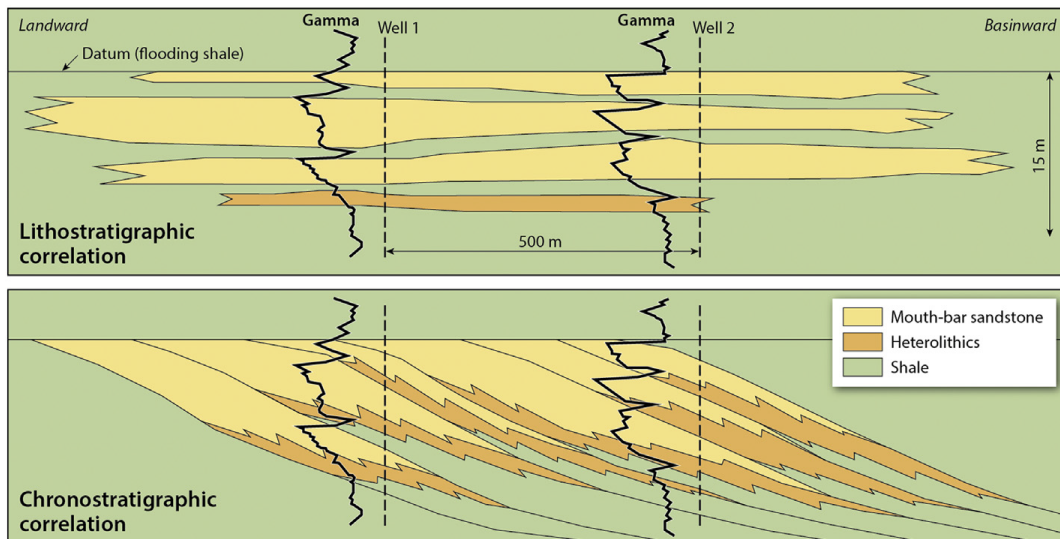


Warming^{UP}GOO

Geothermie & Opslag Opschaling



**Subsurface characterization
and HT-ATES potential
estimation in the The Hague
region of Zuid-Holland**

Subsurface characterization and HT-ATES potential estimation in the The Hague region of Zuid-Holland



TNO: J.G. Veldkamp, E. Peters, D. Dinkelman

Witteveen + Bos: J.P. van Huizen, P. Spekrijse, E.L. Jorissen, M.J. Bouwmeester

Reviewers: H. van Lochem (EBN) and C. van Baak (Deltares)

The work for this report was carried out as part of the WarmingUP Geothermal and Storage Scaling project (Warming^{UP}GOO). This was made possible by a subsidy from the Netherlands Enterprise Agency (RVO) under the Mission-driven Research, Development and Innovation (MOOI) subsidy scheme, known at RVO under project number MOOI322012. Warming^{UP}GOO contributes to MOOI mission B *Built Environment* and contributes to the innovation theme *Sustainable collective heat supply*.

Front page illustration from Patruno & Helland-Hansen (2018), after Ainsworth et al. (1999) and Gani & Bhattacharya (p2005)

Projectnummer
060.52558

Keywords
HT-ATES, Oosterhout Formation, Maassluis Formation

Jaar van publicatie
2026

Meer informatie
Lies Peters
E Lies.Peters@tno.nl

02/2026 ©

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervaelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevens bestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Summary	5
Samenvatting	6
1 Introduction	7
2 Data	12
2.1 Well data	12
2.1.1 Types of well data	13
2.1.1.1 Shallow wells	13
2.1.1.2 Deep wells	13
2.1.2 Well data used in this study	13
2.2 DGM and REGIS models	15
2.3 Seismic data	17
2.4 Clinoforms	18
2.5 Fluid, temperature and system properties	20
2.6 Prior view on the prospectivity of the Oosterhout and Maassluis formations based on available data	21
3 HT-ATES potential calculation method	23
3.1 Technical model	23
3.2 Flowrate constraints	23
3.3 Wells and well distance	24
3.4 3D simulation in ROSIM-DoubletCalc3D	25
3.5 Power, energy and thermal recovery efficiency	26
4 Results	27
4.1 Interpretation of geometry	27
4.1.1 Oosterhout Formation	28
4.1.1.1 Continuity of the sandy layers	29
4.1.1.2 Interpretation of the clinoform boundaries	32
4.1.2 Maassluis Formation	34
4.2 Lithology and flow properties	38
4.2.1 Oosterhout Formation	38
4.2.2 Maassluis Formation	39
4.3 Potential calculation results	41
5 Discussion	43
6 Conclusions	45
6.1 Oosterhout Formation	45
6.2 Maassluis Formation:	46
6.3 HT-ATES calculations	46
References	47

Appendix A	WarmingUP GOO Analyse van doorlatendheid & Analyse van petrofysica	50
Appendix B	Listing of shallow wells	51
Appendix C	Maassluis well section E	55
Appendix D	Maassluis well section F	57
Appendix E	Well sections legend	59
Appendix F	Nomenclator descriptions	60

Summary

Sedimentary deposits buried to depths between approximately 100 and 500 meters may have potential for subsurface storage of thermal energy. In this depth range, layers that belong to the Oosterhout (lower part) and Maassluis (upper part) formations are found in large parts of the Netherlands. The currently available national models that cover this depth interval are the Digital Geological Model (DGM) and the Regional Geo-hydrological Information System (REGIS). Both were constructed using well data, but with increasing depth, fewer wells are available. DGM and REGIS are intended for use on a regional scale and are therefore less suitable for local studies, especially in areas where the number of wells that drilled to this depth is limited with respect to the geometric complexity of the layers. In the area studied in this report this is especially the case for the deeper Oosterhout Formation, and less so for the shallower Maassluis Formation. A direct implication of insufficient well data on the potential for thermal energy storage is that there is higher uncertainty about the amount of heat that can be stored, the energy the storage requires, and the recovery efficiency.

In the current study it was investigated in the area The Hague - Rijswijk how more information about the internal geometry and lithology of the Oosterhout and Maassluis formations can contribute to a better subsurface characterisation. For the characterisation of the internal geometry, seismic data is used. Where the amount of information from wells decreases with depth, the quality of seismic data increases with depth in the first few hundreds of meters. The quality is poor in the uppermost part of this depth interval.

Within the Oosterhout Formation, several S-shaped surfaces related to clinoforms could be interpreted on seismic data. It was concluded that seismic interpretation adds considerably to the understanding of the complex geometry of the layering within this unit. The lateral continuity of sandy sub-layers present within the clinoforms is generally not horizontal. Only if enough well and seismic data are available, sandy layers sometimes can be traced over longer distances (several hundreds of meters). The layer interpreted as Oosterhout Sand 2 (OOz2) in REGIS v2.2.1 is thin or absent in most wells. The aquifer quality of the Oosterhout Formation in the study area is generally poor.

It was found that the quality of available seismic data cannot contribute to an improved mapping of the layers within the Maassluis Formation. However, a detailed study of available well logs in combination with LT-ATES well descriptions provides additional insight that goes beyond the resolution of the REGIS model. In the deeper part of the Maassluis Formation, a continuous clay layer (high gamma ray) on top of a thick sandy layer could be mapped based on the dense network of wells in the area. The sandy layer constitutes the top of the clinoforms interpreted in the seismic data. For this sandy layer, the HT-ATES (High Temperature - Aquifer Thermal Energy Storage) potential was estimated using the ThermoGIS HT-ATES / RoSIM tool, which estimates ATES potential based on a 3D simulation of a doublet using newly created input maps of depth, thickness and flow properties. The flow properties of the sandy layer are based on interpretation of production tests from ATES wells in the area. The calculated power averaged over the model area is 7.2 MW_{th} for the mid-permeability case, and the recovery efficiency 69%. For the low case and high case, this is 3.7 and 14.3 MW_{th} respectively with an efficiency of 65.9% and 67.9% respectively.

Samenvatting¹

Bodemlagen die tussen de 100 en 500 meter diep liggen zijn mogelijk geschikt om warmte in op te slaan. Op deze diepte bevinden zich in grote delen van Nederland lagen die behoren tot de Oosterhout Formatie (onderin) en Maassluis Formatie (bovenin). De momenteel beschikbare nationale modellen in dit diepte-interval zijn het Digitaal Geologisch Model (DGM) en het Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS). Beide modellen zijn gebaseerd op boorgegevens. Naarmate de diepte toeneemt, zijn er doorgaans minder putten beschikbaar. DGM en REGIS zijn bedoeld voor gebruik op regionale schaal en zijn daarom minder geschikt voor lokale studies, vooral in gebieden waar het aantal putten dat tot deze diepte is geboord beperkt is ten opzichte van de geometrische complexiteit van de lagen. In het studiegebied in dit rapport geldt dit vooral voor de diepere Oosterhout Formatie, en minder voor de ondiepere Maassluis Formatie. Een direct gevolg van onvoldoende beschikbaarheid van boorgegevens voor het potentieel van warmteopslag is dat er meer onzekerheid is over de hoeveelheid warmte die kan worden opgeslagen, de benodigde energie voor de opslag en de terugwin-efficiëntie.

In deze studie is in de regio Den Haag - Rijswijk onderzocht hoe de beschikbaarheid van meer informatie over de interne geometrie en lithologie van de Oosterhout en Maassluis formaties kan bijdragen aan een betere karakterisering van de ondergrond. Voor interpretatie van de interne geometrie is gebruikt gemaakt van seismische data. Waar het aantal boringen afneemt met diepte, neemt de kwaliteit van seismische data toe met diepte in de bovenste paar honderd meter. De kwaliteit vaak matig in het bovenste deel van dit diepte-interval.

Binnen de Oosterhout Formatie konden met behulp van seismische data verschillende S-vormige oppervlakken worden geïdentificeerd die zijn geïnterpreteerd aan clinoforms. Het resultaat van de seismische interpretatie draagt aanzienlijk bij aan het begrip van de complexe gelaagdheid binnen deze eenheid. De laterale continuïteit van zandige sublagen binnen de clinoformen is over het algemeen niet horizontaal. Als er voldoende boor- en/of seismische data beschikbaar zijn, kunnen zandige lagen soms over grotere afstanden worden gevolgd. De laag die in REGIS v2.2.1 is geïnterpreteerd als het Oosterhout Zand 2 (OOz2) is in de meeste putten dun of afwezig. De aquiferkwaliteit van de Oosterhout Formatie in het studiegebied is over het algemeen slecht.

Door de beperkte kwaliteit kan de seismische data niet bijdragen aan een verbeterde kartering van de Maassluis Formatie. Een gedetailleerde studie van beschikbare boorlogs in combinatie met lithologische beschrijvingen in WKO (warmte-koude opslag) putten levert echter extra inzichten op die verder gaan dan de resolutie van het REGIS-model. In het diepere deel van de Maassluis Formatie kon op basis van het dichte netwerk van putten in het gebied een continue kleilaag boven op een dikke zandlaag worden gekarteerd. De zandlaag vormt de top van de clinoformen die in de seismische data zijn geïnterpreteerd. Voor deze zandlaag is het HTO (Hoge Temperatuur Opslag) potentieel geschat met behulp van de ThermoGIS HTO/RoSIM tool op basis van een 3D-simulatie van een doublet. Voor de simulatie zijn nieuwe invoerkaarten van diepte, dikte en stromingseigenschappen gemaakt. De stromingseigenschappen van de zandlaag zijn gebaseerd op interpretatie van productietesten van WKO-putten in het gebied. Het berekende thermisch vermogen is gemiddeld over het modelgebied 7.2 MW_{th} voor de gemiddelde doorlatendheid. De terugwin-efficiëntie bedraagt 69%. Voor het lage en hoge scenario is dit respectievelijk 3.7 en 14.3 MW_{th} met een efficiëntie van respectievelijk 65.9% en 67.9%.

¹ This summary was created with help of Copilot.

1 Introduction

The Dutch subsurface is well-suited for Low Temperature Aquifer Thermal Energy Storage (LT-ATES). In these systems, excess heat is stored in the subsurface as hot water with temperatures up to 25 °C. More than 3000 systems exist in the Netherlands (Bloemendal et al., 2023). This is due to the favourable composition of the subsurface down to a depth of several 100s of meters. HT-ATES (High Temperature ATES, storage temperature over 50°C) is relatively new to the Netherlands, although the first successful systems became operational more than 30 years ago. Typically, HT-ATES operates at depths between ~100 and ~500 m. At shallow depth there is an increasing risk of interference with other types of use of the subsurface such as the production of fresh or slightly brackish groundwater or LT-ATES.

HT-ATES is a promising solution for the seasonal mismatch in sustainable heat supply and demand. HT-ATES can contribute to the profitability of deep geothermal systems (~>1500 m) by storing thermal energy extracted from high temperature water produced from deep reservoirs in shallow aquifers during summer, and produce the stored heat in winter. Such a system already exists in Middenmeer (Dinkelman et al., 2022), and more are planned in Delft and Utrecht. As such, HT-ATES may play an important role in the energy transition.

In comparison to LT-ATES, HT-ATES introduces additional challenges which are related to buoyancy effects caused by the higher temperature of the stored water (60–90 °C). Consequently, the geological requirements for HT-ATES differ from those of low-temperature systems. Crucial for the success of an HT-ATES project are lower vertical hydraulic conductivities and a confining clay top seal (and ideally also bottom seal), all aiming at preventing buoyance flow (Beernink et al., 2022; Dinkelman & van Bergen, 2022; Kleinlugtenbelt et al., 2023)

From a subsurface point of view, three constraints must be met:

- a sand layer with sufficient permeability, thickness and continuity
- a sealing impermeable or low permeability layer on top of the sand to prevent the stored (low density) hot water from migrating to shallower layers
- a sealing impermeable or low permeability layer below the sand to prevent the accidental production of cooler water from below the hot water storage.

Further, the depth should be moderate, to reduce drilling costs, and the reservoir should have saline formation water.

ThermoGIS-HT-ATES is an in-house tool developed by TNO (Vrijlandt et al., 2019, 2020) that calculates the potential for a typical thermal energy storage setup. Using maps of depth, thickness, temperature and flow properties it calculates achievable flow rates and energy storage capacities (geothermal power and efficiency).

The calculation requires knowledge of the subsurface characteristics. In the Netherlands, exploration for HT-ATES currently focuses on the Oosterhout and Maassluis formations and the Breda Formation (Figure 1-1). These three units are of shallow marine origin and mostly consist of unconsolidated sand and clay. Appendix F provides a more detailed description of the lithological composition and depositional environment. These units are generally located deeper (see Figure 1-3) than those well-known from groundwater production and LT-ATES², but shallower than the

² The burial depth of these units increases in a north-western direction (Figure 1-3). Therefore, there is a higher possibility that the units contain fresh water towards the east and south, which has implications for their applicability as HT-ATES reservoir.

target reservoirs for the oil & gas and geothermal energy production (generally > ~1000 m). Therefore, aquifers in this medium-deep interval are less well known, and due to the lower number of available well data in this depth interval, large-scale regional or national geological models often lack sufficient property data. Local scale models can be created using additional, site-specific information to calculate more detailed estimates of energy storage capacity using ThermoGIS-HT-ATES. This will be done in this report for the area The Hague – Rijswijk.

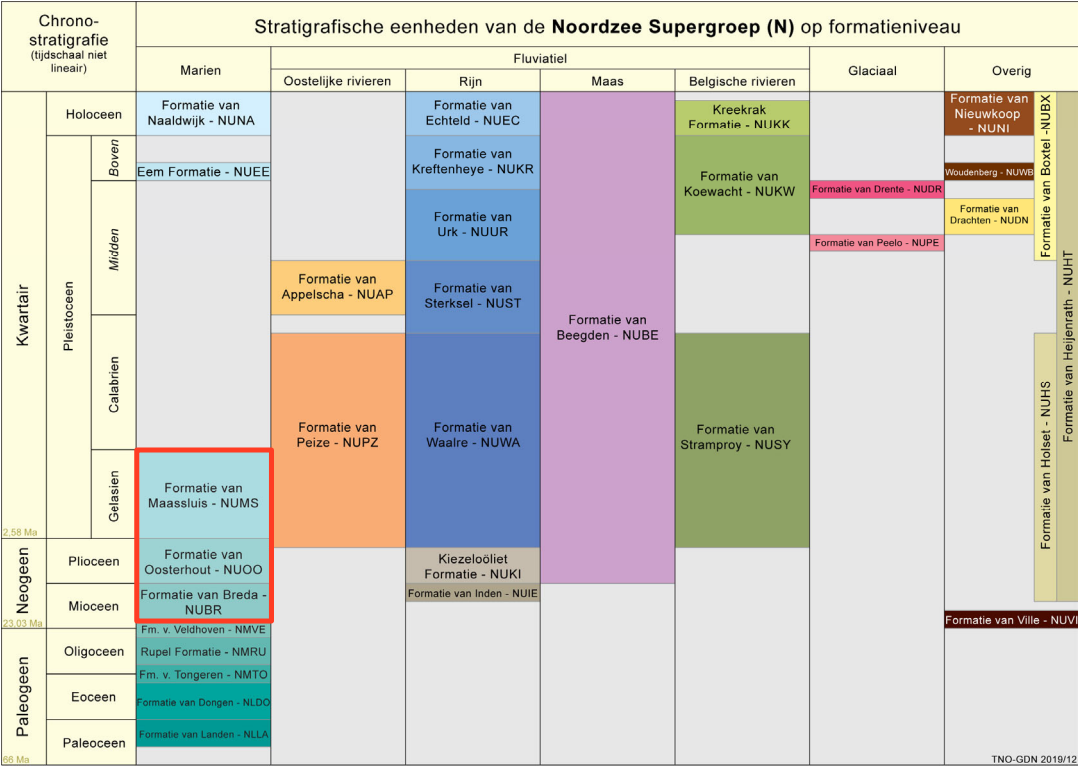


Figure 1-1 Nomenclature of deposits of Paleogene, Neogene and Quaternary age in the Netherlands. Breda, Oosterhout and Maassluis outlined in red. From www.dinoloket.nl.

