groot (Figuur 4.2). Wel is er een zwakke verdunnende trend zichtbaar in de richting van de deelregio's Flevoland Zuid en Noord-Holland Zuid. Vanwege gebrekkige seismische data is het Slochteren niet op Texel geïnterpreteerd, hier wordt de interpretatie uit DGM V5 aangehouden. Omdat er geen seismische interpretatie is uitgevoerd op Texel wordt het gebied waar Slochteren aanwezig is niet meegenomen in de figuren van dit hoofdstuk. Op de kaarten gepresenteerd in hoofdstuk 5 en in de publieksrapportage wordt dit wel gedaan.

Noord-Holland Zuid & Flevoland Zuid: De Formatie van Slochteren is in Noord-Holland Zuid en Flevoland Zuid met uitzondering van het Texel-IJsselmeer-Hoog en in een klein gebied ten zuiden van Lelystad overal aanwezig. Ook in deze deelregio's is het Slochteren sterk verbreekt door hoofdzakelijk NW-ZO strekkende breuken, en geïnterpreteerde TWT dieptes variëren weer tussen 2.75 [TWT s] in de Lauwerszee trog tot ongeveer 1.25 - 1.50 [TWT s] op het verschillende platformen en hoger gelegen breukblokken (e.g. Waterland platform of het Platform Lelystad) (Figuur 4.3, Figuur 4.7, Figuur 4.8 en Figuur 4.10). Tot slot is de seismische interpretatie van deze gebieden is iets minder zeker vanwege variërende data kwaliteit en een relatief lage datadichtheid (Figuur 4.1 en Figuur 4.7). Deze onzekerheden gelden in het Bijzonder voor de BROSL horizon in delen van Noord-Holland zuid (e.g. richting het WZW op scan lijn 37 (Figuur 4.7)).

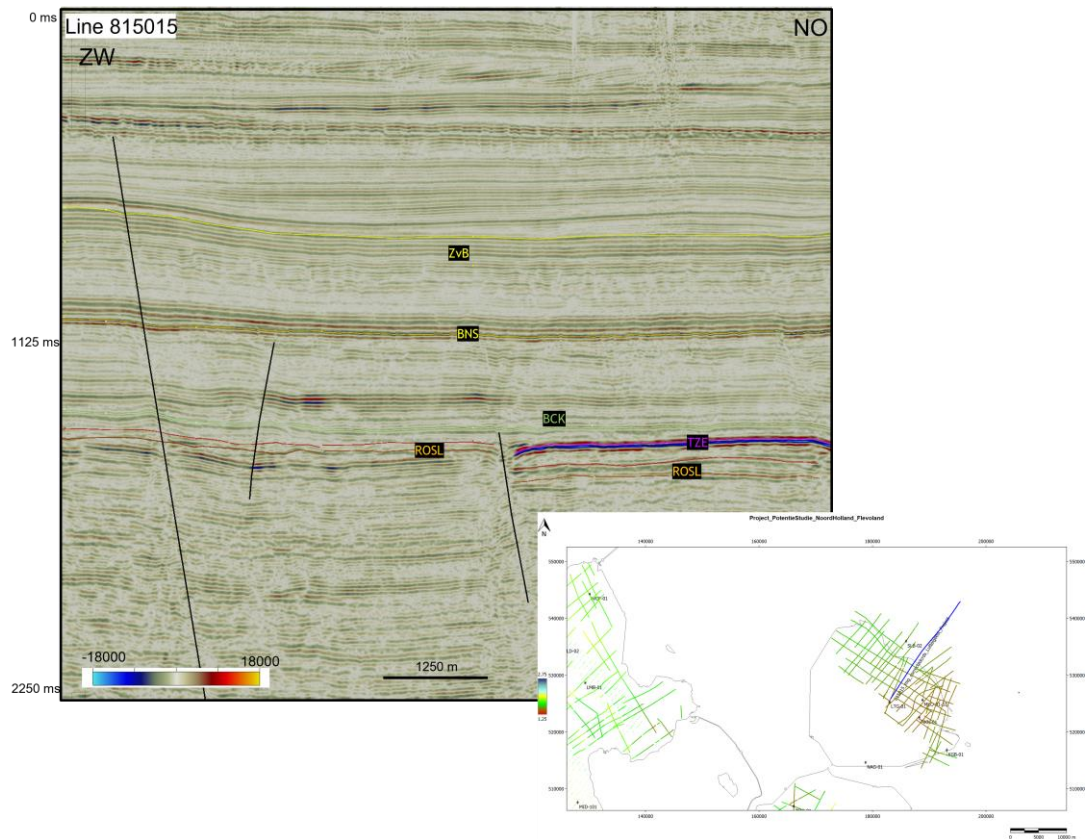
Noordoostpolder: de Formatie van Slochteren is in de Noordoostpolder alleen in het noordelijk deel afgezet. Richting Urk en Nagele is de Formatie van Slochteren niet aanwezig. Anders dan in Noord-Holland en Flevoland Zuid is het Slochteren hier veel minder verbreekt wat resulteert in relatief weinig variatie in de regionale diepte (tussen de 1.30 en 1.50 [TWT s]) (Figuur 4.9 & Figuur 4.10). Het Slochteren is ook een stuk dunner dan in de andere deelregio's, wat de seismische interpretatie soms lastig maakt, zeker in gebieden waar geen Zechstein aanwezig is. Dit is bijvoorbeeld te zien op seismische lijn 815015 (Figuur 4.9), waar het seismisch karakter van het Slochteren plotseling veel zwakker wordt als de Zechstein afwezig is (i.e. ten zuiden van de breuk).



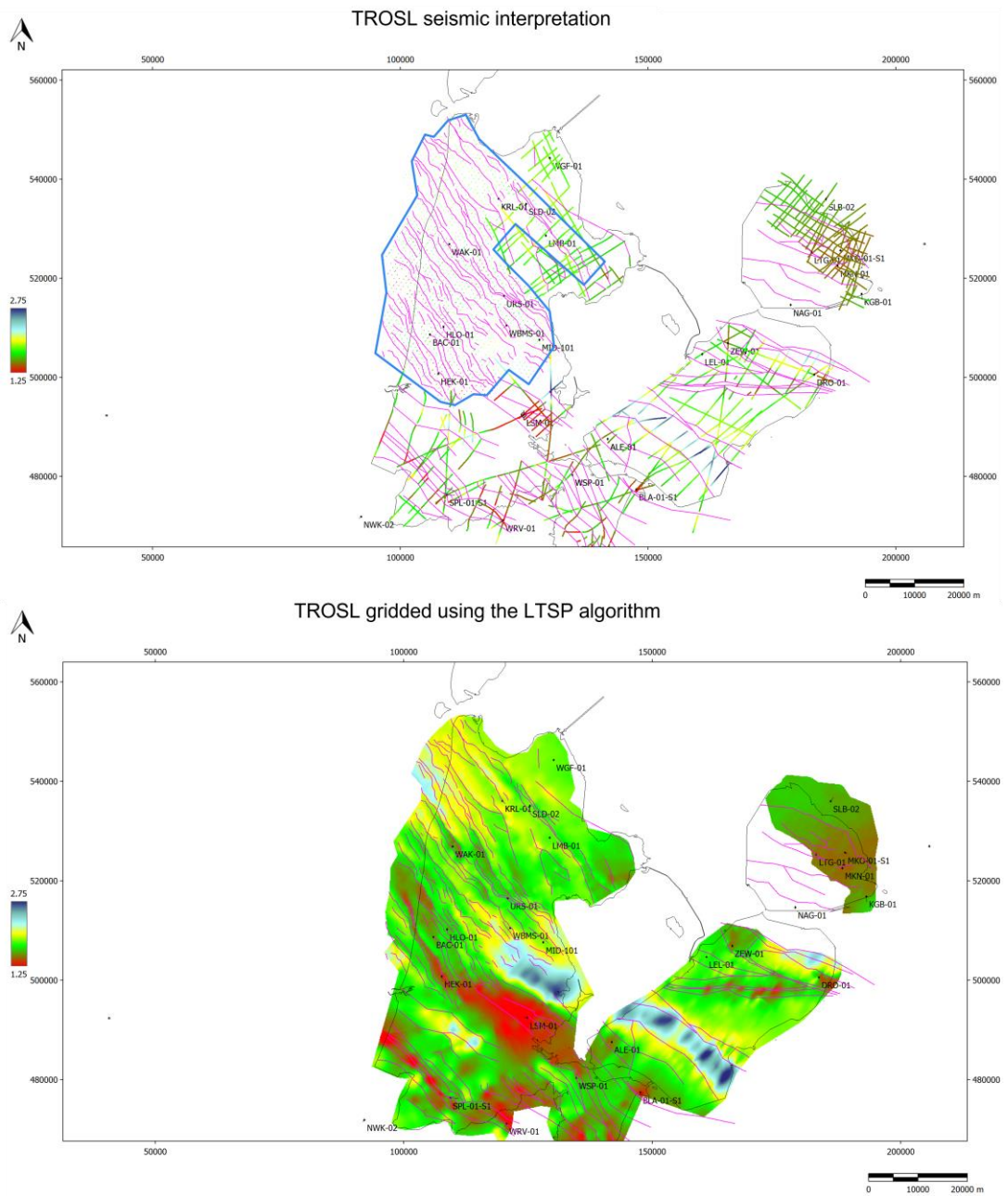
Figuur 4.7 | ONO-WZW strekkende dwarssectie langs SCAN Lijn 037 in de deelregio NHZ. Kleurcodes voor de geïnterpreteerde reservoir markers: TZE is magenta, TROSL is lichtbruin en BROSL is groen. Breuken kunnen meerdere kleuren hebben. Positie van de lijn en de TROSL interpretatie worden weergegeven op de basemap rechtsonder.



Figuur 4.8 | WZW-ONO strekkende dwarssectie langs SCAN Lijn 025 in de deelregio's NHZ en FLZ. Kleurcodes voor de geïnterpreteerde reservoir markers: TZE is magenta, TROSL is lichtbruin en BROSL is groen. Breuken kunnen meerdere kleuren hebben. Positie van de lijn en de TROSL interpretatie worden weergegeven op de basemap rechtsonder.



Figuur 4.9 | ZW-NO strekkende dwarssectie langs 815015 in de deelregio NOP. Kleurcodes voor de geïnterpreteerde reservoir markers: ZvB is geel, TZE is magenta, TROSL is lichtbruin en BROSL is bruin. Breuken kunnen meerdere kleuren hebben. Positie van de lijn en de TROSL interpretatie worden weergegeven op de basemap rechtsonder.



Figuur 4.10 | Boven) De interpretatie van de Top ROSL voor alle deelgebieden in TWT s. Het blauwe polygon geeft aan waar de horizon in 3D is geïnterpreteerd. Onder) Geïnterpoleerde horizon (TWT s) van de seismische resultaten met behulp van het LTSP algoritme. Voor beide kaarten zijn de breukpolygoenen op TROSL geprojecteerd en weergegeven in magenta.

4.4.3 TWT gridding

Om verdere berekeningen uit te kunnen voeren (b.v. porositeits-, temperatuurs- en potentieberekeningen), zijn de verkregen seismische resultaten (geïnterpoleerde horizons en seismische interpretaties) per deelregio als volgt opnieuw geGRID in Surfer software pakket:

1. Zand van Brussel:
 - a. NHN: Niet van toepassing (resultaten uit WarmingUP worden gebruikt). TvD kaarten worden in sectie 4.6 gepresenteerd.
 - b. FL (NOP en FLZ): Niet van toepassing (resultaten uit WarmingUP worden gebruikt). TvD kaarten worden in sectie 4.6 gepresenteerd.
2. Rijnland-Schieland grens:
 - a. NHN: Niet van toepassing (resultaten uit DGM-V5 worden gebruikt). TvD kaarten worden in sectie 4.6 gepresenteerd.
 - b. NHZ: De geïnterpoleerde horizon (Figuur 4.6) is opnieuw in Surfer geGRID met een 200x200 grid met behulp van de [Nearest Neighbor](#) algoritme. Er is voor dit algoritme gekozen omdat deze methode de beste resultaten oplevert voor regelmatig gespreide data.
3. Top Zechstein, Top Slochteren en Base Slochteren (i.e. Figuur 4.10):
 - a. NH (NHN & NHZ): De geïnterpoleerde horizon is opnieuw in Surfer geGRID met een 200x200 grid met behulp van de [Nearest Neighbor](#) algoritme. Er is voor dit algoritme gekozen omdat deze methode de beste resultaten oplevert voor regelmatig gespreide data.
 - b. FLZ: Vanwege slechte interpolatieresultaten in OpendTect is de geïnterpoleerde horizon niet meegenomen en is de originele seismische interpretatie opnieuw in Surfer geGRID met een 200x200 grid met behulp van het [kriging](#) algoritme. Er is in dit geval voor het kriging algoritme gekozen omdat er met behulp van een variogram geologische trends in de data kunnen worden meegenomen.
 - c. NOP: De geïnterpoleerde horizon is opnieuw in Surfer geGRID met een 200x200 grid met behulp van de [Nearest Neighbor](#) algoritme. Er is voor dit algoritme gekozen omdat deze methode de beste resultaten oplevert voor regelmatig gespreide data.

4.5 TIME DEPTH CONVERSIE

4.5.1 Velocity model

De TWT grid resultaten (KN-S grens (NHZ) en TZE, TROSL en BROSL (NH, FLZ en NOP)) uit de seismische interpretatie zijn in Surfer naar diepte geconverteerd middels het Velmod 4b Vint velocity model, eerder genoemde horizon's uit DGM V5 en de volgende formule:

$$\text{Horizon}[i]_{\text{TVD}} = \text{Horizon}[i-1]_{\text{TVD}} + \frac{(\text{Horizon}[i]_{\text{TWT}} - \text{Horizon}[i-1]_{\text{TWT}})V[i]_{\text{int}}}{2000}$$

In de ze formule zijn de variabelen als volgt gedefinieerd:

- $\text{Horizon}[i]_{\text{TVD}}$: De naar diepte geconverteerde horizon [m] (e.g. TROSL in TVD)
- $\text{Horizon}[i-1]_{\text{TVD}}$: De bovenliggende TVD [m] horizon (e.g. BAT)
- $\text{Horizon}[i]_{\text{TWT}}$: De naar diepte te converteren TWT [ms] horizon uit de seismische interpretatie (e.g. TROSL in TWT)
- $\text{Horizon}[i-1]_{\text{TWT}}$: De bovenliggende TWT [ms] horizon (e.g. BAT)

- $V[i]_{\text{int}}$: Interval velocity [m/s] tussen Horizon[i] en Horizon[i]

Omdat er in Velmod 4b geen interval velocity kaarten bestaan van de Formatie van Slochteren (tussen TROSL en BROSL) is er voor de deelregio's NH en FLZ 4000 [m/s] aangehouden. Voor de deelregio NOP is deze interval velocity op 3600 [m/s] gezet. Er zit echter wel een grote onzekerheid in het gebruik van een constante waarde op regionale schaal.

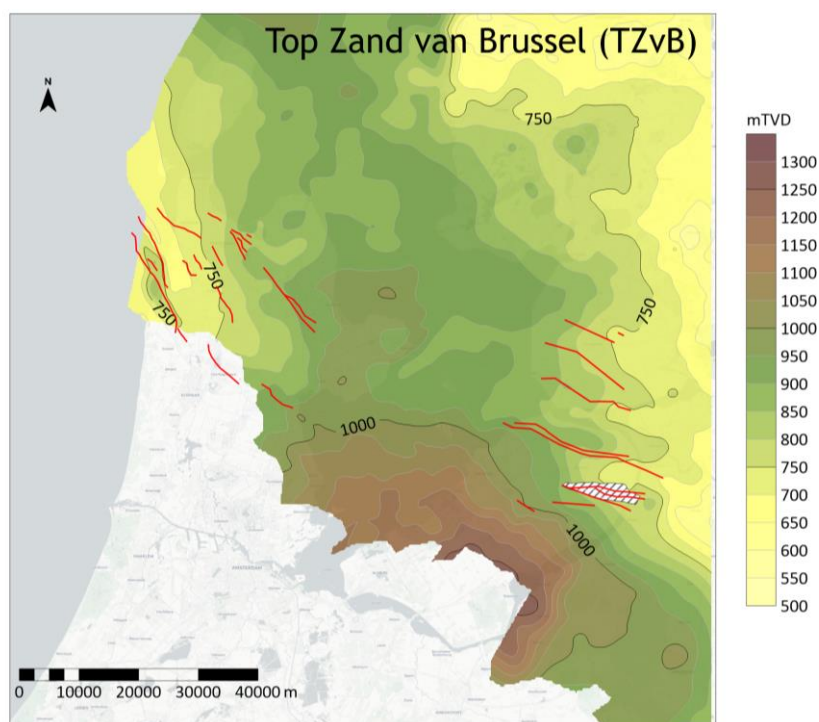
4.5.2 Well ties en residuals

Alle verkregen TVD kaarten (ZvB, KN-S grens en ROSL) zijn getied aan de putten gebruikt in de seismische interpretatie en petrofysische analyse, middels TVD residual kaarten (dTVD: $TVD_{\text{seismiek}} - TVD_{\text{put}}$). Voor de KN-S grens in NHN zijn ook de putten uit het NAM rapport gebruikt (NAM 1996). De residual kaarten zijn in Surfer gemaakt door de diepteverschillen bij de putten te interpoleren middels het kriging algoritme. Er is in dit geval voor het kriging algoritme gekozen omdat hiermee met behulp van een variogram geologische trends in de data kunnen worden meegenomen.

4.6 DIEPTEKAARTEN

4.6.1 Zand van Brussel

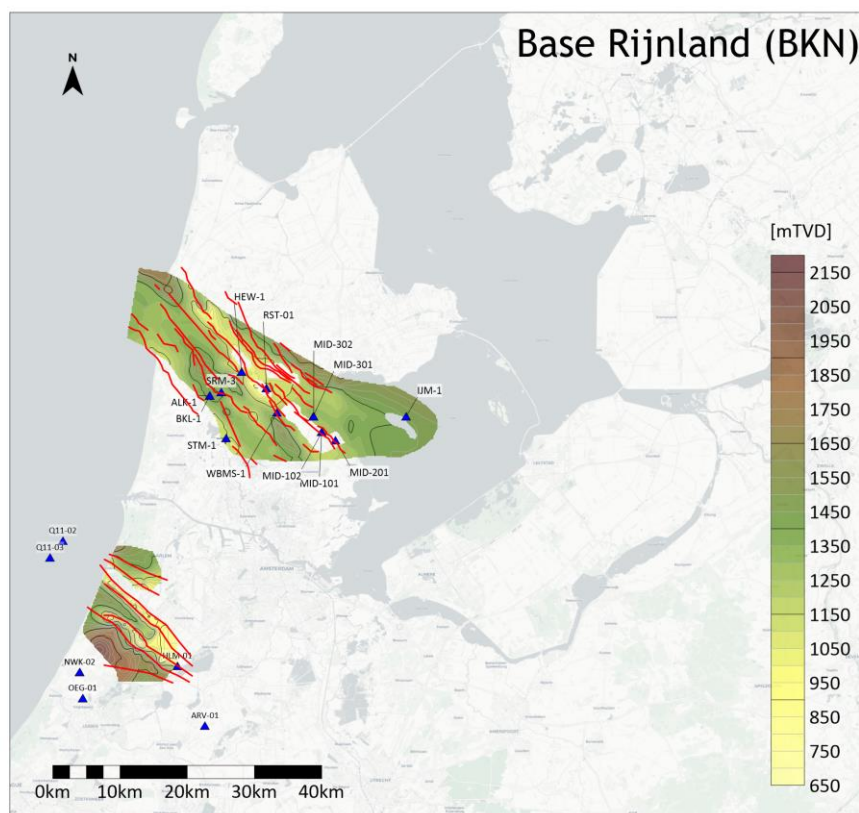
De top Zand van Brussel dieptekaart [mTVD] uit de WarmingUP studie (de Haan e.a. 2020) staat weergegeven in Figuur 4.11. Deze dieptekaart zal samen met de andere resultaten uit het WarmingUP project worden gebruikt voor verdere analyses en modelleringen van het Zand van Brussel.



Figuur 4.11 | Top Zand van Brussel [mTVD] dieptekaart verkregen uit de WarmingUP studie (de Haan e.a. 2020). In rood staan de breuken uit de seismische interpretatie op TZvB weergegeven. Het schuin gearceerde gebied geeft het erosiegebied nabij DRO-01 aan.

4.6.2 Basis Rijnland groep

De verkregen dieptekaart van de basis Rijnland Groep in de deelregio's NHZ en NHN staat weergegeven in Figuur 4.12. De afzettingsgrenspolygon van de Rijnland-Schieland grens in NHN komt van [Dinoloket](#) (Figuur 3.2). Voor NHZ is de afzettingsgrenspolygon verkregen vanuit de seismische interpretatie (Figuur 4.6). De verkregen dieptekaart wordt gebruikt voor verdere analyses en modelleringen van de zandlagen uit de Rijnland en Schieland groepen. Omdat de interpretatie van specifieke reservoirlagen niet mogelijk was, zijn de diktekaarten van de zandlagen uit de Rijnland - en Schieland groep verkregen op basis van putgegevens (zie hoofdstuk 5).

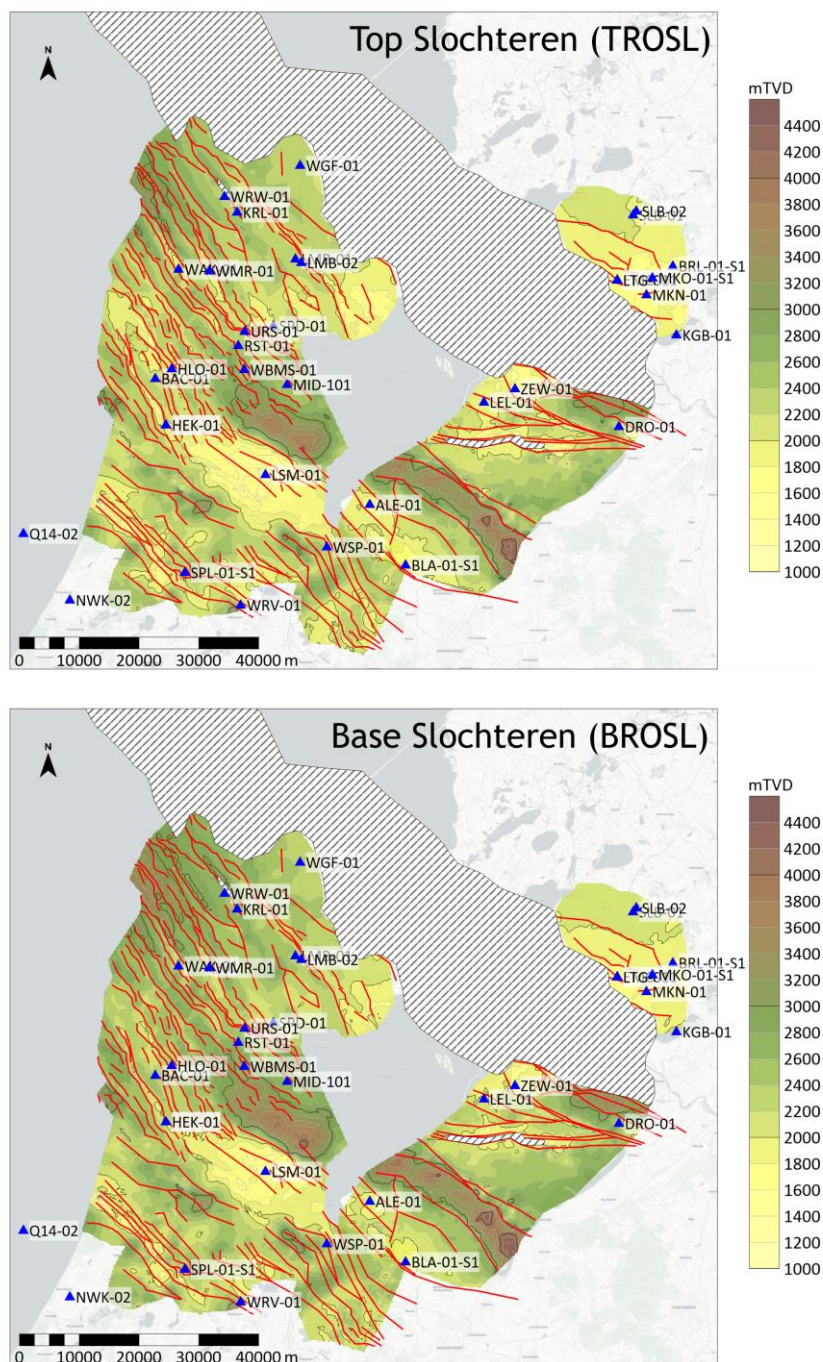


Figuur 4.12 | Rijnland-Schieland grens dieptekaart voor de deelregio's NHN en NHZ. In rood staan de breuken uit de seismische interpretatie op KN-S diepte weergegeven. De blauwe driehoeken zijn de putten die gebruikt zijn voor het maken van de dikte- en residu kaarten i.e. aan deze putten is de KN-S dieptekaart getied.

4.6.3 De Formatie van Slochteren

De verkregen dieptekaarten van de top en basis van de Formatie van Slochteren staan weergegeven in Figuur 4.13. De afzettingsgrenspolygon zijn verkregen vanuit de seismische interpretatie (Figuur 4.10). Het gebied op Texel waar Slochteren aanwezig is staat niet op Figuur 4.13. Dit gebied wordt op de kaarten in hoofdstuk 5 wel meegenomen. De verkregen dieptekaarten worden gebruikt voor verdere analyses en modelleringen van de zandlagen uit het Slochteren. Vanwege onzekerheden in het snelheidsmodel en interpretatie van de BROSL zijn de diktekaarten voor de deelregio's NHZ, NHN en FLZ gebaseerd op alle putten van NLOG die het Slochteren aanboren. Voor de NOP zijn

zowel de putgegevens als de resultaten van de seismische interpretatie gebruikt bij het maken van de diktekaarten.



Figuur 4.13 | TROSL en BROSL dieptekaarten in mTVD. In rood staan de breuken uit de seismische interpretatie op TROSL diepte weergegeven. De schuin gearceerde gebieden geven de erosiegebieden aan waar de Formatie van Slochteren niet meer aanwezig is. De blauwe driehoeken zijn de putten die gebruikt zijn voor het maken van de residu kaarten. i.e. aan deze putten zijn de dieptekaarten voor TROSL en BROSL getied.

5 Karakterisatie van de reservoirs

5.1 INTRODUCTIE

In opdracht van de provincies Noord-Holland en Flevoland wordt de potentie voor geothermie voor deze provincies in kaart gebracht. De resultaten worden gepresenteerd in de vorm van kaarten. In eerste instantie worden kaarten opgesteld voor diepte, dikte, temperatuur en permeabiliteit. Deze kaarten vormen de basis voor het bepalen van de thermische potentie (in MW), ook gepresenteerd in de vorm van een kaart.

Er is gekeken naar drie formaties: de Formatie van Slochteren, de Vlieland Zandsteen Formatie en het Zand van Brussel. Voor de Formatie van Slochteren is een volledige petrofysische analyse uitgevoerd. Voor de Rijnland Groep is voor één put een petrofysische analyse uitgevoerd, welke vergeleken wordt met beschikbare literatuurdata. Bij voldoende overlap wordt de literatuurdata gebruikt in de verdere uitwerking. Voor het Zand van Brussel worden kaarten uit de literatuur gebruikt.

5.2 FORMATIE VAN SLOCHTEREN

5.2.1 [ROSL] Beschikbare data

Om deze kaarten te maken zijn een serie putten geïnterpreteerd, zie Figuur 5.1 voor de putlocaties.

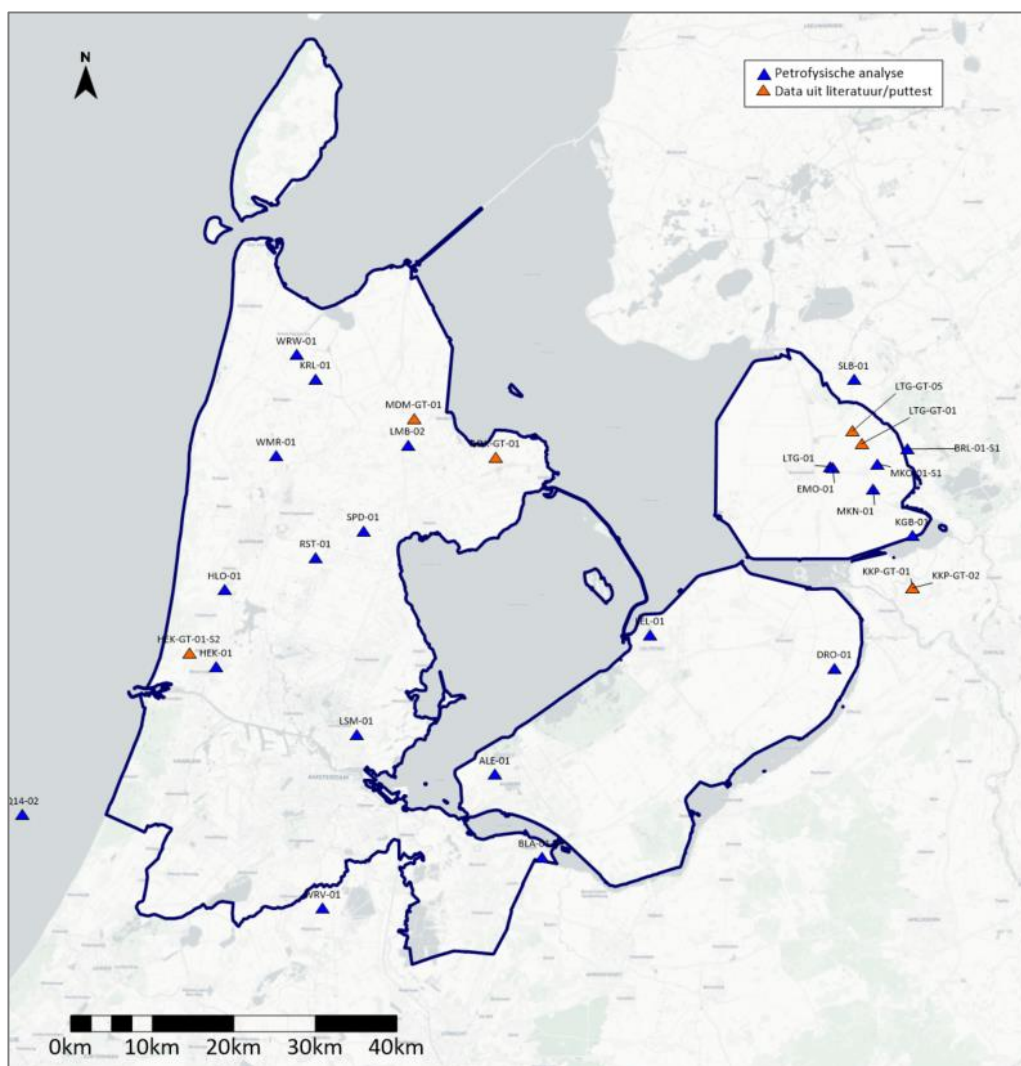
De te analyseren putten zijn gekozen op basis van de volgende criteria:

- Beschikbaarheid van de voorkeurslogs NPHI en RHOB
- Dekking van het gebied

Tabel 5.1 | Digitaal beschikbare logs gebruikt in loginterpretatie IP.

Put	GR (Gamma Ray)	DT (Sonic)	RHOB (Density)	NPHI (Neutron)	SP (Sp. Pot.)	Gebruikt voor formatie:
ALE-01	X	X	X	X		ROSL
BLA-01-S1	X	X	X	X	X	ROSL
BRL-01-S1	X	X	X	X	X	ROSL
DRO-01	X	X	X	X	X	ROSL
EMO-01	X	X	X	X		ROSL
HEK-01	X	X		X		ROSL
KGB-01	X	X	X	X	X	ROSL
KRL-01	X	X	X	X	X	ROSL
LEL-01	X	X	X		X	ROSL
LMB-02	X		X	X		ROSL

LSM-01	X	X	X			ROSL
LTG-01	X	X			X	ROSL
MKN-01	X	X	X	X	X	ROSL
MKO-01-S1	X	X	X	X	X	ROSL
Q14-02	X	X	X	X	X	ROSL
RST-01	X	X	X	X	X	ROSL en KN
SLB-01	X	X	X	X	X	ROSL
SPD-01	X	X			X	ROSL
WMR-01	X	X	X	X	X	ROSL
WRV-01	X	X	X		X	ROSL
WRW-01	X	X	X	X		ROSL



Figuur 5.1 | Locaties van de putten gebruikt voor de petrofysische analyse van het Slochteren.