Breda Formation or Breda Subgroup?

The Stratigraphic Nomenclator of the Dutch Subsurface currently states that the Breda Formation contains nine Members. (Munsterman et al., 2019) and (Siebels et al., 2024) have proposed that the Breda Formation should be redefined towards the Breda Subgroup, which will consist of the lower Groote Heide and upper Diessen formations. The Groote Heide Formation comprises sediments between the Early (EMU) and Middle (MMU) Miocene Unconformities, and the Diessen Formation between the Middle and Late (LMU) Miocene Unconformities. Mapping of the new formations is ongoing (Altenburg & van Unen, 2025), but the Breda Subgroup has not yet formally replaced the Breda Formation. Therefore, this report will refer to the Breda Formation.

Figure 1-3 shows the top depth of the Oosterhout and Maassluis formations according to the regional models. In the The Hague – Rijswijk area the top depth of the Maassluis Formation is between 100 and 150 m, and between 200 and 300 m for the Oosterhout Formation. Both have a thickness around 150 m (Figure 1-4), which could make them an attractive target for HT-ATES. Below the Oosterhout Formation, the sediments belonging to the Breda Formation are found. Although this unit is prospective for HT-ATES in other parts of the Netherlands, the current view, based on the national geo-hydrological model REGIS, is that it is thin and mostly consists of clay in the study area. While the REGIS depth and thickness maps are based on the interpretation of

abundant well data where the layers are buried at relatively shallow depth ($\sim <100$ m), the interpretation of presence, depth and continuity is challenging where the burial depth is deeper and therefore based on sparse well data, such as is the case in the study area (the correlation of connected sand bodies is hampered when well distance is larger, and when the depth of the layers strongly varies laterally). Similarly, the REGIS mapping of flow properties is based on mostly shallow wells, and the results may not be directly applicable to distant and/or deeper buried parts of the units.

'Sparsely' or 'densely' drilled?

In the The Hague area thousands of wells were drilled, but the majority does not reach the depth of the layers that are of interest for HT-ATES. The histogram below shows the end depths. More than 10,000 wells reached a depth of 25 meters or less, but only 79 reached 100 meters or more. Therefore the area can be considered 'densely drilled' for very shallow depth, but 'sparsely drilled' for depths of 100s of meters.

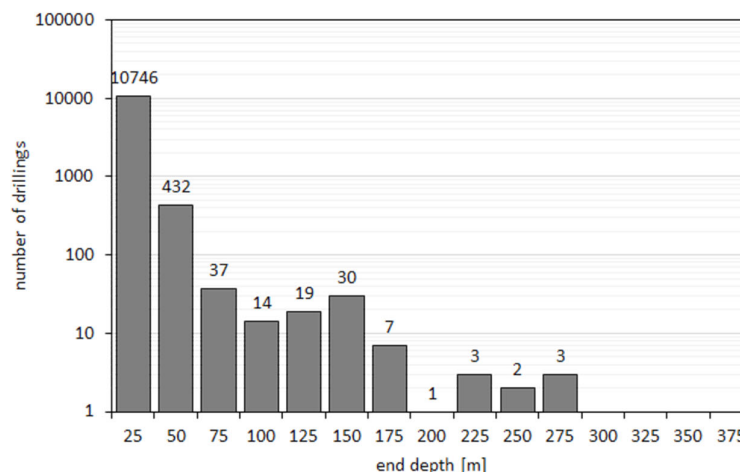


Figure 1-2 End depths of the DINOLOket³ shallow wells drilled in the study area to a maximum depth of 300 meters. Oil and gas wells ignored, note the logarithmic y-scale.

The goal of this study is to improve the mapping of the depth, thickness and flow properties of the Oosterhout and Maassluis formations in the The Hague – Rijswijk area and, based on these results, to estimate the HT-ATES potential. To improve the depth and thickness mapping, it will be attempted to use seismic data, which is available on NLOG.nl⁴ for this area. Seismic information has so far not been used for the depth and thickness mapping of the formations under consideration. It is not clear if the quality of the seismic is sufficient for this task. For the mapping of the properties, not only 'shallow' wells will be used, but also petrophysical logs from 'deep' wells and seismic data.

The research questions this study should answer are threefold:

- Can seismic interpretation help to improve the understanding of the internal geometry of the Oosterhout and Maassluis formations?
- Can the view on the spatial distribution of lithologies within the Oosterhout and Maassluis formations based on currently available subsurface models be improved by means of a combined interpretation of seismic and well data?

³ DINOLOket is the national repository for shallow subsurface data: <https://www.dinoloket.nl/en/subsurface-data>

⁴ The Dutch oil and gas portal which provides information on the deep subsurface: <https://www.nlog.nl/en/seismic-data>

- What is the technical HT-ATES potential (storage capacity, geothermal power, achievable flow rate, recovery rate) of the Oosterhout and Maassluis formations in the area The Hague - Rijswijk?

The well data were interpreted in a parallel project by Witteveen + Bos (see Appendix A). They performed the following analyses:

- Petrophysical analysis of a selection of deep wells in the greater The Hague area for both the Oosterhout and Maassluis formations.
- An analysis of the permeability from well tests of LT-ATES systems in The Hague. These systems are only installed in the Maassluis Formation.

The work described in this report is part of the Warming^{UP}GOO project. Warming^{UP}GOO aims at accelerating the implementation of HT-ATES and shallow geothermal via improving the characterization of the shallow depth domain at both regional and national scale, via the development of HT-ATES pilots and improving efficiency of geothermal systems.

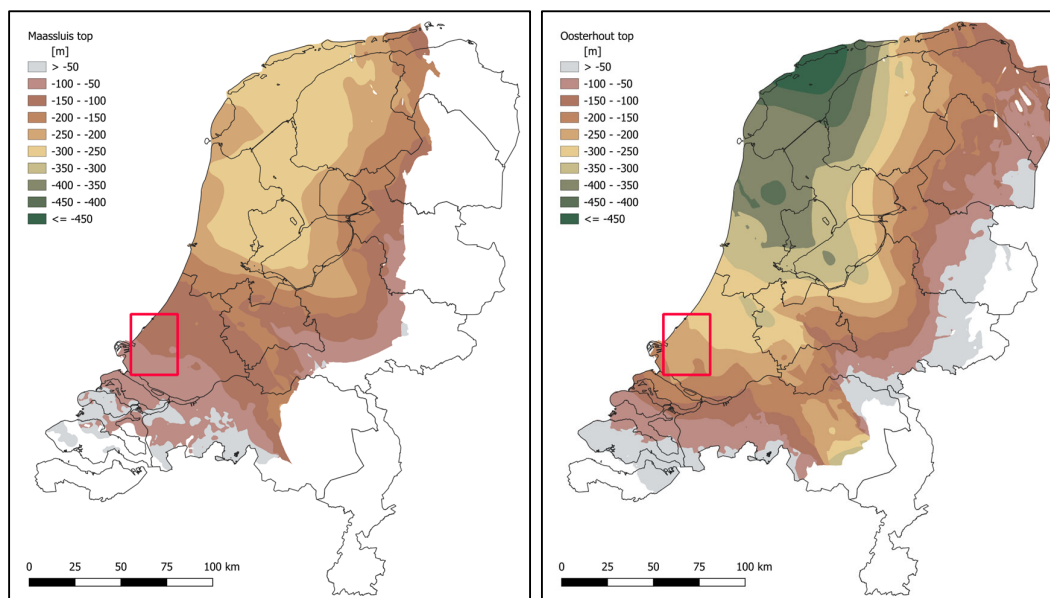


Figure 1-3 Top depth of the Maassluis (left) and Oosterhout (right) Formations. Study area outlined in red.
Source: (TNO – GDN, 2025a)

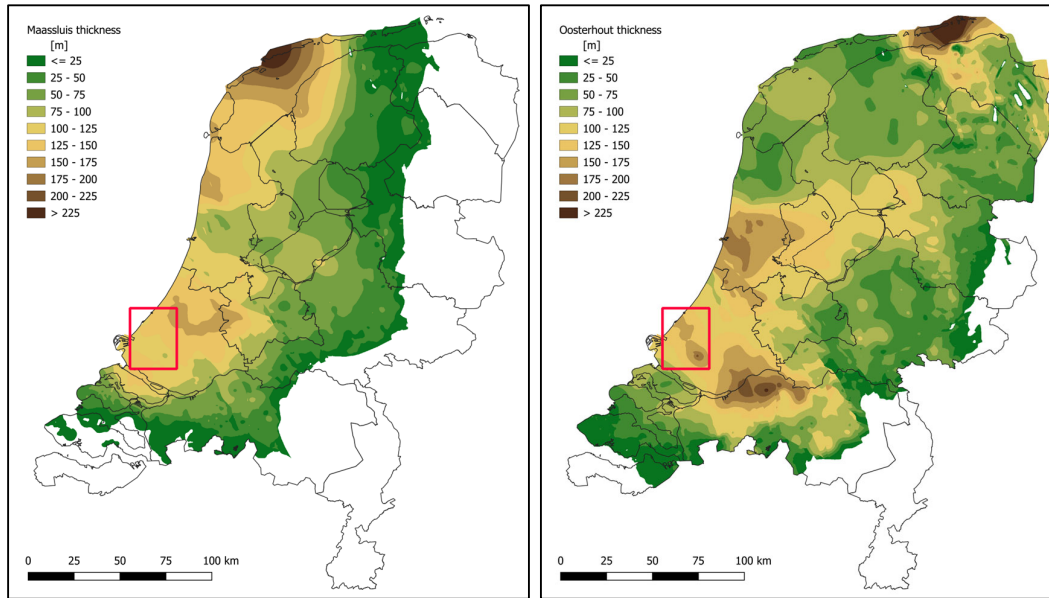


Figure 1-4 Thickness of the Maassluis (left) and Oosterhout (right) Formations. Study area outlined in red.
Source: (TNO – GDN, 2025a)

2 Data

For the analysis both well- and 3D seismic data were used. Figure 2-1 shows a location map. While 3D has a superior lateral coverage, well designed 2D data can have a higher fold in the shallow subsurface. However, the 2D data in this area is quite old and was not acquired and/or processed for the shallow subsurface.

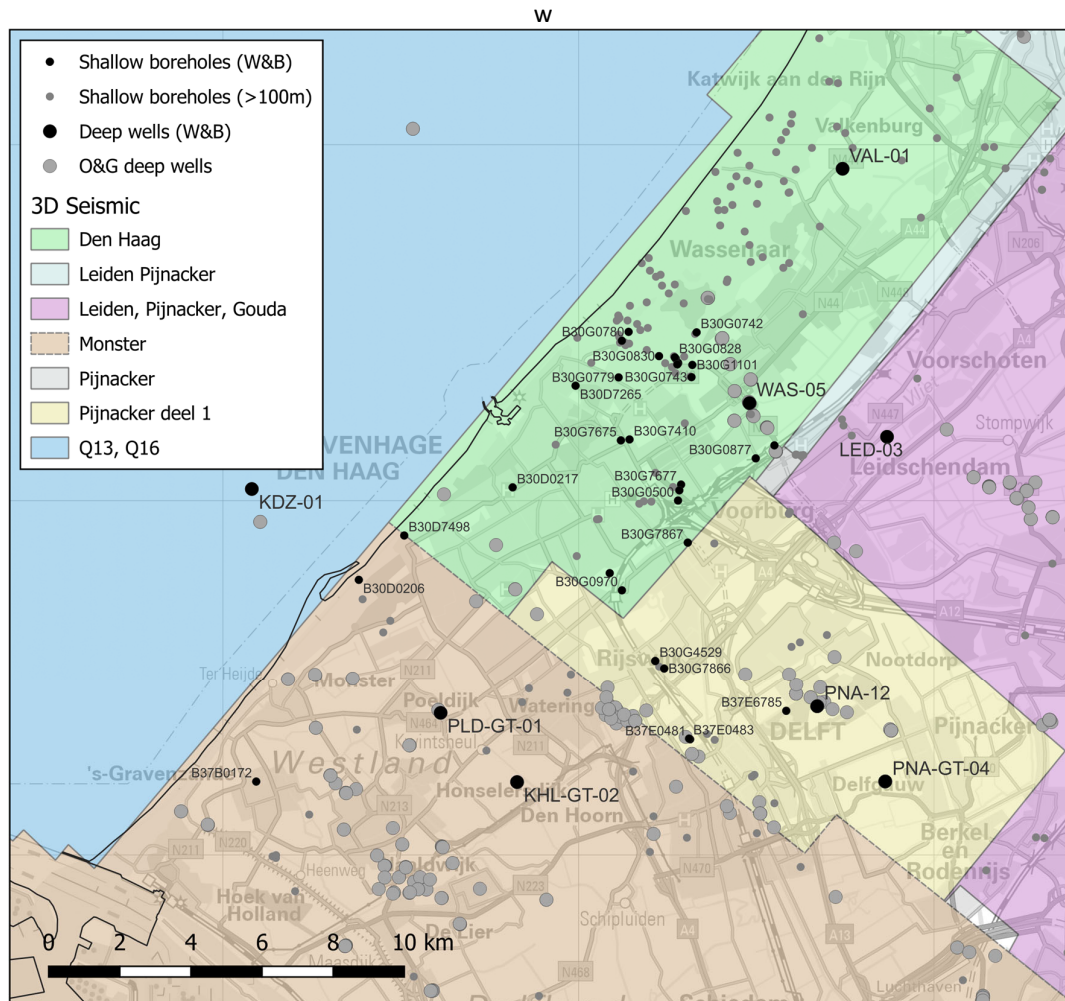


Figure 2-1 Data availability in the study area based on data from NLOG and DINOloket⁵. Wells shown as black dots were used in the analysis by Witteveen + Bos (Appendix A). Locations for additional LT-ATES wells obtained from the Omgevingsdienst Haaglanden (not available on the DINOloket) are shown in Figure 2-2. Appendix B contains a full listing of all shallow wells used.

2.1 Well data

In this report well data are referred to as either 'shallow' or 'deep'. This does not only refer to the drilled depth, but also to the type of data collected. Importantly, a mix of data types and standards

⁵ www.dinoloket.nl: this website makes the data available from TNO's DINO repository and BRO (Subsurface Key Register).

is currently available. This resembles techniques developing over a multi-decade period with protocols often specific to the aim of drilling.

2.1.1 Types of well data

2.1.1.1 Shallow wells

The data of 'shallow' wells comprise a description of the lithology of the layers that were drilled ('cuttings'), mostly with a vertical resolution between one and several meters. Per depth interval the main lithology is described (e.g. sand, clay, peat, etc.) as well as numerous attributes (e.g., grain size, rounding and angularity, colour, additional components like peat, shells, glauconite, calcium carbonate, etc.), etc. In only a small subset of the 'shallow' wells geophysical logs were acquired. If they are logged, the collected logs usually include (spectral) gamma ray ((S)GR), induction, resistivity and/or conductivity, with a vertical resolution of 25 cm or 1 foot. The end depth of most shallow wells is less than 200 m, with very few reaching depths exceeding 300 m (Figure 1-2). This means that the number of shallow wells that fully penetrated the Oosterhout Formation in the study area is limited. The data from many 'shallow' wells is made available on the DINOluket website. This type of wells is recognized by the name ('NITG_NR') B[map sheet number][rank order], e.g. B30G0935.

In the city of The Hague, many 'shallow' wells for low temperature aquifer thermal energy storage (LT-ATES, Dutch: *warmte-koudeopslag* or WKO) systems were drilled for heat storage with a temperature < 25°C. (IF Technology & EBN, 2023). Many of these reach into the Maassluis Formation and have detailed lithological descriptions. In addition, production tests are commonly available for these wells, which were performed as part of the permitting process. Occasionally geophysical well logs are available for these wells. However, the descriptions of these wells are not commonly available in the national databases. The production tests are never available in these databases. In a previous project, Witteveen + Bos have collected this information from the competent authority (Omgevingsdienst Haaglanden) on behalf of the municipalities of The Hague and Rijswijk (van der Voet et al., 2023).

2.1.1.2 Deep wells

'Deep' or ('Mining Law') wells are wells that are mostly drilled by the oil and gas, salt production and geothermal energy industry. In contrast to shallow wells, cuttings are rarely described. The data of 'deep' wells usually mostly comprise a collection of geophysical logs. For old wells (1950s, 1960s and 1970s) they usually include spontaneous potential, resistivity and/or conductivity. More recent wells often have gamma ray, sonic velocity, density, image, and/or hole condition (caliper) logs with a vertical resolution similar as for shallow wells. Descriptions of the lithology based on cuttings are seldom available in a structured way, or only as generalized descriptions over larger intervals (5-10 m or more). Rock cores with lengths up to tens of meters are sometimes obtained from the borehole. The end depths are usually between 500 and 3000 meters (drillings deeper than 500 meters are subject to the Mining Law). Because the targets of those wells are usually deeply buried rock layers, data acquisition of the shallowest hundreds of meters is often absent or of poor quality. The data from 'deep' wells is available from the national repository NLOG.nl. Deep onshore wells are named after their location, e.g. RWK-04 (4th well drilled in Rijswijk).

2.1.2 Well data used in this study

The information required for an interpretation of the production test was insufficient or incomplete for many of the LT-ATES wells for which the data was collected by (van der Voet et al.,

2023). The production tests could be interpreted for 16 wells distributed over nine locations. Appendix A provides details. Figure 2-2 shows the locations.

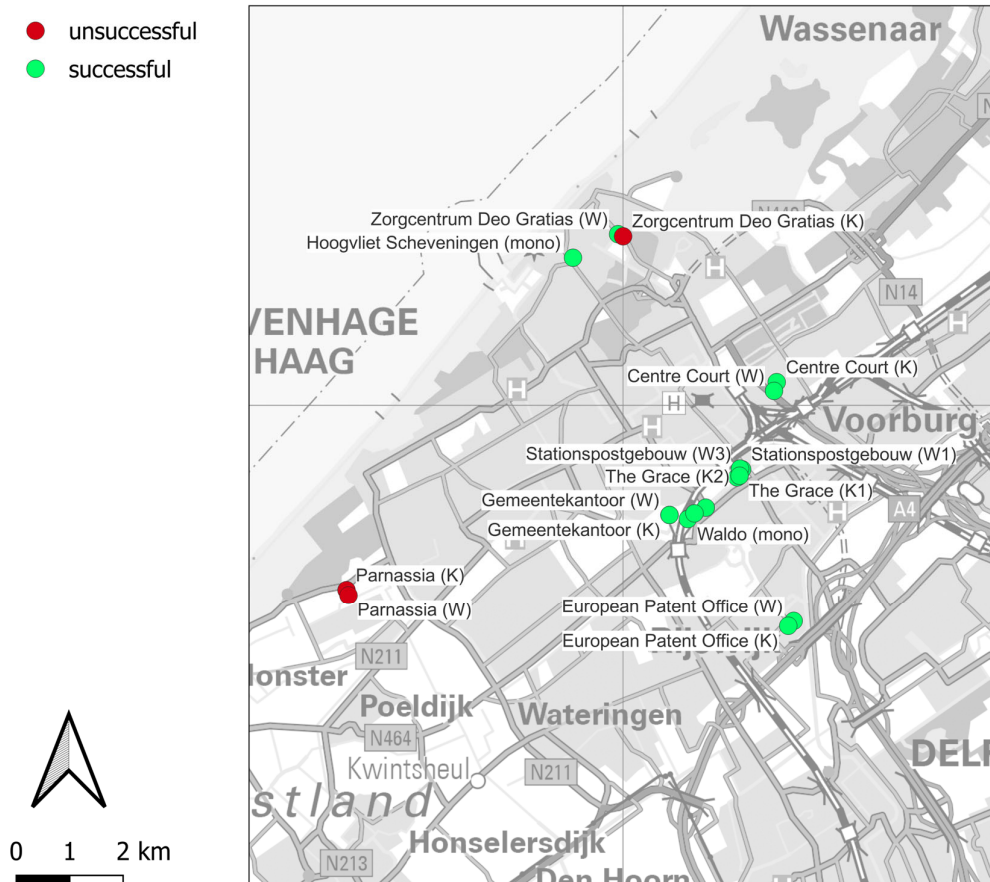


Figure 2-2 Locations of the 16 LT-ATES wells, mostly not on DINOloket, for which production test data were available (details in Appendix A). A subset of 13 wells was interpreted successfully. The well test data of the other wells could not be interpreted.

Note that some wells or LT-ATES-facilities are sometimes referred to using different names (pre- or post drill) in the available documentation (i.e., drilling reports, license applications), or according to administrative issues (storage with the Provincial authorities or TNO-GDN DINOloket). Appendix B provides a full list of all shallow wells used in this study. It was noted that The Grace has been referred to as Haagse Hogeschool K1-3, and Stationspostgebouw W2-3 as Haagse Hogeschool W2-3.

The petrophysical analysis (Appendix A) was performed on the selection of wells listed in Table 2-1. The selection was based on availability and quality of the well logs.

For other analyses done in this report, the well selections listed above were extended with wells that are (1) deep enough to reach the Oosterhout Formation, (2) have at least a gamma ray log, but (3) were considered unusable for petrophysical analysis because of a lack of useful well logs (e.g. sonic and/or density).

Recently, the deep geothermal wells DEL-GT-01 and DEL-GT-02, and the shallow (500m) observation well DAPGEO-02 were drilled in Delft. Data collected in these wells became available only during the current project, and some of the data is still not public. Because of this, and

because the wells are located to the southeast of the The Hague study area, the wells were not used.

Table 2-1 Deep wells on which a petrophysical analysis was done (methods and results in Appendix A; locations in Figure 2-1).

#	well name	location
1	B30D0206 (shallow)	Kijkduin
2	B30G4529 (Shell test hole, shallow)	Rijswijk
3	KDZ-01	Kijkduin Zee
4	KHL-GT-02	Kwintsheul
5	LED-03	Leidschendam
6	PLD-GT-01	Poeldijk
7	PNA-12	Pijnacker
8	PNA-GT-04	Pijnacker
9	VAL-01	Valkenburg
10	WAS-05	Wassenaar

2.2 DGM and REGIS models

The national Digital Geological Model (TNO – GDN, 2025a) consists of depth and thickness maps of all lithostratigraphic formations of (mostly) the Upper North Sea Group, which are of Neogene and Quaternary age (last 23 million years, >30 units). The maps are generated from a large set of shallow wells in which the depths of the mapped litho-stratigraphic units were identified by interpolation (which contrasts with the DGM-*Deep* model (TNO – GDN, 2019) which is largely based on seismic interpretation).

REGIS v2.2.1 is the Regional Geohydrological Information System (TNO – GDN, 2025b). It is based on the DGM geometry. Within each DGM-unit, aquifers (flow units, labelled 'z'), aquitards (non-flow units, labelled 'k') and complex units ('c') were defined, based on interpretations of shallow wells (see Figure 2-3 for data density). Figure 2-4 shows a SW-NE cross section over the area that suggests sand layers of considerable thickness in both the Oosterhout (30-50m) and Maassluis (up to 60m) formations (see the Nomenclature section of the DINoloket website for more information⁶). In this SW-NE direction, the layering is mostly sub-horizontal. All layers in the Oosterhout and Maassluis formations continue over the full length of the cross section, but the thickness may vary considerably. In the Oosterhout Formation, a single aquifer (OOz1, the uppermost sand unit) separates the aquitard OOk1 and the complex layer OOc. In the Maassluis Formation, four aquifers MSz1 – z4 are separated by the aquitards MSk1, MSk2 and MSc⁷. The cross section suggests that sand layers occur in both the Oosterhout and Maassluis formations.

It should be noted that both DGM and REGIS are regional to national scale models (equivalent scale 1 : 100,000), and that therefore their applicability on a local scale is limited.

Both formations are described in the Nomenclator found on the DINoloket website. The sediments of both the Oosterhout and Maassluis formations were deposited in a shallow marine environment (Oosterhout Formation: 'shallow-marine (shelf and shoreface; clay with tempestites), estuarine, deltaic, beach and nearshore', and the Maassluis Formation: 'shallow marine near-coastal'. The lithology of the Oosterhout Formation is described as 'light grey to greyish green very fine to

⁶ <https://www.dinoloket.nl/en/stratigraphic-nomenclature>.

⁷ According to the Nomenclature, the official coding of the DGM / REGIS units was recently changed to include the Group code: Breda (BA) became NUBA, Oosterhout (OO) NUOO and Maassluis (MS) NUMS. In this report, the old convention is still used.

medium sand, locally clayey, glauconitic, with shells. At the top, dark grey to greyish brown clay, silty or sandy'. For the Maassluis Formation, the description includes 'grey very fine to medium sand, usually micaceous and calcareous, shelly, slightly glauconitic. Intercalated light to dark grey clay, commonly silty or sandy, micaceous and calcareous with marine shells'.

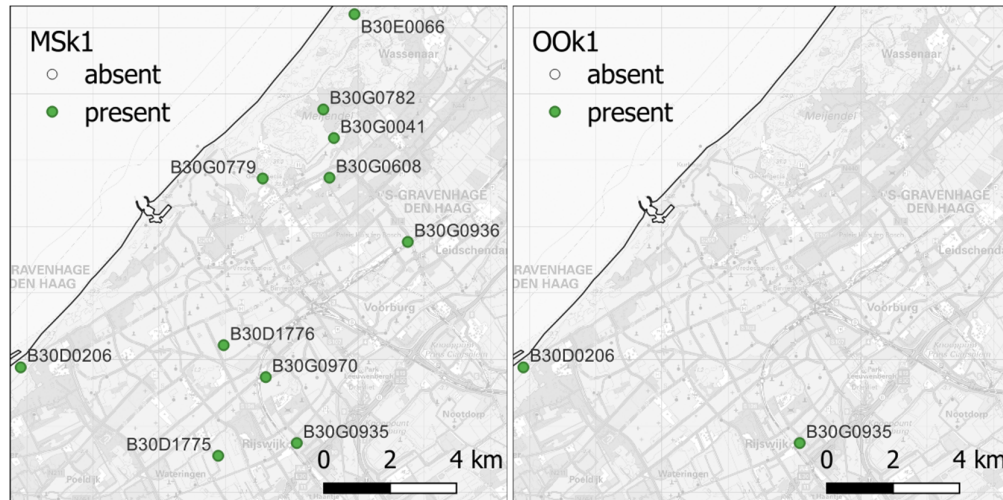


Figure 2-3 REGIS well coverage for the MSk1 (left) and OOk1 (right). Note that both units were not found absent in any wells in the area that drilled the entire MS and/or OO.

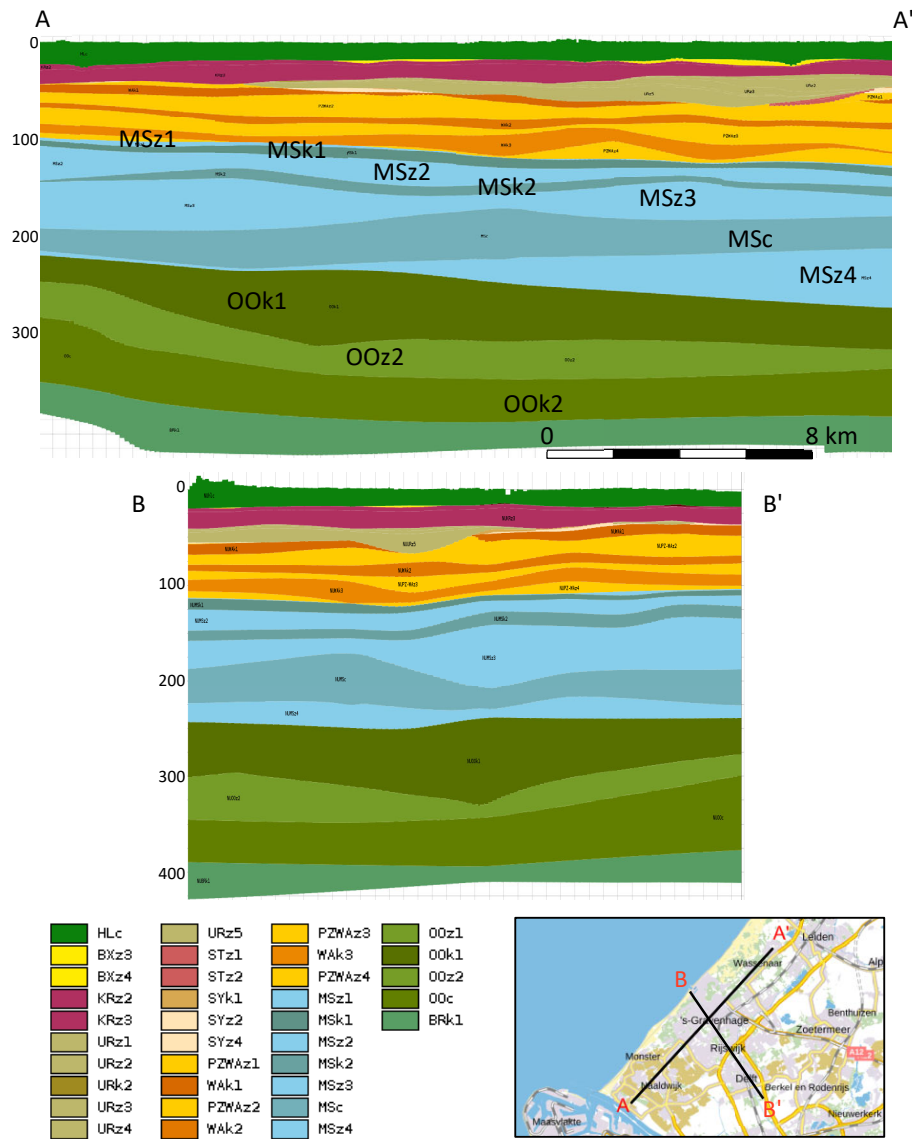


Figure 2-4 REGIS SW-NE (top) and NW-SE cross sections. Oosterhout Formation in green, Maassluis Formation in blue. Darker shades indicate clayey layers, lighter shades sandy ones. The Oosterhout and Maassluis sandy layers are labelled.

2.3 Seismic data

The area is fully covered by 3D seismic. Multiple, partly overlapping surveys are available (Table 2-2, Figure 2-1). A version of the Monster seismic survey was available which had been reprocessed with a focus on the North Sea Group layers (Paap, 2023). The time-depth conversion had also been optimized for this depth interval. All other surveys were obtained directly from NLOG in the time domain and were converted to depth using the Velmod 3.1 velocity model in combination with DGM v5, with an additional V_0 surface for the Upper North Sea Group ((Pluymaekers et al., 2017)). This means that the positioning in depth of the seismic reflectors is better than with the standard Velmod 3.1 model, but due to the lack of knowledge on the spatial distribution of the different lithologies within this unit (and therefore the seismic velocities), discrepancies between the depth-converted seismic and the shallow wells will still occur. The onshore surveys, except for Monster, are all noisy in the Upper North Sea Group because the most recent processings were focused on

deeper layers. Using the Monster cube as a starting point, all interpretations could be followed onto the other onshore surveys.