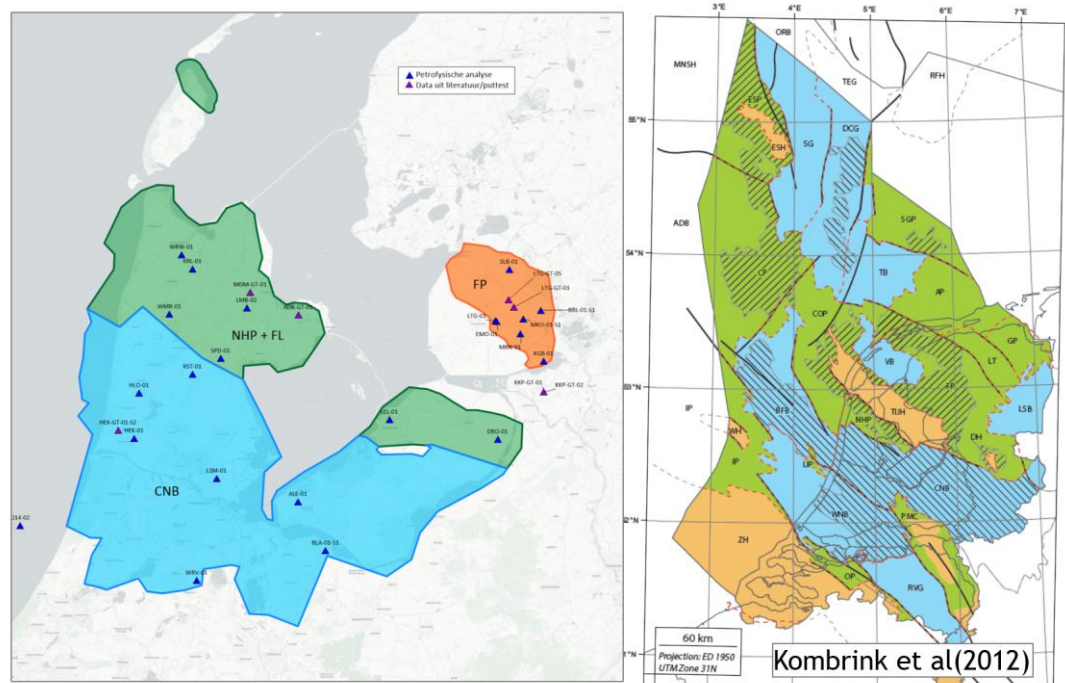
De dieptes van de top en de basis van de stratigrafische intervallen zijn gebaseerd op basis van de lithologische intervallen zoals gepubliceerd op NLOG voor de verschillende koolwaterstofputten.

5.2.2 [ROSL] Opdeling in zones

Aangezien het studiegebied meerdere tektonische elementen bevat is ervoor gekozen om het op te delen in verschillende zones. De porositeit-permeabiliteitsrelaties worden voor elk van deze zones afzonderlijk opgesteld, waarbij kerndata uit deze zones gebruikt wordt.

De zones zijn als volgt bepaald:

- Als startpunt zijn de structurele elementen o.b.v. Kombrink (2012) aangehouden.
- De gebieden waar de Formatie van Slochteren niet aanwezig is, zoals op grote delen van het Texel-IJsselmeer Hoog, zijn leeg gelaten.
- Putten rondom het Texel-IJsselmeer Hoog (TIJH) hebben een goede reservoirkwaliteit door invloed van de stroming van zuur regenwater, a.g.v. de nabijheid van het hoog. Dit positieve effect wordt langs het gehele TIJH verwacht (Krieger, 2021).
- Het Noord-Holland Platform (NHP) is daarom deels samengevoegd met een stuk van het Centraal Nederland Bekken (CNB) langs het TIJH.
- Het Friesland Platform (FP) laat een ander karakter zien dan het Noord-Holland Platform, en is daarom apart beschouwd. Dit is te verklaren doordat het aan de andere kant van het TIJH ligt, en dus een andere historie heeft.



Figuur 5.2 | Links: de zones zoals gebruikt in deze studie. Voor elk van deze zones is een andere poro-perm opgesteld. Rechts: de structuurkaart waar de zone-indeling op gebaseerd is, van Kombrink et al (2012).

5.2.3 [ROSL] Overige data

De resultaten van de petrofysische analyse worden vergeleken met porositeiten en permeabiliteiten van een aantal geothermieputten in de Formatie van Slochteren in het projectgebied. De porositeiten en permeabiliteiten van deze geothermieprojecten zijn bepaald o.b.v. puttetestinterpretaties. De locaties van de putten zijn te zien in Figuur 5.1.

Tabel 5.2 | Porositeit- en permeabiliteitwaarden voor geothermieprojecten.

Putcode	Porositeit [-]	Permeabiliteit [mD]
HEK-GT-01-S2	0.15	65
ADK-GT-01	0.22	220
MDM-GT-01	0.19	90
LTG-GT-01	0.22	300
LTG-GT-05	0.23	280
KKP-GT-01	0.164	175
KKP-GT-02	0.164	207

5.2.4 [ROSL] Maximale begravingsdiepte

Voor elk van de petrofysisch geanalyseerde putten is de maximale begravingsdiepte bepaald. Dit is gedaan middels de begravingsanomaliekaart van (Nelskamp en Verweij 2012) (Figuur 2.5). De kaart heeft een onnauwkeurigheid van 300 m.

Tabel 5.3 | Begravingsanomalie, o.b.v. Nelskamp en Verweij (2012).

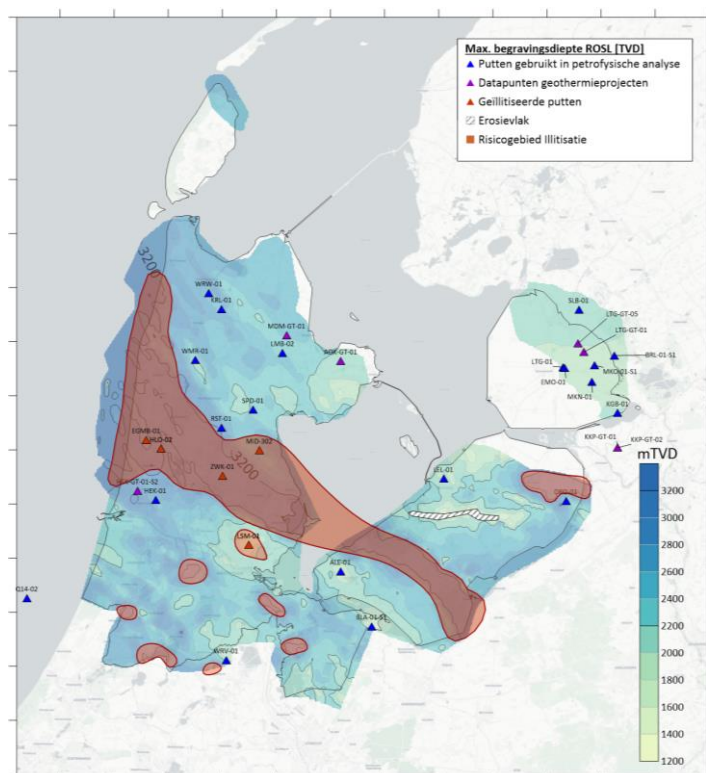
Put	Diepte mid-reservoir [mTVD]	Begravingsanomalie [m]	Maximale begravingsdiepte [mTVD]
ALE-01	1.797	130	1.927
BLA-01-S1	1.511	175	1.686
BRL-01-S1	1.767	0	1.767
DRO-01	2.260	400	2.660
EMO-01	1.702	0	1.702
HEK-01	1.845	650	2.495
KGB-01	1.715	0	1.715
KRL-01	2.425	0	2.425
LEL-01	1.952	30	1.982
LMB-02	2.253	0	2.253
LSM-01	1.383	440	1.823
LTG-01	1.707	0	1.707
MKN-01	1.698	0	1.698
MKO-01-S1	1.720	0	1.720
Q14-02	2.947	20	2.967
RST-01	2.583	400	2.983
SLB-01	2.042	0	2.042
SPD-01	2.104	0	2.104
WMR-01	2.020	0	2.020
WRV-01	2.200	0	2.200
WRW-01	2.480	0	2.480
Geothermieputten			
ADK-GT-01	1.900	0	1.900

HEK-GT-01-S2	2.629	700	3.329
KKP-GT-01	1.901	0	1.901
KKP-GT-02	1.886	0	1.886
LTG-GT-01	1.790	0	1.790
LTG-GT-05	1.790		1.790
MDM-GT-01	2.340	0	2.340

5.2.5 [ROSL] Illiet

Van de Formatie van Slochteren is bekend dat er lokaal illietvorming op kan treden. Illiet heeft een sterk verlagende werking op de permeabiliteit. De porositeit leidt hier minder onder. Illietvorming wordt gelinkt aan hoge temperaturen (ten minste 70°C) en de instroom van zuur water, bijvoorbeeld uit het Carboon. De grootste kans op illietvorming wordt dus verwacht in delen die op 3200 m of dieper begraven zijn geweest, en zich op max. 1,5 km van een breuk bevinden (Gaupp en Okkerman 2011).

Van enkele putten in het projectgebied is bekend dat zij geïllitiseerd zijn: HLO-02, MID-302, ZWK-01, LSM-01 en EGMB-01 (rood in onderstaand figuur). Maar ook in andere gebieden die relatief diep begraven zijn geweest kan illietvorming opgetreden zijn. Dit kan lokaal invloed hebben op de doorlatendheid van de Formatie van Slochteren. In onderstaand figuur zijn de gebieden die dieper dan 3200 m begraven zijn geweest rood gekleurd. Ook om de putten waar dit niet voor geldt maar die wel geïllitiseerd zijn is een rood risicogebied getekend.



Figuur 5.3 | De maximale begravingsdiepte kaart o.b.v. van Nelskamp en Verweij (2012). De putten waarvan bekend is dat ze geïllitiseerd zijn rood weergegeven.

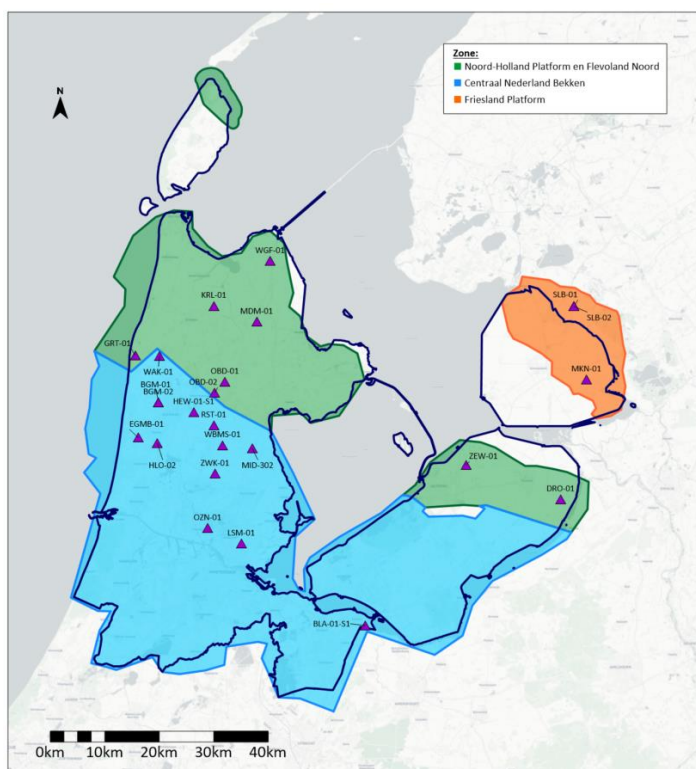
5.2.6 [ROSL] Kerndata-analyse

Middels het NLOG portaal zijn alle publiekelijk beschikbare kerndata van de Formatie van Slochteren voor alle putten in Nederland ontsloten.

Voor het Slochteren is gekozen om voor elk van de gedefinieerde zones een regionale poro-perm op te stellen op basis van de putten in deze zones (Tabel 5.1).

Tabel 5.4 | Aantal kernen gebruikt om poro-perm relatie op te stellen.

Zones	Aantal putten	Gebruikte putten
Friesland Platform	3	SLB-01, SLB-02, MKN-01
Noord-Holland Platform - Flevoland Zuid	7	DRO-01, GRT-01, KRL-01, MDM-01, WAK-01, WGF-01, ZEW-01
Centraal Nederland Bekken	11	BGM-01, BGM-02, BLA-01-S1, GRT-01, HEW-01-S1, RST-01, OBD-01, OBD-02, OZN-01, WAK-01, WBMS-01



Figuur 5.4 | Putten met kerndata gebruikt in de kerndata-analyse voor het Slochteren. De verschillende zones zijn weergegeven in de verschillende kleuren.

De porositeit- en permeabiliteitsmetingen gemeten in kernen worden gebruikt om een directe relatie tussen beide parameters te bepalen.

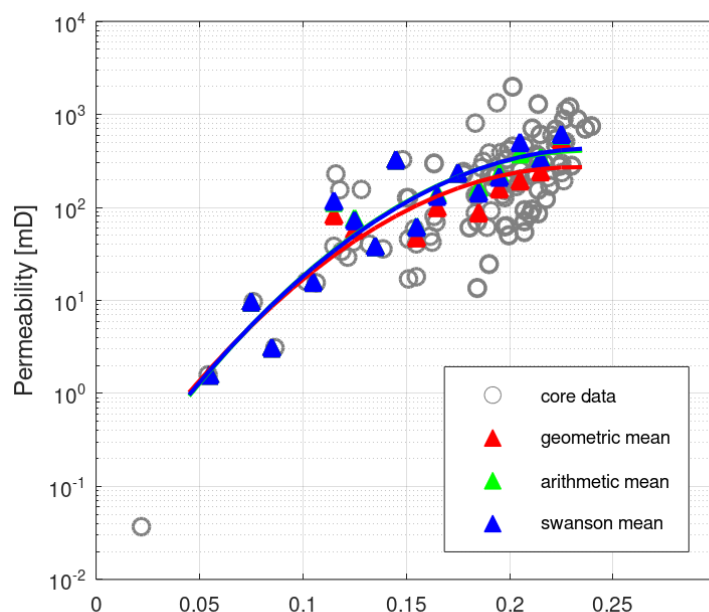
De voor porositeit gecorrigeerde kerndata is middels bins verdeeld in 1% porositeit bins met een overlap van 50% tussen de bins. Dit is een methode om de effecten van uitschieters te reduceren als voorbereidingsstap voor de regressie. Per bin is er een gemiddelde van de permeabiliteit waarden berekend. Vervolgens zijn verschillende gemiddeldes (means) berekend: het aritmetisch gemiddelde, het geometrisch gemiddelde en het Swanson gemiddelde (A Hurst, Brown, en Swanson 2000). De verschillende regressies zijn weergegeven in onderstaande figuren.

Voor alle geologische zones is er gekozen om op te schalen met het geometrisch gemiddelde omdat de opgeschaalde permeabiliteiten het beste overeenkomen met puttest gegevens voor bijliggende geothermie putten. Zowel het aritmetische - als het Swanson gemiddelde resulteert in een overschatting van de opgeschaalde reservoir permeabiliteit.

Voor het Friesland Platform is dat de volgende relatie (geometric mean):

$$kH (mD) = 10^{(-69.0823*PHIE^2+32.0877*PHIE-1.2933)}$$

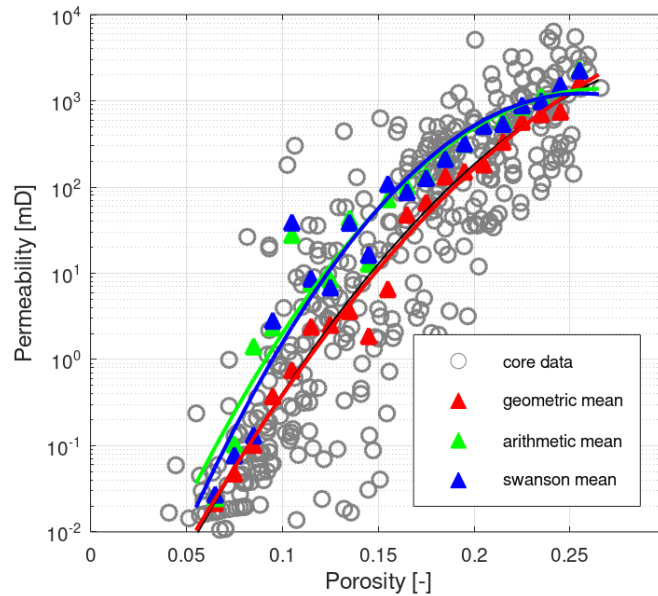
Deze formule geldt bij porositeiten tot maximaal 23,5%.



Figuur 5.5 | Porositeit-permeabiliteit kerndata regressie voor de Formatie van Slochteren op het Friesland Platform. De groene lijn is de 2^e orde polynomiale regressie door de aritmetische gemiddeldes van de bins. De grijze lijn is de 2^e orde polynomiale regressie door alle gecorrigeerde kernmetingen. Ter vergelijking zijn ook de geometrische gemiddelde en de Swanson gemiddeldes weergegeven. De rode en blauwe driehoeken zijn de bin intervals, de rode en blauwe lijnen zijn de respectievelijke regressies.

Voor het Noord-Holland Platform en Flevoland-Zuid is dat de volgende relatie (geometric mean):

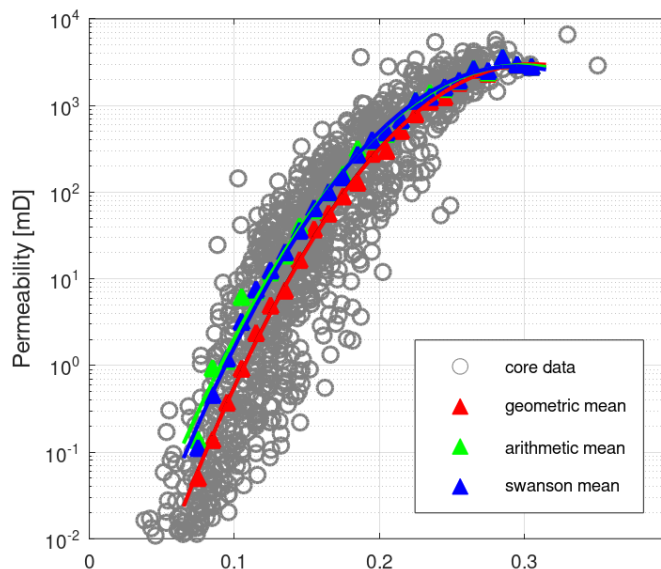
$$kH (mD) = 10^{(-58.4243*PHIE^2+43.8757*PHIE-4.2194)}$$



Figuur 5.6 | Porositeit-permeabiliteit kerndata regressie voor de Formatie van Slochteren op het Noord-Holland Platform en het zuiden van Flevoland. De groene lijn is de 2^e orde polynomiale regressie door de aritmetische gemiddeldes van de bins. De grijze lijn is de 2^e orde polynomiale regressie door alle gecorrigeerde kernmetingen. Ter vergelijking zijn ook de geometrische gemiddelde en de Swanson gemiddeldes weergegeven. De rode en blauwe driehoeken zijn de bin intervals, de rode en blauwe lijnen zijn de respectievelijke regressies.

Voor het Centraal Nederland Bekken is dat de volgende relatie (geometric mean):

$$kH (mD) = 10^{(-88.3260 \cdot PHIE^2 + 53.9572 \cdot PHIE - 4.7309)}$$



Figuur 5.7 | Porositeit-permeabiliteit kerndata regressie voor de Formatie van Slochteren in het Centraal Nederland Bekken. De groene lijn is de 2^e orde polynomiale regressie door de aritmetische gemiddeldes van de bins. De grijze lijn is de 2^e orde polynomiale regressie door alle gecorrigeerde kernmetingen. Ter vergelijking zijn ook de geometrische gemiddelde en de Swanson gemiddeldes weergegeven. De rode en blauwe driehoeken zijn de bin intervallen, de rode en blauwe lijnen zijn de respectievelijke regressies.

5.2.7 [ROSL] Petrofysische Log Evaluatie

De beschikbare boorgatmetingen zijn gebruikt om het kleivolume (clay volume), water saturatie (water saturation) en de porositeit van de formatie in de put te bepalen. De beschikbaarheid van boorgatmetingen verschilt tussen de verschillende putten (Tabel 5.1). Dit is onder andere afhankelijk van de ouderdom van de put, waar in de jaren vijftig en zestig technieken zoals de gamma-ray, neutron porosity en dichtheidsmetingen doorgaans nog niet werden toegepast.

Het porositeitsmodel is gekozen op basis van de beschikbare data, waar het Neutron-Density model doorgaans het meest accuraat is (Tabel 5.5). Voor de putten HEK-01, HEW-01-S1, LEL-01, WAK-01 en WRV-01 is er gekozen om de porositeit te bepalen met het Sonic model. De watersaturatie is bepaald middels pickett plots. Deze logevaluatie resulteert in een average putporositeit.

Tabel 5.5 | Porositeitsmodellen zoals gebruikt voor de petrofysische log evaluatie. R_w is de resistiviteit van het formatiewater, bepaald middels pickett plots.

Put	Clay model	Porosity model	Saturation equation	R_w voor Archie (ohmm)
ALE-01	GR	Neutron Density	Archie	0,07
BLA-01-S1	GR	Neutron Density	Archie	0,065
BRL-01-S1	GR	Neutron Density	Archie	0,05
DRO-01	GR	Neutron Density	Archie	0,01
EMO-01	GR	Neutron Density	Archie	0,07
HEK-01	GR	Sonic	Archie	0,065
KGB-01	GR	Neutron Density	Archie	0,05

KRL-01	GR	Neutron Density	Archie	0,1
LEL-01	GR	Sonic	Archie	0,03
LMB-02	GR	Neutron Density	Archie	0,04
LSM-01	GR	Neutron Density	Archie	0,2
LTG-01	GR	Neutron Density	Archie	x
MKN-01	GR	Neutron Density	Archie	0,42
MKO-01-S1	GR	Neutron Density	Archie	0,02
Q14-02	GR	Neutron Density	Archie	0,07
RST-01	GR	Neutron Density	Archie	0,05
SLB-01	GR	Neutron Density	Archie	0,144
SPD-01	GR	Neutron Density	Archie	0,04
WMR-01	GR	Sonic	Archie	0.08
WRV-01	GR	Sonic	Archie	x
WRW-01	GR	Sonic	Archie	0.045

Tabel 5.6 | Model parameters en aanpassingen gebruikt in de petrofysische analyse.

Parameter	Waarde	Eenheid
a	1	[-]
m	2	[-]
n	2	[-]
Cut off porositeit	$\geq 0,06$	[-]
Cut off clay volume	$\leq 0,4$	[-]

De porositeit-permeabiliteit relaties voor de reservoirs in de Formatie van Slochteren (gebaseerd op de kerndata) zijn toegepast op de berekende porositeitslog voor elke put om een 'petrofysische permeabiliteit' te berekenen over het gehele dieptebereik van de desbetreffende reservoirs per put. Deze berekende permeabiliteit op putniveau is gecontroleerd middels gecorrigeerde kerndata indien beschikbaar. Er is gekozen het geometrische gemiddelde te gebruiken in IP bij het berekenen van de gemiddelde permeabiliteit over een reservoir interval. Dit is gangbaar voor overwegend isotrope reservoirs, zoals de Formatie van Slochteren (Herweijer 1997).

5.2.8 [ROSL] Opschaling

Dikte

Diktekaarten worden bij voorkeur gemaakt op basis van de seismische interpretaties die resulteren in een top en een basis reservoir. Echter is de basis voor de Formatie van Slochteren niet overal goed te interpreteren. Er is er daarom voor gekozen om alleen voor het Friesland Platform (in de Noordoostpolder), waar de seismische data relatief duidelijk is, uit te gaan van de seismische interpretatie. Voor alle overige gebieden is een diktekaart gegrond op basis van de bruto diktes uit lithologs. Hierbij is gebruik gemaakt van alle putten in het projectgebied die de Formatie van Slochteren aangeboord hebben. Op basis van netto-brutoverhoudingen van de putten meegenomen in de analyse is een gemiddelde netto-brutoverhouding van 0,95 bepaald. Deze is toegepast op het gehele projectgebied.

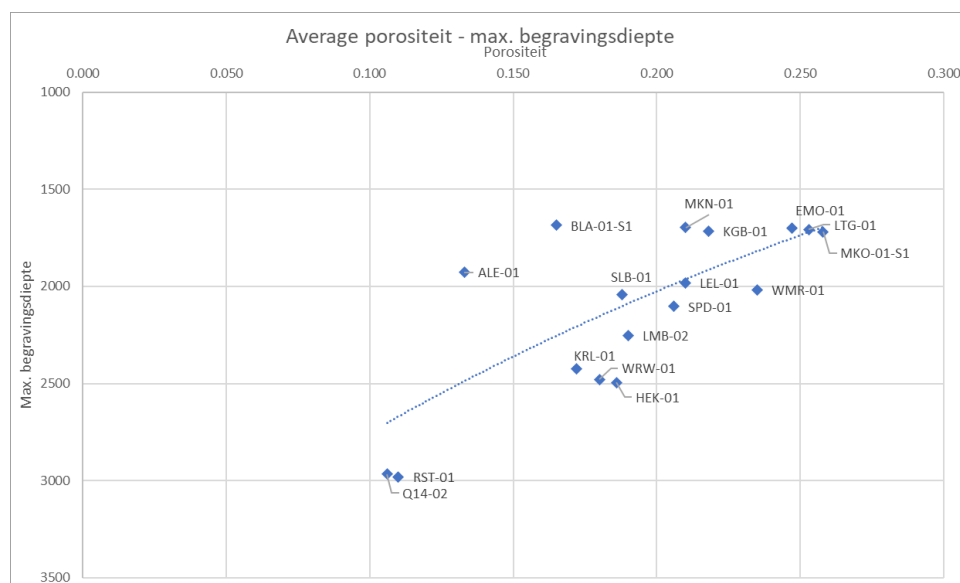
Porositeit-diepte

De reservoir porositeit - diepte relatie is opgesteld o.b.v. de resultaten van de petrofysische analyse. Er is één relatie opgesteld voor het gehele projectgebied (Noord-Holland én Flevoland). Deze relatie is gebaseerd op de geïnterpreteerde porositeiten van alle putten, op enkele uitzonderingen na: de geïllitiseerde putten (DRO-01 en LSM-01) en de verbreukte putten (BRL-01-S1 en WRV-01) zijn niet meegenomen omdat deze niet representatief zijn voor de gehele regio. Dit resulteert in de volgende relatie:

$$Phie = 0,500531e^{-0,000468*Z}$$

Phie is de porositeit [-], en Z is de maximale begravingdiepte (mid-reservoir). Deze maximale begravingdiepte is bepaald door de huidige diepteligging op te tellen bij de begravinganomalie van Nelskamp en Verweij (2012). De relatie wordt toegepast op de kaart van de maximale begravingdiepte.

In de grafiek Figuur 5.8 is te zien dat, hoewel de relatie op zich een mooie weergave is van het gemiddelde van de datapunten, de punten in weinig gevallen in de buurt van de lijn liggen. De data laat een grote scatter zien. Om de resulterende porositeitskaart meer in overeenstemming te brengen met de werkelijkheid is er daarom voor gekozen een extra bewerking toe te voegen: voor de putten die geanalyseerd zijn in de petrofysische analyse zijn immers porositeiten bepaald. Op basis van deze relatie zal de porositeits-dieptekaart op de locatie van die putten een afwijkende waarde laten zien. Er is daarom een zogenaamde “afwijkingkaart” gegerid: voor de geanalyseerde putten is berekend wat het verschil is tussen de berekende petrofysische average porosity en de porositeit o.b.v. hiergenoemde relatie. Deze afwijking is gegerid (methode: kriging). Vervolgens is dit afwijkingsgrid bij de porositeitskaart opgeteld. Hierdoor kloppen de porositeiten op de kaart beter met de werkelijkheid. Een kanttekening hierbij is dat de porositeitskaart nabij putten die in IP geanalyseerd zijn dus betrouwbaarder is dan daarbuiten.

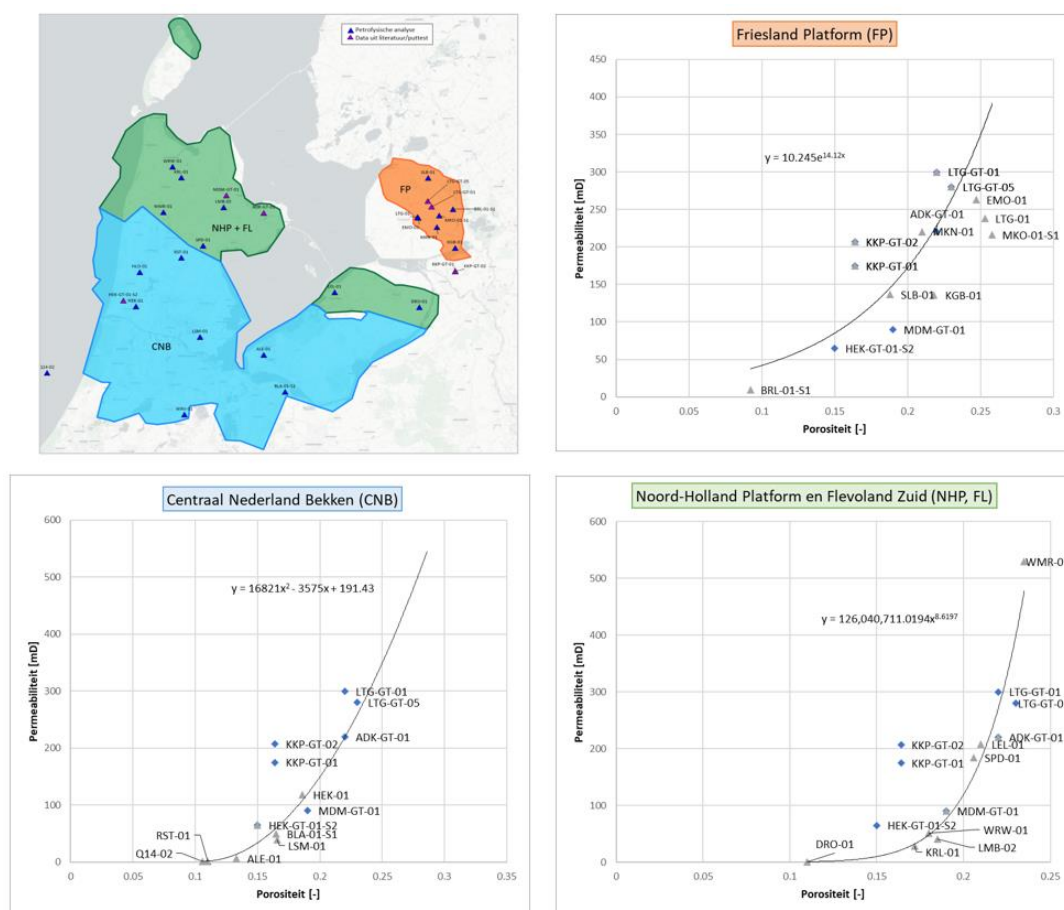


Figuur 5.8 | Porositeit-maximale begravingdiepte voor de Formatie van Slochteren.

Porositeit-permeabiliteit

De porositeit-permeabiliteitsrelaties voor de verschillende regio's zijn weergegeven in Figuur 5.9. Per regio is een aparte relatie opgesteld (zie paragraaf 5.2.2). Dit is gedaan door de gemiddelde permeabiliteiten en porositeiten uit de petrofysische analyse van de putten die in deze regio liggen tegen elkaar te plotten. Ook de data uit geothermieputten gelegen in deze regio's is meegenomen in deze relaties. De geothermieputdata gelegen in andere zones is geplott ter referentie maar niet meegenomen als datapunt waar de relatie zich op baseert.

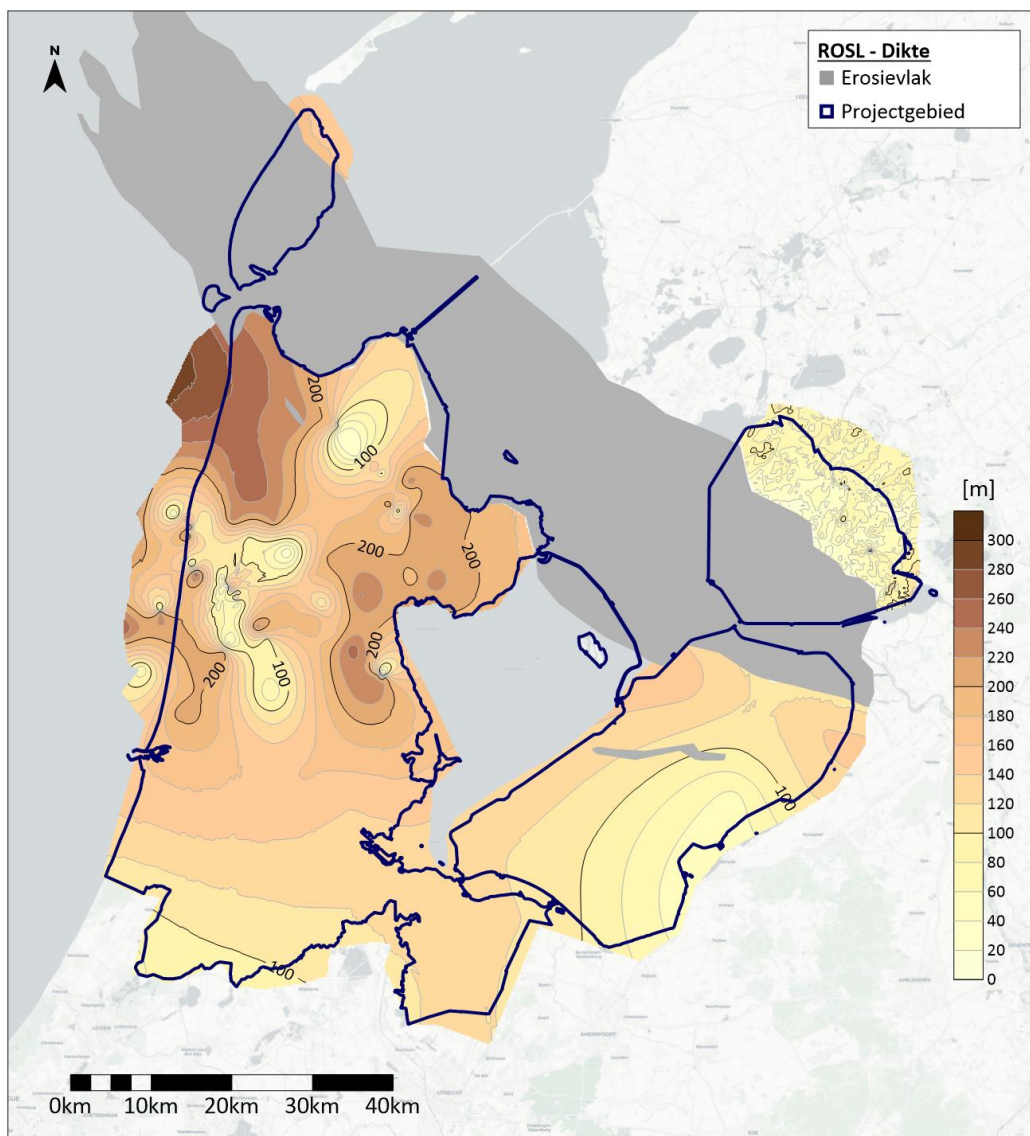
Let op: de relatie voor het CNB geldt vanaf een porositeit van 10% en hoger. Bij lagere porositeiten wordt een doorlatendheid van 0,1 mD aangenomen.