Table 2-2 Seismic surveys in the study area.

survey name	location	remark
L3NAM1991A	Den Haag	onshore poor quality, offshore better
L3NAM1989J	Leiden + Pijnacker	poor quality in depth domain <300 msec
L3NAM1989K	Leiden, Pijnacker, Gouda	poor quality in depth domain <300 msec
L3NAM1990C	Monster	high quality
L3NAM1985R	Pijnacker	poor quality in depth domain <300 msec
L3NAM1985P	Pijnacker part 1	poor quality in depth domain <300 msec
L3NAM2016CR	Monster	reprocessing of L3NAM1990C
Z3NAM199D	Q13, Q16	offshore

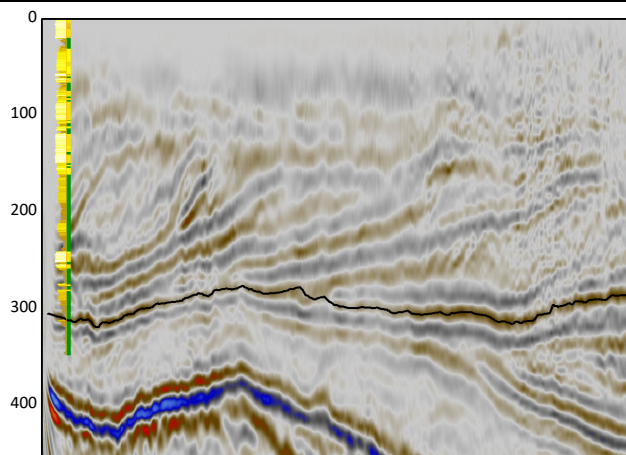


Figure 2-5 Example seismic depth section over the Monster cube L3NAM1990C. On the left is well B30D0206 near Kijkduin. Polarity: increase in impedance represented by a trough (SEG negative value), red = positive, blue = negative. Location and orientation same as B-B' in Figure 2-4. Base Oosterhout in black.

2.4 Clinoforms

Figure 2-6 shows an generalized overview of marine clinoform systems. Shown is a schematized transect from mountains via the shoreline to the continental shelf and farther towards the ocean floor. Sediment eroded from mountains (source) reaches the coast through rivers and collects on the shelf (sink). In case the amount of supplied sediment exceeds the space on the shelf, the shelf edge will migrate farther away from the shoreline. In this system, clinoforms are inclined layers that represent timelines of the paleo-seafloor. Clinoforms are not necessarily homogeneous lithological units. This is an important observation because they play a role in determining the direction of fluid flow, and the prediction of the occurrence of sand vs. clay (Figure 2-7)

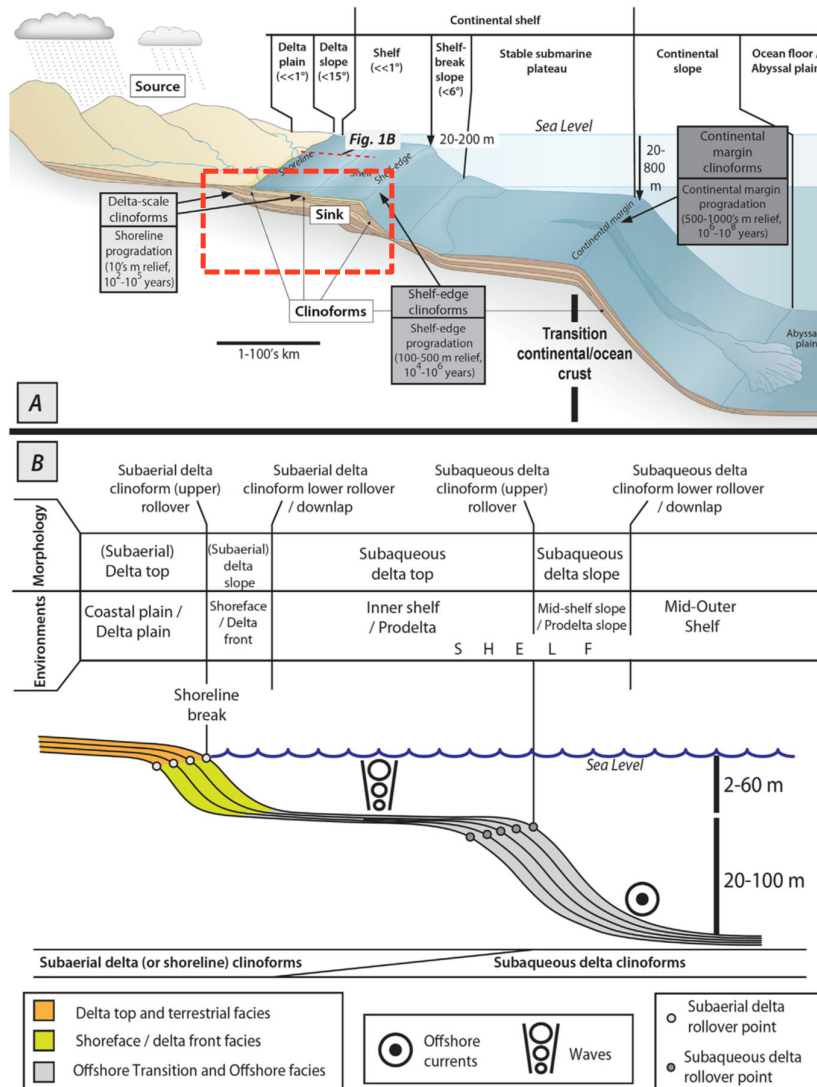


Figure 2-6 Idealized clinoform systems in varying scales and sedimentary settings (shallow – deep). Source: (Patruno & Helland-Hansen, 2018) . Potential Oosterhout equivalents are outlined in red.

The lithostratigraphic correlation shown in Figure 2-7 (upper part) demonstrates how layers in two wells can be correlated based on similarities in lithological succession. Both wells show, in the gamma ray log, three sandy layers, separated by clay layers. The correlations are usually dominantly horizontal.

The chronostratigraphic correlation in the same figure (lower part) shows how the layers are connected in a clinoform setting like the Oosterhout Formation in the The Hague study area. Sandy layers at approximately the same depth in both wells, at relatively small horizontal separation, belong to different flow units. Clinoform surfaces are time lines.

The lateral continuity along a clinoform can be high albeit at different depths. In a direction perpendicular to the figure (along the paleo-coastline) the continuity may also be longer at the same depth. The chronostratigraphic interpretation further shows that, within the clinoforms, relatively more sand may be expected near the top ('coarsening-up'). If the clinoforms prograde (i.e., extend horizontally rather than vertically) the top of the joint clinoforms will be dominantly sandy, resulting in the sandy parts of different clinoforms being connected horizontally. Of course,

the actual net-to-gross and sand connectivity will depend on the composition of the available sediment during deposition.

In the example shown, a complete clinoform succession consists of shale at the bottom, heterolithics (a mixture of sand and clay) in the middle and sandstone at the top. Due to the way the clinoforms form, and are stacked on top of each other, a well may not always encounter the entire succession. This is demonstrated by Well 2, where from top to bottom, only sand and heterolithics were interpreted for the uppermost two clinoforms (5-6), the entire succession in (4), heterolithics and shale in (3), and shale in (2).

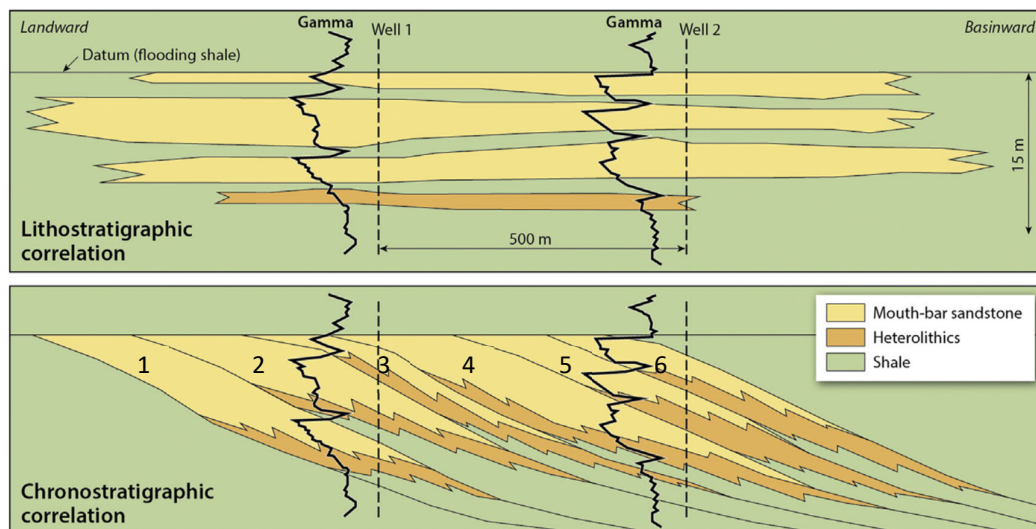


Figure 2-7 Differences in potential fluid flow direction (assumed along sand bodies) for different correlation assumptions. Source: (Patrino & Helland-Hansen, 2018), after (Ainsworth et al., 1999) and (Gani & Bhattacharya, 2005). REGIS follows a lithostratigraphic correlation model. on seismic data a chronostratigraphic correlation scheme applies.

2.5 Fluid, temperature and system properties

Fluid and temperature properties required for calculating the HT-ATES potential were obtained from various sources:

- The groundwater salinity was derived from a study by (Deltares, 2021), which shows an LHM 4.1 salinity cross section between The Hague, Delfland and Capelle aan den IJssel (Figure 2-8). At the depth of the Maassluis Formation (~200 meter) the salinity varies from more than 15 g/l near the coastline to less than 5 towards Capelle aan den IJssel. A 7.5 g/l chloride content was taken as a representative salinity for the study area. This is equal to 13.5 g/l.
- Nearby wells show that the temperature gradient is close to 20 °C/km with a surface temperature of 10 °C (Figure 2-9, Table 2-3). At the mid aquifer depth of approximately 190 m + 50/2 meter (average top depth + half thickness), this results in a temperature of 14.3 °C.
- Input data relating to the aboveground system is, among others, the storage temperatures in the hot and cold well, the cut-off temperature, the flow profile and economic input. A scenario was run with an injection temperature in the hot well of 80 °C, and 40 °C in the lukewarm well, with a cut-off temperature of 45 °C. The loading and unloading periods are 150 days each.

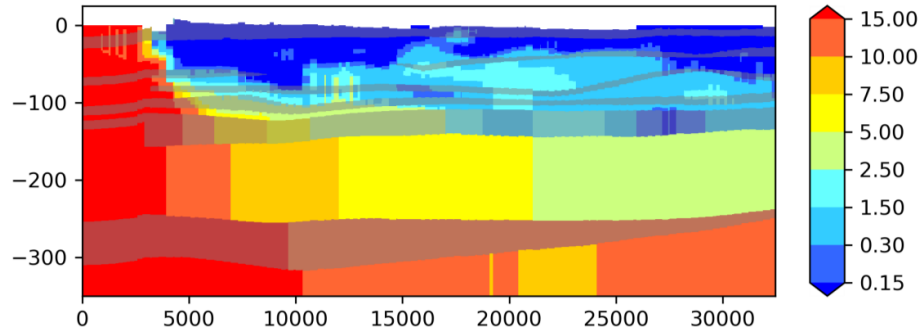


Figure 2-8 Cross section The Hague – Capelle aan den IJssel showing modelled salinity (Chloride, g/l). From (Deltares, 2021)

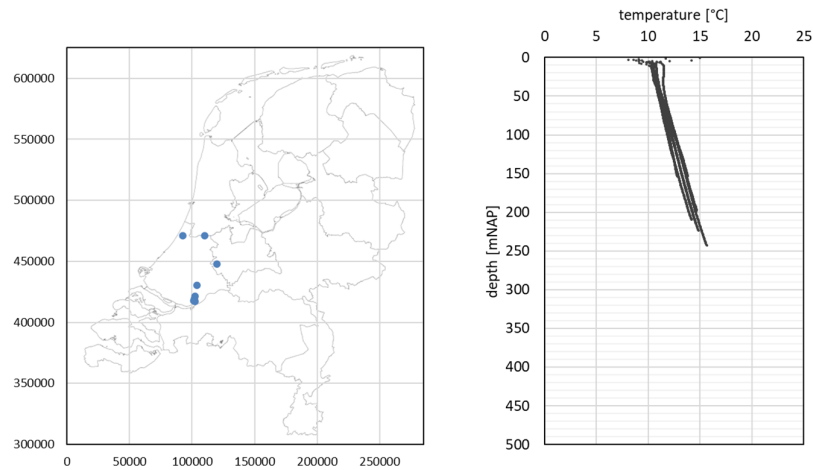


Figure 2-9 Well locations for temperature logs and temperature-depth profile.

Table 2-3 Well locations for temperature logs shown in Figure 2-9.

Well	Location	X_RD	Y_RD
B31B0111	Aalsmeer	110052	471017
B44A0316	's-Gravendeel	101870	419100
B44A0334	's-Gravendeel	102263	416965
B44A0332	's-Gravendeel	101520	417930
B44A0310	's-Gravendeel	102139	421473
B38C0393	Hendrik-Ido-Ambacht	103719	430441
B38B0142	Oudewater	119852	447616
B30F0422	Voorhout	92349	471203

2.6 Prior view on the prospectivity of the Oosterhout and Maassluis formations based on available data

A first order impression of the potential suitability of the Oosterhout and Maassluis formations in the study area for ATEs can be obtained by assessing the data of 51 shallow wells (total depth at least 100 m) extracted from the DINO database. Eighteen wells found the Maassluis Formation (10 fully penetrated), five the Oosterhout Formation (two fully penetrated). Table 2-4 shows the results. Based on the cuttings descriptions, the Maassluis Formation is dominantly sandy (75%, or 80% when only wells are considered that fully drilled the formation), while the Oosterhout Formation is dominantly clayey (9% sand).

Table 2-4 Drilled lithologies in the Oosterhout and Maassluis formations in the target area. Between brackets the values for only the wells that fully penetrated the formation are listed.

	Maassluis		Oosterhout	
	m.	%	m.	%
clay	254 (67)	17 (11)	416 (292)	84 (91)
loam	85 (44)	6 (7)	32 (0)	6 (0)
shells	22 (17)	1 (3)	0 (0)	0 (0)
silt	1 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
peat	1 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
sand	1112 (503)	75 (80)	48 (30)	10 (9)
total	1475 (631)	100	496 (322)	100
N/G	75% (80%)		10% (9%)	

A simplified net-to-gross map for the entire Netherlands was calculated from the total REGIS clay and sand thicknesses, where complex layers were assumed to have a 50% net-to-gross (Figure 2-10). In accordance with the data shown in Table 2-4, the Maassluis Formation in the The Hague area has a high sand content and therefore net-to-gross, while the Oosterhout Formation has a low net-to-gross. For the latter, the net-to-gross is elevated (10-40%) in comparison to the well data (9%) due to the occurrence of the OOC complex layer. It must be noted that, because DGM and REGIS are based on well data, the net-to-gross prediction for the Oosterhout Formation in the study area is uncertain given the small number of wells that fully penetrated the Oosterhout Formation.

These simple analyses indicate that the Maassluis Formation is likely to be more prospective than the Oosterhout Formation if good sealing clay layers can be found. However, a sand layer of sufficient thickness in the Oosterhout could also be an interesting target. The latter requires a more detailed analysis of where the sandy lithologies are located. This is discussed in the next sections.

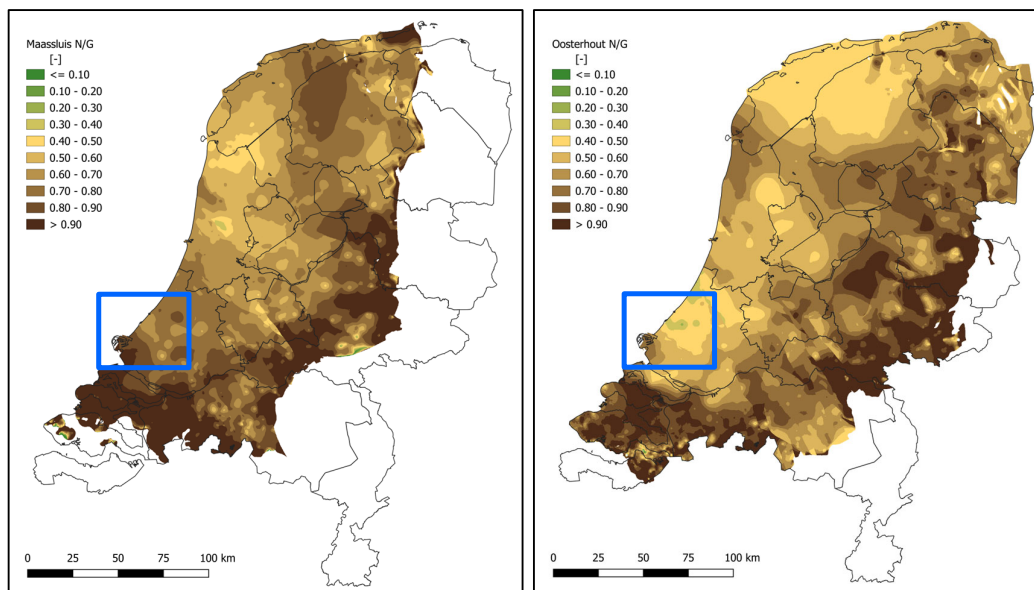


Figure 2-10 A simplified N/G map of the Maassluis (l) and Oosterhout (r) formations based on the thicknesses of the REGIS sandy (OOz*, MSz*) versus shaly (OOK*, MSk*) layers suggests that the storage potential is larger for the Maassluis Formation than for the Oosterhout Formation.