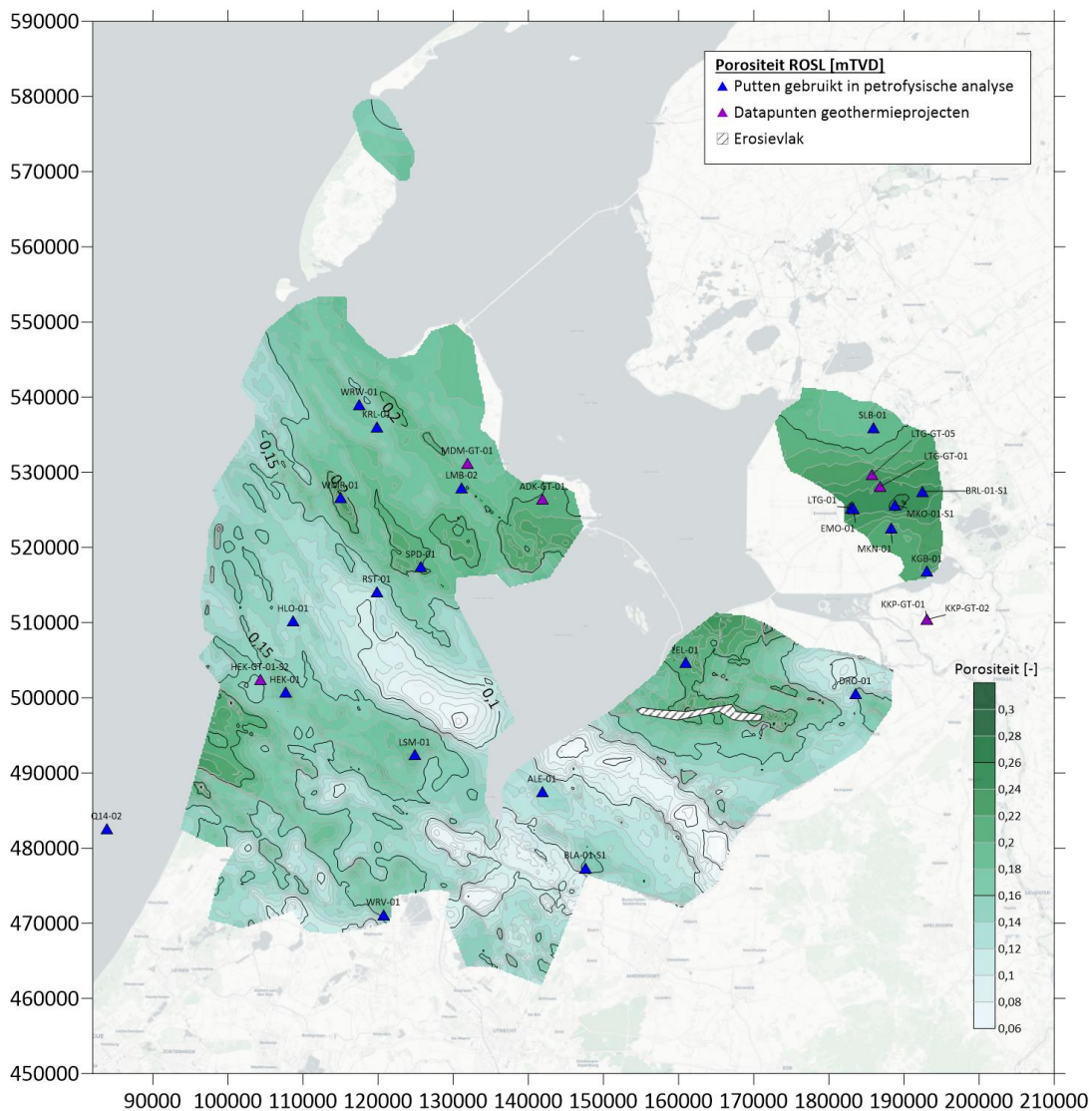
Figuur 5.9 | De average porositeit - average permeabiliteitsrelaties. Voor elke porositeit-perm plot: In grijs staan de putten die zijn gebruikt in de regressie. In blauw staan geothermieputten uit andere geologische zones.

5.2.9 [ROSL] Resultaten

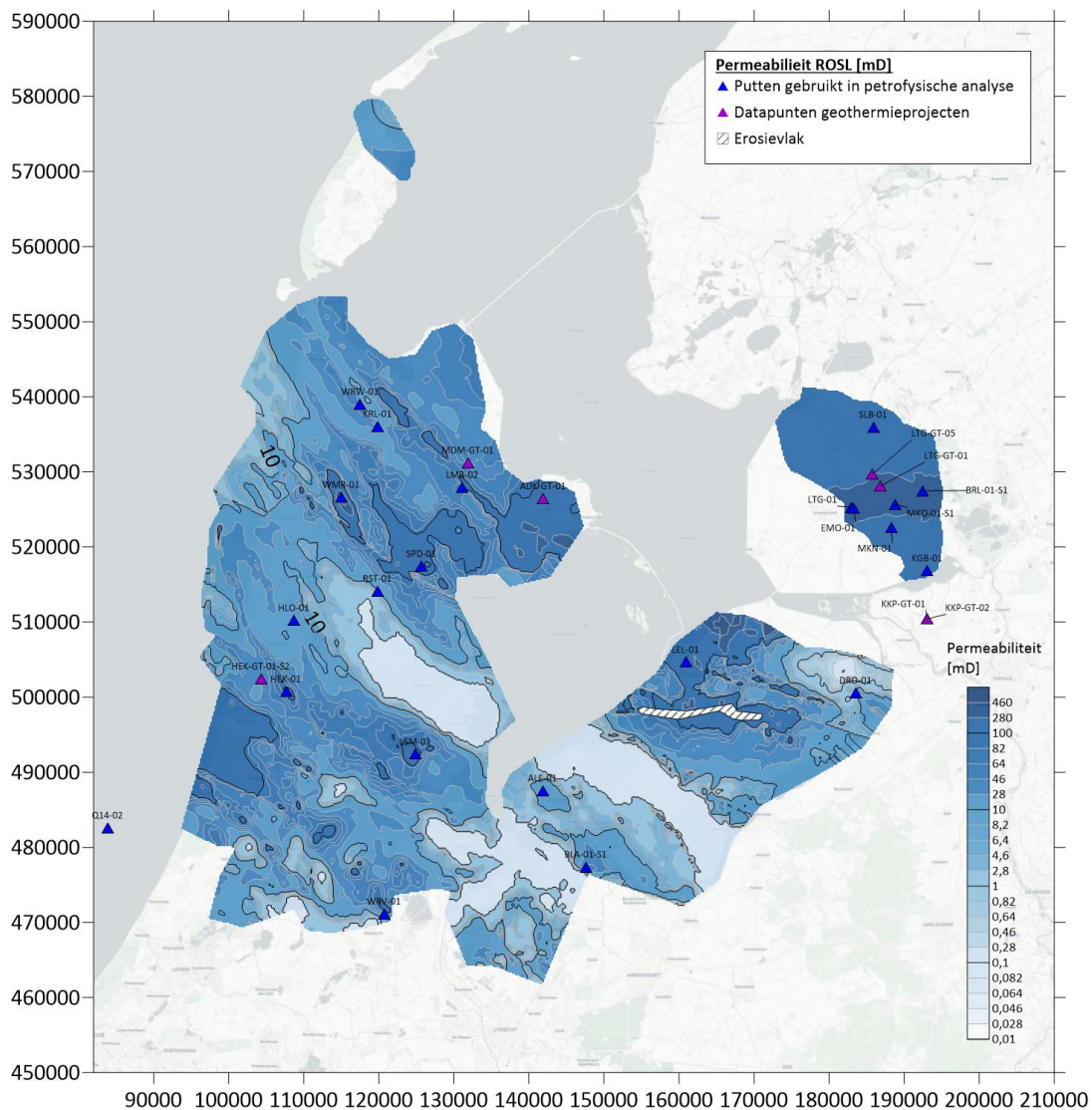
De resulterende kaarten van de reservoir eigenschappen zijn weergegeven in onderstaande figuren.



Figuur 5.10 | Brutodiktekaart van de Formatie van Slochteren. Note: de netto-brutoverhouding is 0,95.



Figuur 5.11 | Porositeitskaart voor de Formatie van Slochteren [-] (mid-reservoir).



Figuur 5.12 | Permeabiliteitskaart voor de Formatie van Slochteren [mD] (mid-reservoir).

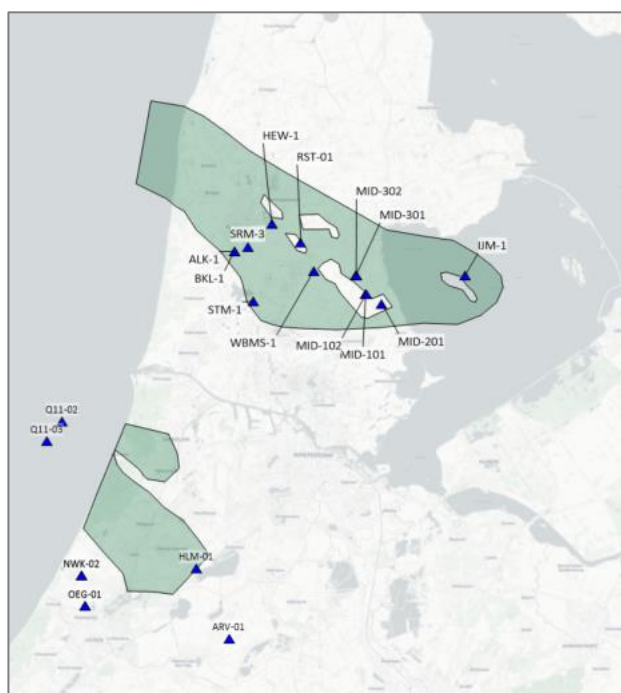
5.2.10 Zanden van de Rijnland Groep en Schieland groep

De zanden van de Vlieland Zandsteen Formatie, onderdeel van de Rijnland Groep, worden in het projectgebied op twee plekken aangetroffen: rondom Purmerend en in het zuiden van Noord-Holland. De zanden van de Schieland Groep (de Delfland Zandsteen Formatie) liggen hier in het zuidelijke gebied lokaal direct onder: in dat geval worden deze lagen ook meegenomen in de diktebepaling. In overige analyses wordt data uit zanden van de Rijnland Groep gebruikt: de Vlieland Zandsteen Formatie. De nadruk ligt in dit hoofdstuk dan ook op deze formatie.

5.2.11 [KNNSR] Beschikbare data

De putten gebruikt in de petrofysische analyse voor de Zanden in de Rijnland/Schieland Groep zijn weergegeven in onderstaand figuur. De groene zones geven de zones aan waar de Vlieland Zandsteen Formatie, onderdeel van de Rijnland Groep, afgezet is. Dit is gebaseerd op in interpretatie van (Van Adrichem Boogaert en Kouwe 1993). Voor het noordelijke afzettingsgebied is gebruikt gemaakt van petrofysische interpretaties van de NAM (NAM 1996, dit wordt verder toegelicht in paragraaf 5.2.14), voor de putten gepresenteerd in onderstaand figuur.

Voor het zuidelijke afzettingsgebied is gebruik gemaakt van de zes putten rondom dit afzettingsgebied, te zien in onderstaand figuur.



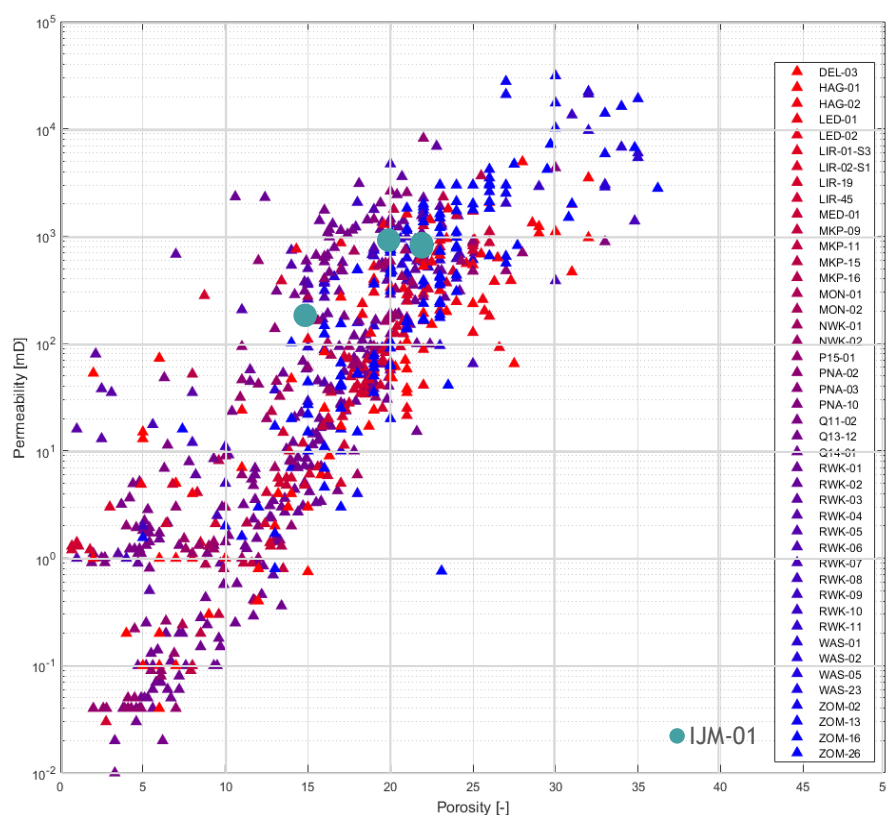
Figuur 5.13 | Putten gebruikt in de petrofysische analyse van de Rijnland Groep.

5.2.12 [KNNSR] Kerndata-analyse

In slechts één van de putten in het projectgebied rondom Purmerend waar de Vlieland Formatie wordt aangetroffen zijn kernmetingen genomen: put IJM-01. Dit is te weinig om een lokale petrofysische analyse mee uit te voeren. In 2019 is er door IF Technology een petrofysische analyse uitgevoerd voor de Rijswijk Zandsteen (onderdeel van de Vlieland Zandsteen Formatie) voor de gemeentes Katwijk en Noordwijk (IF Technology 2019). Het projectgebied van deze studie is het

noordwesten van Zuid-Holland, en grenst daarmee direct aan het zuiden van Noord-Holland waar de Rijnland Groep o.b.v. de seismische studie van deze studie ook wordt verwacht. In Figuur 5.14 is te zien dat de drie kernen uit de IJM-01 put ophijnen met de kerndata gebruikt voor de Katwijk-Noordwijkstudie. De (kern) poro-permrelatie uit deze studie wordt daarom representatief geacht voor de Vlieland Zandsteen Formatie op beide plekken waar het in het projectgebied wordt aangetroffen: rondom Purmerend én in het zuiden van Noord-Holland. Beide locaties kunnen daarom dus middels dezelfde petrofysische methode worden beschouwd.

Vlieland Sandstone (IJM-01) en Rijswijk Sandstone (WNB)



Figuur 5.14 | Kernporositeiten en -permeabiliteiten uit de Katwijk-Noordwijkstudie van IF Technology (2019) met daaroverheen in blauwe cirkels de kernen van put IJM-01 geplot.

5.2.13

[KNNSR] Petrofysische analyse

Voor de Rijnland Groep is voor één put een petrofysische analyse uitgevoerd. Het gaat om put RST-01. De gebruikte methodes en modelparameters zijn weergegeven in Tabel 5.7 en Tabel 5.8.

Tabel 5.7 | Porositeitsmodellen zoals gebruikt voor de petrofysische log evaluatie, R_w is de resistiviteit van het formatiewater, bepaald middels pickett plots.

Put	Clay model	Porosity model	Saturation equation
RST-01	GR	Neutron Density	Archie

Tabel 5.8 | Model parameters en aanpassingen gebruikt in de petrofysische analyse.

Parameter	Waarde	Eenheid
a	1	[-]
m	2	[-]
n	2	[-]
Cut off porositeit	$\geq 0,06$	[-]
Cut off clay volume	$\leq 0,4$	[-]

5.2.14 [KNNSR] Opschaling

Netto dikte

Voor beide regio's is de dikte gebaseerd op de aangetroffen (netto) diktes van de Vlieland member in de putten in dit gebied. Deze diktes zijn geplot en naar een kaart grid middels kriging.

Porositeit-diepte regio Purmerend

In 1996 is er door de NAM een uitgebreide petrofysische analyse uitgevoerd voor de Vlieland Formatie in Noord-Holland (NAM 1996). De resultaten van deze studie zijn gecontroleerd door voor de put RST-01 (gelegen in het midden van Noord-Holland) een petrofysische analyse uit te voeren voor het interval van de Vlieland Zandsteen Formatie.

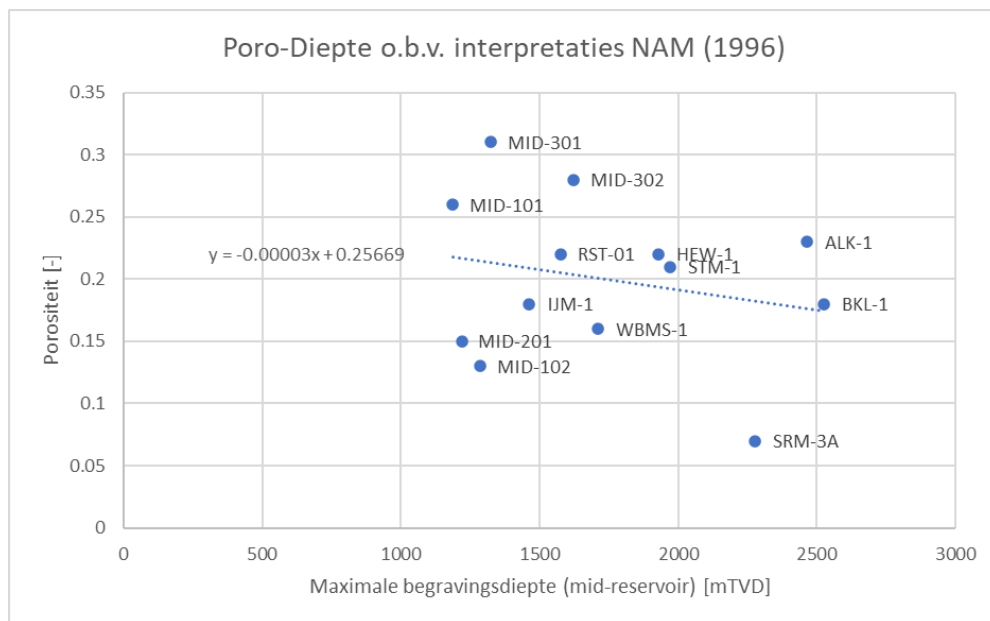
De berekende porositeit en netto/bruto-waarde uit deze put vallen binnen de onzekerheidsmarge (10%) van de waarden uit de studie van de NAM. Er is er daarom voor gekozen om ook de overige petrofysische resultaten van de NAM te gebruiken. Deze zijn gepresenteerd in Tabel 5.9. Om een consequent mogelijk resultaat te krijgen is voor put RST-01 het resultaat van de NAM gebruikt.

Tabel 5.9 | Reservoir eigenschappen o.b.v. NAM-rapport, met maximale begraving dieptes o.b.v. Nelskamp en Verweij (2012).

Put	Top [mTVD]	Basis [mTVD]	Gemiddelde diepte [mTVD]	Begravings-diepte [m]	Max. begraving diepte [mTVD]	Bruto dikte [m]	Netto dikte [m]	Porositeit [-]
ALK-1	1455	1496	1476	990	2466	41	32,9	0,23
BKL-1	1527	1545	1536	990	2526	18	9,2	0,18
HEW-1	1137	1161	1149	780	1929	24	13,0	0,22
IJM-1	1432	1493	1463	0	1463	61	50,2	0,18
MID-101	1162	1210	1186	0	1186	48	19,7	0,26
MID-102	1257	1313	1285	0	1285	56	9,8	0,13
MID-201	1197	1240	1219	0	1219	43	29,1	0,15
MID-301	1296	1350	1323	0	1323	54	34,4	0,31
MID-302	1605	1638	1622	0	1622	33	13,1	0,28
RST-01_NAM	1152	1197	1175	400	1575	45	22,3	0,22
RST-01_IF	1152	1197	1175	400	1575	45	20,0	0,20
SRM-3A	1326	1330	1328	950	2278	4	1,5	0,07
STM-1	1141	1200	1171	800	1971	59	38,6	0,21
WBMS-1	1269	1350	1310	400	1710	81	59,6	0,16

De average porositeit - diepte relatie is opgesteld o.b.v. de resultaten van de petrofysische analyse van de NAM (NAM 1996), Figuur 5.15. Zoals in dit figuur te zien is er geen duidelijk verband

tussen de porositeit en de diepte. Er is daarom voor gekozen om een porositeitskaart op te stellen door de porositeiten uit bovenstaande tabel middels kriging te gridden.



Figuur 5.15 | De porositeit-maximale begravingsdiepte relatie gebaseerd op de resultaten van de petrofysische analyse van de NAM (1996).

Porositeit-diepte regio Noord-Holland Zuid

De porositeit-diepterelatie voor de afzettingen (Rijswijk Member, onderdeel van de Vlieland Zandsteen Formatie) in het zuiden van Noord-Holland is overgenomen uit de regionale studie van Katwijk en Noordwijk (IF Technology 2019):

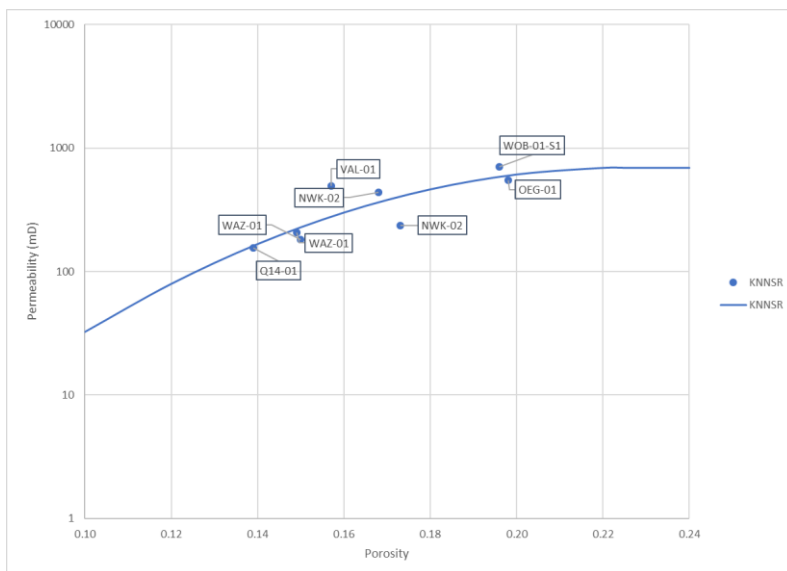
$$\phi_{gemiddeld} = -3,930 * 10^{-5}z + 0,216$$

Permeabiliteit-diepte

Als onderdeel van eerder genoemde Katwijk-Noordwijkstudie uitgevoerd door IF Technology (IF Technology 2019) is een porositeit-permeabiliteitsrelatie opgesteld. Deze wordt op het gehele projectgebied (Noord-Holland Zuid en Purmerend) toegepast en vertaalt de opgeschaalde porositeit naar een opgeschaalde permeabiliteit. De resulterende porositeit-permeabiliteit relatie voor de Vlieland Zandsteen Formatie (KNNSR) is als volgt:

$$kH_{gemiddeld} = 10^{(-1,439+37,897\phi_{gemiddeld}-83,892\phi_{gemiddeld}^2)}$$

Hierin is ϕ de porositeit [-]. De datapunten waar deze relatie op gebaseerd is zijn weergegeven in Tabel 5.10.



Figuur 5.16 | Reservoirschaal porositeit - permeabiliteit relatie van de Vlieland Zandsteen op basis van de gemiddelde porositeit en gemiddelde permeabiliteit waarden van de putten gebruikte in de petrofysische analyse ($R^2 = 0,674$).

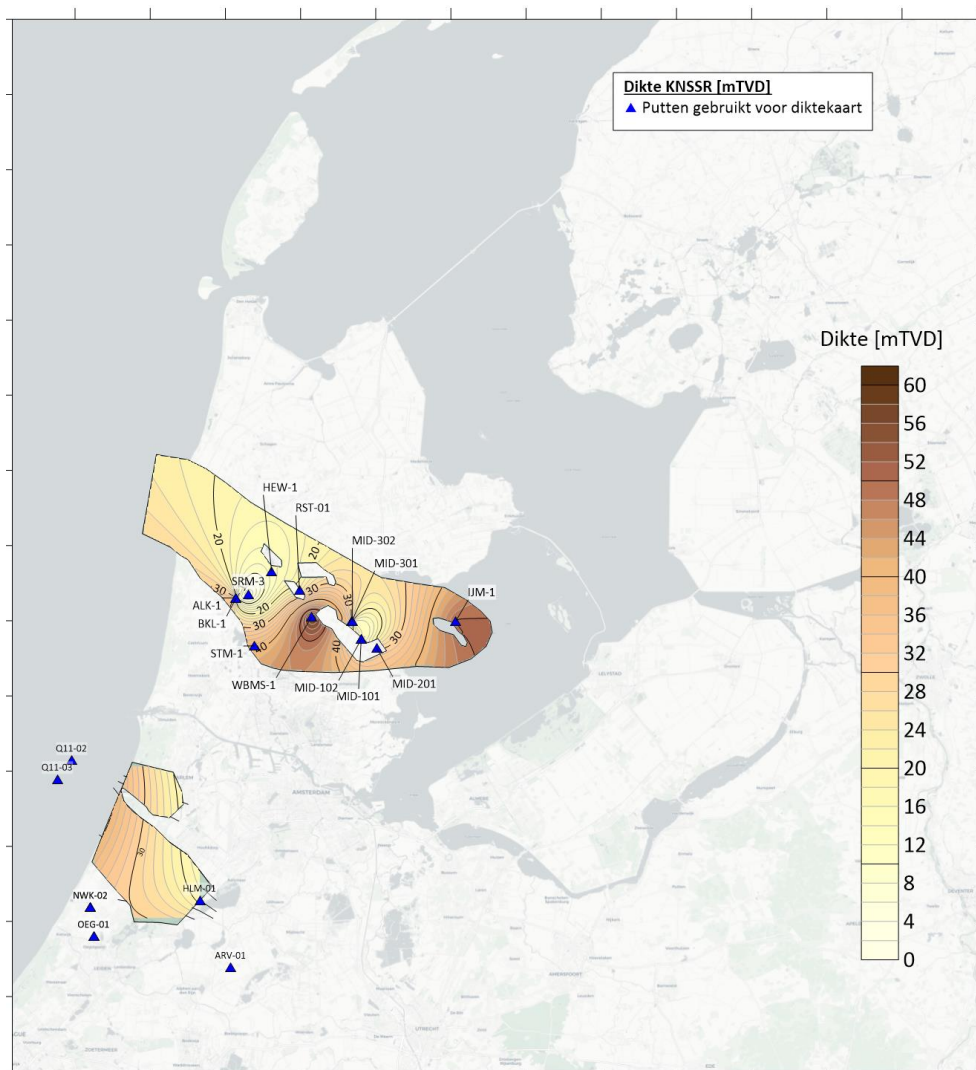
Tabel 5.10 | Karakterisatie van de Vlieland Zandsteen Formatie op basis van de petrofysische analyse in de Katwijk-Noordwijk studie.

Put	Top (AH, m)	Top (TVD, m)	Gross H (TVD, m)	Net H (TVD, m)	N/G (-)	Mean PHIE (-)	Mean kH (mD)	Transmissiviteit (Dm)
NWK-02	1102	1056	35	33	0.94	0.17	439	14
NWK-02	1735	1665	64	44	0.69	0.17	236	11
OEG-01	1042	1041	35	32	0.93	0.20	547	18
Q14-01	1382	1381	39	32	0.82	0.14	156	5
WAZ-01	1421	1418	63	43	0.68	0.16	491	21
WAZ-01	1688	1684	35	30	0.86	0.15	181	5
VAL-01	1421	1349	18	14	0.77	0.15	208	3
WOB-01-S1	544	544	18	13	0.72	0.20	704	9

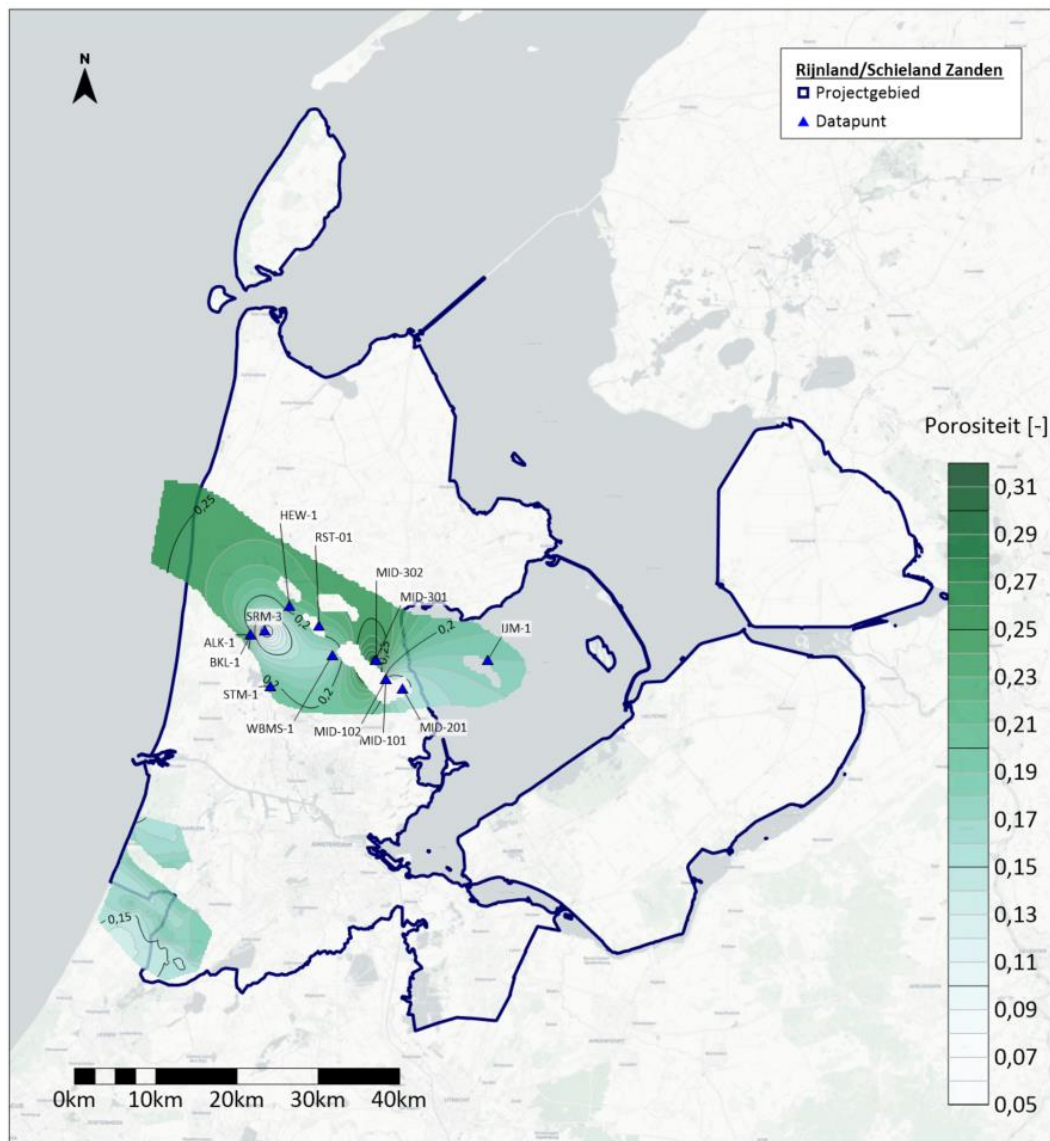
5.2.15

[KNNSR] Resultaten

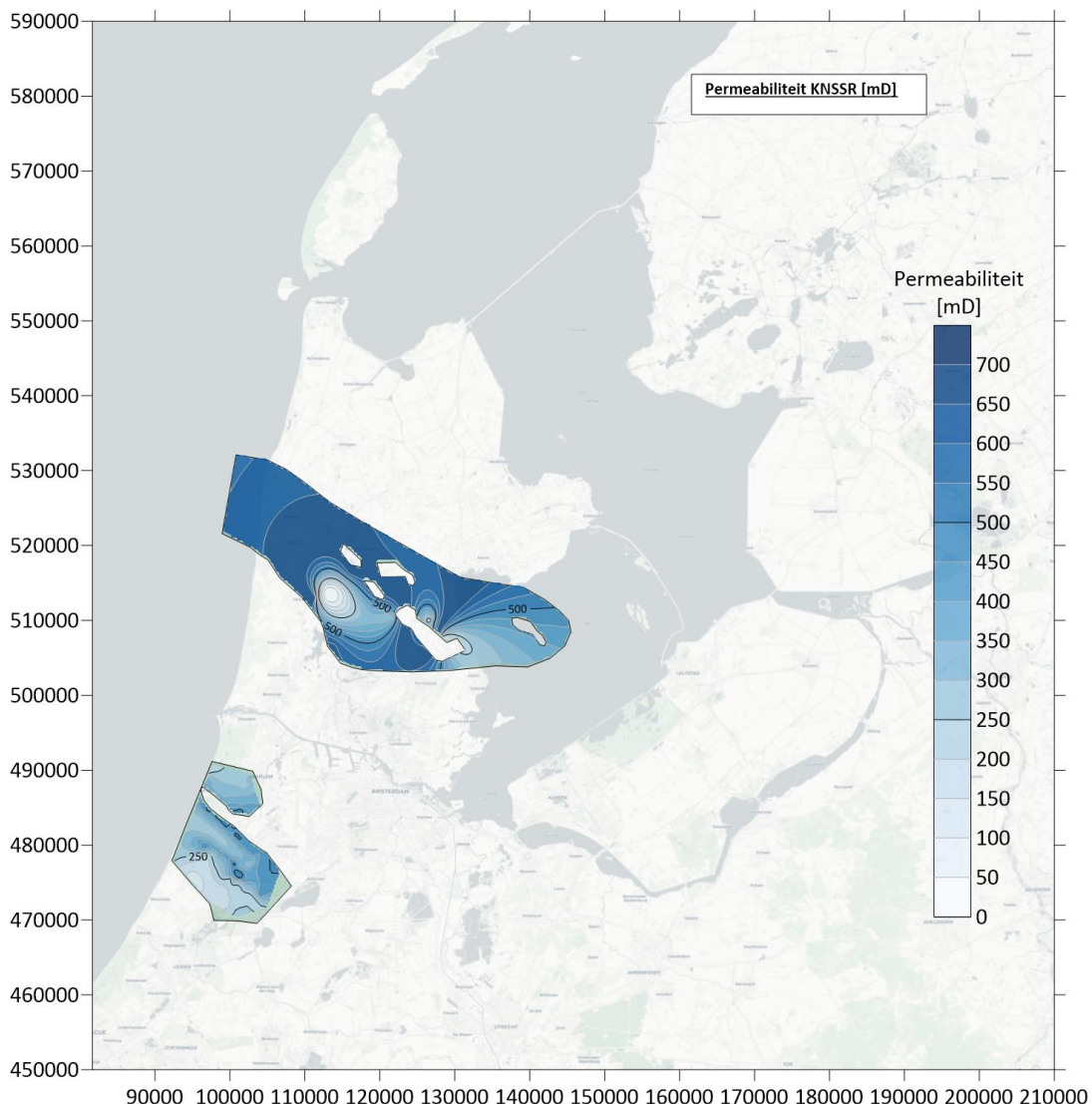
De resulterende kaarten zijn in de volgende figuren weergegeven.



Figuur 5.17 | Bruto diktekaart van de Vlieland Zandsteen Formatie, en voor het zuidelijkste polygoon ook de Delfland Zandsteen Formatie [m].



Figuur 5.18 | Porositeit van de Vlieland Zandsteen Formatie [-].



Figuur 5.19 | Permeabiliteit van de Vlieland Zandsteen Formatie [mD].

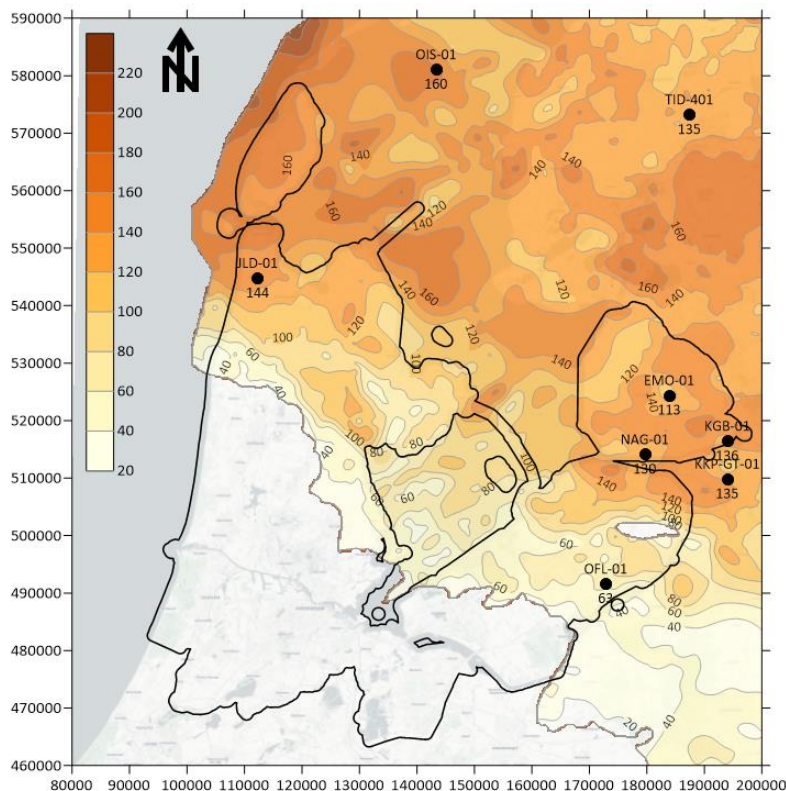
5.3 ZAND VAN BRUSSEL

In het kader van het onderzoeksprogramma WarmingUp is het Zand van Brussel uitgebreid geëvalueerd (de Haan e.a. 2020; Geel en Foeken 2021). Het rapport van de Haan behandelt de kartering van het Zand van Brussel, en het rapport van Geel en Foeken beschrijft de petrofysische evaluatie.

In dit hoofdstuk worden de resultaten van deze studies samengevat, daar waar nodig aangepast en worden ze gebruikt om de potentie van het Zand van Brussel te bepalen.

Uit de evaluaties blijkt dat het Zand van Brussel aanwezig is het noorden en het oosten van het onderzoeksgebied. In het onderzoeksgebied varieert de bruto dikte tussen de 0 en 180 m. De grootste diktes worden aangetroffen in het noorden van Noord-Holland en in de Noordoostpolder. Buiten het onderzoeksgebied komen maximale diktes tot 220 m voor. In Figuur 5.20 zijn de putten

weergegeven die gebruikt zijn voor het bepalen van de hydrologische eigenschappen van de member. De putten zijn geprojecteerd op een bruto diktekaart van het Zand van Brussel.

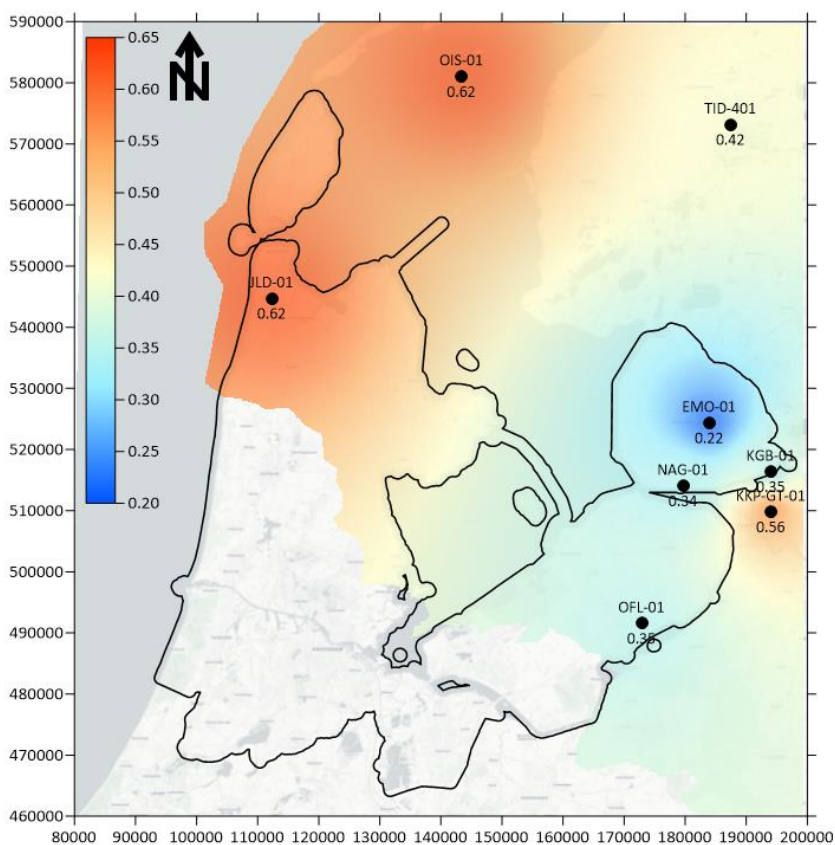


Figuur 5.20 | Brutodiktekaart Zand van Brussel. Kaart is gebaseerd op data van de WarmingUp studie van TNO (de Haan e.a. 2020). De getoonde putten zijn gebruikt voor de bepaling van de hydrologische eigenschappen van het zand (Geel en Foeken 2021).

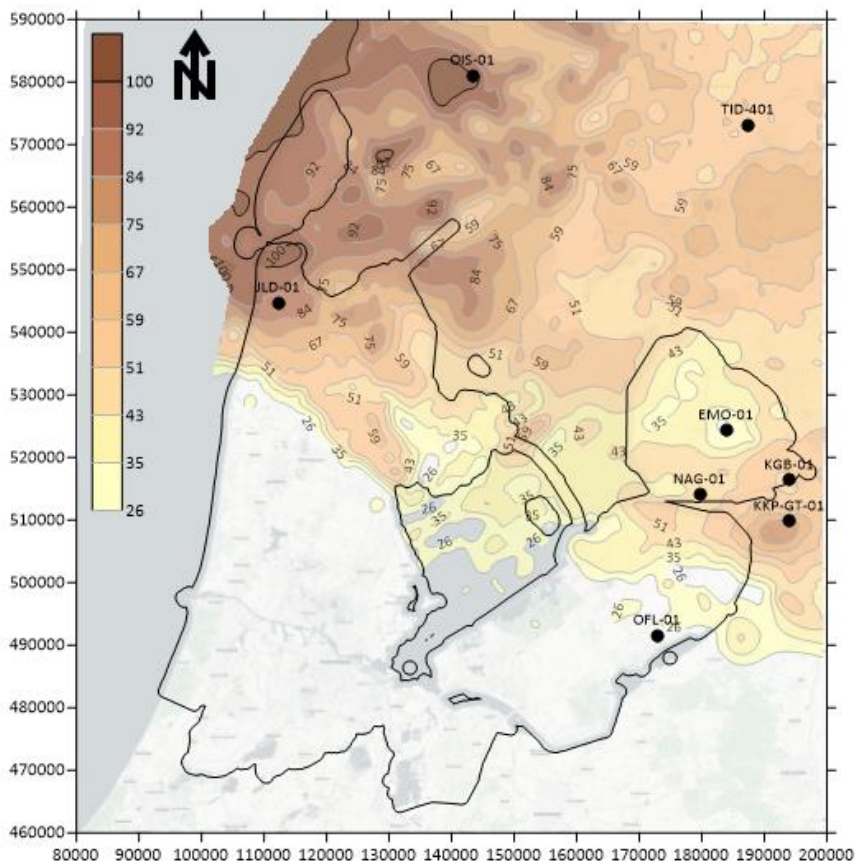
In Figuur 5.21 is op basis van de petrofysische analyses een kaart gemaakt van de net-to-gross verhouding (N/G). Als gridding methode is inverse distance to a power (power is 2) methode gebruikt. Uit het figuur valt op te maken de N/G verhouding in Noord-Holland het hoogst is (0,62) en dat deze in zuidoostelijke richting afneemt tot circa 0,35 in de Noordoostpolder, waarbij EMO-01 een duidelijk lagere N/G heeft. Richting KKP-GT-01 neemt de N/G weer toe. Op basis van de N/G kaart en de bruto diktekaart is een netto diktekaart gemaakt. Deze kaart is weergegeven in Figuur 5.22. Deze netto diktekaart wijkt af van de netto diktekaart die is gerapporteerd in de studie van Geel en Foeken. De afwijking wordt veroorzaakt door een afwijking in de seismische dikte (de Haan) en de petrofysische dikte (Geel en Foeken), zie Tabel 5.11. Aangezien de seismische interpretatie gebiedsdekkend is, en de petrofysische dikte alleen op een paar punten beschikbaar is, is er voor gekozen om de seismische dikte te gebruiken. Ook zijn er een aantal diktes petrofysisch geïnterpreteerd (groter dan 200 m), die onwaarschijnlijk hoog lijken.

Tabel 5.11 | Bruto en netto dikte Zand van Brussel.

well_ID	X [m]	Y [m]	dikte G&F [mTV]	dikte de Haan [mTV]	dikte NLOG [mTV]	N/G [-]	Netto dikte [m]
EMO-01	183982	524365	156	113	87	0,22	25
JLD-01	112354	544747	139	144	100	0,62	89
KGB-01	194076	516406	223	136	108	0,35	48
KKP-GT-01	194076	509806	165	135	70	0,56	76
NAG-01	179712	514077	180	130	89	0,34	44
OFL-01	172918	491560	80	63	48	0,35	22
OIS-01	143412	581046	113	160	113	0,62	99
TID-401	187471	573188	217	135	88	0,42	57

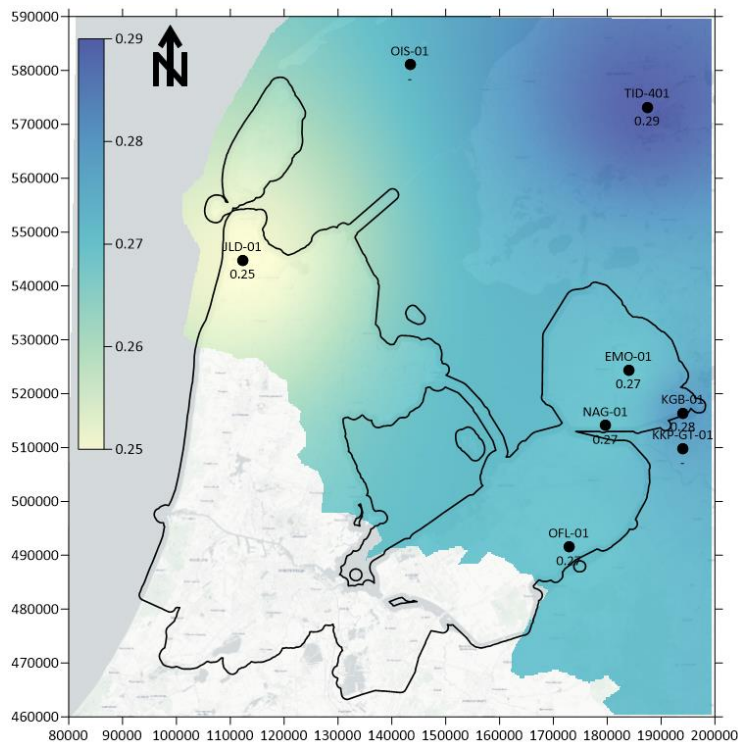


Figuur 5.21 | Net-to-Gross ratio voor het Zand van Brussel (Geel en Foeken 2021).



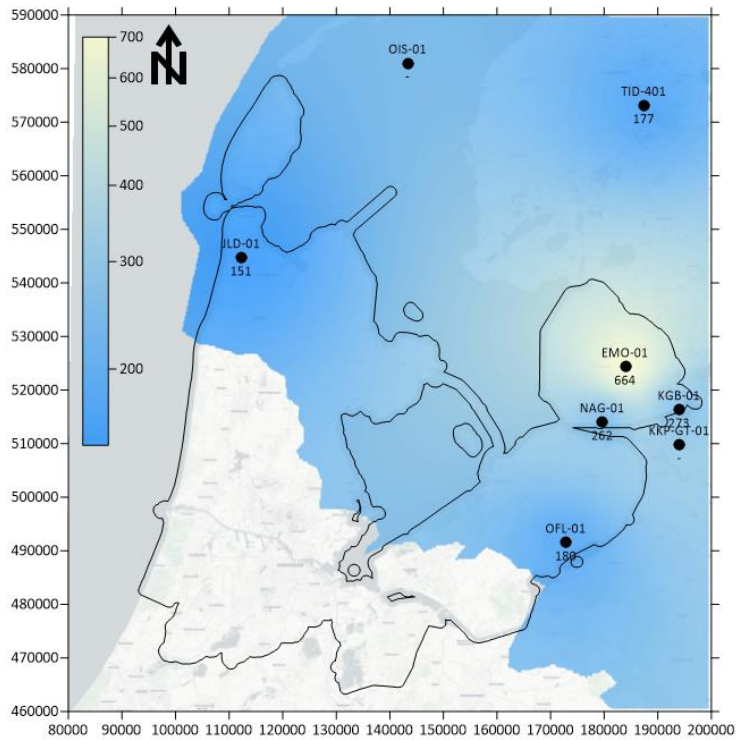
Figuur 5.22 | Netto diktekaart Zand van Brussel [m]. Deze diktekaart wijkt af van de diktekaart die gepresenteerd is in Geel en Foeken, 2021.

In Figuur 5.23 is de porositeitskaart weergegeven. Deze kaart is gebaseerd op data uit Geel en Foeken. De porositeiten van de putten zijn geïnterpoleerd door middel van de inverse distance to a power (power is 2) methode. Uit de kaart blijkt dat de afgeleide porositeiten in het onderzoeksgebied variëren tussen de 25% en 27%.



Figuur 5.23 | Porositeit [-] (Geel en Foeken 2021).

In Figuur 5.24 is de permeabiliteitskaart weergegeven. De permeabiliteitskaart, samen met de netto diktekaart en de temperatuurkaart worden gebruikt om de potentie van het Zand van Brussel te bepalen.



Figuur 5.24 | Permeabiliteit [mD] (Geel en Foeken 2021).

6 Formatiewater

6.1 TEMPERATUUR

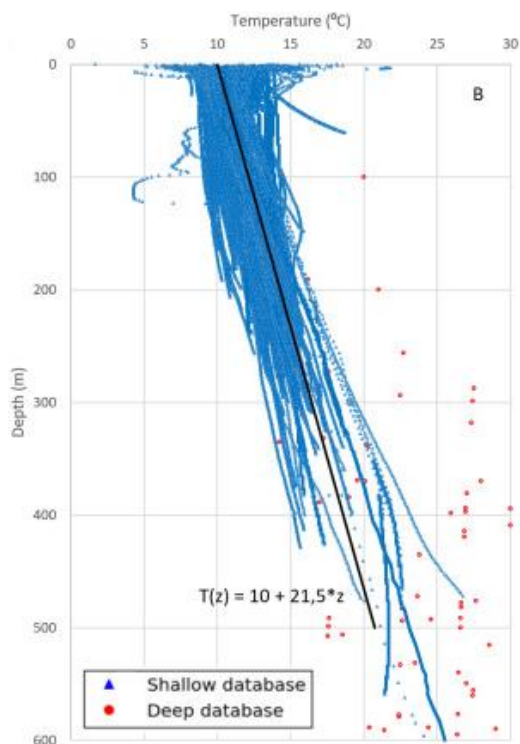
De geothermische gradiënt is niet perfect lineair door alle formaties (Gies e.a. 2021). Daarom is ervoor gekozen om per formatie een aparte geothermische gradiënt aan te houden.

Zand van Brussel

Voor het Zand van Brussel wordt uitgegaan van het geothermische model van ondiepe formaties, door (Gies e.a. 2021). In dit artikel wordt de volgende geothermische gradiënt voor ondiepe pakketten beschreven:

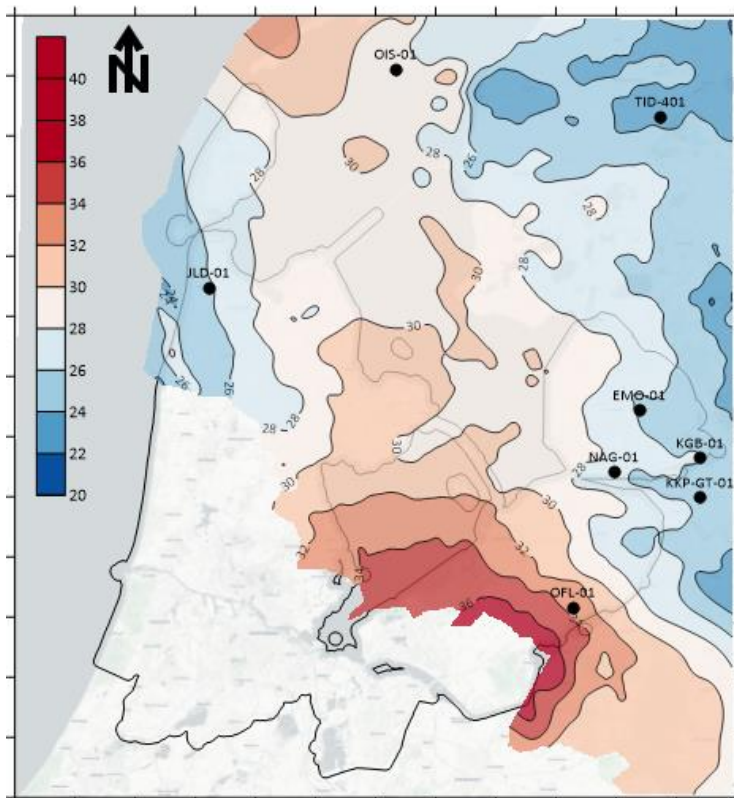
$$T = 0,0215 * Z + 10$$

Hierin is T de temperatuur (in °C), en Z de diepte mid-reservoir (in mTVD). Er wordt een gemiddelde oppervlaktetemperatuur van 10 °C aangehouden.



Figuur 6.1 | Geothermische gradiënt voor ondiepe pakketten (Gies, 2020).

Op basis van een door Gies afgeleide geothermische gradiënt (Gies e.a. 2021) is de door TNO opgestelde dieptekaart (de Haan e.a. 2020) omgerekend naar een temperatuur aan de bovenkant van het Zand van Brussel. Een kaart van de berekende temperaturen is weergegeven in Figuur 6.2.



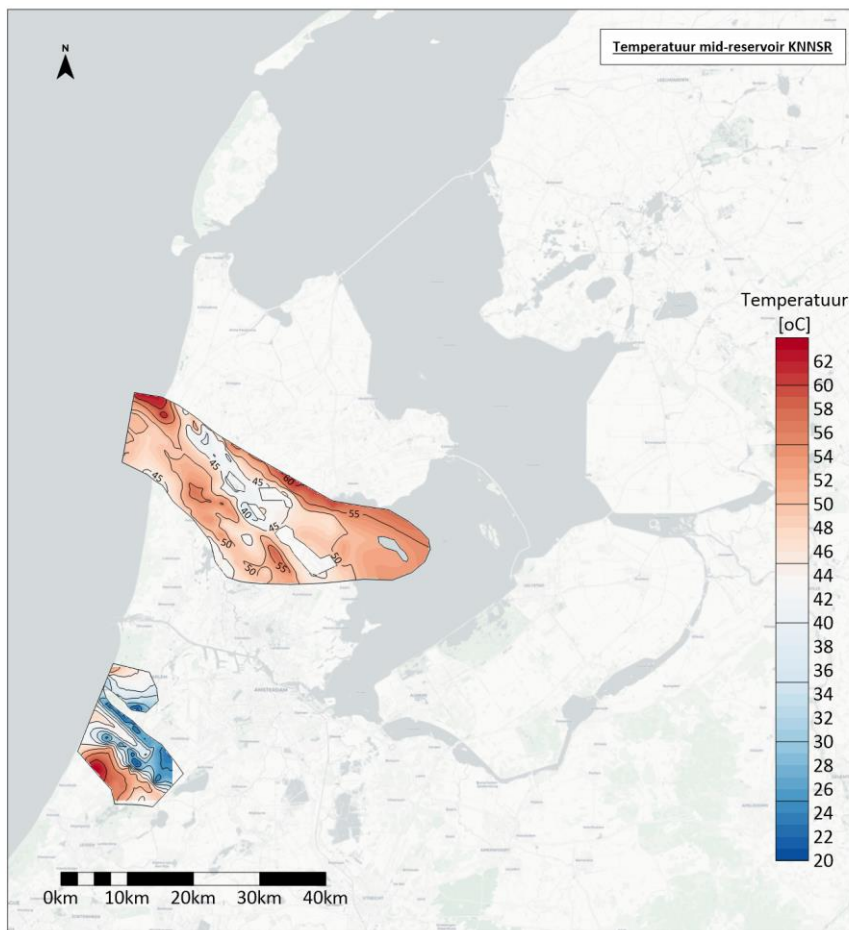
Figuur 6.2 | Temperatuur top-reservoir Zand van Brussel.

Zanden van de Rijnland Groep

Voor het reservoir in de Rijnland Groep wordt gebruik gemaakt van de geothermische gradiënt zoals bepaald in de studie van Katwijk en Noordwijk (IF Technology 2019). Deze is bepaald op basis van temperatuurmetingen uit putten HLM-01, NWK-02, OEG-01, WAZ-01, WOB-01 en WOB-01-S1, en wordt beschreven met de volgende relatie:

$$T = 0,03 * Z + 10$$

Hierin is T de temperatuur (in °C), en Z de diepte mid-reservoir (in mTVD). Er wordt een gemiddelde oppervlaktetemperatuur van 10 °C aangehouden.



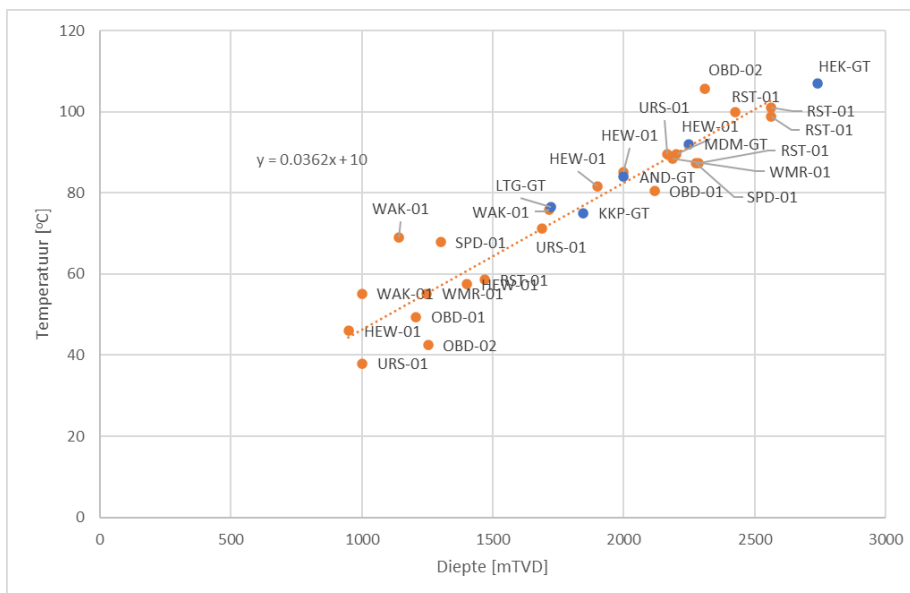
Figuur 6.3 | Temperatuur mid-Rijnland [°C].

De Formatie van Slochteren

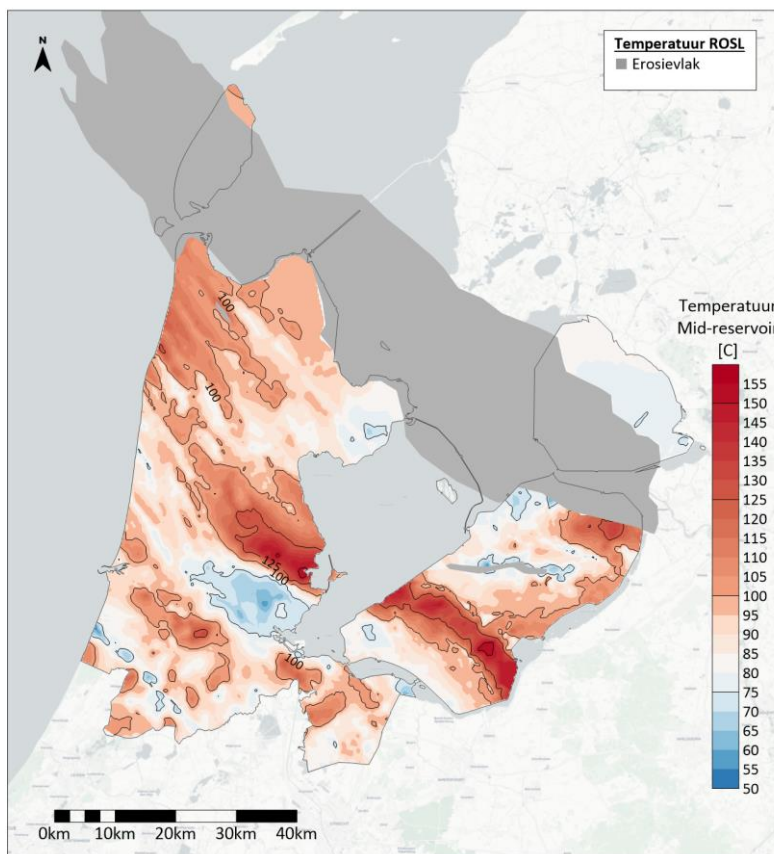
De gemiddelde geothermische gradiënt voor de Formatie van Slochteren is bepaald door temperatuurmetingen uit verschillende putten in de Formatie van Slochteren te plotten tegen de diepte van de meting (RST-01, HEW-01, OBD-02, SPD-01 en URS-01). De temperatuurmetingen zijn gecorrigeerd middels de ICS methode (Bonte 2014). Temperatuurmetingen uit geothermieprojecten zijn in deze grafiek geplot, en blijken op te lijnen met de trendlijn door de datapunten. De geothermische gradiënt wordt als volgt beschreven:

$$T = 0,0362 * Z + 10$$

Hierin is T de temperatuur (in °C), en Z de diepte mid-reservoir (in mTVD). Er wordt een gemiddelde oppervlaktetemperatuur van 10 °C aangehouden.



Figuur 6.4 | De geothermische gradiënt op basis van temperatuurmetingen in de Formatie van Slochteren . In blauw de temperatuurmetingen in geothermieputten. Deze dragen niet bij aan de relatie, maar zijn geplot ter controle.



Figuur 6.5 | Temperatuur mid-Slochteren [°C].

6.2 SALINITEIT

De Formatie van Slochteren

De watersamples gemeten in geothermieprojecten in de Formatie van Slochteren zijn weergegeven in onderstaande tabel. De verwachte reservoirsaliniteit is het gemiddelde van deze waarden.

Tabel 6.1 | Saliniteitsdata van geothermieputten in het Slochteren.

Put	Saliniteit (g/l)
LTG-GT-01	210
LTG-GT-04	220
MDM-GT-01	190
HEK-GT-01	260
AND-GT-01	170
Gemiddeld	210

Zanden van de Rijnland Groep en Schieland Groep

De watersamples gemeten in geothermieprojecten in de Rijnland/Schieland Groep zijn weergegeven in onderstaande tabel. De verwachte reservoirsaliniteit is het gemiddelde van deze waarden.

Tabel 6.2 | Saliniteitsdata van geothermieputten in het Rijnland.

Put	Saliniteit (g/l)
HAG-GT-01	115
HON-GT-01	123
HON-GT-02	127
KHL-GT-01	153
PNA-GT-01	144
LIR-GT-01	155
LIR-GT-02	140
VDB-GT-03	104
VDB-GT-04	109
PLD-GT-01	115
PLD-GT-02	89
NLW-GT-01	120
NLW-GT-02	130
Gemiddeld	125

Zand van Brussel

In de rapportage van Geel en Foeken (Geel en Foeken 2021) is van een aantal putten de saliniteit van het water in het Zand van Brussel bepaald. Voor onderhavige studie is het gemiddelde van deze analyses gebruikt. Het gemiddelde is 35 g/l.