3 HT-ATES potential calculation method

The ThermoGIS HT-ATES / RoSIM tool, developed to calculate the HT-ATES potential for sandy layers in the shallow subsurface, uses depth, thickness and property maps to generate flow rate, power and recovery efficiency maps. It was used in this study to calculate the potential for the Maassluis Formation

Because of the lack of sufficient information about the extent, thickness and flow properties in the Oosterhout Formation flow units in the study area, in combination with the general seemingly low flow potential of the sandier layers, no potential was calculated.

3.1 Technical model

The ThermoGIS HT-ATES / RoSIM tool creates a simple 3D model from the input property maps on the fly (see section 3.4). A charging and discharging flow simulation (RoSIM), allowing conductive and convective heat flow, is then run. A yearly injection/production schedule is imposed, including charging temperature, a flow rate constraint, and a distance between the two wells based on a thermal radius estimation. For efficiency, only the first 15 years are modelled, assuming that the system is in steady state afterwards. The technical model (ThermoGIS-HT-ATES) then calculates the technical feasibility (power, energy, recovery efficiency) per grid cell.

3.2 Flowrate constraints

Sand production is a major concern when producing from and injecting into the shallow depths that HT-ATES targets. The flow rates are constrained to minimise the risks of sand production.

The maximum flow rate is calculated using four different standards, three from the LT-ATES and drinking water industry defined by the Dutch Association for Subsurface Energy Storage (NVOE) for extraction and injection (NVOE, 2006), and the Olsthoorn standard for injection pressure (Olsthoorn, 1982). These apply to (very) unconsolidated aquifers at a depth of <200 m. The NVOE standard must be corrected for higher temperatures when using for HT-ATES. This is because the viscosity, and therefore the flow rate, of the water decreases with higher temperatures (IF Technology, 2012). The fourth protocol, for maximum injection pressure, is a standard that is used for the (deep) geothermal energy sector and generally applies to consolidated rocks at depths of 1500-3000 m (Staatstoezicht op de Mijnen & TNO-AGE, 2013)

None of the four standards is specifically designed for the depth interval and expected lithology at which HT-ATES systems typically operate: around 200-500 m depth and in (semi)-unconsolidated aquifers. Especially the NVOE extraction norm is overly restrictive. Therefore, a depth correction factor has been added, which is estimated from experience in existing HT-ATES wells. This factor allows higher flow rates at larger depth, based on the expected higher compaction. Due to a lack of definition within the regulatory framework for the maximum flow rate in ThermoGIS-HT-ATES, all four existing flow rate standards are calculated for each grid cell. The lowest (most conservative) value is then used as maximum.

The four flow rate criteria are defined as follows:

1. NVOE injection norm:

$$Q_{\max} = 1000 \left(576 \frac{\rho_f \cdot g}{\mu} k \right)^{0.6} \sqrt{\frac{v_v}{2 \cdot \text{MFI} \cdot U_{\text{eq}}}} 2\pi r_{\text{well}} H$$

2. NVOE extraction norm (IF Technology, 2012; NVOE, 2006):

$$Q_{\max} = 7200 \frac{\rho_f \cdot g}{\mu} k 2\pi r_{\text{well}} H * \text{depth factor}$$

3. Olsthoorn maximum injection pressure (Olsthoorn, 1982):

$$P_{\max} = 0.2 * z$$

$$Q_{\max} = \text{calculated with DC1D (L = 150m)}$$

4. SodM maximum injection pressure (Staatstoezicht op de Mijnen & TNO-AGE, 2013):

$$P_{\max} = (0.135 - i) * z$$

$$Q_{\max} = \text{calculated with DC1D (L = 150m)}$$

With:

$Q_{\max}$	max. flow rate (m ³ /h)
ρ_f	density of fluid (kg/m ³)
g	gravitational force (9.81 m/s ²)
μ	viscosity of fluid (Pa·s)
k	permeability (m ²)
r_{well}	well radius (m)
H	filter length (m)
v_v	specific clogging velocity (m/y)
MFI	measured Membrane Filter Index ⁸ (s/l ²)
U_{eq}	equivalent full load hours per year (h/y)
z	depth top of the filter (m)
L	well distance (m)
i	hydraulic gradient of injection water (bar/m)
DC1D	DoubletCalc1D (www.nlog.nl/tools)

The current standards for flow rate calculation represent the best available practical methodology. When new insights and findings from ongoing research, such as in the ACCEL-UTES, Nieuwe Warmte Nu 3V HTO⁹ and Warming^{UP}GOO projects, become available, the calculation methods may be revised and updated accordingly to reflect the latest scientific developments.

3.3 Wells and well distance

The default well configuration is a doublet with vertical wells. The optimal distance between the two wells at aquifer level was calculated for each aquifer and horizontal location. This is done using the thermal radius of the stored water volume. The stored water volume is calculated using the maximum allowed and achievable flow rate and the imposed loading scheme (number of loading

⁸ For more information on the MFI parameter, see (Buik & Willemsen, 2020)

⁹ See <https://nwn.nu/projecten/innovaties/3v-hto-voorkomen-van-verstopping-bij-hto/>

days) as specified by the user. The thermal radius is calculated in advance from (Doughty et al., 1982). A fixed well spacing of twice the thermal radius (Beernink et al., 2020) was used. The assumed internal diameter of the casing between surface and aquifer is 800 mm (31"). The reservoir section is an open hole with the same diameter.

3.4 3D simulation in ROSIM-DoubletCalc3D

For the power and flow rate calculations, the publicly available thermal flow simulator ROSIM-DoubletCalc3D is used. ROSIM-DoubletCalc3D¹⁰ is a reservoir simulator developed by TNO that calculates the evolution of the subsurface pressure and temperature over time around geothermal production and injection wells. It uses a simple (layered) subsurface model with an injector and producer well.

The technical input for the calculation consists of maps, constant values and calculated values (Figure 3-1, paragraph 4.2.1) for depth, thickness, porosity, permeability and net-to-gross, temperature and salinity (the salinity determines, among other things, the density and viscosity of the pumped water, and thus the required pumping capacity).

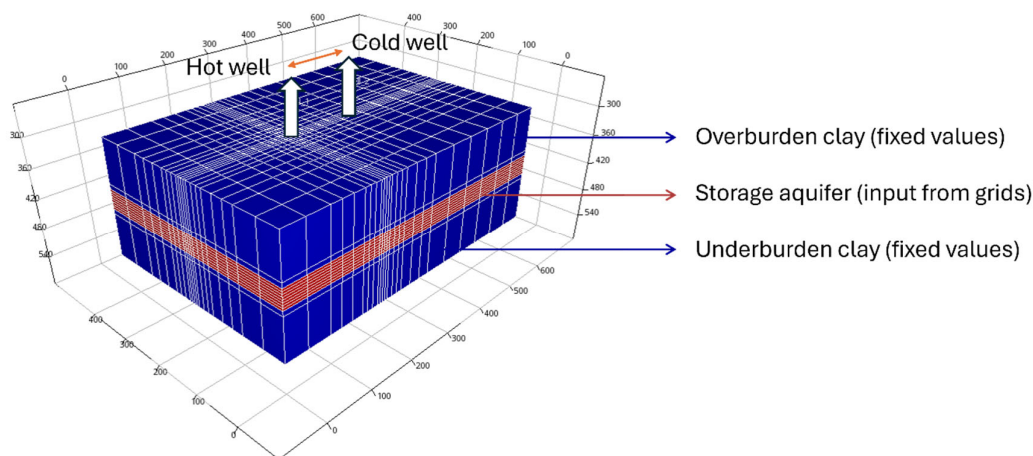


Figure 3-1 ROSIM-DoubletCalc3D subsurface model in ThermoGIS-HT-ATES. The properties of the clay layers are fixed. The properties of the storage aquifer come from the input maps.

The over- and underburden clay layers may be defined as fixed thickness values and are assumed to be 'ideal' clay layers by default. The presence of clay layers is required to minimise heat losses from the aquifer to the surroundings. In practice the clay layers will vary both in thickness and properties.

Figure 3-2 shows a full overview of the ThermoGIS-HT-ATES workflow, showing the input in the model, the flowrate and well distance calculations upfront and the technical and economic model, including the DoubletCalc3D subsurface model.

¹⁰ ROSIM-DoubletCalc3D application and manual are available from www.nlog.nl/tools

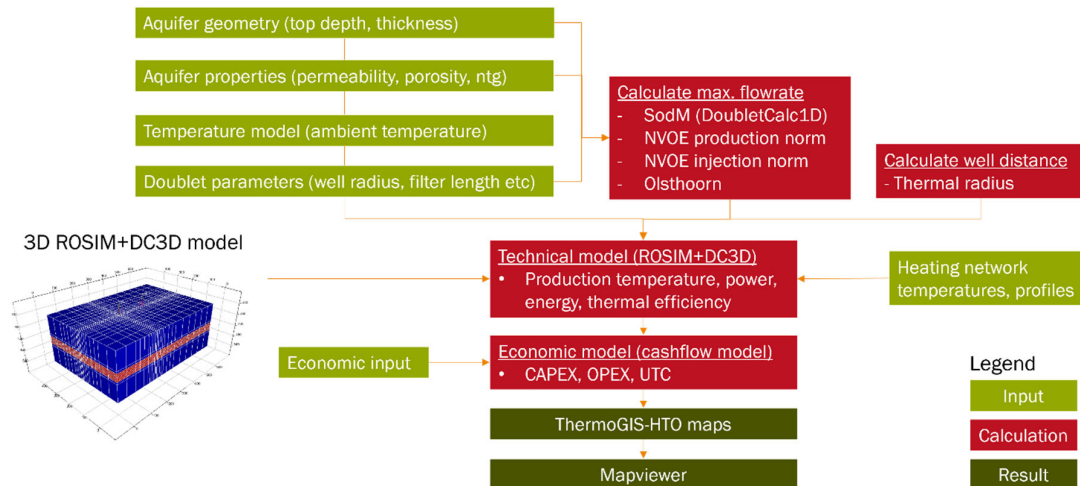


Figure 3-2 Workflow ThermoGIS-HT-ATES.

3.5 Power, energy and thermal recovery efficiency

The main results of the analysis are maps of flow rate [m^3/hr], capacity [$\text{MW}_{\text{thermal}}$], energy injected [GJ], energy produced [GJ] and thermal recovery efficiency [%]. The thermal recovery efficiency is the energy produced / energy injected.

4 Results

In this chapter the results are presented of the interpretation of the geometry of the Oosterhout and Maassluis formations, the analysis of the lithology and flow properties, and the results of the HT-ATES potential calculations on the Maassluis Formation.

4.1 Interpretation of geometry

Figure 4-1 shows a typical NW-SE cross section in the study area through the REGIS model (top part) and the seismic (bottom part). The main units in the area in the depth range 100 – 400 m are (from old to young) the Breda Formation, and the Oosterhout and Maassluis formations. The Breda Formation is both thin (<50 m) and clayey (equal to the REGIS BRk1 aquitard). Therefore, this unit is not studied in detail this study.

The Maassluis (and younger) part of the seismic data is (too) noisy to interpret. Interpretation of the base of the Maassluis Formation proved not to be feasible. Therefore, the geometry of the Maassluis Formation was interpreted from well data (section 3.2.2). The base of the Maassluis Formation, based on lithostratigraphic interpretations in shallow wells, lies within a depth range with a higher signal-to-noise ratio, but it is unclear if the top of the formation can be identified on seismic. Well B30D0206, between Monster and Kijkduin, and on the NW side of the seismic section, shows that the base of the Maassluis Formation lithostratigraphically coincides approximately with the base of a relatively continuous sandy section. The Stratigraphic Nomenclature on DINoloket describes the lower boundary of the Maassluis formation as a 'mostly gradual transition into slightly finer and more glauconitic shallow-marine sand (Oosterhout Formation)'. In practice, the boundary between the two is also frequently drawn where a more continuous thick clay is overlain by a more continuous sand, such as REGIS B30D0206 and B30G0935.

The depth interval of the Oosterhout Formation shows NW dipping layers (clinoforms). The sandy interval used for the REGIS OOz stands out at the well location, but the OOz top and bottom surfaces (yellow lines in Figure 4-1) conflict with the seismic reflectors. The black dashed line shows a – tentative – continuation of the sandy interval in well B30D0206 (Kijkduin), suggesting limited 'horizontal' continuity of ... meters / kilometers. The Stratigraphic Nomenclature on DINoloket describes the lower boundary of the Oosterhout Formation as a 'sharp contact with more glauconitic, finer and less shelly shallow-marine sand (Breda Formation) where the base is clayey, gradual transition where the base is sandy'. In this work, the top of the Breda Formation (Late Miocene Unconformity or LMU) / base of the Oosterhout Formation (bOO) was interpreted on seismic, as well as several prominent clinoforms.

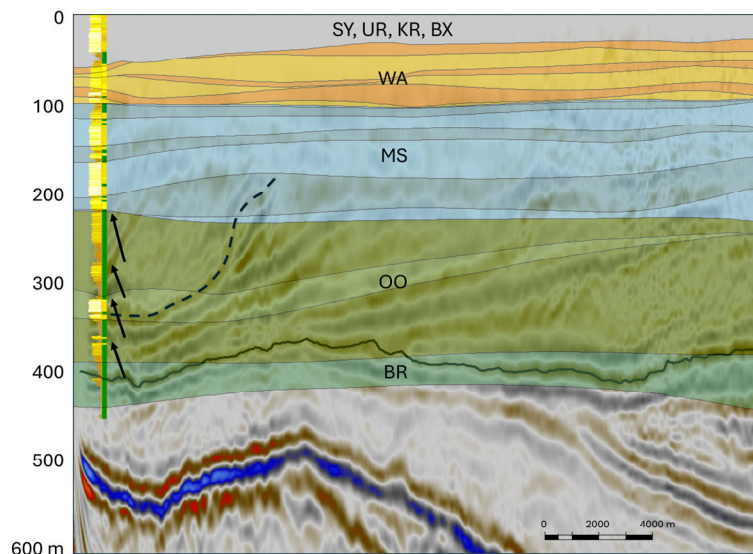


Figure 4-1 Overlay of the REGIS model over a seismic depth line of the Monster 3D seismic survey for the OOz2 unit along a NW-SE cross section (section B-B' of Figure 2-4). BR = Breda, OO = Oosterhout, MS = Maassluis, WA = Waalre, SY, UR, KR, BX = younger fluvial deposits (see Figure 1-1). The continuous black line is the interpreted base Oosterhout. On the left the well B30D0206 (Kijkduin), which was used for REGIS, has gamma ray coding yellow=sandy, brown=clayey on the left and lithology green = clay, yellow / orange = sand on the right. Arrows show coarsening up sequences in clinoforms based on GR pattern. The dashed black line shows that the sandy layer which represents the OOz2 at ~330m is present at shallower depth, above the base Maassluis, to the right.

4.1.1 Oosterhout Formation

The base of the Oosterhout Formation in the area was interpreted previously by W+B (van der Voet et al., 2023). On the available seismic data this surface is visible as the Late Miocene Unconformity (LMU) (Figure 4-1, bottom part). The top of the Oosterhout Formation is less well identified. The seismic (clinoform) units are cutting through the DGM top Oosterhout/base Maassluis surface.

Figure 4-2, a NW-SE cross section along three shallow wells, illustrates the discrepancy between the national scale lithostratigraphic approach and the local scale seismo-stratigraphic approach in more detail. The left two wells (B30G7773 and B30G0970) end in the Maassluis Formation, while B30G0935 (at the Rijswijk Center for Sustainable Geo-energy) penetrated the full Oosterhout and Maassluis formations. The base of the Maassluis Formation in the latter well was placed at the base of the continuous sand. The top of the Maassluis in all three wells is approximately located at the depth where in the seismic data the signal becomes noisy. The top of the clinoforms is some 50 meters above the lithostratigraphic base of the Maassluis Formation, near a thin clay layer visible in all three wells and within the lithostratigraphic Maassluis.