6.3 HYDROSTATISCHE DRUK

Er wordt een hydrostatische drukgradiënt aangenomen. Deze is bepaald op basis van de saliniteit in de formaties.

De saliniteit van de Formatie van Slochteren is 225 g/l. Dit resulteert in een drukgradiënt van 0,106 bar/m.

De saliniteit van de Rijnland Groep is 125 g/l. Dit resulteert in een drukgradiënt van 0,104 g/l.

De saliniteit van het Zand van Brussel is 35 g/l. Dit resulteert in een drukgradiënt van 0,101 g/l.

7 Geothermisch potentieel

7.1 METHODE

Het vermogen (MWt) van een geothermische put is ingeschat op basis van de volgende formule:

$$P_t = Q * dT * C_w / 3600$$

Hierin is Q het debiet in [m³/uur], dT het temperatuurverschil tussen het geproduceerde en geïnjecteerde water, en C_w de warmtecapaciteit van het water [J/°C]. Dit wordt gedaan middels een MATLAB script dat gebruik maakt van input datagrids van de temperatuur, permeabiliteit, diepte en netto dikte van het pakket. Er wordt een maximaal debiet van 500 m³ aangehouden. Verder wordt ervan uitgegaan dat de putten vanaf één oppervlaktelocatie, verticaal, geboord worden.

Voor het Zand van Brussel is vanwege de diepteliggingen van de putten de maximale injectiedruk leidend, deze wordt bepaald volgens het SodM-criterium (SodM en TNO-AGE 2013). Bij de overige formaties wordt, vanwege de grotere diepteligging, gemaximaliseerd op de COP.

Voor het Zand van Brussel is een negatieve skin gebruikt: om op reservoirniveau voldoende ruimte tussen de putten te hebben om thermische korsluiting te voorkomen, worden de putten gedeveieerd geboord. Als gevolg van deze deviatie wordt het reservoir onder een hoek aangeboord (60°). Deze hoek resulteert bij een verticale anisotropie van 10 in een negatieve skin van -0.9. Voor de Formatie van Slochteren en de Rijnland kan de benodigde putafstand ook behaald worden met hoeken kleiner dan 45°. Het negatieve skin effect treedt pas op bij hoeken groter dan 50°.

De retourtemperaturen zijn per formatie verschillend. Dit heeft te maken met de reservoirtemperatuur. In principe wordt uitgegaan van een retourtemperatuur van 35°C, maar als deze door een relatief lage reservoirtemperatuur zorgt voor een deltaT van minder dan 15°C wordt een lagere retourtemperatuur gekozen. Dit is het geval voor de Rijnland en het Zand van Brussel.

Tabel 7.1 | Inputdata voor het vermogensberekeningsscript voor de base-case potentie kaarten

Parameter	Eenheid	Slochteren	Rijnland/Schieland	Brussel
Saliniteit	[g/l]	225	125	35
Tretour	[°C]	35	25	10
Gesteente model	[relatie]	Base-case poro-diepte Base-case poro-perm	Base-case poro-perm	Base-case poro-perm
Pomprendement	[-]	0,7	0,7	0,7
COP gewenst	[-]	15	10	-
Putafstand	[m]	1500	1500	1000
Skin	[-]	0	0	-0.9
Putdiameter	[]	8,5 inch	8,5 inch	600 mm

7.2 HIGH CASE POTENTIEBEREKENINGEN

Voor alle drie de formaties zijn ook high case potentiekaarten opgesteld. Op basis van een gevoeligheidsanalyse is bepaald dat de variatie in permeabiliteit de grootste impact heeft op de spreiding in de potentie. Hierna heeft de retourtemperatuur de grootste invloed. De high case potentiekaarten zijn daarom bepaald door nieuwe permeabiliteitskaarten op te stellen waarbij rekening gehouden wordt met de spreiding in de verwachte permeabiliteitswaarden. De potentie wordt vervolgens opnieuw uitgerekend met deze nieuwe permeabiliteitskaarten als input. Ook wordt waar mogelijk een lagere retourtemperatuur gehanteerd.

De high case potentiekaarten zijn weergegeven in Bijlage 1.

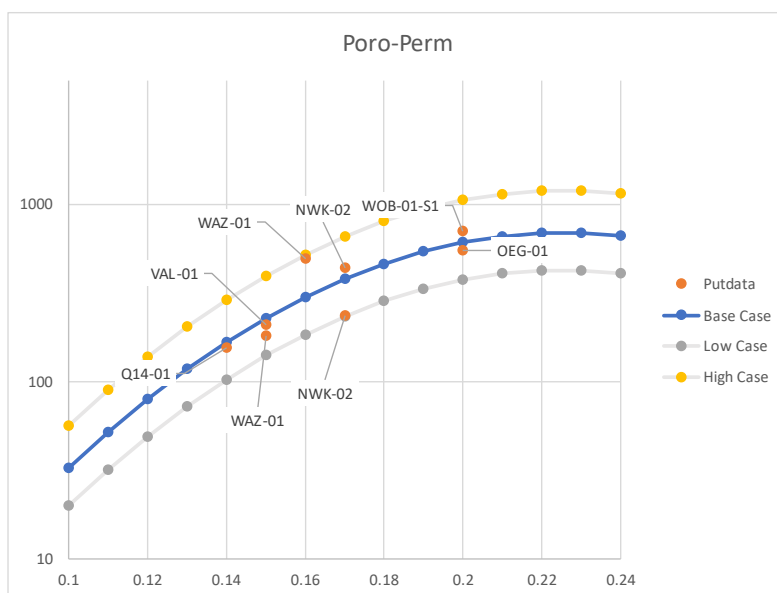
Zand van Brussel

De high case potentiekaart voor het Zand van Brussel houdt rekening met de spreiding in permeabiliteiten. Op basis van de spreiding is de standaarddeviatie bepaald welke ongeveer 30% is. De high case permeabiliteit is berekend door de permeabiliteitskaart te vermenigvuldigen met 1,3 waarna de potentieberekening opnieuw is uitgevoerd. De retourtemperatuur is met 10 °C al relatief laag, dus deze is voor de high case niet verder verlaagd.

Rijnland/Schieland

Voor de Rijnland/Schieland zanden is een high case porositeit-permeabiliteitrelatie opgesteld gebaseerd op de spreiding in de putdata (zie onderstaand figuur). Dit is gedaan door de base-case relatie omhoog te schuiven totdat alle datapunten onder de relatie vallen. De retourtemperatuur is 25°C, en niet verder verlaagd voor de high case.

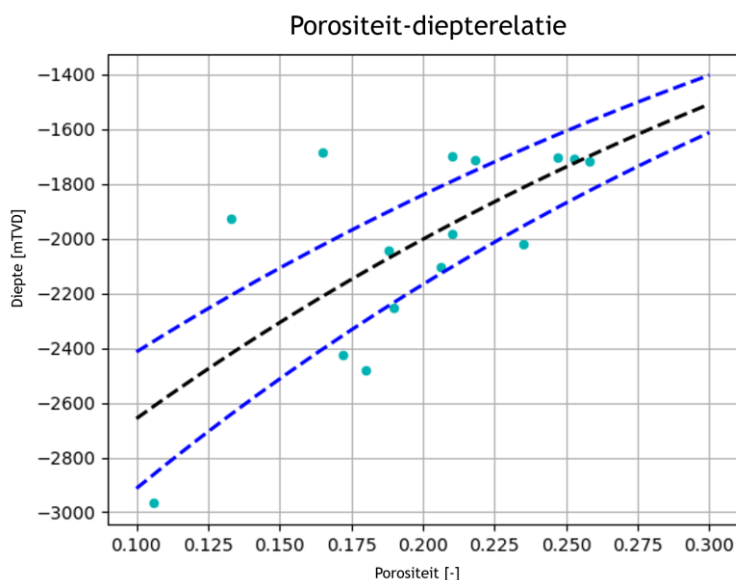
NB: de porositeit-permeabiliteitrelaties gelden tot een maximale porositeit van 23%.



Figuur 7.1 | verschillende porositeit-permeabiliteitsrelaties voor de Rijnland/Schieland zanden. High - en low case geven de totale bandbreedte van de porositeit-permeabiliteitsdata aan. Voor deze studie zijn alleen de high - en base case curves gebruikt.

Formatie van Slochteren

De Formatie van Slochteren kent een grote spreiding in de porositeit-dieptemetingen. Dit heeft direct invloed op de permeabiliteit, aangezien deze wordt berekend middels een porositeit-permeabiliteitsrelatie. Om dit te ondervangen is voor het gebied dat aangemerkt wordt als “onzeker” of “redelijk onzeker” een high case porositeit-diepterelatie opgesteld. Op basis van deze relaties is een nieuwe porositeitskaart en bijbehorende permeabiliteitskaart opgesteld voor de gebieden met lage onzekerheid: het gebied dat aangemerkt wordt als “redelijk zeker” behoudt zijn oorspronkelijke permeabiliteit. Op basis van deze permeabiliteitskaart is een nieuwe potentiekaart berekend. Hierbij is voor de high case de retourtemperatuur verlaagd naar 25 °C.



Figuur 7.2 | De spreiding in de porositeit-diepte data en de relaties die daar doorheen kunnen worden getrokken. In zwart de base case porositeit-diepte relatie. In blauw de onzekerheid (P90) bandbreedte van de porositeit-diepte data. De onderste blauwe lijn wordt als high case porositeit-diepte relatie gebruikt voor de onzekere gebieden.

Tabel 7.2 | Inputdata voor het vermogensberekeningsscript voor de high-case potentiekaarten (zie bijlage 1).

Parameter	Eenheid	Slochteren	Rijnland/Schieland	Brussel
Saliniteit	[g/l]	225	125	35
Tretour	[°C]	25	25	10
Gesteente model	[relatie]	High-case poro-diepte Base-case poro-perm	High-case poro-perm	Permeabiliteit*1.3
Pomprendement	[-]	0,7	0,7	0,7
COP gewenst	[-]	15	10	-
Putafstand	[m]	1500	1500	1000
Skin	[-]	0	0	-0.9
Putdiameter	[]	8,5 inch	8,5 inch	600 mm

7.3 ONZEKERHEDEN

7.3.1 Methode

Aangezien de datadichtheid niet over het gehele projectgebied en voor alle drie de bestudeerde formaties gelijk is, is ook de zekerheid waarmee de eigenschappen van de pakketten bepaald kunnen worden niet overal gelijk. Er zijn daarom onzekerheidskaarten opgesteld. Deze kaarten zijn gebaseerd op drie factoren die iets zeggen over de zekerheid van de inschatting van de eigenschappen van het pakket: de aanwezigheid van seismische data, de beschikbaarheid van putdata en de geologische onzekerheid. Aan alle drie deze categorieën wordt voor het hele afzettingsgebied van de formatie een binaire score toegekend, en alle drie de categorieën wegen even zwaar mee. De scores worden gestapeld. Als aan alle drie de categorieën een lage score wordt toegekend resulteert dit dus in de score “onzeker”. Als alle drie de categorieën een hoge score krijgen resulteert dit in de score “gemiddeld zeker”.

Seismische data

De beschikbaarheid van seismische data zorgt ervoor dat met relatief grote zekerheid te zeggen is of en hoe diep een formatie zich bevindt. Dit geldt echter alleen op en nabij de locatie van deze seismische lijn/volume. Een aannemelijke voorspellende waarde van een seismische lijn is ongeveer 500 m. Voor een zone van 500 m rondom een seismische lijn wordt dus de hoge score toegekend.

Putdata

De beschikbaarheid van putdata zorgt ervoor dat de petrofysische eigenschappen van de formatie met een relatief grote zekerheid is te bepalen. Dit geldt echter alleen op en nabij de locatie van deze put. Een redelijke aanname hiervoor is een radius van 4 km. Er wordt daarom voor deze categorie een hoge score toegekend aan een zone van 4 km rondom een put.

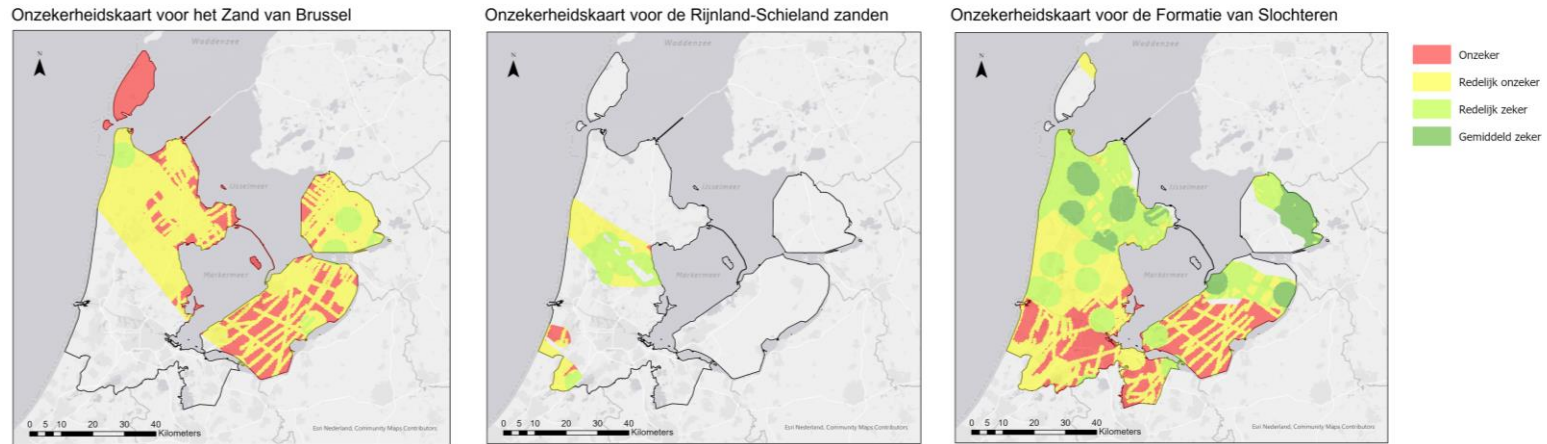
Geologische onzekerheid

Van Formatie van Slochteren is bekend dat er lokaal illietvorming op kan treden. Dit kan een sterk negatief effect hebben op de doorlatendheid van het pakket. De illietvorming wordt gelinkt aan een grote begravingdiepte, maar er zijn ook locaties bekend waar illietvorming heeft opgetreden zonder dat deze grote begravingdiepte een rol heeft gespeeld. Alle gevallen van illietvorming bevinden zich in het Centraal Nederland Bekken. Daarnaast zijn grote delen van dit bekken diep begraven geweest. De kans is dus aanwezig dat er op een willekeurige plek in het Centraal Nederland Bekken illitisatie heeft opgetreden, met een verlaagde doorlatendheid als gevolg. Aan dit gebied wordt daarom voor de Formatie van Slochteren een lage score toegekend; aan de overige gebieden wordt een hoge score toegekend.

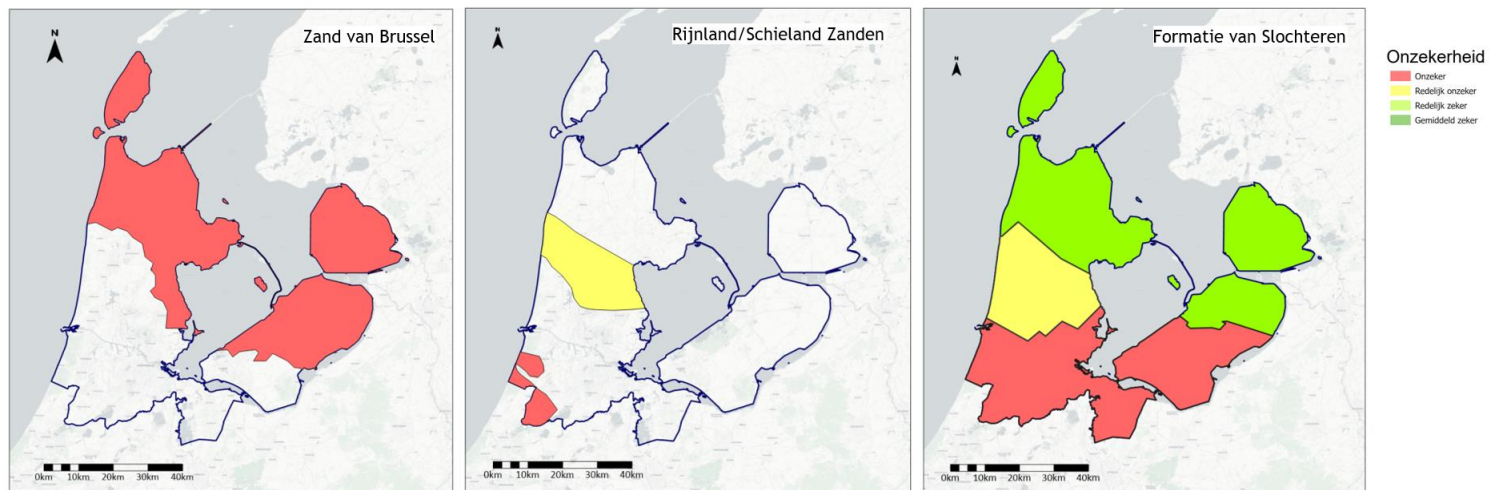
Vanwege beperkte kennis van de Rijnland/Schieland zanden binnen de onderzochte deelgebieden is er voor deze formatie in beide deelgebieden (NHZ en NHN) een lage geologische zekerheidsscore toegekend. Deze beperkte kennis van het reservoir geldt ook voor het Zand van Brussel. Daarom is de geologische zekerheidsscore voor het Zand van Brussel laag voor het gehele studiegebied.

7.3.2 Onzekerheidskaarten

De resulterende onzekerheidskaarten zijn weergegeven in Figuur 7.3. In Figuur 7.4 is een vereenvoudigde variant gepresenteerd, deze wordt gebruikt in de potentiekaarten en de publieksrapportage.



Figuur 7.3 | Onzekerheidskaarten voor het Zand van Brussel (links), de Zanden van de Rijnland en de Schieland Groep (midden) en voor de Formatie van Slochteren (rechts).



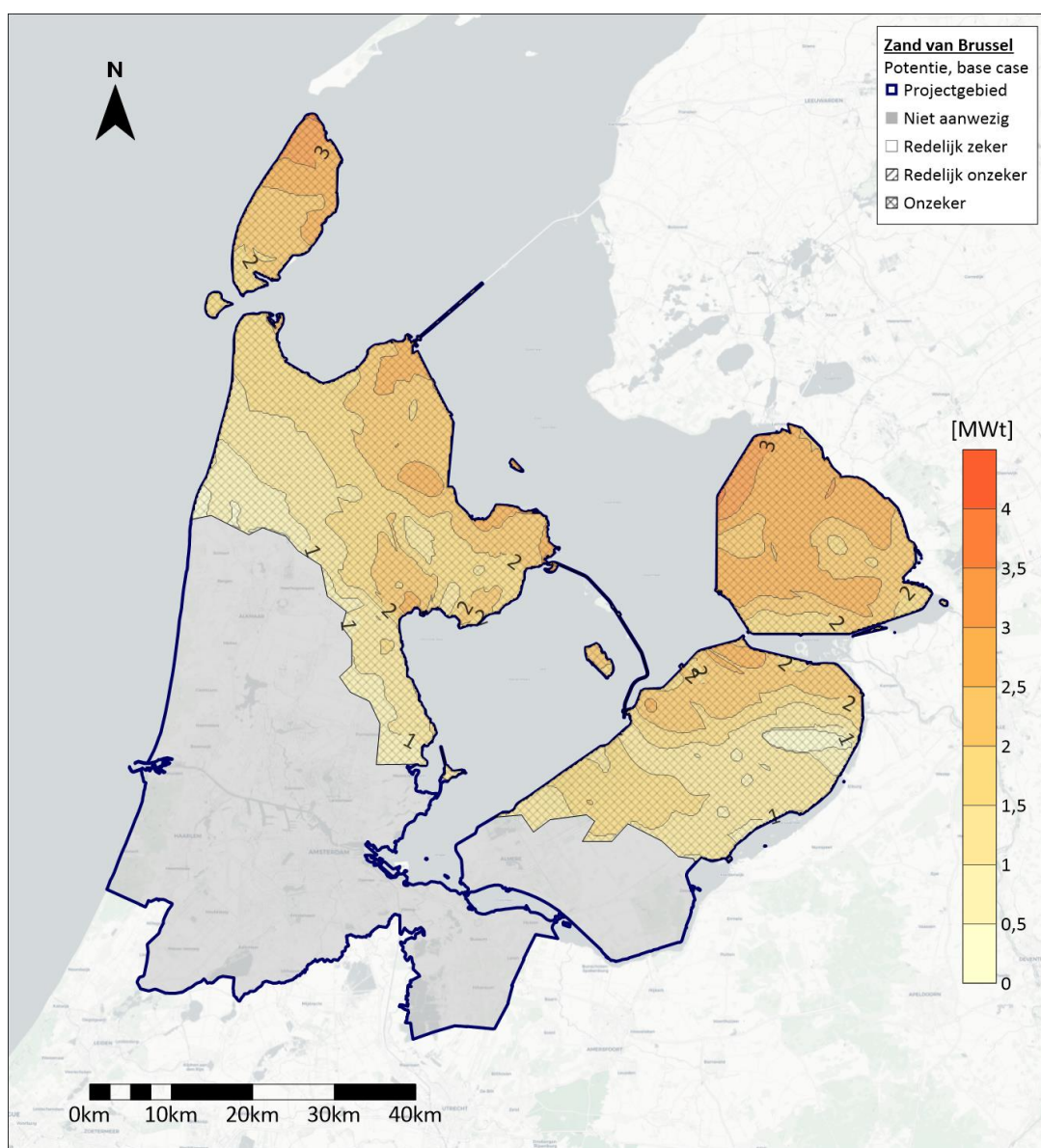
Figuur 7.4 | Vereenvoudigde onzekerheidskaart voor het Zand van Brussel (links), de Zanden van de Rijnland en de Schieland Groep (midden) en voor de Formatie van Slochteren (rechts).

7.4 POTENTIEKAARTEN

De resulterende potentiekaarten zijn weergegeven in onderstaande figuren.

Zand van Brussel

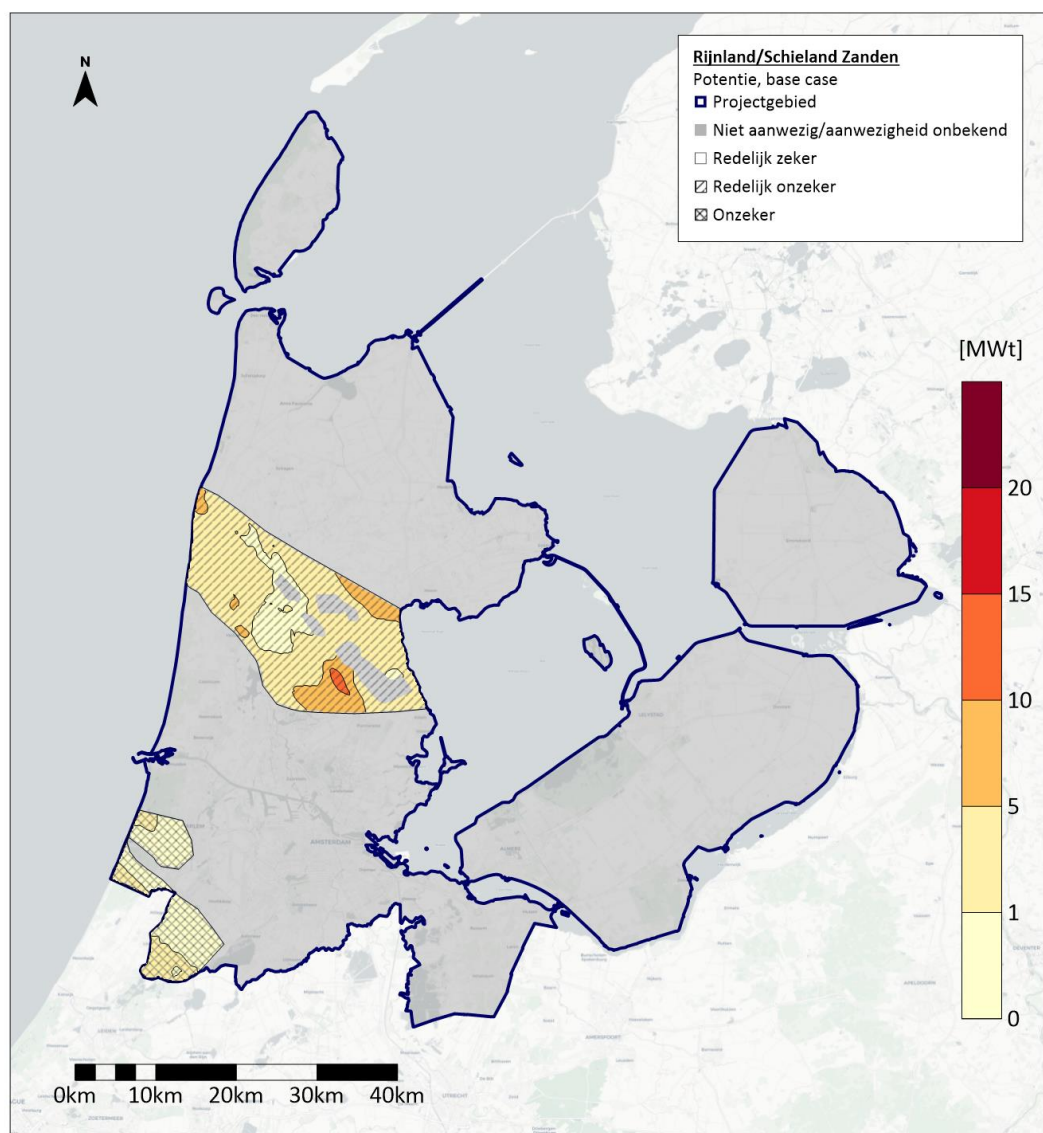
De potentiekaart laat zien dat de hoogste potenties aanwezig zijn in de Noordoostpolder en het noordwestelijke deel van Flevoland. De potentie in deze delen varieert tussen de 2,0 en 3,0 MW. In het noordelijke en noordoostelijke deel van Noord-Holland bedraagt de potentie tussen de 1,5 en 2,5 MW. De potentie neemt in zuidwestelijke richting af tot minder dan 1,0 MW.



Figuur 7.5 | Potentiekaart Zand van Brussel in [MWt].

De Zanden van de Rijnland Groep en Schieland Groep

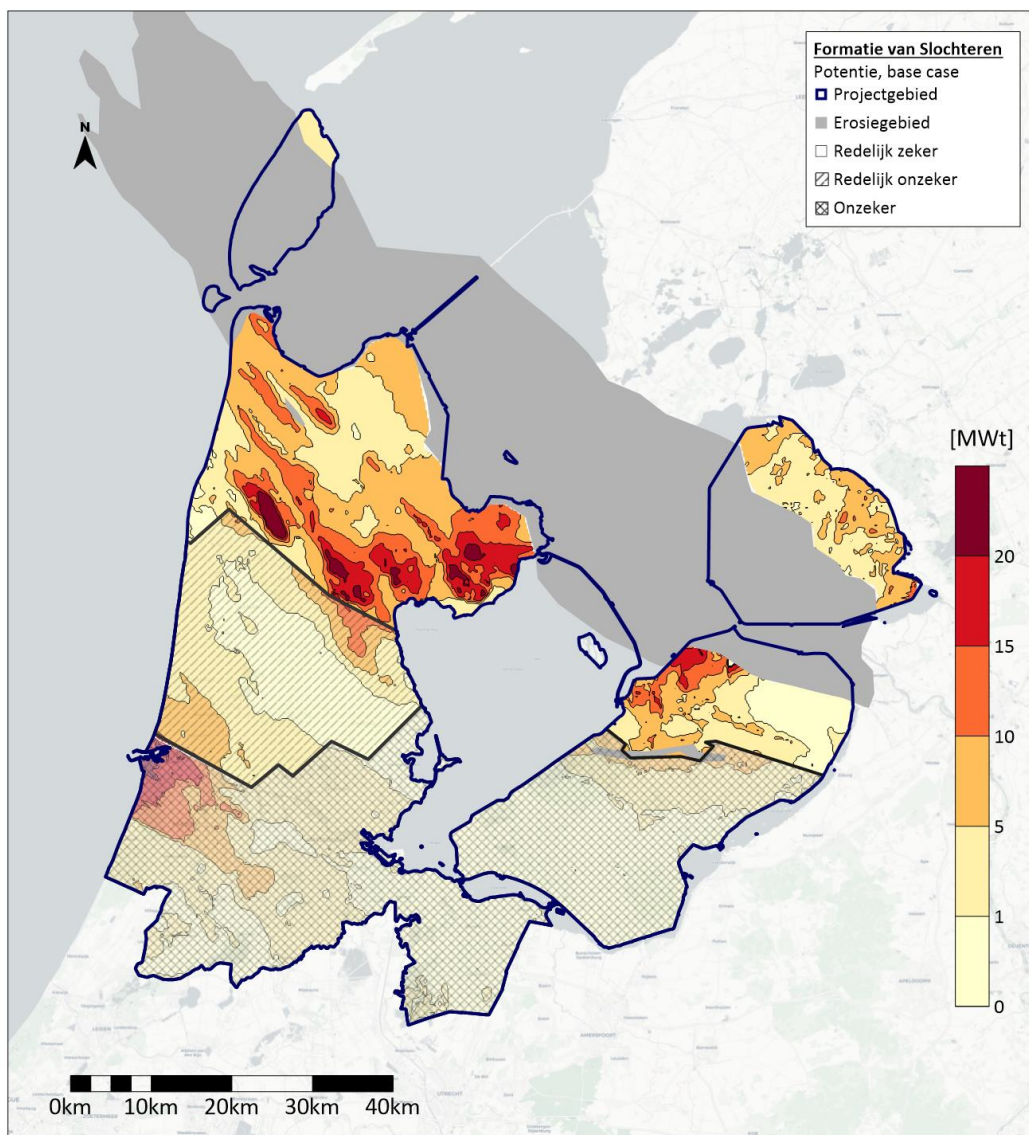
De potentiekaart laat zien dat de hoogste potenties aanwezig zijn het noordelijke afzettingsgebied van de zanden van de Rijnland Groep (Vlieland Zandsteen Formatie), ten noorden van Purmerend. De potentie varieert hier tussen de 0 en 12 MW. De hoogste potentie wordt behaald ten noordwesten van Purmerend, en het Markermeer ten zuiden van Hoorn. De potentie van het zuidelijke afzettingsdeel van Noord-Holland, bestaande uit de Zanden van de Rijnland Groep en de Schieland Groep, is lager en bedraagt maximaal 4,5 MW. De hoogste potentie van dit gebied wordt ten westen van Lisse aangetroffen.



Figuur 7.6 | Potentiekaart Vlieland Zandsteen Formatie in [MWt].

De Formatie van Slochteren

De potentie voor geothermie in de Formatie van Slochteren varieert van gebieden met minder dan 1 MW tot zones met 25 MW. Op verschillende plekken is een hoge potentie te vinden, vooral langs de opeenvolgende plaatsen Heerhugowaard, Hoorn en Enkhuizen, tussen Schagen en Schoorl, ten westen van IJmuiden en Haarlem, en ten noordoosten van Lelystad. Ook in de overige gebieden is op verschillende plekken een potentie van hoger dan 5 MW te vinden. De potentie in de licht gele gebieden in de zuidelijke delen van Noord-Holland en Flevoland is wel lager. De onzekerheid is hier echter ook groter. Dit komt zowel door een complexere geologie als door een lagere databeschikbaarheid. Aanvullende informatie kan de onzekerheid verkleinen en mogelijk een positiever beeld geven.



Figuur 7.7 | Potentiekaart van de Formatie van Slochteren in [MWt].

8 Warmtevraag en koppeling

8.1 GIS WORKFLOW

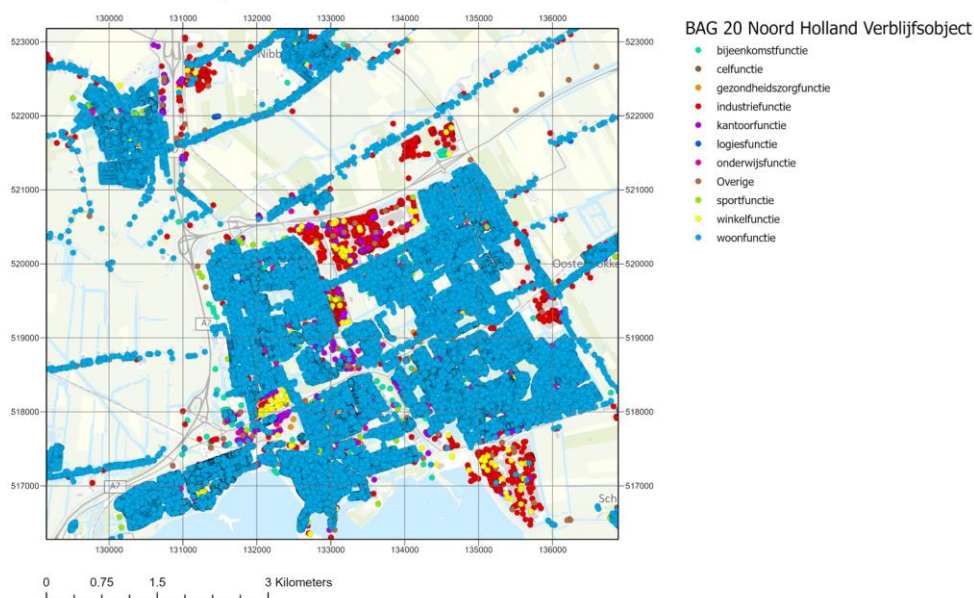
Voor het bepalen van de warmtevraag en de koppeling van bovengrondse vraag en ondergrondse potentie is een uitgebreide workflow gemaakt, welke geïllustreerd is in Figuur 8.1. In deze sectie worden de stappen uit deze workflow kort beschreven en zullen er ter illustratie tussentijdse resultaten worden gepresenteerd. De GIS workflow is hoofdzakelijk uitgevoerd in ArcGIS Pro 2.9 & 3.0. Voor stap 3 zijn er ook Python scripts gebruikt.