The entire depth range of the Oosterhout Formation in the study area contains NW dipping clinoforms. The B30G0935 well data show that at this location within the Oosterhout Formation only a single thin sand layer was found, which forms the top of a coarsening up sequence, based on a combination of lithological description and gamma ray. The gamma ray pattern suggests that the lower part of the clinoform is dominantly clayey, and the upper part contains coarser, less clayey / more sandy material. This interpretation is supported by the lithological description, but the change in gamma ray could also partly be caused by a change in glauconite content. The absence of a detailed description of the glauconite content for the clay layers prevents a conclusion. The entire

pattern resembles the chronostratigraphic interpretation shown in Figure 2-7, with discontinuous inclined sandy layers in the lower part, and a more continuous horizontal sand at the top.

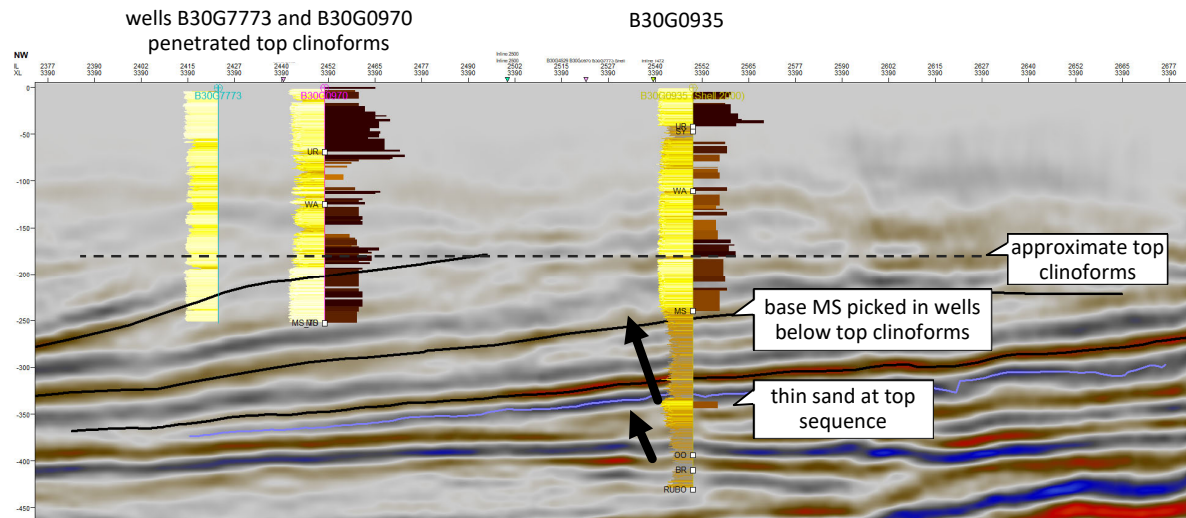


Figure 4-2 NW-SE Seismic depth section taken from the L3NAM1990C (Monster) cube. Wells B30G7773 (Stadskantoor Fruitweg), B30G0970 (near the Moerwijk train station) and B30G0935 (Rijswijk Center for Sustainable Geo-energy) show additional evidence for a sandy clinoform top. SY=Stramproy, UR=Urk, WA=Waalre, MS=Maassluis, OO=Oosterhout, BR=Breda, RUBO=Rupel Boom (base markers). Gamma ray to the left, yellow=sandy, brown=clayey, sand median grain size to the right.

The conceptual Figure 2-7 (bottom part) bears interesting similarities to the seismic section shown in Figure 4-2 that are relevant for the interpretation of sand bodies in the Oosterhout Formation:

- The clinoforms are internally heterogeneous in lithological content, and show coarsening up sequences. This leads to flow paths that are potentially limited in size spatially, depending on the overall net-to-gross. The synthetic example sketched in Figure 2-7 has a high net-to-gross, which means that the sand bodies are relatively well connected for flow. Figure 4-2 on the other hand has low net-to-gross in the Oosterhout Formation, which means that the sand bodies are likely less well connected. Due to the poor availability of deeper wells (only five shallow wells reaching the Oosterhout in the area, of which only two fully penetrated the formation), it is challenging to establish a view on the areal distribution of the sand bodies.
- In both figures it is suggested that the upper part of the clinoforms is more sand prone than the lower part. In the study area Figure 4-2 shows that the uppermost 50 m are attributed to the Maassluis Formation, and in all three wells in the figure a thick sand forms the top of the clinoforms.

4.1.1.1 Continuity of the sandy layers

To obtain a better insight into the correlation between the clinoforms and well data, and to try to identify correlatable sandy intervals, four cross sections were generated along several key wells, which penetrate at least a considerable part of the Oosterhout Formation, and/or have lithological descriptions and at least a gamma ray log (Figure 4-3). The cross sections all show a V_{shale} (derived from the gamma ray), and, when applicable, lithology. They have seismic data as background. The red dashed lines are correlated well markers (indicating the unit base) for the Breda Formation (NUBA) and Oosterhout (NUOT) and Maassluis (NUMS) Formations.

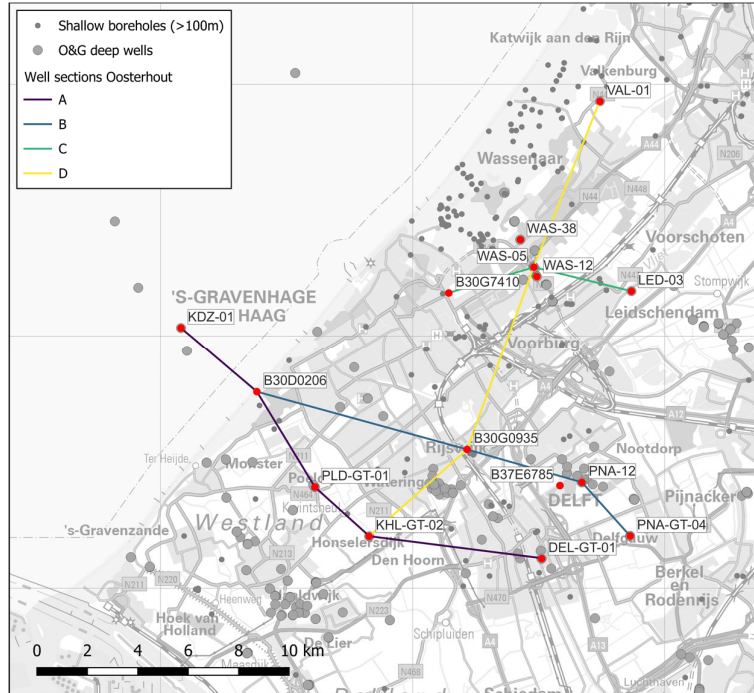


Figure 4-3 Locations of the four Oosterhout well panel sections shown in Figure 4-4 - Figure 4-7.

- Figure 4-4 (section A) is a cross section from the offshore well Kijkduin Zee to Delft, with the seismic Monster cube as background. It shows the clinoforms prograding from right to left. Between the KDZ-01 and B30D0206 wells, the seismic reflectors are nearly horizontal. The sand layer which is visible at 320-340 meters depth in both wells is therefore probably the same. In contrast, sand layers that are visible in the PLD-GT-01 and KHL-GT-02 wells can probably not be correlated horizontally.
- Figure 4-5 (section B) is a cross section starting from Kijkduin, to Rijswijk and Pijnacker, in the same general direction as section A. Hence, the pattern is very similar, making it especially clear that the sandy layers in the Oosterhout Formation in wells B30D0206 and B30G0935, which are both interpreted as the OOz2 in REGIS, are in fact different layers.
- Figure 4-6 (section C) has the same general direction as A and B but is located slightly to the north, from the Scheveningse Bosjes to Wassenaar and Leidschendam. The clinoforms that are obvious in sections A and B are lacking in this section. The sandy intervals seen in the Wassenaar wells appear to belong to the same flow unit.
- Figure 4-7 (section D) has a NE-SW direction perpendicular to the other sections, and therefore also perpendicular to the clinoform progradation direction, and parallel to the paleo-coastline. This is visible in the seismic data: the reflectors are largely parallel. In this direction, a larger correlation length may be expected, but the shift from the Monster cube (south-west) to the Den Haag cube (north-east) makes a convincing correlation challenging.

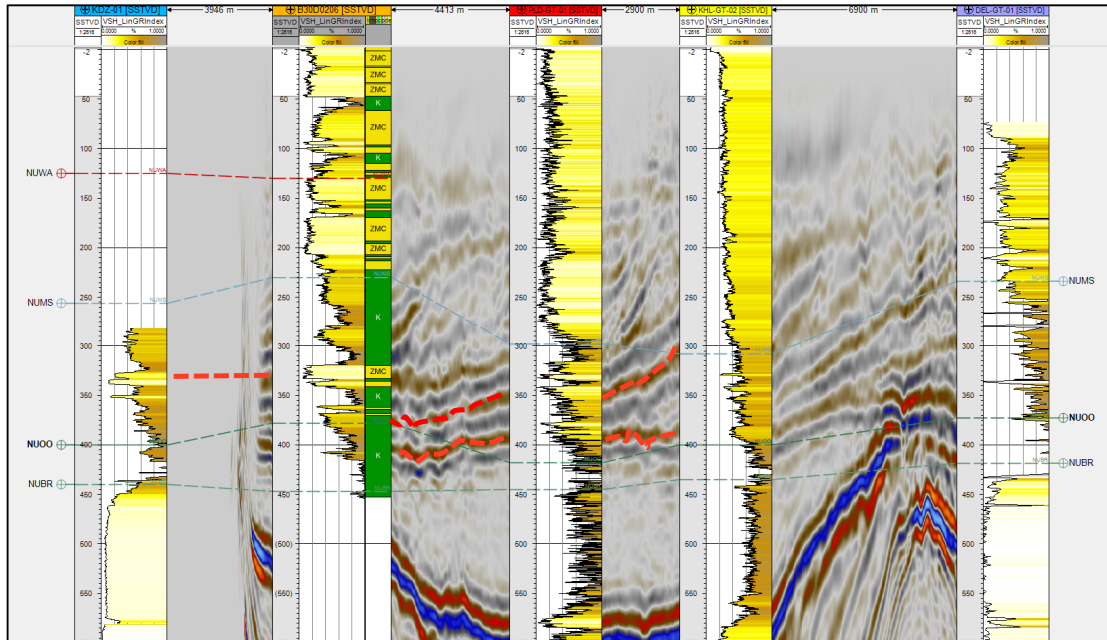


Figure 4-4 Well section A (NW-SE) from left to right: Kijkduin Zee (KDZ-01) – Kijkduin (B30D0206) – Poeldijk (PLD-GT-01) – Kwintsheul (KHL-GT-02) – Delft (DEL-GT-01). Thin dashed lines are well marker correlation lines for the base of the unit. The thick red dashed lines show a tentative correlation of Oosterhout sandy layers. Note the difference in depth of bms between Kijkduin and Poeldijk / Kwintsheul, suggesting that the lowermost continuous sand between 200 and 300 meters depth in the latter two wells may better be assigned to the Oosterhout Formation. Appendix E contains the legend for the well panels.

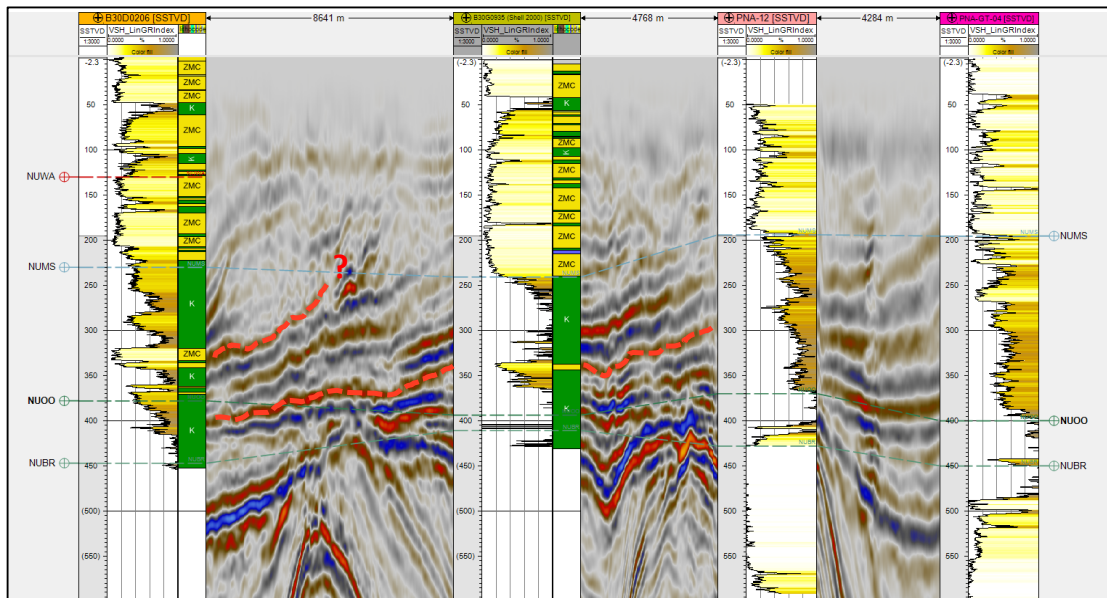


Figure 4-5 Well section B (NW-SE): Kijkduin (B30D0206) – Rijswijk (B30G0935) – Pijnacker (PNA-12 and PNA-GT-04). The dashed red line shows a tentative correlation of Oosterhout sandy layers.

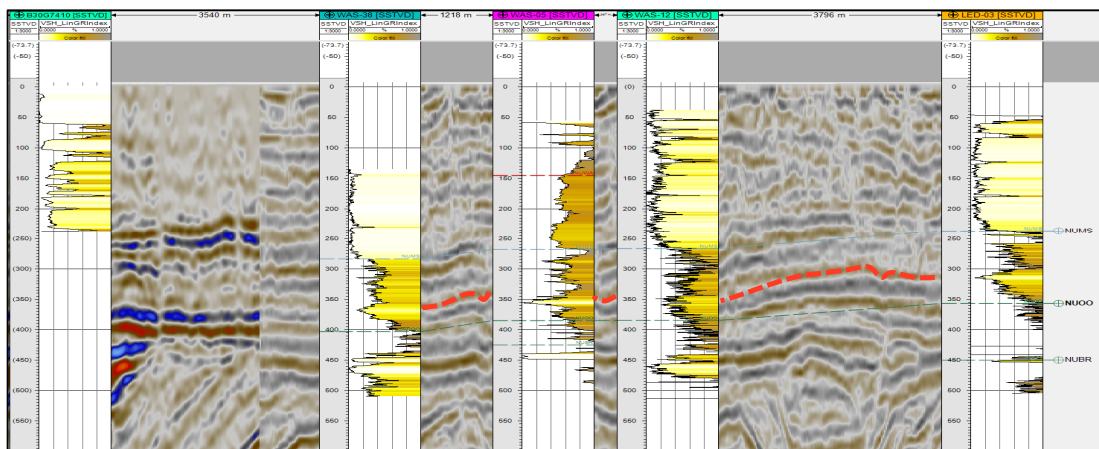


Figure 4-6 Well section C (W-E): Scheveningse Bosjes (B30G7410) – Wassenaar (WAS-38, WAS-05 and WAS-12) – Leiden (LED-03). The dashed red line shows a tentative correlation of Oosterhout sandy layers.

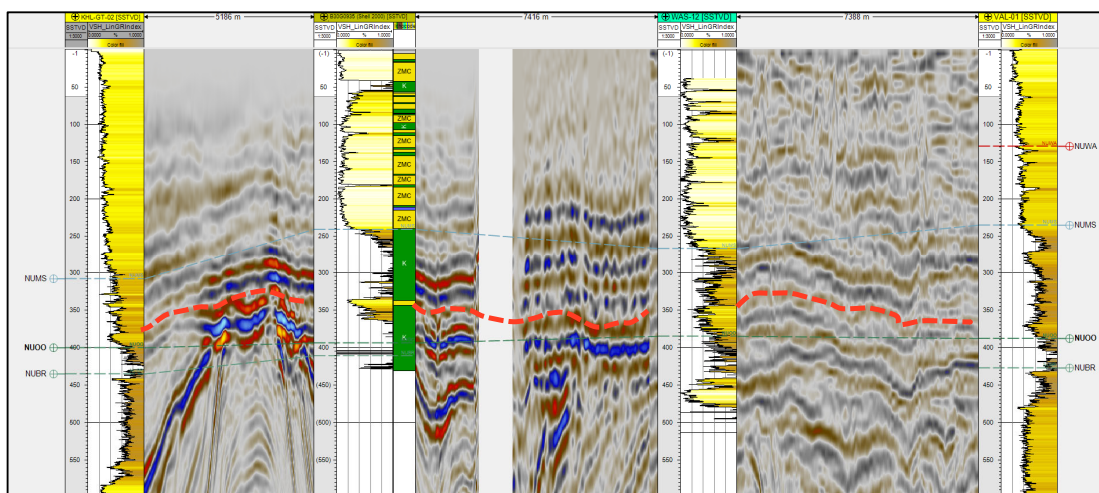


Figure 4-7 Well section D (SW-NE): Kwintsheul (KHL-GT-02) – Rijswijk (B30G0935) – Wassenaar (WAS-12) – Valkenburg (VAL-01). The dashed red line shows a tentative correlation of Oosterhout sandy layers.