Stap 1, & 2: De BAG 2.0 dataset

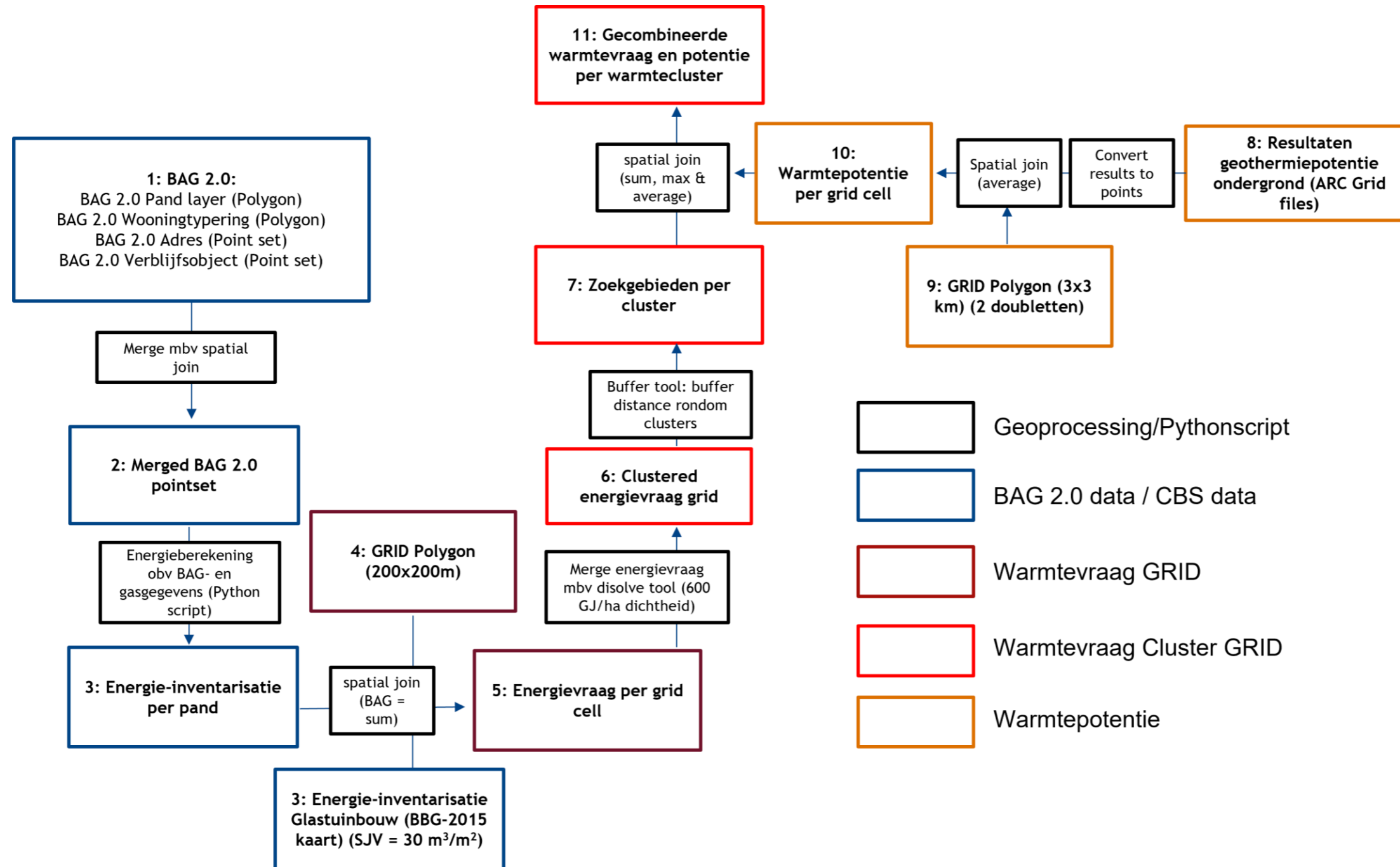
Voor de deze studie is de warmtevraag geschat met behulp van de [BAG 2.0 dataset](#), welke via ESRI beschikbaar is als Web-Feature-Services (WFS) ([link](#)). Deze WFS bestaat uit meerdere polygoon/pointset lagen waarvan er drie gebruikt zijn, namelijk:

- Adres: pointset WFS met de adresgegevens van elk BAG 2.0 object
- Verblijfsobject: pointset WFS waarin de functie (e.g. kantoorfunctie of woonfunctie) van elk verblijfsobject uit BAG 2.0 staat genoteerd. Zie het figuur hieronder ter illustratie van de BAG 2.0 in de regio Hoorn.
- Pand: Polygoon WFS waarin gebouwdetails zoals bouwjaar en woonoppervlak staan beschreven.

BAG 2.0: originele data



Omdat informatie uit alle verschillende lagen noodzakelijk zijn voor de verdere stappen in de GIS workflow zijn verschillende BAG 2.0 WFS lagen geografisch aan elkaar gekoppeld middels een iteratieve [spatial join analyse](#). De resulterende merged BAG 2.0 dataset bevat alle achterliggende informatie uit de BAG 2.0 in een pointset laag (Figuur 8.1).



Figuur 8.1 | GIS workflow voor het bepalen van de warmtevraag, warmteclusters, zoekgebieden, ondergrondse potentie en de koppeling tussen de warmtevraag en ondergrondse potentie. Zie tekst voor meer informatie.

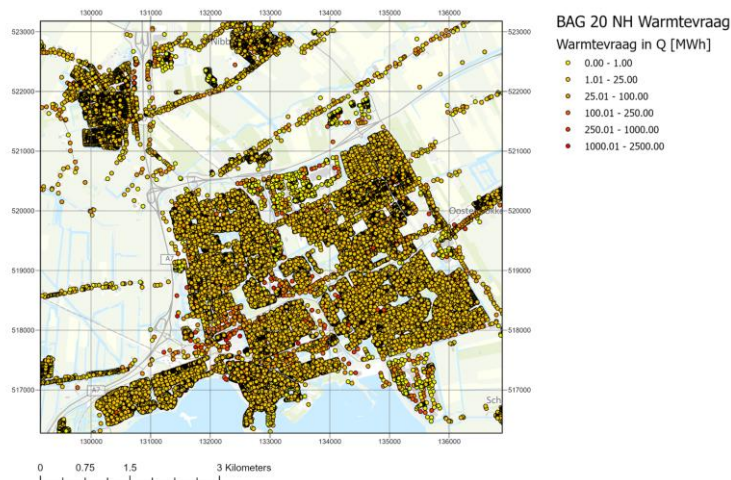
Stap 3: Het berekenen van de warmtevraag per BAG 2.0 object en glastuinbouw object

Allereerst wordt er tijdens stap 3 op basis van openbare standaard jaar verbruik gas data (SJV) en kentallen de warmtevraag voor elk object uit merged BAG 2.0 laag (resultaat stap 2) berekend middels een python script dat als volgt te werk gaat:

1. Voor elk BAG object wordt op basis van de adresgegevens gezocht in de open gasdatabases van Liander en Stedin gezocht naar een match op Postcode 6 niveau (PC6) (e.g. ABCD 11). Als er een match is dan worden gasverbruik gegevens in SJV (gemiddeld voor alle panden in dat PC 6 gebied) gekoppeld aan het betreffende BAG object.
2. Als het zoeken binnen de gasdatabases afgerond is wordt er door het script gekeken over er nog panden met woonfuncties zijn waaraan geen SJV gekoppeld zit. Dit kunnen bijvoorbeeld panden zijn die op een warmtenet aangesloten zitten op panden met een warmtepomp. Om het SJV voor deze panden te schatten wordt er een gemiddeld SJV/m² voor alle panden in de provincie berekend, welke vervolgens wordt vermenigvuldigd met het woonoppervlak van het betreffende pand.
3. Vervolgens kijkt het python script naar BAG objecten die geclassificeerd zijn als grootverbruikers (e.g. grote kantoren of ziekenhuizen). Voor deze objecten wordt het SJV berekend op basis van kentallen per type functie en grote van het object (deze kentallen zijn SJV per m² per jaar). De gebruikte kentallen staan beschreven in appendix 2. Objecten met de functie industrie zijn niet meegenomen omdat de warmtevraag en gevraagde temperatuur per object sterk kan verschillen. Objecten met een celfunctie zijn niet meegenomen omdat er geen eenduidige kentallen van zijn.
4. Tot slot rekt het script de verkregen SJV gegevens om naar warmtevraag (Q [MWh]). De rekenmethode staat ook beschreven in bijlage 2. De verkregen data is vervolgens weer ingeladen in de attribute table van de merged BAG 2.0 laag met behulp van de object_id informatie. Zie figuur hieronder voor de output in ArcGIS pro voor de regio Hoorn.

Naast de BAG objecten wordt er in stap 3 ook gekeken naar de glastuinbouw objecten. De warmtevraag voor deze objecten is berekend aan de hand van de objectoppervlaktes uit [Bodemgebruikkaart 2015](#) van het CBS en landelijke gasverbruik gemiddeldes voor de glastuinbouw sector (SJV = 30 m³/m²).

BAG 2.0: Energievraag obv Gas gegevens en kentallen



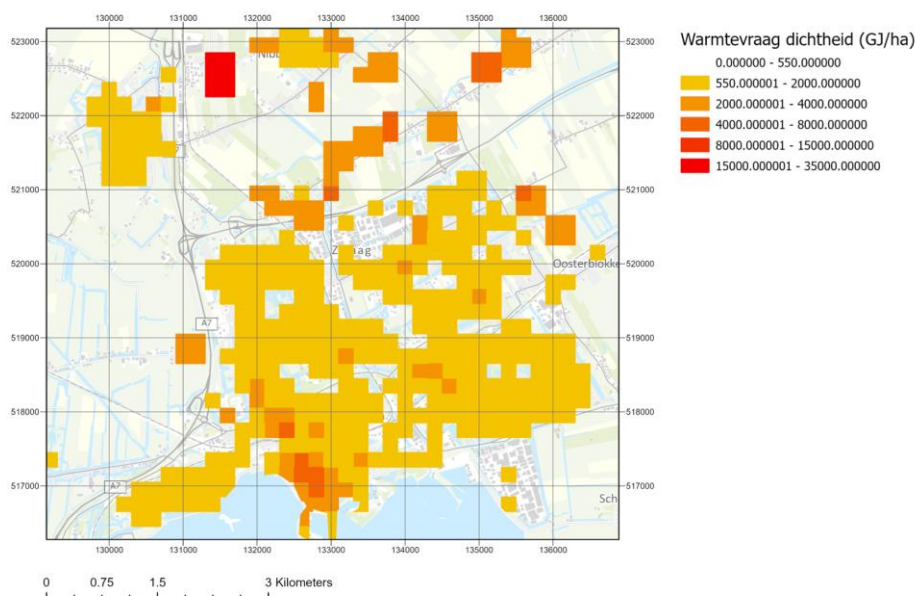
Stap 4 en 5: Het berekenen van de warmtevraag per grid-cell

In stap 4 en 5 van de workflow is er een 200x200 m grid gemaakt. Hierin wordt vervolgens de totale energievraag (GJ/jaar) en energiedichtheid (GJ/ha/jaar) van de BAG - en glastuinbouwobjecten berekend. Voor de BAG 2.0 objecten (zie stap 3) is dit gedaan met behulp van een geografische [spatial join analyse](#) en wordt de energievraag van alle objecten per grid-cell gesommeerd. De glastuinbouw objecten zijn ook aan het grid gekoppeld door een [spatial join analyse](#). Er is echter bij deze koppeling ook gekeken naar het specifieke oppervlak van het glastuinbouwobject. Dit is als volgt gedaan:

- Is het oppervlak van het glastuinbouwobject groter dan het oppervlak van de grid-cell:
Warmtevraag grid-cell = oppervlak grid-cell * gemiddelde warmtegebruik per m²
- Is het oppervlak van het glastuinbouwobject kleiner dan het oppervlak van de grid-cell:
Warmtevraag grid-cell = warmtevraag glastuinbouwobject

Zie het figuur hieronder voor de energiedichtheid per grid-cell voor de regio Hoorn.

Grid (200x200m): warmtevraag dichtheid (GJ/ha/jaar)



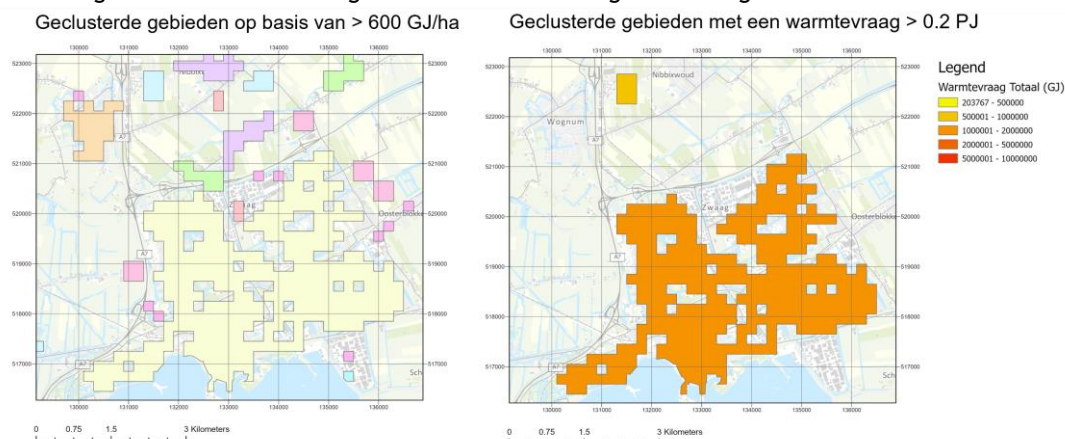
Stap 6: Het clusteren van de warmtevraag

Omdat geothermie veel warmte levert is er voor de business case van zo'n systeem een grote warmtevraag nodig. Daarom is er besloten om de warmtevraag per grid-cell te clusteren (Stap 6: Figuur 8.1). Voor het clusteren is de [dissolve tool](#) gebruikt in ArcGIS pro. Hierin zijn de volgende stappen en criteria gehanteerd:

1. Bepaal op de energiedichtheid van een cell hoog genoeg is voor een warmtenet. Hierin is een ondergrens van 600 GJ/ha/jaar aangehouden (Kruit e.a. 2018). Zo ja, geef de grid-cell de tag high-density cell.
2. Cluster de high-density grid-cellen met behulp van de [dissolve tool](#).
3. Bereken de totale warmtevraag binnen een cluster middels een geografische spatial-join analyse met het originele warmtevraag grid.

4. Verwijder alle clusters met een te lage warmtevraag. Hierin wordt een ondergrens van 0.2 PJ (200,000 GJ) aangehouden. Dit komt neer op een geothermiesysteem van ongeveer 7.5 MW.

Zie het figuur hieronder voor de geclusterde warmtevraag voor de regio Hoorn.



Stap 7: Het bepalen van het zoekgebied

Omdat de warmtevraag binnen clusters erg groot kan zijn wordt er in stap 7 rond elk cluster een zoekgebied gemaakt. Voor deze studie is er besloten om deze zoekgebieden zowel regionaal als lokaal te benaderen. Dit is als volgt gedaan:

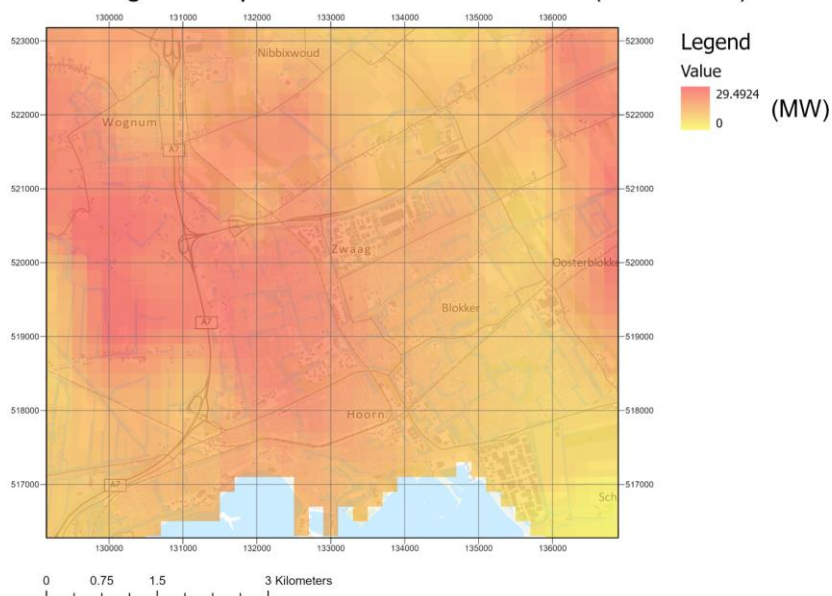
- Regionaal: Er wordt bij een regionaal zoekgebied uitgegaan van: 1.5 km aan transportleiding, 1.0 km aan totale deviatie vanaf de boorlocatie en een totale straal van 0.5 km van de koude bel. Dit komt neer op een zoeklengte van 3 km en dat betekent dat er 10 km buiten het cluster naar geothermie potentie mag worden gezocht.
- Lokaal: Er wordt bij een regionaal zoekgebied uitgegaan: Dit betekent dat alleen in grid-cellen die in en/of direct rondom het cluster liggen naar geothermie potentie mag worden gezocht.

De zoekgebieden rondom de clusters zijn gemaakt met behulp van de [buffer tool](#) in ArcGIS Pro.

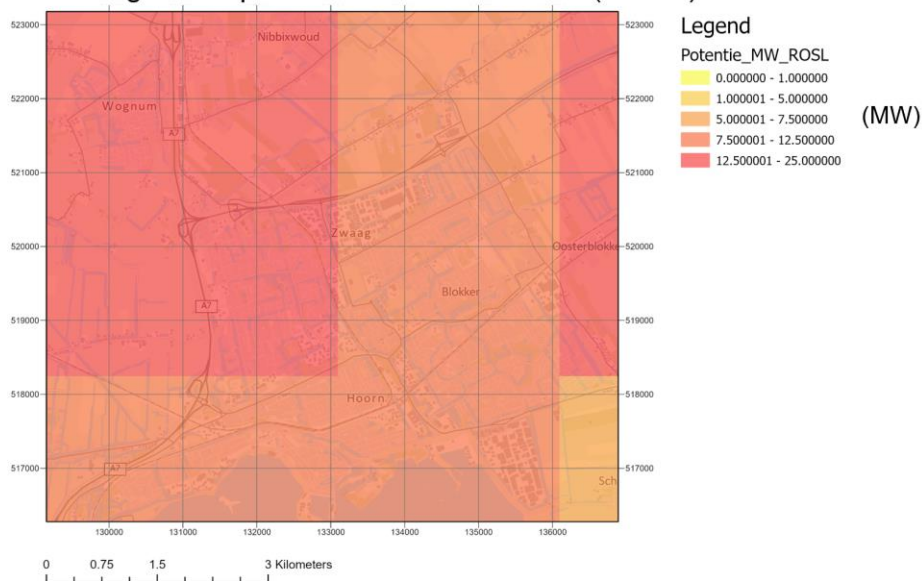
Stap 8, 9 en 10: Ondergrondse potentie geothermie en het 3x3 km grid

Om de koppeling tussen de bovengrondse warmtevraag en ondergrondse potentie zijn de resultaten uit hoofdstuk 7 (Figuur 7.5, Figuur 7.6 & Figuur 7.7) in stap 8 van de GIS workflow ingeladen in ArcGIS. De ingeladen potentiekaarten zijn vervolgens in stap 9 en 10 omgezet naar 3x3 km grid (zie figuur hieronder). Er is in deze stappen gekozen voor een 3x3 km grid omdat er dan op basis van de putconfiguratie input in de modellen en de Franse Methode (Tabel 7.1) precies twee doubletten per grid-cell passen. Hierdoor kan de gemiddelde potentie in MW makkelijk worden omgerekend naar een technisch winbare warmte in GJ en kan zo de koppeling met de bovengrond worden gemaakt. Voor deze studie is er bij de omrekening uitgegaan van 6000 vollasturen per jaar.

Ondergrondse potentie Slochteren in MW (200x200m)



Ondergrondse potentie Slochteren in MW (3x3km)



Stap 11: Koppeling warmtevraag en potentie per warmtecluster

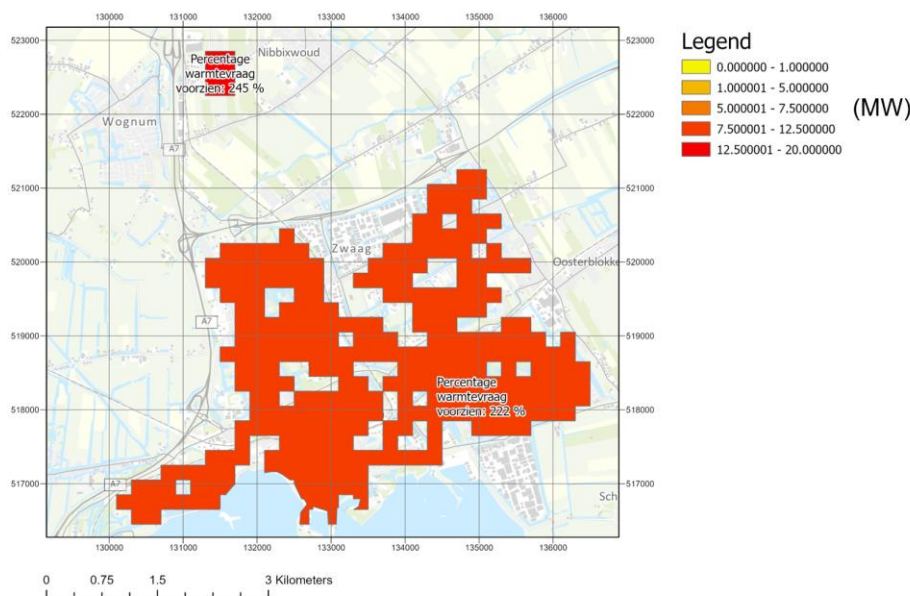
In de laatste stap van GIS workflow wordt de uiteindelijke koppeling tussen de boven- en ondergrond gemaakt met behulp van een [spatial join analyse](#). Bij koppeling worden zowel de gemiddelde ondergrondse potentie van een doublet (MW) als de gesommeerde technische windbare warmte (GJ) in en rondom het zoekgebied (lokaal of regionaal) van elk cluster berekend.

Bijvoorbeeld, uit de resultaten van de koppeling blijkt dat:

- Binnen een lokaal zoekgebied in en direct rondom Hoorn een geothermiedoublet in de Formatie van Slochteren een gemiddelde potentie heeft van 11.5 MW,

- dat de mogelijk technische winbare warmte uit de Formatie van Slochteren 3.967 PJ bedraagt,
- de mogelijk windbare warmte 222 % van de totale warmtevraag in Hoorn bedraagt.

Gekoppelde warmtevraag en potentie: Slochteren lokaal



8.2 RESULTAATKAARTEN

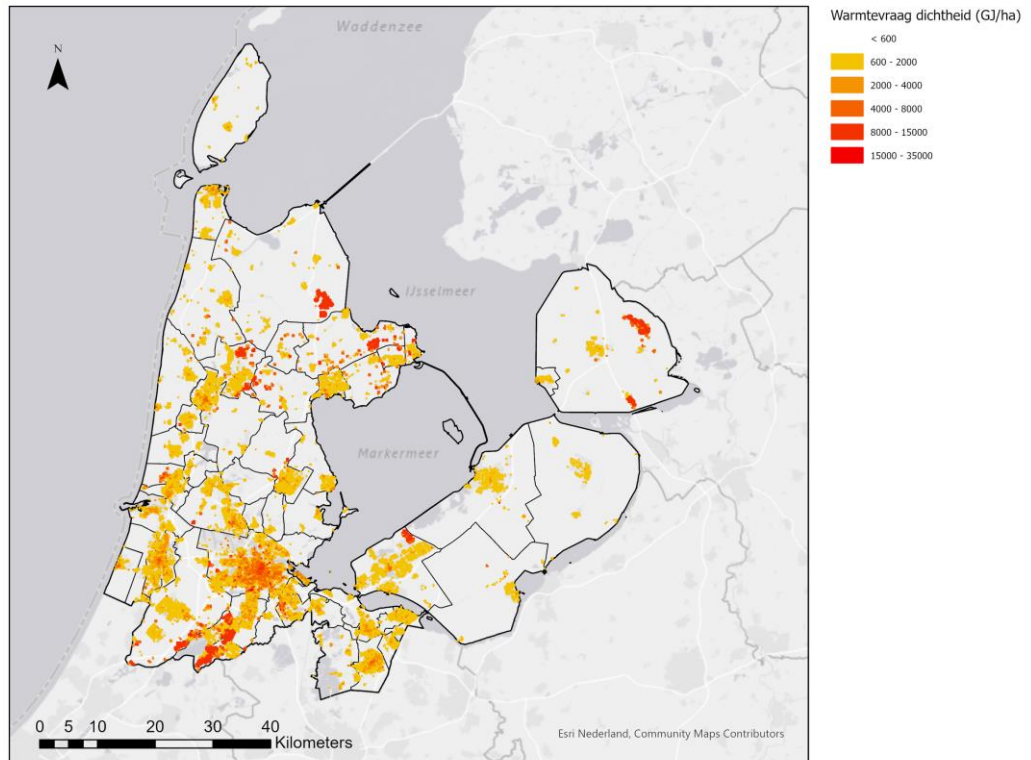
De resultaten van de GIS workflow (Figuur 8.1) worden gepresenteerd in Figuren 8.2 tot en met 8.5. Alle resultaten zijn ook in tabellen samengevat in de bijlage 4.

8.2.1 Warmtevraag en warmteclusters

De eerste resultaten uit de GIS workflow is een inschatting van de warmtevraag dichtheid (GJ/ha/jaar) voor de provincies Noord-Holland en Flevoland (Figuur 8.2). Op de verkregen kaart is te zien dat warmtevraag dichtheid vooral hoog is in stadscentra en in glastuinbouwgebieden (donker rode gebieden op Figuur 8.2).

Let op: Bij het inschatten van de warmtevraag en doen van de berekeningen is de warmtevraag vanuit de industrie niet meegenomen. Hier is voor gekozen omdat industrie een sterk variërende warmte- en temperatuur vraag heeft, waardoor het niet in regionale kentallen te omvatten is.

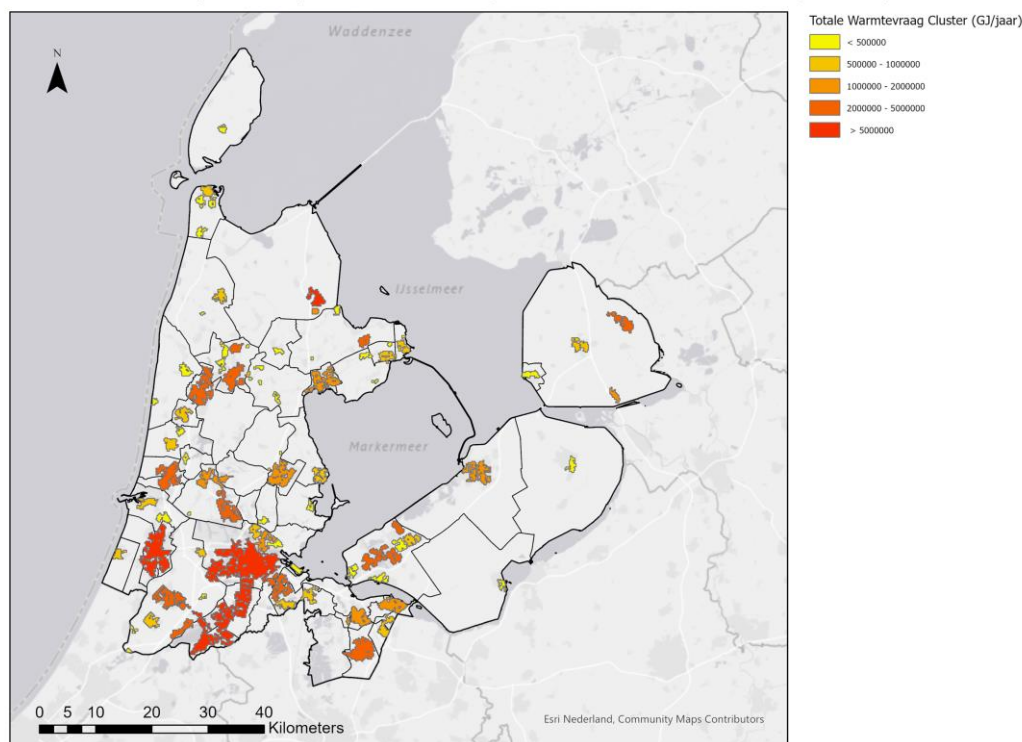
Grid (200x200m): warmtevraag dichtheid (GJ/ha/jaar)



Figuur 8.2 | 200x200 grid met de warmtevraag dichtheid (GJ/ha/jaar) voor de provincies Flevoland en Noord-Holland. Grid-cellen met warmtevraag dichtheid lager dan 600 GJ/ha/jaar zijn transparant. Hoe roder de kleur van de grid-cell hoe hoger de warmtevraag dichtheid.

Op basis van de warmtevraag dichtheidskaart (Figuur 8.2) zijn de warmteclusters gemaakt waarbinnen de warmtevraag vervolgens is gesommeerd. De verschillende warmteclusters staan weergegeven op kaartbeeld in Figuur 8.3. Op deze kaart is te zien dat middelgrote clusters zoals Purmerend, Hoorn, Lelystad of Hoofddorp een totale warmtevraag hebben variërend tussen 1.0 en 2.5 PJ. Voor glastuinbouwgebieden ligt deze warmtevraag vaak hoger en varieert die tussen de 2.5 en 7.5 PJ per cluster. Voor het grote stedelijke gebied van Amsterdam is de bekerende warmtevraag erg hoog (37.71 PJ) omdat dit cluster ook gebieden zoals Amstelveen, Badhoevedorp en de glastuinbouwgebieden rondom Aalsmeer omvat (Figuur 8.2 & Figuur 8.3)

Warmteclusters (> 0.2 PJ) met een totale gesommeerde warmtevraag in GJ/jaar



Figuur 8.3 | Warmteclusters met een absolute warmtevraag > 0.2 PJ (200,000 GJ). De kleuren geven de absolute warmtevraag (GJ) per cluster weer. Hoe roder de kleur hoe meer warmtevraag binnen het cluster. Zie appendix 3 voor meer resultaten.

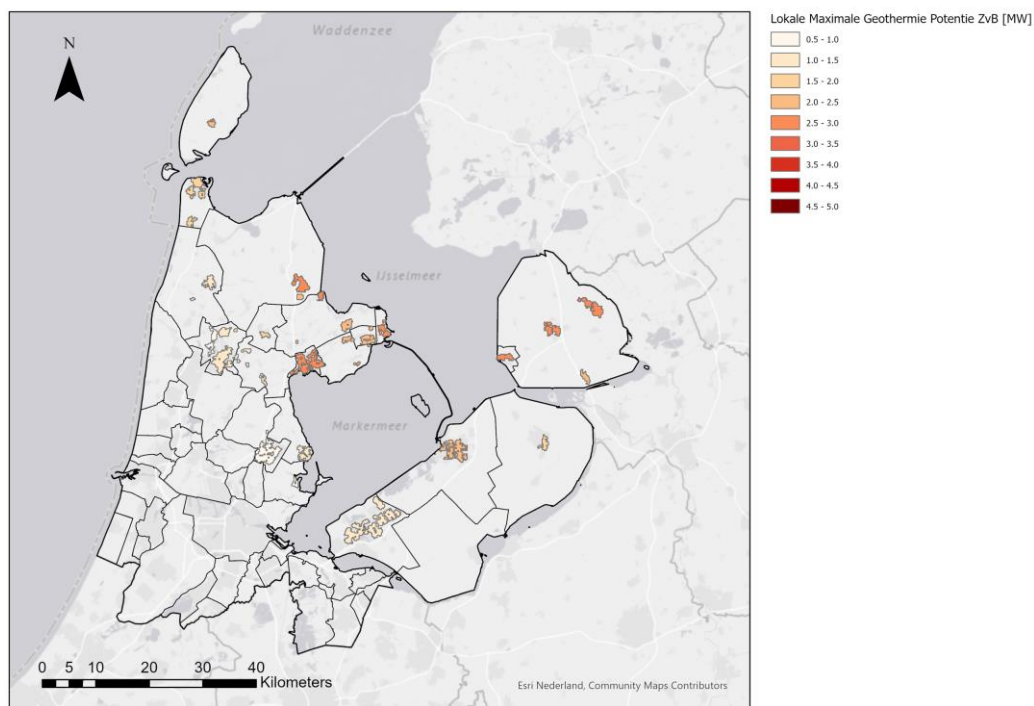
8.2.2 Koppeling warmtevraag en ondergrondse potentie per warmtecluster

Alle warmteclusters met een totale warmtevraag van meer dan 0.2 PJ zijn aan de ondergrondse geothermiepotentie gekoppeld. In deze sectie worden de resultaten van de koppeling kort per onderzocht reservoir beschreven. De kaarten (Figuur 8.4, Figuur 8.5 en Figuur 8.6) die in deze sectie worden gepresenteerd moeten als volgt worden geïnterpreteerd:

- Als een cluster op een formatie specifieke kaart aanwezig is betekent dat die formatie aanwezig is binnen het cluster.
- De kleuren van de clusters geven het verwachte maximale vermogen van één gerealiseerd doublet binnen een cluster. Deze vermogens zijn gebaseerd op de potentiekaart en bevatten dus ook de onzekerheid die in deze kaarten zit (zie hoofdstuk 7).

Zand van Brussel: In de provincies Noord-Holland en Flevoland heeft het Zand van Brussel een potentie variërend tussen de 1.0 en 4.5 MW (Figuur 7.5). Uit de koppeling blijkt dat de potentie voor deze formatie het hoogst is in de regio's: Den Helder, Texel, West-Friesland en de Noordoostpolder (Figuur 8.4) en neemt af richting het zuidwesten. Zie de samenvattende tabel voor meer informatie over de potentie van het Zand van Brussel per warmtecluster.

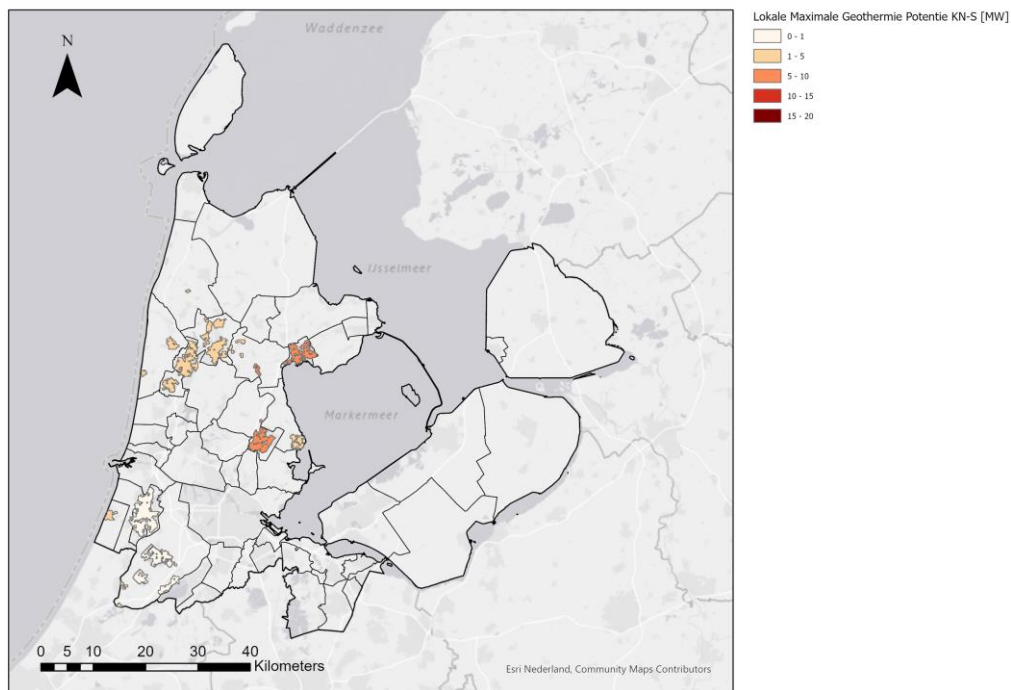
Maximale lokale potentie van een doublet (MWt) voor het Zand van Brussel binnen een lokaal gekoppeld warmtecluster



Figuur 8.4 | Lokale maximale potentie van één doublet (MW) voor het Zand van Brussel per gekoppeld warmtecluster. Hoe donkerder rood, hoe meer potentie voor een theoretisch doublet binnen het cluster. Op deze kaart is de base-case aan de warmteclusters gekoppeld. Zie appendix 3 voor meer resultaten.

Rijnland en Schieland groepen: De zanden van de Rijnland en Schieland groepen zijn alleen afgezet in de provincie Noord-Holland en hebben daar een sterk variërende potentie (Figuur 7.6). Uit de koppeling blijkt dat de potentie voor deze formatie relatief kansrijk is voor warmteclusters in Noord-Holland Noord (b.v. Alkmaar, Heiloo, Purmerend en Volendam) (Figuur 8.5). In de regio Noord-Holland Zuid (Haarlem, Hoofddorp en Nieuw-Vennep) is de berekende potentie van een doublet erg laag (< 1.0 MW) (Figuur 8.5). Zie de samenvattende tabel voor meer informatie over de potentie van de Rijnland en Schieland groepen per warmtecluster.

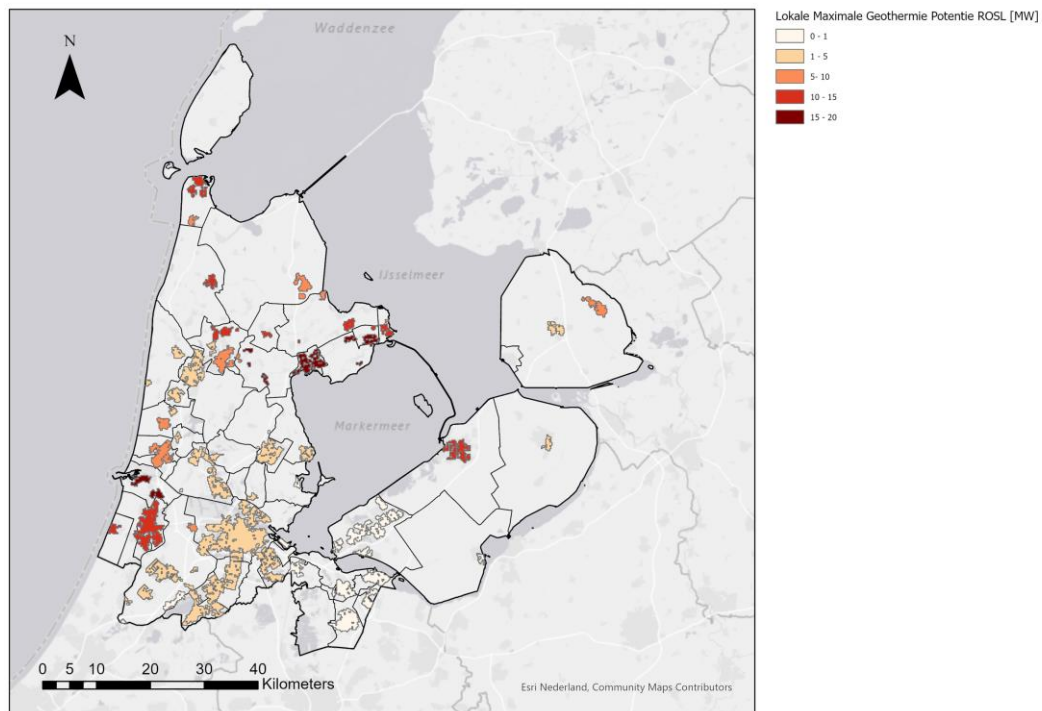
Maximale potentie van een doublet (MWt) voor de Rijnland-Schieland Zanden binnen een lokaal gekoppeld warmtecluster



Figuur 8.5 | Lokale maximale potentie van één doublet (MW) voor de Rijnland en Schieland zanden per gekoppeld warmtecluster. Hoe donkerder rood, hoe meer potentie voor een theoretisch doublet binnen het cluster. Op deze kaart is de base-case aan de warmteclusters gekoppeld.

De Formatie van Slochteren: De Formatie van Slochteren is bijna in het gehele studiegebied afgezet. De potentie varieert echt sterk (Figuur 7.7). Uit de koppeling blijkt dat de potentie voor deze formatie relatief hoog is ($P > 5.0$ MW) in de warmteclusters in de kop van Noord-Holland (met uitzondering van Texel), West-Friesland, het noordoosten van de Noordoostpolder en de regio's rondom Haarlem en Lelystad (Figuur 8.6). De potentie van de Formatie van Slochteren is relatief laag in de regio Almere en het Gooi. In de regio Amsterdam-Purmerend varieert de potentie van de Formatie van Slochteren sterk (Figuur 7.7). Zie de samenvattende tabel voor meer informatie over de potentie van de Formatie van Slochteren per warmtecluster.

Maximale potentie van een doublet (MWt) voor de Formatie van Slochteren binnen een lokaal gekoppeld warmtecluster



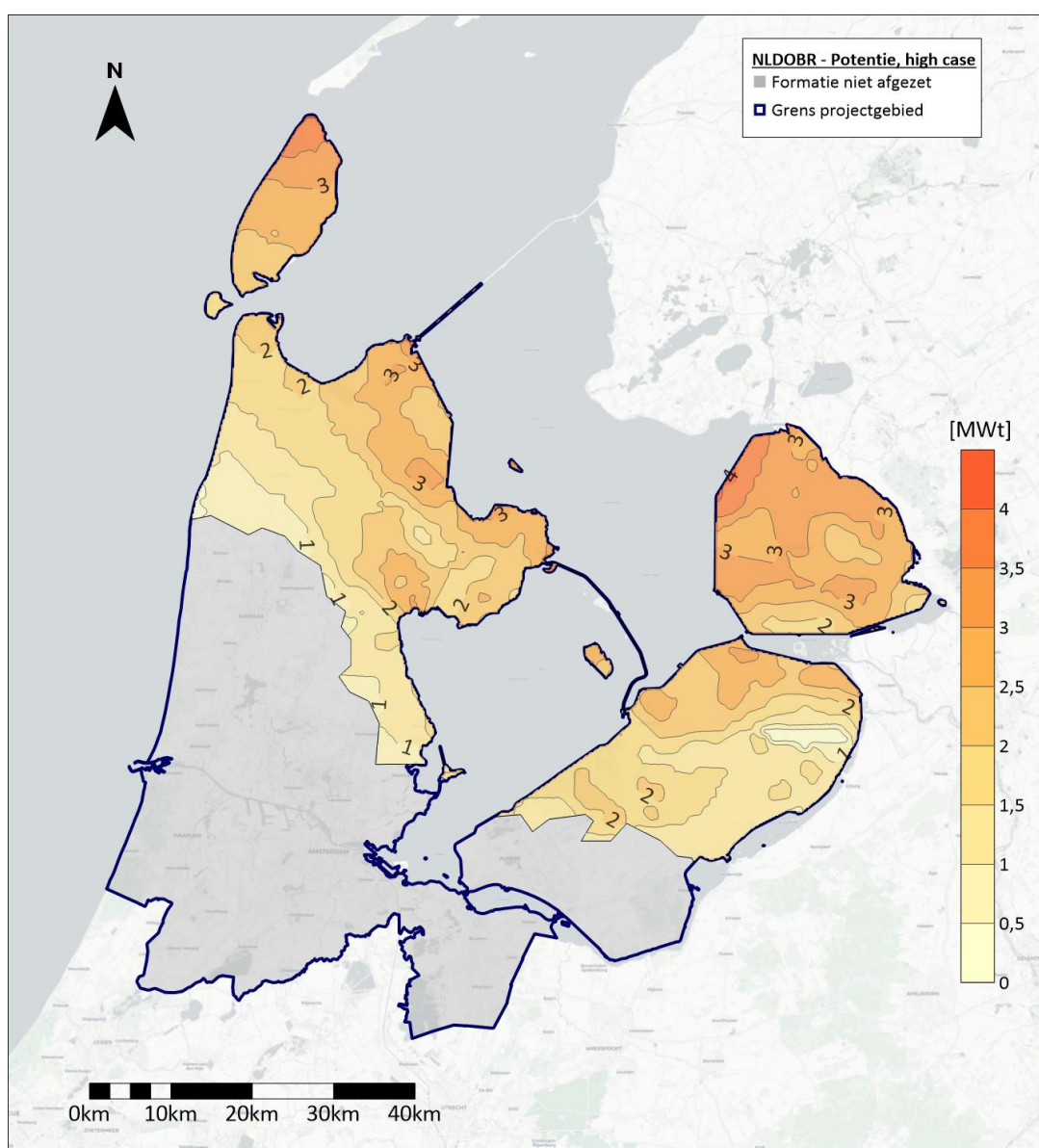
Figuur 8.6 | Lokale potentie van één doublet (MW) voor het Slochteren per gekoppeld warmtecluster. Hoe donkerder rood, hoe meer potentie voor een theoretisch doublet binnen het cluster. Op deze kaart is de base-case aan de warmteclusters gekoppeld.

9 Literatuur

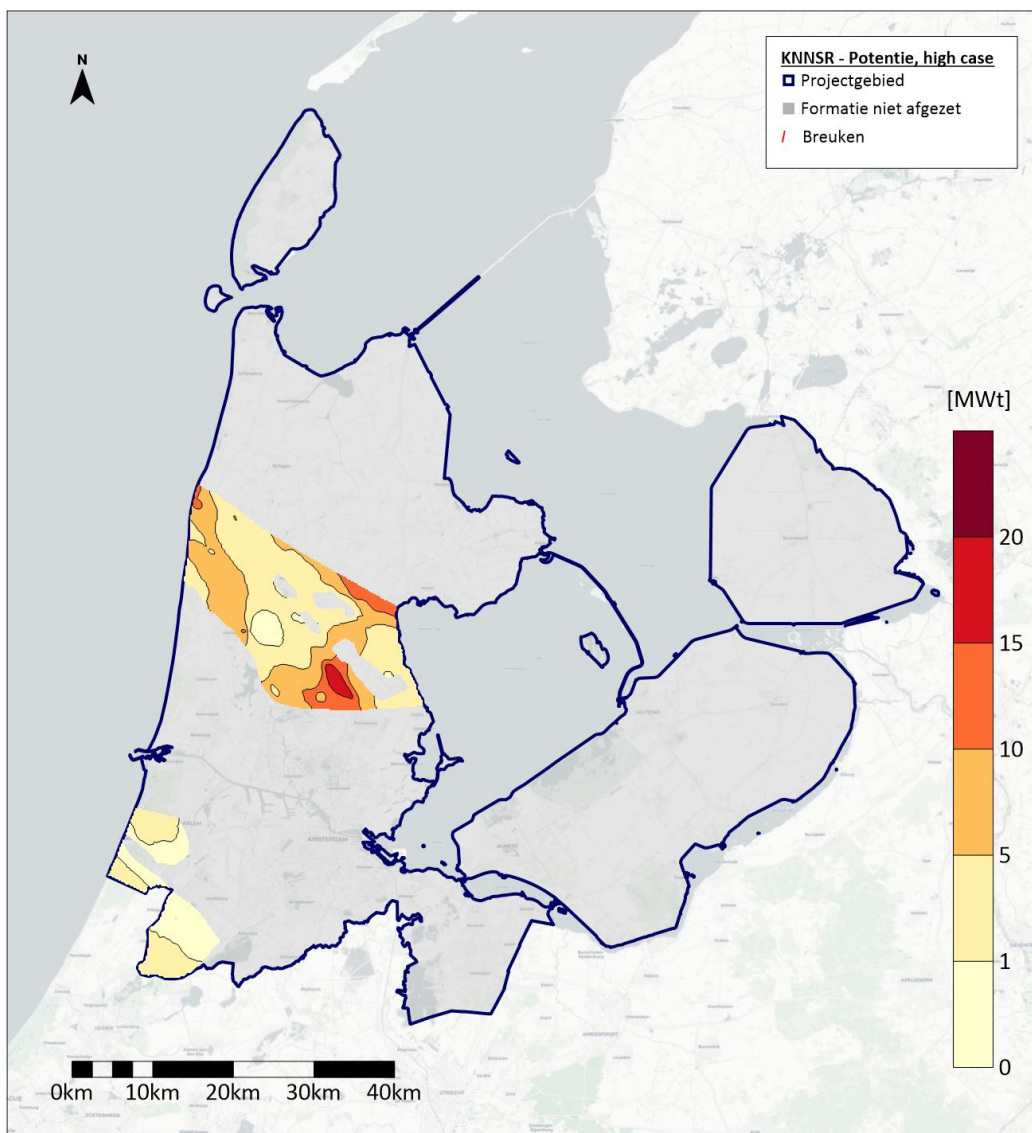
- A Hurst, G.C. Brown, en R.I. Swanson. 2000. 'Swanson's 30-40-30 rule'. *AAPG Bulletin* v. 84 (12): pp 1883-1891.
- Bonte, D. 2014. 'Thermal characterisation of sedimentary basins: implications for geothermal and hydrocarbon exploration in The Netherlands and France'.
- De Jager, J. 2007. 'Geological development'. In *Geology of the Netherlands*, 5-26.
- Duin, E.J.T., J.C. Doornenbal, R.H.B. Rijkers, J.W. Verbeek, en T.E. Wong. 2006. 'Subsurface structure of the Netherlands - results of recent onshore and offshore mapping'. *Netherlands Journal of Geosciences* 85: 245-76.
- Gaupp, R., en J.A. Okkerman. 2011. 'Diagenesis and reservoir quality of rotliegend sandstones in the northern netherlands - a review'.
- Geel, Kees, en Jurgen Foeken. 2021. 'Formation Evaluation of the Brussels Sand Member in the Netherlands', november, 47.
- Gies, Casper, Maartje Struijk, Hans Veldkamp, Eszter Békési, en van Wees Jan-Diederik. 2021. 'An effective method for paleo-temperature correction of 3D thermal models: A demonstration based on high resolution datasets in the Netherlands'. *Global and Planetary Change* 199 (april).
- Haan, Harald de, J. H. Ten Veen, S Houben, en A Kruisselbrink. 2020. 'Mapping of the Brussels Sand Member in the Netherlands', december, 61.
- Herweijer, J. C. 1997. 'Sedimentary heterogeneity and flow towards a well. Assesment of flow through heterogeneous formations.' Amsterdam: Vrije Universiteit.
- IF Technology. 2019. 'Potentieel Geothermie van de Gemeentes Katwijk en Noordwijk'. 68413. Arnhem.
- Kombrink, H., J. C. Doornenbal, E. J. T. Duin, M. Den Dulk, J. H. Ten Veen, en N. Witmans. 2012. 'New insights into the geological structure of the Netherlands; results of a detailed mapping project'. *Netherlands Journal of Geosciences* 91 (4): 419-46.
- Kruit, Katja, Benno Schepers, Ronald Roosjen, en Pascal Boderie. 2018. 'Nationaal potentieel van aquathermie: Analyse en review van de mogelijkheden', september 2018.
https://www.deltares.nl/app/uploads/2018/11/Nationaal_potentieel_van_aquathermie_Def.pdf.
- NAM. 1996. 'Petrophysical Evaluation Vlieland Delfland'.
- Nelskamp, S., en J.M. Verweij. 2012. 'Using basin modelling for geothermal energy exploration in the Netherlands - an example from the West Netherlands Basin and Roer Valley Graben'. 034.24607/034.20566. Utrecht: TNO.
- 'Ondergrondmodellen | DINoloket'. z.d. Geraadpleegd 18 februari 2019.
<https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>.
- SodM en TNO-AGE. 2013. 'Protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning versie 2'.
<http://www.sodm.nl/sites/default/files/redactie/protocol%20injectiedrukken%20bij%20aardwarmte-versie%202.pdf>.
- Van Adrichem Boogaert, H.A., en W.F.P. Kouwe. 1993. 'Stratigraphic nomenclature of the Netherlands, revision and update by RGD and NOGEPa'. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst* 50: 70.
- Van Wees, J.D, L. Kramers, Joaquim Juez-Larré, Alexander Kronimus, H. Mijnlief, D. Bonté, S. van Gessel, A. Obdam, en H. Verweij. 2010. 'ThermoGIS: An Integrated Web-Based Information System for Geothermal Exploration and Governmental Decision Support for Mature Oil and Gas Basins'. *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, april.

Bijlage 1 High Case Potentiekaarten

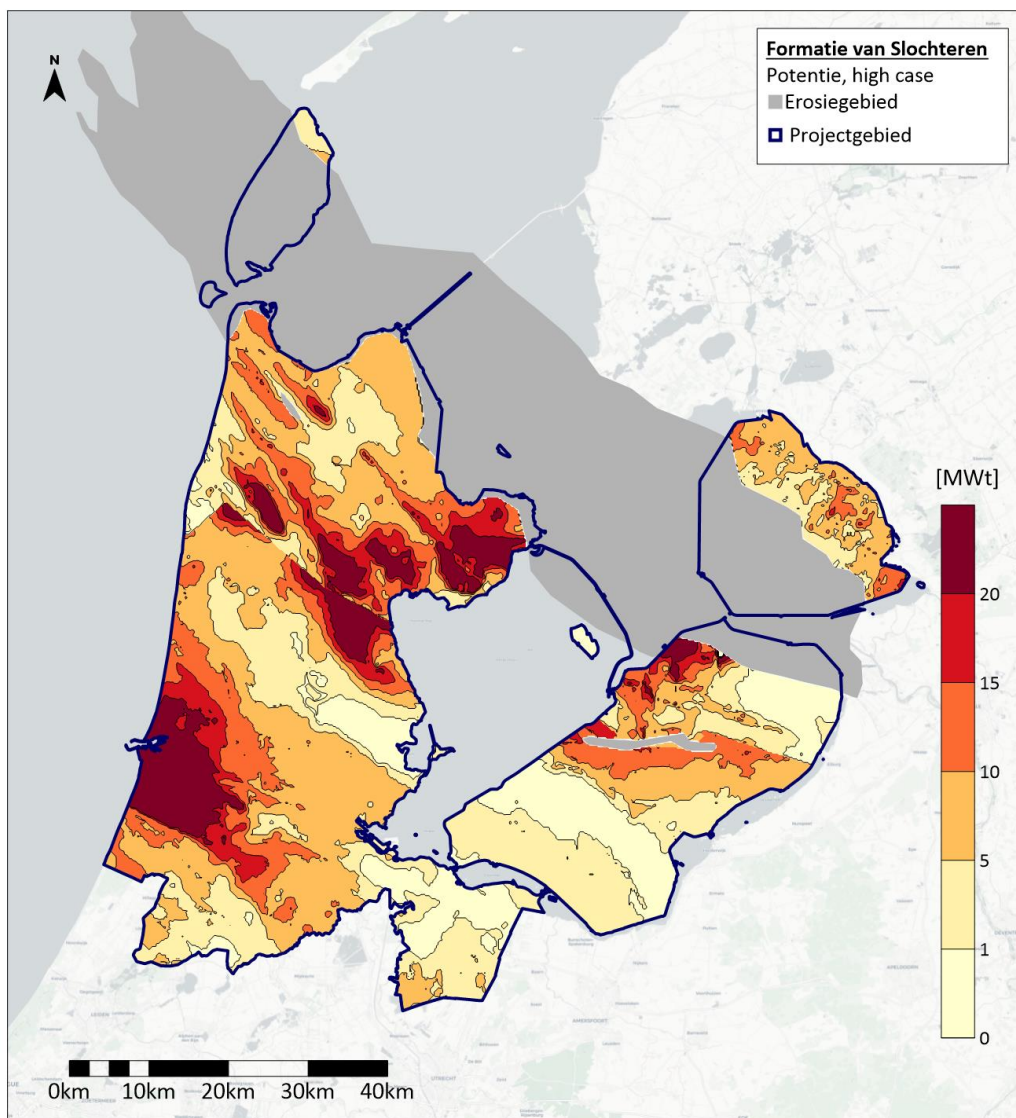
ZAND VAN BRUSSEL



RIJNLAND/SCHIELAND

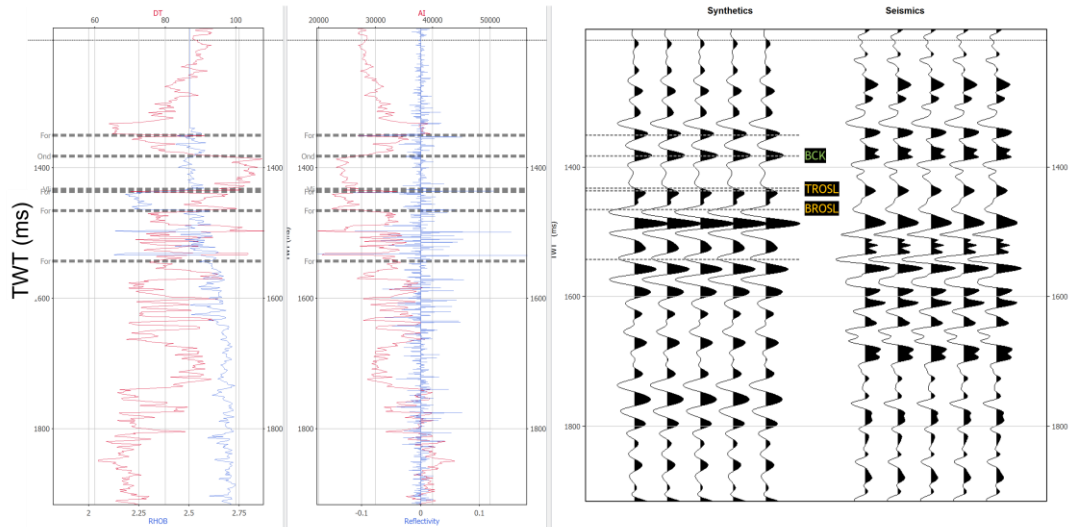


FORMATIE VAN SLOCHTEREN

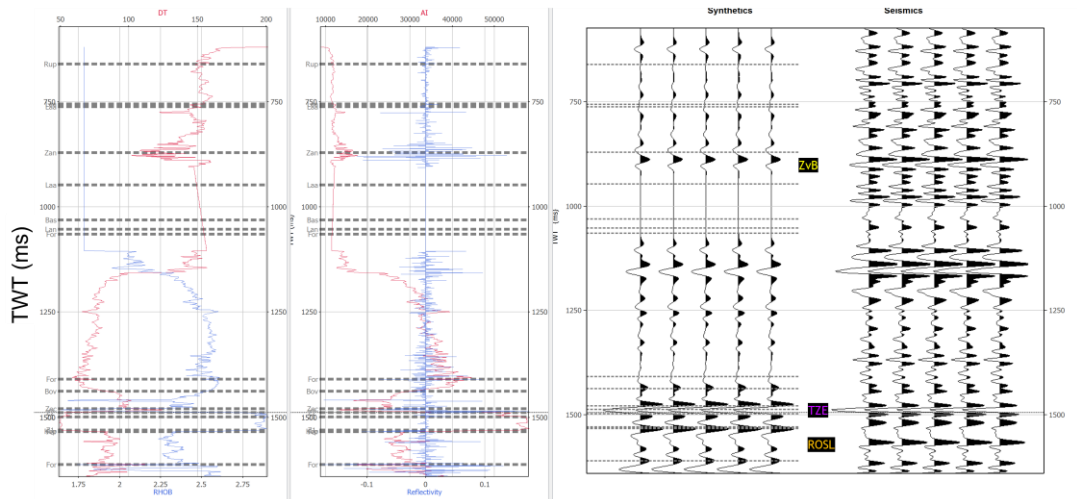


Bijlage 2 : Seismic to well ties

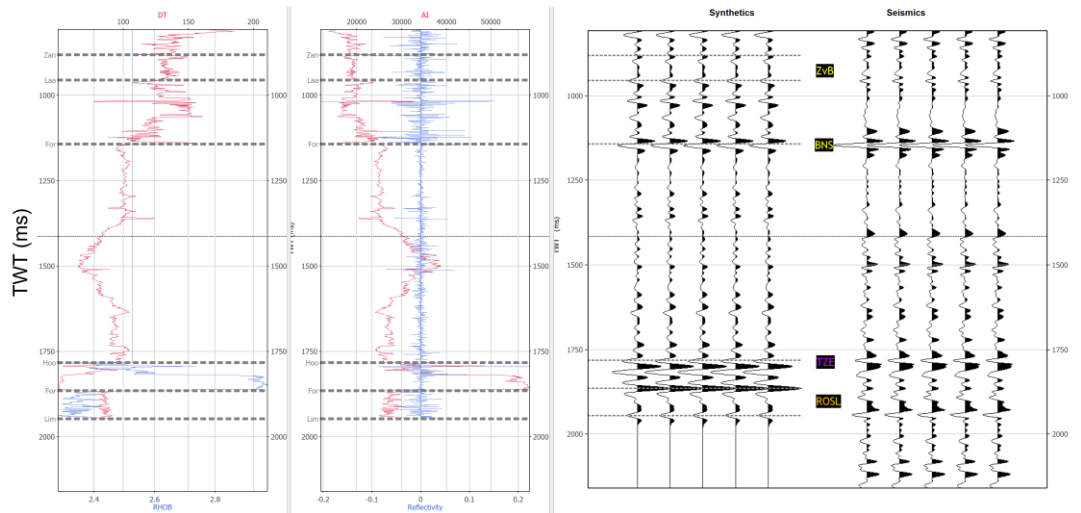
Noordoostpolder (NOP): Zand van Brussel en Slochteren
LTG-01 tied to SCAN line 042



SLB-02 tied to line 803005

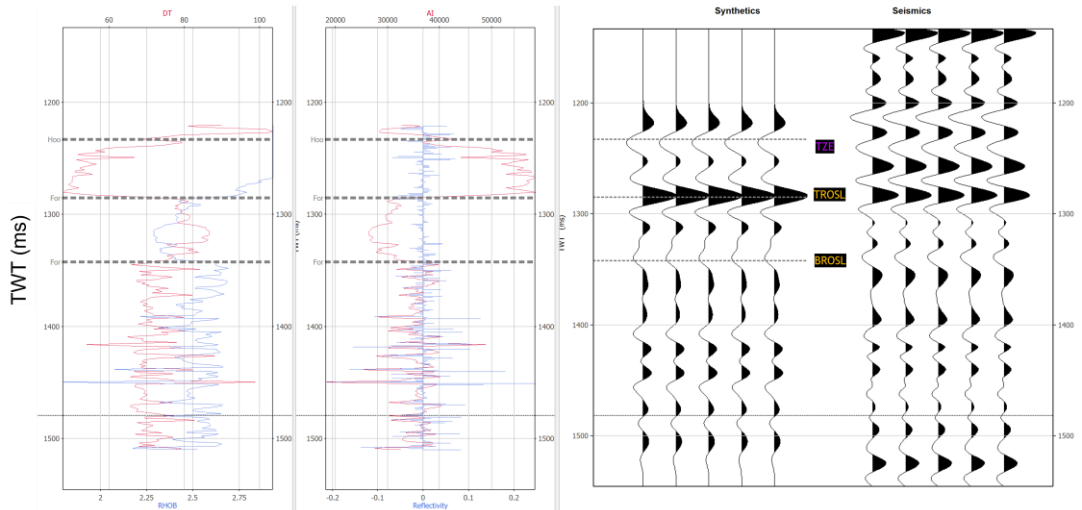


Noord-Holland Noord (NHN): Zand van Brussel en Slochteren
KRL-01 tied to L3NAM1997F Schagen

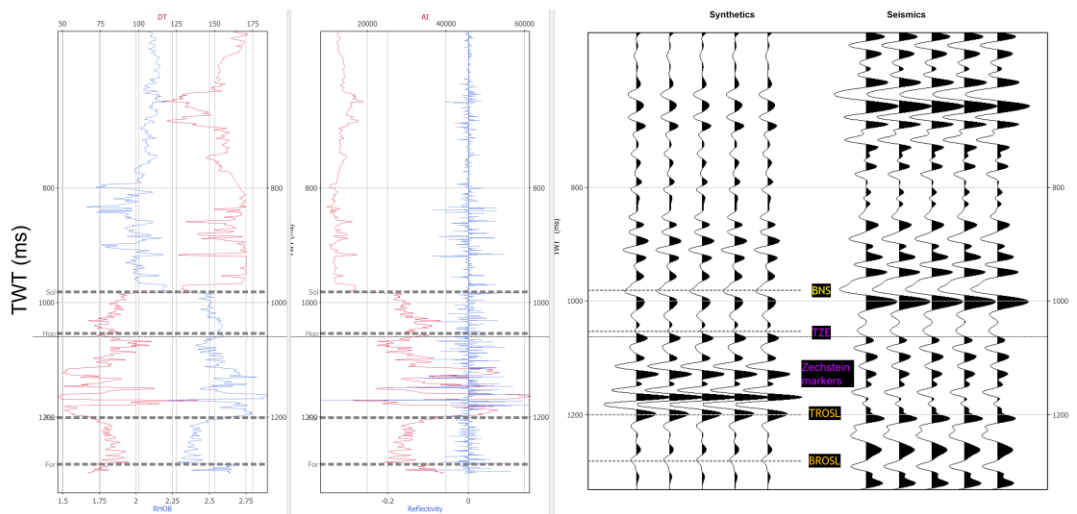


Noord-Holland Zuid (NHN) en Flevoland Zuid (FLZ): Slochteren

BLA-01-S1 tied to SCAN line 001-011

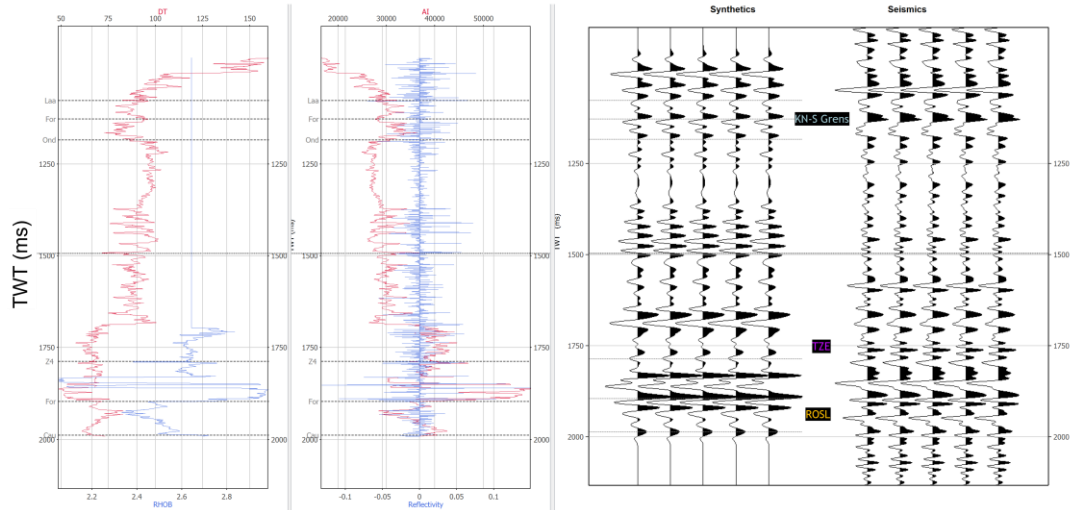


LSM-01 tied to SCAN line 037

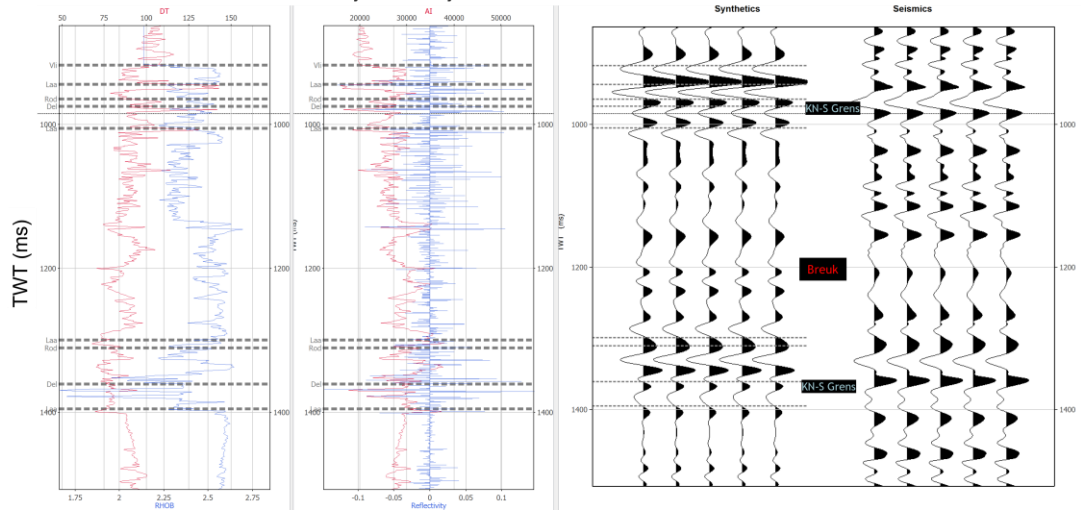


KN-S grens (NHN en NHZ)

WBMS-01 tied to L3NAM1991E Bergen-Middelie



NWK-02 tied to L3NAM1989J Katwijk-Noordwijk



Bijlage 3 : Berekenen van de warmtevraag

Warmtevraag

De opgehaalde informatie over het gasverbruik moet worden vertaald naar een warmtevraag van de bestaande bouw. Het bepalen van de warmtevraag is bepaald aan de rekensystematiek welke door het ACM wordt gehanteerd en zoals is vastgelegd in het warmtebesluit. De uitgangspunten zijn als volgt:

- Ruimteverwarming is 79 % van de gemiddelde totale warmtevraag.
- Warmtapwater is 21 % van de gemiddelde totale warmtevraag.
- Het gemiddelde opwekkrendement voor ruimteverwarming is 94 %.
- Het gemiddelde opwekkrendement voor warmtapwater is 68 %.