4.1.1.2 Interpretation of the clinoform boundaries

The interpretations in the previous section suggest that some of the sand layers encountered in the wells that drilled the Oosterhout Formation belong to the same flow units. Some more prominent clinoform reflectors were traced in the Monster seismic cube which has the best (onshore) quality. Adjacent onshore surveys such as L3NAM1991C (The Hague) are noisier in the upper 500 msec, and seismic interpretation is possible although less straightforward. Offshore surveys like Z3NAM1990D (Q13, Q16) have a better signal-to-noise ratio but are less relevant for onshore applications like ATEs.

Figure 4-8 shows a seismic section between wells B30D0206 (Kijkduin) and B30G0935 (Rijswijk). The reflectors are numbered 1 (old) through 6 (young). A comparison of the gamma ray log patterns shows that the bases of the sandier sections tend to correlate with positive (red) amplitudes (soft kick). Those reflectors were traced over the entire Monster survey. Figure 4-9 shows the results of this interpretation. The clinoform surfaces can be traced over long distances: up to 15 kilometers perpendicular to assumed NE-SW the paleo-coastline. Along the paleo-coastline, the clinoform surfaces can be traced over the entire Monster seismic cube (19 kilometers), and, with some difficulty relating to the poor data quality, further in the adjacent

seismic cubes. This does not automatically mean that the sandy layers found in the wells using the gamma ray can be tracked along similar distances, but for clinoform 3 in Figure 4-8 this may well be the case. The height difference from top to bottom is up to 200 meters over a horizontal distance of approximately 15 km.

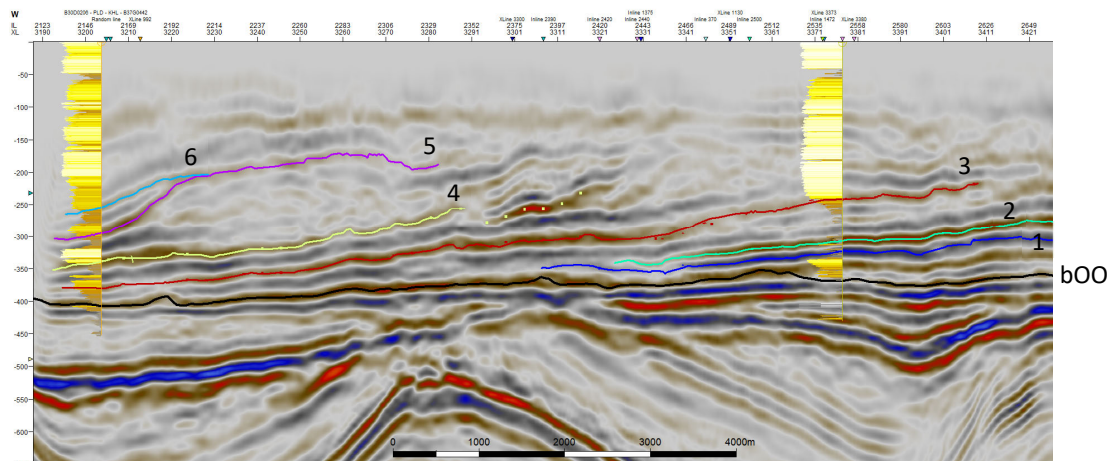


Figure 4-8 W-E seismic depth section from the Monster cube showing the Interpreted clinoforms 1-6, positive amplitudes (red, soft kicks except 1) usually align with the base of sandier intervals. Wells shown are B30D0206 (Kijkduin) on the left and B30G0935 (Rijswijk) on the right (see Figure 4-9 for well locations).

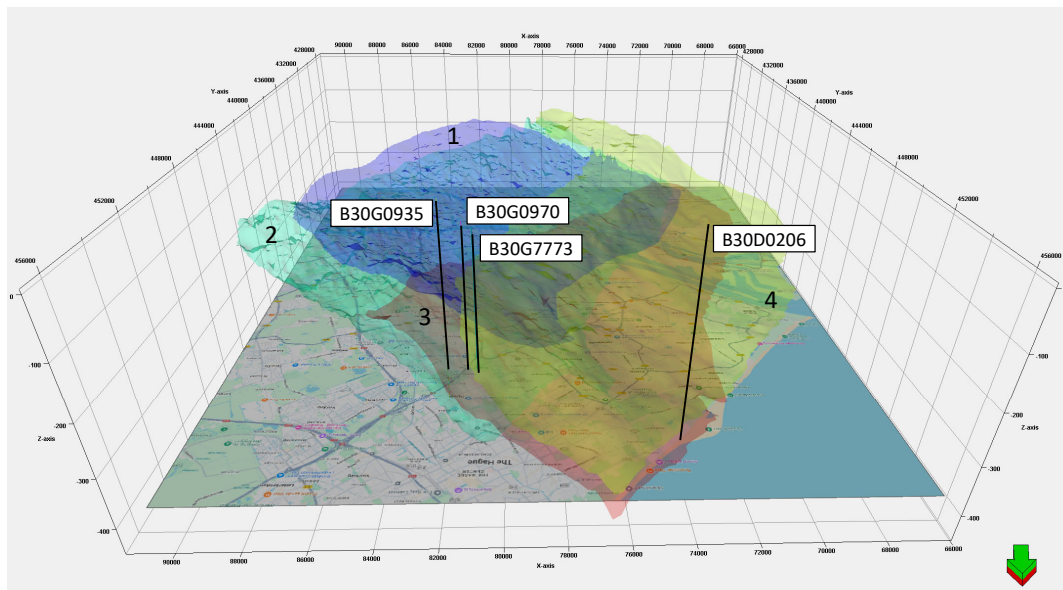


Figure 4-9 Oblique view from the north of interpreted clinoform reflectors 1-4 (referenced in Figure 4-8). The four logged shallow wells reaching the clinoforms were added for reference. Figure 4-4 to Figure 4-7 show the well panels including the four wells.

Figure 4-10 shows the depth maps of the interpreted clinoforms introduced in Figure 4-9. In particular for clinoform 3 (in the NE) and 4, these surfaces could potentially be interpreted as sandy layers. If further wells are drilled in this area, this hypothesis could be tested.

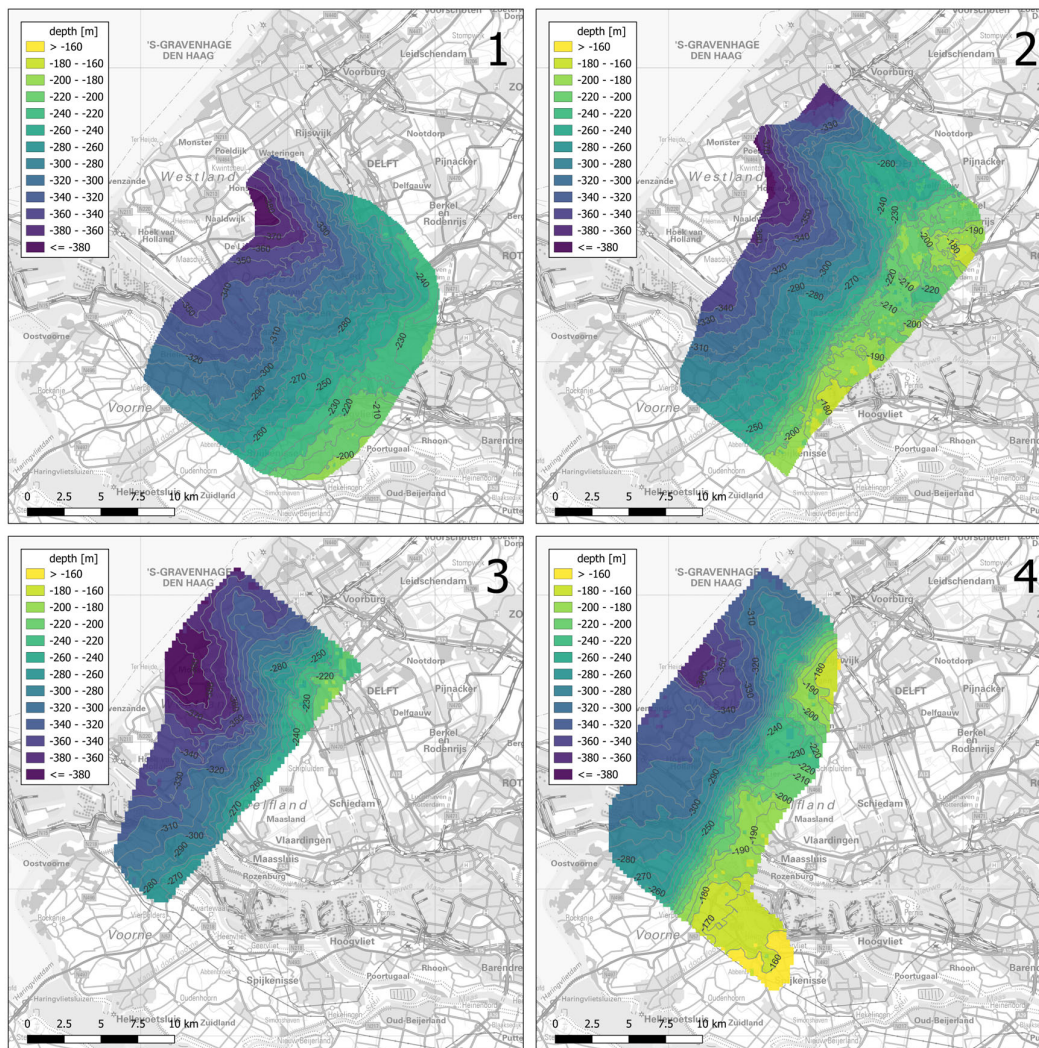


Figure 4-10 Top depth of the interpreted clinoform surfaces as traced on the Monster seismic survey (straight edges on clinoform planes correspond to the boundaries of the seismic cube). The clinoforms could further be traced on other seismic cubes towards the NE (Den Haag) and E (Pijnacker).

4.1.2 Maasslui Formation

Figure 4-11 illustrates the incompatibility between the national-scale DGM top and bottom Maasslui Formation surfaces and the local seismic interpretation. The DGM base Maasslui surface (top Oosterhout tOO), defined on lithostratigraphic criteria, appears to be positioned at or just below the top of the steep part of the clinoforms. The DGM top Maasslui surface (tMS, transition to the overlying model unit 'Peize-Waalre', but actually only Waalre in this area) lies at a depth where the seismic data are too noisy for interpretation, although the layering above the clinoforms appears to be mostly horizontal, which is in agreement with the delta top (fluvial and estuarine) depositional setting.

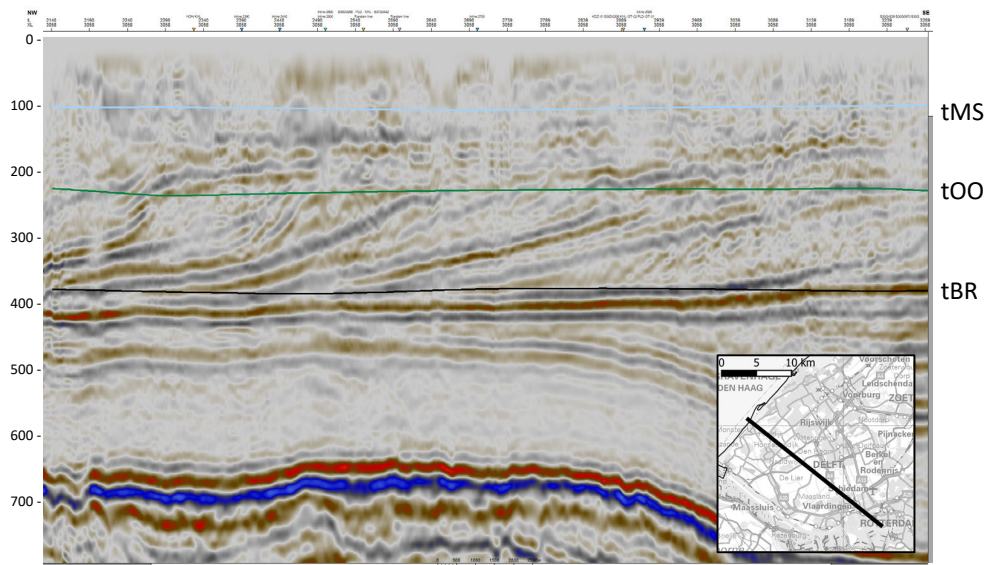


Figure 4-11 Northwest-Southeast depth section Monster –Rotterdam (Monster seismic cube) showing north-west-propagating clinoforms in the Oosterhout Formation, and more parallel reflectors in the Maassluis Formation. For reference the top of the DGM Breda (tBR), Oosterhout (tOO) and Maassluis (tMS) formations are overlain.

It was therefore concluded that seismic interpretation cannot add to the understanding of the Maassluis Formation in this area. The basal part of the Maassluis (below the clay member) cannot be correlated horizontally as it is often the top part of (different) clinoforms. Instead, the interpretation of the most promising aquifer unit within the Maassluis Formation was based on interpretation of LT-ATES, and deep hydrocarbon- and geothermal wells. When comparing LT-ATES wells with nearby deeper wells, it appears that most LT-ATES wells have their total depth (TD) near what is presumably the transition from predominantly sandy (usually interpreted as Maassluis Formation) to predominantly clayey (usually interpreted as Oosterhout Formation).

Three well sections consisting of mainly LT-ATES wells, complemented by several deep wells, were created to investigate whether spatial trends exist. Figure 4-13 shows the S-N section G. The sections E and F are shown in Appendix C and Appendix D.

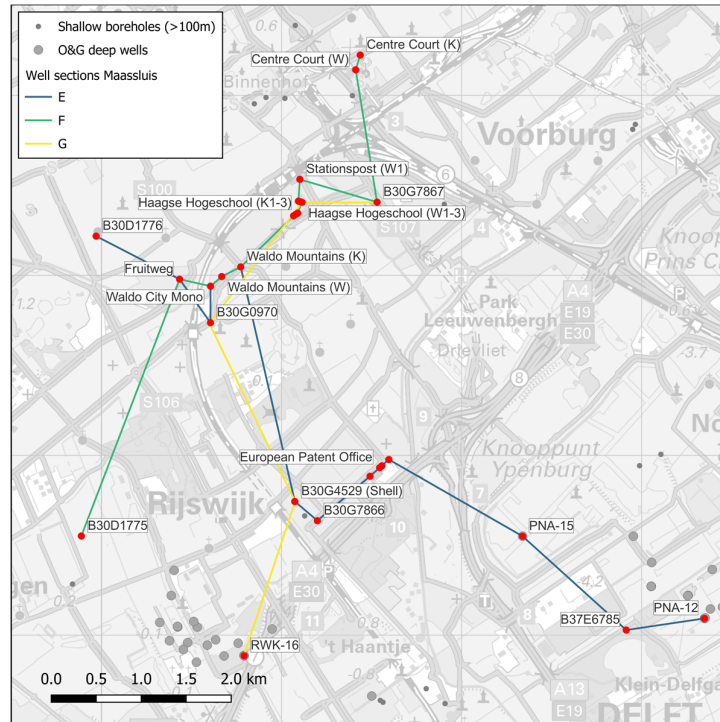


Figure 4-12 Locations of the Maasslui Formation well-sections E (NW-SE), F (SW-NE) and G (N-S).