Op basis van de door het warmtebesluit vastgestelde gemiddelde waarden van warmteproductie door middel van gasketels kan gesteld worden dat een gemiddelde gasketel een gemiddeld rendement heeft van 87 % op de bovenwaarde van gas. De bovenwaarde van gas is 35,17 MJ/m³.

Grootverbruikers

De getallen uit Tabel 3.1 zijn gebaseerd op cbs data. Functies in de BAG-data zijn minder gedetailleerd dan de functies uit de CBS-database voor gasverbruik. Daarom zijn deze gegroepeerd en gemiddeld zoals weergegeven in de tabel. Industrie is niet meegenomen in de inventarisatie omdat er geen gefundeerd onderscheidt gemaakt kan worden in hoge en lage temperatuurbehoefte en daarom op basis van de BAG geen match kan worden gemaakt met de geothermiepotentie. Gebouwen met een cel-functie zijn ook niet meegenomen, omdat hier geen standaard gas verbruik getallen bekend van zijn vanuit het CBS.

Tabel 3.1 | standaard gasverbruik per functie afhankelijk van omvang functie. Getallen zijn in kuub gas per vierkante meter oppervlak b.v.o. [m³/m²]

Gebruikersfunctie	0 - 250 m ²	250 - 500 m ²	500 - 1000 m ²	1.000 - 2.500 m ²	2.500 - 5.000 m ²	5.000 - 10.000 m ²	> 10.000 m ²
Bijeenkomstfunctie	17,9	14,4	11,2	9,1			
Gezondheidszorg-functie	17,8	16,6	14,9	13,5	13,1	19,6	17,3
Kantoorfunctie	19,1	16,7	14,5	12,1	10,9	10,6	11,3
Logiesfunctie	22,8	22,6	21,9	21,3	21,1	22,0	21,2
Onderwijsfunctie	16,6	18,7	16,2	13,6	10,7	8,4	8,2
Sportfunctie	17,1	16,3	13,6	10,6	7,5	5,3	
Winkelfunctie	17,9	14,6	11,3	9,0	6,8	5,8	6,4
Overige gebruiksfuncties	19,3	14,8	12,5	10,1	6,1		

Bijlage 4 : Resultaat tabellen van de koppeling vraag en aanbod

Koppeling Zand van Brussel

Informatie over de tabel: Deze tabel geeft de gekoppelde resultaten voor alle warmteclusters met de base-case potentie van het Zand van Brussel weer. De koppeling is zowel lokaal (0 km) als regionaal uitgevoerd (3 km). Binnen de tabel is de volgende informatie weergegeven: 1) Object ID, Clusternaam en oppervlak, 2) Totale warmtevraag en van elk cluster, 3) Lokale en regionale maximale potentie (MWt) van een doublet in en rondom elk specifiek warmtecluster en 4) Lokale en regionale maximaal produceerbare warmte (PJ/jaar) (let op dit is als alle gekoppelde gridcellen worden benut).

Gegevens Cluster				Lokaal (0 km)		Regionaal (3 km)	
OBJECTID	Clusternaam	oppervlak (ha)	Warmtevraag Totaal (PJ/jaar)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ/jaar)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ/jaar)
21	Stadsregio Amsterdam inclusief glastuinbouw Aalsmeer	9494	37.71	0.0	0.00	0.0	0.00
23	Haarlem-Heemstede	2500	5.35	0.0	0.00	0.0	0.00
69	Glastuinbouw Middenmeer	564	5.17	2.6	0.43	2.6	1.36
87	Glastuinbouw Luttelgeest	408	3.52	2.8	0.34	2.9	1.41
5	Glastuinbouw Rijsenhout	472	3.30	0.0	0.00	0.0	0.00
15	Amsterdam Zuid-Oost	1060	3.19	0.0	0.00	0.0	0.00
48	Alkmaar	1528	2.98	0.0	0.00	0.7	0.08
2	Hilversum	1348	2.81	0.0	0.00	0.0	0.00
64	Glastuinbouw Andijk	316	2.75	2.4	0.10	2.7	0.86
34	Heemskerk-Beverwijk inclusief glastuinbouw	1256	2.67	0.0	0.00	0.0	0.00
52	Heerhugowaard en glastuinbouw	972	2.65	1.1	0.11	1.5	0.35

Gegevens Cluster				Lokaal (0 km)		Regionaal (3 km)	
OBJECTID	Clusternaam	oppervlak (ha)	Warmtevraag Totaal (PJ/jaar)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ/jaar)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ/jaar)
59	Glastuinbouw Scharwoude	280	2.31	1.1	0.15	1.6	0.51
81	Glastuinbouw Almere	272	2.28	1.3	0.11	1.5	0.38
30	Zaanstad-Zaandam	1144	2.26	0.0	0.00	0.0	0.00
88	Glastuinbouw Luttelgeest	244	2.17	2.9	0.49	2.9	1.38
78	Almere	1352	2.02	1.2	0.05	1.8	0.29
14	Hoofddorp	1264	2.01	0.0	0.00	0.0	0.00
35	Purmerend	1232	1.95	0.9	0.15	1.2	0.40
50	Hoorn	1192	1.79	2.5	0.65	2.5	1.49
84	Glastuinbouw Nagele	224	1.63	2.5	0.20	2.6	1.09
82	Lelystad	1112	1.46	2.4	0.56	2.4	1.42
8	Bussum	836	1.45	0.0	0.00	0.0	0.00
22	Amsterdam-Noord	548	1.43	0.0	0.00	0.0	0.00
31	Wormer-Wormerveer-Krommenie	868	1.36	0.0	0.00	0.0	0.00
11	Huizen	861	1.21	0.0	0.00	0.0	0.00
66	Glastuinbouw Middenmeer	112	1.03	2.4	0.11	2.6	0.86
19	Zwanenburg	12	0.99	0.0	0.00	0.0	0.00
10	Amsterdam Zuid-Oost	368	0.84	0.0	0.00	0.0	0.00
33	Volendam	482	0.80	1.5	0.26	1.5	0.60
40	Heiloo	476	0.80	0.0	0.00	0.0	0.00
29	IJmuiden	397	0.79	0.0	0.00	0.0	0.00
62	Enkhuizen	305	0.72	2.9	0.45	2.9	1.18
24	Amsterdam-Noord	340	0.71	0.0	0.00	0.0	0.00
13	Weesp	435	0.70	0.0	0.00	0.0	0.00
17	Zwanenburg	172	0.66	0.0	0.00	0.0	0.00
6	Laren-Blaricum	459	0.64	0.0	0.00	0.0	0.00
73	Den Helder	303	0.62	2.0	0.17	2.2	0.81
86	Emmeloord	460	0.60	2.7	0.35	2.7	1.67
7	Nieuw-Vennep	436	0.59	0.0	0.00	0.0	0.00
56	Grootebroek	392	0.57	2.4	0.19	2.9	1.07

Gegevens Cluster				Lokaal (0 km)		Regionaal (3 km)	
OBJECTID	Clusternaam	oppervlak (ha)	Warmtevraag Totaal (PJ/jaar)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ/jaar)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ/jaar)
38	Castricum	388	0.57	0.0	0.00	0.0	0.00
47	Glastuinbouw Heerhugowaard	56	0.54	0.8	0.04	1.5	0.27
68	Schagen	376	0.53	1.3	0.19	1.6	0.68
80	Almere	400	0.53	1.3	0.15	1.8	0.52
18	Zandvoort	252	0.51	0.0	0.00	0.0	0.00
16	Amsterdam IJburg	159	0.48	0.0	0.00	0.0	0.00
51	Bergen	316	0.48	0.0	0.00	0.6	0.03
26	Velsenbroek	296	0.45	0.0	0.00	0.0	0.00
1	Glastuinbouw Sassenheim	53	0.45	0.0	0.00	0.0	0.00
79	Almere	332	0.44	1.2	0.09	1.5	0.33
76	Almere	288	0.43	0.0	0.00	0.0	0.00
53	Zuid-Scharwoude	220	0.42	0.7	0.03	1.1	0.21
20	Amsterdam Noord	212	0.41	0.0	0.00	0.0	0.00
77	Almere	267	0.41	0.0	0.00	0.0	0.00
85	Urk	281	0.40	2.8	0.35	2.8	1.02
60	Glastuinbouw Enkhuizen	52	0.40	2.4	0.21	2.9	1.03
72	Den Helder	216	0.34	2.0	0.32	2.2	0.88
83	Dronten	268	0.33	1.5	0.17	2.2	0.82
55	Hoogkarspel	184	0.32	2.0	0.16	2.4	0.87
57	Spanbroek	140	0.31	1.9	0.16	2.2	0.83
46	Glastuinbouw Heerhugowaard	28	0.31	0.8	0.04	1.5	0.27
61	Noord-Scharwoude	232	0.30	0.7	0.08	1.3	0.36
27	Glastuinbouw Assendelft	32	0.30	0.0	0.00	0.0	0.00
58	Glastuinbouw Scharwoude	32	0.30	1.1	0.05	1.6	0.45
12	Schiphol	80	0.28	0.0	0.00	0.0	0.00
70	Julianadorp	212	0.28	1.7	0.28	1.9	0.82
45	Glastuinbouw Venhuizen	52	0.27	2.0	0.34	2.0	0.81
44	Glastuinbouw Heerhugowaard	40	0.27	1.2	0.09	1.7	0.39

Gegevens Cluster				Lokaal (0 km)		Regionaal (3 km)	
OBJECTID	Clusternaam	oppervlak (ha)	Warmtevraag Totaal (PJ/jaar)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ/jaar)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ/jaar)
9	Amsterdam Zuid-Oost	16	0.27	0.0	0.00	0.0	0.00
63	Glastuinbouw Enkhuizen	28	0.26	2.7	0.22	2.9	0.88
43	De Goorn	144	0.25	1.1	0.09	2.2	0.65
71	Den Helder	176	0.24	2.0	0.17	2.2	0.81
37	Purmerend	24	0.23	0.8	0.04	1.0	0.23
49	Obdam	96	0.23	1.5	0.15	1.9	0.50
74	Den Burg	148	0.23	2.4	0.39	2.6	1.29
75	Zeewolde	171	0.23	0.0	0.00	1.1	0.14
4	Glastuinbouw Lisse	64	0.23	0.0	0.00	0.0	0.00
54	Glastuinbouw Wognum	24	0.22	2.0	0.09	2.3	0.75
42	Egmond aan Zee	92	0.22	0.0	0.00	0.0	0.00
28	Monnickendam	146	0.22	0.9	0.04	1.4	0.27
25	Landsmeer	144	0.22	0.0	0.00	0.0	0.00
67	Medemblik	141	0.22	2.5	0.41	2.7	1.17
39	Limmen	148	0.21	0.0	0.00	0.0	0.00
65	Glastuinbouw Dirkshoorn-Sint Maarten	36	0.21	1.0	0.12	1.1	0.41
3	Glastuinbouw Lisse	20	0.21	0.0	0.00	0.0	0.00
36	Uitgeest	124	0.21	0.0	0.00	0.0	0.00
32	Purmerend	20	0.21	0.0	0.00	0.9	0.08
41	Voetbalstadion Alkmaar	4	0.20	0.0	0.00	0.0	0.00

Koppeling Zanden van de Rijnland en Schieland groep

Informatie over de tabel: Deze tabel geeft de gekoppelde resultaten voor alle warmteclusters met de base-case potentie van de Rijnland-Schieland Zanden weer. De koppeling is zowel lokaal (0 km) als regionaal (3 km) uitgevoerd. Binnen de tabel is de volgende informatie weergegeven: 1) Object ID, Clusternaam en oppervlak, 2) Totale warmtevraag en van elk cluster, 3) Lokale en regionale maximale potentie (MWt) van een doublet in en rondom elk specifiek warmtecluster en 4) Lokale en regionale maximaal produceerbare warmte (PJ/jaar) (let op dit is als alle gekoppelde gridcellen worden benut).

Gegevens Cluster				Lokaal (0 km)		Regionaal (3 km)	
OBJECTID *	Clusternaam	oppervlak (ha)	Warmtevraag Totaal (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)
21	Stadsregio Amsterdam inclusief glastuinbouw Aalsmeer	9494	37.71	0.0	0.00	0.1	0.00
23	Haarlem-Heemstede	2500	5.35	0.8	0.09	1.2	0.20
69	Glastuinbouw Middenmeer	564	5.17	0.0	0.00	0.0	0.00
87	Glastuinbouw Luttelgeest	408	3.52	0.0	0.00	0.0	0.00
5	Glastuinbouw Rijsenhout	472	3.30	0.1	0.00	1.2	0.09
15	Amsterdam Zuid-Oost	1060	3.19	0.0	0.00	0.0	0.00
48	Alkmaar	1528	2.98	3.7	0.69	4.0	1.79
2	Hilversum	1348	2.81	0.0	0.00	0.0	0.00
64	Glastuinbouw Andijk	316	2.75	0.0	0.00	0.0	0.00
34	Heemskerk-Beverwijk inclusief glastuinbouw	1256	2.67	0.0	0.00	0.0	0.00
52	Heerhugowaard en glastuinbouw	972	2.65	3.0	0.45	4.3	1.15
59	Glastuinbouw Scharwoude	280	2.31	3.3	0.37	3.3	0.68
81	Glastuinbouw Almere	272	2.28	0.0	0.00	0.0	0.00
30	Zaanstad-Zaandam	1144	2.26	0.0	0.00	0.0	0.00
88	Glastuinbouw Luttelgeest	244	2.17	0.0	0.00	0.0	0.00
78	Almere	1352	2.02	0.0	0.00	0.0	0.00
14	Hoofddorp	1264	2.01	0.1	0.00	0.7	0.08

Gegevens Cluster				Lokaal (0 km)		Regionaal (3 km)	
OBJECTID *	Clusternaam	oppervlak (ha)	Warmtevraag Totaal (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)
35	Purmerend	1232	1.95	5.2	0.32	9.0	1.35
50	Hoorn	1192	1.79	6.5	0.28	6.5	0.77
84	Glastuinbouw Nagele	224	1.63	0.0	0.00	0.0	0.00
82	Lelystad	1112	1.46	0.0	0.00	0.0	0.00
8	Bussum	836	1.45	0.0	0.00	0.0	0.00
22	Amsterdam-Noord	548	1.43	0.0	0.00	0.0	0.00
31	Wormer-Wormerveer-Krommenie	868	1.36	0.0	0.00	5.8	0.57
11	Huizen	861	1.21	0.0	0.00	0.0	0.00
66	Glastuinbouw Middenmeer	112	1.03	0.0	0.00	0.0	0.00
19	Zwanenburg	12	0.99	0.0	0.00	0.0	0.00
10	Amsterdam Zuid-Oost	368	0.84	0.0	0.00	0.0	0.00
33	Volendam	482	0.80	1.6	0.07	2.1	0.29
40	Heiloo	476	0.80	4.0	0.44	4.0	0.96
29	IJmuiden	397	0.79	0.0	0.00	0.0	0.00
62	Enkhuizen	305	0.72	0.0	0.00	0.0	0.00
24	Amsterdam-Noord	340	0.71	0.0	0.00	0.0	0.00
13	Weesp	435	0.70	0.0	0.00	0.0	0.00
17	Zwanenburg	172	0.66	0.0	0.00	0.0	0.00
6	Laren-Blaricum	459	0.64	0.0	0.00	0.0	0.00
73	Den Helder	303	0.62	0.0	0.00	0.0	0.00
86	Emmeloord	460	0.60	0.0	0.00	0.0	0.00
7	Nieuw-Vennep	436	0.59	0.6	0.04	1.6	0.25
56	Grootebroek	392	0.57	0.0	0.00	0.0	0.00
38	Castricum	388	0.57	0.0	0.00	2.5	0.11
47	Glastuinbouw Heerhugowaard	56	0.54	2.2	0.09	4.3	0.75
68	Schagen	376	0.53	0.0	0.00	0.0	0.00
80	Almere	400	0.53	0.0	0.00	0.0	0.00
18	Zandvoort	252	0.51	1.2	0.10	1.2	0.20

Gegevens Cluster				Lokaal (0 km)		Regionaal (3 km)	
OBJECTID *	Clusternaam	oppervlak (ha)	Warmtevraag Totaal (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)
16	Amsterdam IJburg	159	0.48	0.0	0.00	0.0	0.00
51	Bergen	316	0.48	3.4	0.49	3.7	1.48
26	Velsenbroek	296	0.45	0.0	0.00	0.8	0.06
1	Glastuinbouw Sassenheim	53	0.45	1.6	0.07	1.6	0.25
79	Almere	332	0.44	0.0	0.00	0.0	0.00
76	Almere	288	0.43	0.0	0.00	0.0	0.00
53	Zuid-Scharwoude	220	0.42	2.2	0.26	3.3	1.03
20	Amsterdam Noord	212	0.41	0.0	0.00	0.0	0.00
77	Almere	267	0.41	0.0	0.00	0.0	0.00
85	Urk	281	0.40	0.0	0.00	0.0	0.00
60	Glastuinbouw Enkhuizen	52	0.40	0.0	0.00	0.0	0.00
72	Den Helder	216	0.34	0.0	0.00	0.0	0.00
83	Dronten	268	0.33	0.0	0.00	0.0	0.00
55	Hoogkarspel	184	0.32	0.0	0.00	0.0	0.00
57	Spanbroek	140	0.31	0.0	0.00	6.8	0.48
46	Glastuinbouw Heerhugowaard	28	0.31	2.2	0.09	4.3	0.75
61	Noord-Scharwoude	232	0.30	3.3	0.30	3.3	0.74
27	Glastuinbouw Assendelft	32	0.30	0.0	0.00	0.0	0.00
58	Glastuinbouw Scharwoude	32	0.30	0.0	0.00	3.3	0.37
12	Schiphol	80	0.28	0.0	0.00	0.0	0.00
70	Julianadorp	212	0.28	0.0	0.00	0.0	0.00
45	Glastuinbouw Venhuizen	52	0.27	0.0	0.00	0.0	0.00
44	Glastuinbouw Heerhugowaard	40	0.27	4.3	0.30	6.8	1.28
9	Amsterdam Zuid-Oost	16	0.27	0.0	0.00	0.0	0.00
63	Glastuinbouw Enkhuizen	28	0.26	0.0	0.00	0.0	0.00
43	De Goorn	144	0.25	5.2	0.36	6.8	1.90
71	Den Helder	176	0.24	0.0	0.00	0.0	0.00

Gegevens Cluster				Lokaal (0 km)		Regionaal (3 km)	
OBJECTID *	Clusternaam	oppervlak (ha)	Warmtevraag Totaal (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)
37	Purmerend	24	0.23	5.2	0.23	9.0	1.28
49	Obdam	96	0.23	4.3	0.28	6.8	1.14
74	Den Burg	148	0.23	0.0	0.00	0.0	0.00
75	Zeewolde	171	0.23	0.0	0.00	0.0	0.00
4	Glastuinbouw Lisse	64	0.23	1.3	0.08	1.6	0.25
54	Glastuinbouw Wognum	24	0.22	0.0	0.00	0.0	0.00
42	Egmond aan Zee	92	0.22	2.4	0.10	4.0	0.55
28	Monnickendam	146	0.22	0.0	0.00	0.0	0.00
25	Landsmeer	144	0.22	0.0	0.00	0.0	0.00
67	Medemblik	141	0.22	0.0	0.00	0.0	0.00
39	Limmen	148	0.21	0.0	0.00	4.0	0.44
65	Glastuinbouw Dirkshoorn-Sint Maarten	36	0.21	2.2	0.10	3.6	0.50
3	Glastuinbouw Lisse	20	0.21	1.3	0.08	1.6	0.22
36	Uitgeest	124	0.21	0.0	0.00	3.0	0.25
32	Purmerend	20	0.21	0.0	0.00	7.8	0.81
41	Voetbalstadion Alkmaar	4	0.20	3.7	0.16	4.0	0.86

Koppeling Formatie van Slochteren

Informatie over de tabel: Deze tabel geeft de gekoppelde resultaten voor alle warmteclusters met de base-case potentie van de Rijnland-Schieland Zanden weer. De koppeling is zowel lokaal (0 km) als regionaal (3 km) uitgevoerd. Binnen de tabel is de volgende informatie weergegeven: 1) Object ID, Clusternaam en oppervlak, 2) Totale warmtevraag en van elk cluster, 3) Lokale en regionale maximale potentie (MWt) van een doublet en in rondom elk specifiek warmtecluster en 4) Lokale en regionale maximaal produceerbare warmte (PJ/jaar) (let op dit is als alle gekoppelde gridcellen worden benut).

Gegevens Cluster				Lokaal (0 km)		Regionaal (3 km)	
OBJECTID	Clusternaam	oppervlak (ha)	Warmtevraag Totaal (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)
21	Stadsregio Amsterdam inclusief glastuinbouw Aalsmeer	9494	37.71	4.9	1.93	5.4	4.18
23	Haarlem-Heemstede	2500	5.35	14.8	3.65	18.1	8.22
69	Glastuinbouw Middenmeer	564	5.17	7.2	1.07	8.6	3.43
87	Glastuinbouw Luttelgeest	408	3.52	6.3	0.80	6.3	2.81
5	Glastuinbouw Rijsenhout	472	3.30	0.8	0.10	3.2	0.55
15	Amsterdam Zuid-Oost	1060	3.19	1.7	0.23	2.7	0.75
48	Alkmaar	1528	2.98	2.5	0.36	10.2	1.75
2	Hilversum	1348	2.81	0.5	0.08	1.2	0.22
64	Glastuinbouw Andijk	316	2.75	13.1	0.56	18.7	5.35
34	Heemskerk-Beverwijk inclusief glastuinbouw	1256	2.67	8.9	1.59	18.1	5.50
52	Heerhugowaard en glastuinbouw	972	2.65	7.2	1.20	16.5	4.54
59	Glastuinbouw Scharwoude	280	2.31	14.8	1.60	16.4	5.01
81	Glastuinbouw Almere	272	2.28	0.0	0.00	0.2	0.02
30	Zaanstad-Zaandam	1144	2.26	3.7	0.91	4.6	2.24
88	Glastuinbouw Luttelgeest	244	2.17	5.9	0.83	6.3	2.54
78	Almere	1352	2.02	0.4	0.03	0.4	0.04
14	Hoofddorp	1264	2.01	3.2	0.43	7.1	1.92

Gegevens Cluster				Lokaal (0 km)		Regionaal (3 km)	
OBJECTID	Clusternaam	oppervlak (ha)	Warmtevraag Totaal (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)
35	Purmerend	1232	1.95	1.5	0.11	4.1	0.84
50	Hoorn	1192	1.79	17.6	3.97	17.6	9.67
84	Glastuinbouw Nagele	224	1.63	0.0	0.00	4.4	0.41
82	Lelystad	1112	1.46	11.6	2.22	12.5	5.72
8	Bussum	836	1.45	0.0	0.00	0.4	0.03
22	Amsterdam-Noord	548	1.43	2.5	0.43	2.9	1.36
31	Wormer-Wormerveer-Krommenie	868	1.36	4.6	0.70	6.6	2.09
11	Huizen	861	1.21	0.9	0.07	0.9	0.13
66	Glastuinbouw Middenmeer	112	1.03	7.1	0.31	8.6	2.61
19	Zwanenburg	12	0.99	5.4	0.23	8.2	1.47
10	Amsterdam Zuid-Oost	368	0.84	1.3	0.09	2.7	0.42
33	Volendam	482	0.80	1.6	0.07	1.6	0.25
40	Heiloo	476	0.80	1.5	0.15	3.1	0.83
29	IJmuiden	397	0.79	18.1	2.55	20.7	7.27
62	Enkhuizen	305	0.72	14.0	0.99	20.8	4.21
24	Amsterdam-Noord	340	0.71	2.7	0.43	3.1	1.39
13	Weesp	435	0.70	0.1	0.00	1.3	0.14
17	Zwanenburg	172	0.66	5.4	0.50	8.2	2.03
6	Laren-Blaricum	459	0.64	0.4	0.02	0.9	0.10
73	Den Helder	303	0.62	11.1	0.77	11.1	2.45
86	Emmeloord	460	0.60	2.4	0.11	4.0	0.76
7	Nieuw-Vennep	436	0.59	1.0	0.14	1.6	0.46
56	Grootebroek	392	0.57	16.4	1.31	20.8	5.74
38	Castricum	388	0.57	5.3	0.61	6.6	1.98
47	Glastuinbouw Heerhugowaard	56	0.54	6.7	0.29	16.5	3.16
68	Schagen	376	0.53	11.3	1.65	20.5	5.33
80	Almere	400	0.53	0.0	0.00	0.2	0.02
18	Zandvoort	252	0.51	10.3	0.90	15.5	2.69
16	Amsterdam IJburg	159	0.48	1.0	0.05	1.5	0.35

Gegevens Cluster				Lokaal (0 km)		Regionaal (3 km)	
OBJECTID	Clusternaam	oppervlak (ha)	Warmtevraag Totaal (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)
51	Bergen	316	0.48	1.6	0.25	5.8	1.14
26	Velsenbroek	296	0.45	16.3	1.89	18.1	6.39
1	Glastuinbouw Sassenheim	53	0.45	0.8	0.06	1.6	0.26
79	Almere	332	0.44	0.1	0.00	0.4	0.02
76	Almere	288	0.43	0.1	0.00	0.4	0.05
53	Zuid-Scharwoude	220	0.42	3.6	0.48	14.8	3.08
20	Amsterdam Noord	212	0.41	2.1	0.16	2.7	0.95
77	Almere	267	0.41	0.2	0.01	1.3	0.09
85	Urk	281	0.40	0.0	0.00	0.0	0.00
60	Glastuinbouw Enkhuizen	52	0.40	13.5	0.97	18.7	4.69
72	Den Helder	216	0.34	11.1	1.52	11.1	3.16
83	Dronten	268	0.33	1.1	0.05	5.8	0.91
55	Hoogkarspel	184	0.32	18.7	1.52	18.7	6.43
57	Spanbroek	140	0.31	12.1	0.76	17.4	5.49
46	Glastuinbouw Heerhugowaard	28	0.31	6.7	0.29	16.5	3.16
61	Noord-Scharwoude	232	0.30	14.8	1.24	20.5	4.74
27	Glastuinbouw Assendelft	32	0.30	4.0	0.17	9.5	1.99
58	Glastuinbouw Scharwoude	32	0.30	11.5	0.50	16.4	3.96
12	Schiphol	80	0.28	4.8	0.35	5.4	1.31
70	Julianadorp	212	0.28	9.6	1.46	9.6	3.94
45	Glastuinbouw Venhuizen	52	0.27	15.3	1.80	20.8	5.37
44	Glastuinbouw Heerhugowaard	40	0.27	16.5	1.25	17.4	4.52
9	Amsterdam Zuid-Oost	16	0.27	1.3	0.06	2.7	0.39
63	Glastuinbouw Enkhuizen	28	0.26	8.9	0.38	14.0	2.61
43	De Goorn	144	0.25	15.3	1.16	17.4	5.61
71	Den Helder	176	0.24	11.1	0.89	11.1	3.51
37	Purmerend	24	0.23	0.1	0.00	4.1	0.40
49	Obdam	96	0.23	16.5	1.71	17.4	5.25

Gegevens Cluster				Lokaal (0 km)		Regionaal (3 km)	
OBJECTID	Clusternaam	oppervlak (ha)	Warmtevraag Totaal (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)	Maximale potentie doublet (MWt)	Produceerbare warmte (PJ)
74	Den Burg	148	0.23	0.0	0.00	0.0	0.00
75	Zeewolde	171	0.23	0.1	0.00	0.3	0.02
4	Glastuinbouw Lisse	64	0.23	1.6	0.11	1.6	0.28
54	Glastuinbouw Wognum	24	0.22	12.8	0.55	17.6	4.62
42	Egmond aan Zee	92	0.22	2.4	0.38	2.6	0.77
28	Monnickendam	146	0.22	0.0	0.00	1.7	0.13
25	Landsmeer	144	0.22	2.8	0.23	2.9	0.97
67	Medemblik	141	0.22	9.1	1.35	12.0	3.98
39	Limmen	148	0.21	2.1	0.16	5.3	1.11
65	Glastuinbouw Dirkshoorn-Sint Maarten	36	0.21	20.5	2.00	20.5	4.47
3	Glastuinbouw Lisse	20	0.21	1.6	0.11	1.6	0.28
36	Uitgeest	124	0.21	3.6	0.25	6.6	1.56
32	Purmerend	20	0.21	0.0	0.00	0.8	0.05
41	Voetbalstadion Alkmaar	4	0.20	0.4	0.02	1.5	0.25

IF Technology **Creating energy**



Velperweg 37
6824 BE Arnhem
Postbus 605
6800 AP Arnhem

T 026 35 35 555
E info@iftechnology.nl
I www.iftechnology.nl

NL60 RABO 0383 9420 47
KvK Arnhem 09065422
BTW nr. NL801045599B01

IF Technology **Creating energy**