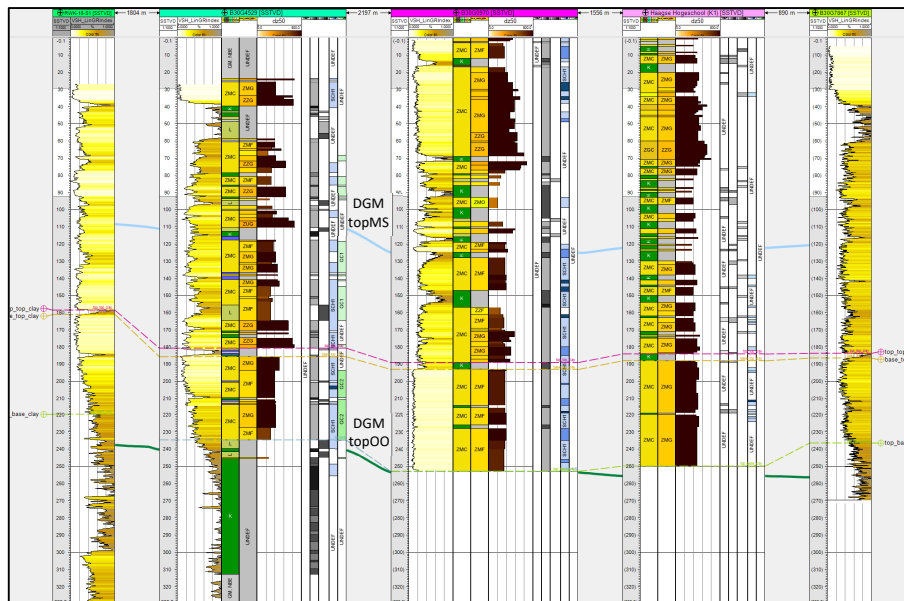


Figure 4-13 Well section G from south (Rijswijk) to north (Haagse Hogeschool) showing the sandy development of the lower part of the Maasslui Formation, and the clay layer on top which can be traced over all wells. Numerous wells (B30G0970, Haagse Hogeschool (K1)) TD near the assumed base of the Maasslui Formation. The tracks show scaled GR, lithology, sand grain class and size, clay, silt and sand fractions, and shell content. Interpreted horizons are the top and bottom of the top sealing clay, and the base of the aquifer where applicable. DGM top MS in blue, top OO in green.

In general, in the basal part of the Maasslui Formation thick, fine-sandy units can be seen. In most wells a distinctive layer with high GR is present in the lower part of the Maasslui Formation separating these fine sandy units from the somewhat more variable and in some places coarser sandy layers above. The high-GR layer is probably associated with clay in combination with organic

matter and shells at the top of a coarsening upward sequence (indicated in Figure 4-13 with a dashed pink line). In the GR log of B30G4529, it is located at a depth of 183 m. In the nearby well B30G7866 it is at the same depth. To the south, in well PNA-15, it is located at a depth of 170 m (cross section E-right). Further to the southeast in PNA-12 and B37E6785, it is not clearly visible. Further to north (intersection of cross sections E and FA), at well B30G7773 (Fruitweg), the depth has increased to 193 m. In nearby well B30G0970, the layer is not well visible, but the GR appears to be wrong below a depth of 190 m. In cross section F in the Centre Court wells this layer appears to be at a depth of 173-174 m depth, which is a bit shallower again. In the wells lying in between well B30G7773 (Fruitweg) and Centre Court, a clay layer has been identified very consistently in the lithological descriptions. It decreases in depth from 190 m near Fruitweg to 180 m in the direction of Centre Court (cross section F), suggesting that it is a continuous clay layer. Another such layer, but far less pronounced appears to be present at a depth of around 210 to 220 m. At shallower depth, it was not possible to identify layers that are present over larger distances. The variability in the lithological descriptions is too large, with big changes even at several tens of meters. This also suggests that these descriptions are not accurate enough to pick up the details of the varying properties. The GR logs are too far apart to be sure of the continuity of layers without the support of seismic information or other wells in between.

The continuity of the clay layer might make it a suitable top seal for an HT-ATES in the sandy layer at the base of Maassluis Formation, although it is thin. Therefore, it was decided to map the clay layer and the underlying sand layer for estimating the HT-ATES potential.

Figure 4-14 shows the resulting top depth and thickness maps, based on interpretations in 42 LT-ATES and shallow wells (lithology and/or GR), and 9 deep wells (GR). Table 4-1 shows the minimum, mean and maximum thickness. Because most interpreted wells are LT-ATES wells, the area is centred around the centre of The Hague. Outside the The Hague area the spacing between the relevant wells that have sufficient data for an interpretation becomes too large to be able to correlate the top seal across the wells.

The depth of the top of the aquifer is shallowest in the eastern and southern part of the area (165 m), and deepest in the west (205 m). The base of the aquifer, and therefore also the thickness, was determined on a limited number of wells, because most LT-ATES wells only penetrate the Maassluis Formation, and have their final depth in the sand – it is uncertain if the aquifer extends further downward. The mapped thickness, which corresponds to the uppermost sand occurrence of the clinoforms shown in the lower part of Figure 2-7, decreases from 90 m in the east and west to less than 10 m in the north and southwest. However, this decrease may well be a mapping artefact caused by the limited number of wells in the west of the area that fully penetrate the Maassluis Formation.

Table 4-1 Depth (m) and thickness (m) of the Maassluis Formation top seal and basal sand (minimum, maximum and mean averaged over the model area).

layer		min	mean	max
top seal	Depth (m)	154	184	209
	Thickness (m)	0.5	4.0	13.2
basal sand	Depth (m)	155	188	212
	Thickness (m)	16	53	93

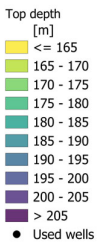


Figure 4-14 Top depth and thickness of the basal Maassluis sand.

4.2 Lithology and flow properties

4.2.1 Oosterhout Formation

Information about the lithology and flow properties of the Oosterhout Formation in the study area is limited:

- Only two shallow wells (i.e. with detailed lithology information) fully penetrated the Oosterhout Formation and found mostly shale (Table 2-4), and only thin sand layers (B30D0206, 20 m sand but including a 2.3 m clay layer and B30G0935 / B30G4529, 6 m sand).
- In the petrophysical analysis (Appendix A) on 10 wells in the The Hague area (listed in Table 2-1) porosity and net-to-gross were estimated (Huizen et al., 2024). Because of a lack of core data, calibration of the log interpretations was not possible. Insufficient data was available to estimate permeability. In most wells, 1 or 2 sandy layers were identified. The thickness is difficult to estimate, but is in the range of 5 to 10 m. In Section 4.1.1.1, the continuity of these layers was investigated. The porosity of the sandy layers was mostly in the range of 20 to 30%. Net-to-gross was below 10% for most wells, apart from PLD-GT-01 and WAS-05. In PLD-GT-01, a sandy layer occurs at the top of the Oosterhout Formation at a depth of 250 to 280 m which might also be attributed to the Maassluis Formation, which would reduce the net-to-gross.
- No HT-ATES-systems in the study area currently use the Oosterhout Formation for storage / production.
- The REGIS OOz2 hydraulic conductivity in the area is around 6 m/d, but this is based on a transformation of the OOz2 lithology in a limited number of wells.

The results of the study of the clinoforms on seismic (section 4.1.1) in combination with the petrophysical evaluation suggest that:

- sandy layers exist in the Oosterhout Formation with a thickness of about 5 to 10 m and an estimated porosity of 20 to 30%. In wells without cutting descriptions, the layers are identified by low gamma rays;
- the sandy layers can be traced over distances of several kilometers.

The high uncertainty of the flow property data (thickness, permeability) makes calculation of the ATES-potential unfeasible. Therefore, the ATES potential was not calculated for the Oosterhout Formation.

4.2.2 Maassluis Formation

To estimate the flow properties, three sources of information were available:

- Petrophysical analysis,
- Lithological description of the cuttings,
- Interpretations of production tests.

The results of the production tests on the LT-ATES wells show a wide range in horizontal hydraulic conductivity of 3.5 to 62.5 m/d (Figure 4-15; details in Appendix A). The higher values are off trend, (Figure 4-16). On closer inspection, the estimated value of 62.5 m/d from one of the Centre Court wells was found to be unreliable because it deviates a factor 8 from the conductivity estimated based on a simple radial inflow model, whereas the other wells show values much closer to a simple radial inflow model. There is nothing in the well setup or the geology to suggest such a deviation. Therefore, the well was not included in the analysis. This reduces the maximum hydraulic conductivity to a value of 30 m/d. The (arithmetic) average is 14 m/d (equal to 17,000 milliDarcy (mD) when converted using the density and viscosity that can be calculated from the salinity and temperature).

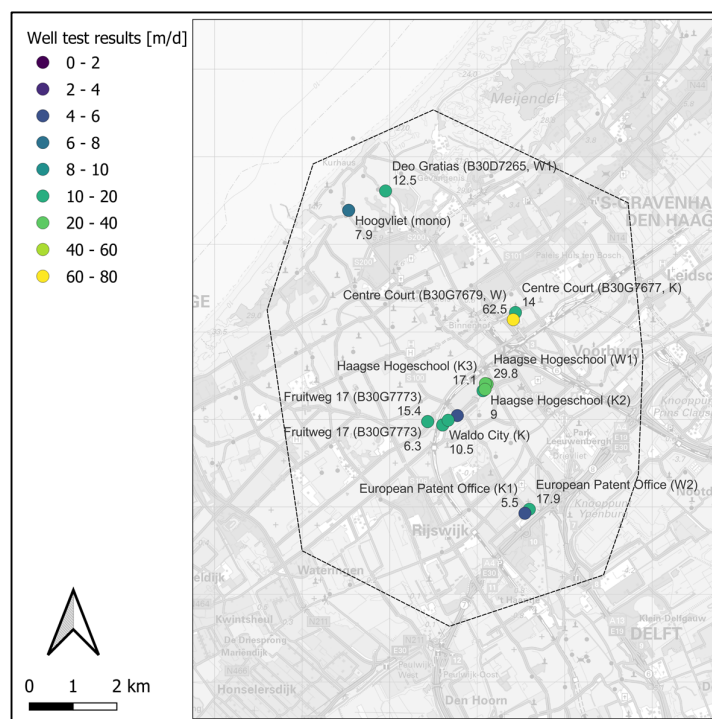


Figure 4-15 Well test hydraulic conductivities of the LT-ATES wells.

An attempt was made to find a relation between the estimated hydraulic conductivity from the production tests to the units of the Maassluis Formation as available in REGIS II (see Appendix A). However, no trends could be found. Partially, this is because the national scale REGIS units are not consistent with wells at the local scale. REGIS II gives a horizontal hydraulic conductivity of 5 to 10 m/d for the sandy units in the Maassluis Formation and 2.5 to 5 m/d for the complex unit. Based on the interpreted production tests, this is on the low side. The report by (IF Technology &

EBN, 2023) (IF Technology & EBN, 2023) estimates an average value of 12 m/d for the hydraulic conductivity of the sandy layers in the Maassluis Formation based on particle size distributions and from production tests, given the average groundwater temperature of 13°C.

The hydraulic conductivity and the lithology of the LT-ATES wells appear to be correlated. Three main lithologies can be identified in the tested aquifers along the filters:

- Most are dominantly '*zand matig grof*' (sand moderately coarse)
- The four wells at Hoogvliet (deep part), Waldo Mountains (K), EPO (K1) and Waldo City Mono (shallow part) are dominantly '*zand matig fijn*' (sand moderately fine)
- The Centre Court wells are dominantly '*zand matig grof met kleilaagjes*' (sand moderately coarse with thin clay layers).

The aquifers composed of '*zand matig fijn*' are the three lowest values of the range (from 3.5 to 5.5 m/d) plus Waldo City Mono (shallow part) which has a conductivity of 18.75 m/d. However, they are all very thick aquifers (55, 78 and 83 m, which are the thickest except for the Centre Court cold well). Thicker units often have lower average permeability because they contain a mixture of higher (sandy) and lower (clayey) permeability layers. This is also seen in the current dataset (Figure 4-16). In addition, there is a positive correlation between the thickness and burial depth. This effect may be due to 'description bias' (deeper layers tend to be described over larger intervals), but could also be realistic. In the available GR logs, thick sand layers are present in the lower part of the Maassluis Formation. In the upper part of the Maassluis Formation and the overlying Waalre Formation, the average thickness of sandy and clayey layers is less (Figure 4-13). The lower and upper parts of the Maassluis belong to different genetic units. The hydraulic conductivity estimates for the lower part of the Maassluis Formation are lower than for the upper part, but the difference is smaller than for other characteristics such as for the unit thickness.

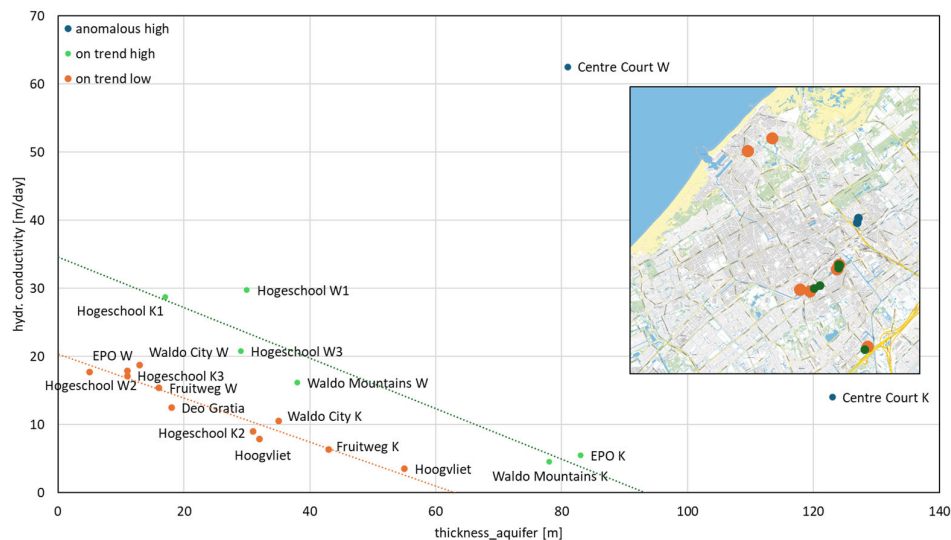


Figure 4-16 Relation between the hydraulic conductivity from production tests and the thickness of the aquifer. EPO: European Patent Office.

In conclusion it can be stated that the identification of trends in the hydraulic conductivity estimates that are applicable for predicting the hydraulic conductivity at unsampled locations is challenging. The details of the setup of the screens and the monitoring location have considerable impact on the results. The available data does not have enough samples and quality to accurately determine the permeability and its standard deviation. Therefore, it was decided to define low, mid

and high cases of 4, 8 and 21 m/d, respectively, which are based on the data points located in the low part of the Maassluis Formation with an aquifer mid-depth below 200 m. The hydraulic conductivity values equal permeabilities of 5.5 D, 11 D and 29 D when converted using the appropriate density (salinity 13.5 g/kg) and temperature (14.3 °C).

In the petrophysical analysis, the porosity was estimated for some wells in the area. The nearest well to the LT-ATES wells is B30G4529 ('Shell test hole'). The average porosity is 30% at an N/G of 47%. The variability in the estimated porosity of the Maassluis Formation is large: from 15% at VAL-01 (to the north, see Figure 2-1 for location of the wells) to 40% at B30D0206. No spatial patterns were identified, although in the north (VAL-01 and WAS-05) the porosity appears to be lower.

4.3 Potential calculation results

To calculate the HT-ATES potential for the basal Maassluis sand, the input maps shown in Figure 4-14 were used in the ThermoGIS-HT-ATES tool. Various well logs (Figure 4-13) demonstrate that the thickness of the top sealing clay layer is approximately between 4 and 5 meters. In the models a clay layer of 5 m thick on top of the sandy layer at the bottom of the Maassluis Formation is used. The horizontal permeability of the clay layer was set to 40 mD, and the vertical permeability to 4 mD (anisotropy factor 10). A 95 m thick sand layer above the sealing clay layer was modelled with a horizontal permeability of 8000 mD a vertical permeability of 1000 mD.

Figure 4-17 and Table 4-2 show the resulting power for the mid case. It largely follows the thickness of the aquifer: up to 12.1 MW in the east and west down to 2.2 MW in the north and southwest. On average over the model area, the power is 7.2 MW. The efficiency is 66.9% on average, ranging from 60.2% in the north and southwest to 69.6% in the western part. The thin clay layer causes only slightly more heat losses to the overburden in comparison to the default model thickness of 100 m (result of the default case not shown).

Figure 4-18 and Figure 4-19 show the same maps (power and efficiency) for the high and low cases. For the high case, the average power is 14.3 MW_{th}, ranging between 5.9 MW_{th} and 15.4 MW_{th}. It is limited by the default maximum allowed flow rate (500 m³/hr) in most places. The efficiencies for the high case are 67.9% on average. For the low case, the average power is only 3.7 MW_{th}, and the average efficiency 65.9%.

Table 4-2 Power (in MW_{th}) and efficiency (in %) statistics for the low, mid and high cases (mean, minimum and maximum over the model area).

case	Power (MW _{th})			Efficiency (%)		
	min	mean	max	min	mean	max
high	5.9	14.3	15.4	63.2	67.9	70.6
mid	2.2	7.2	12.1	60.2	66.9	69.6
low	1.1	3.7	6.2	58.1	65.9	68.8

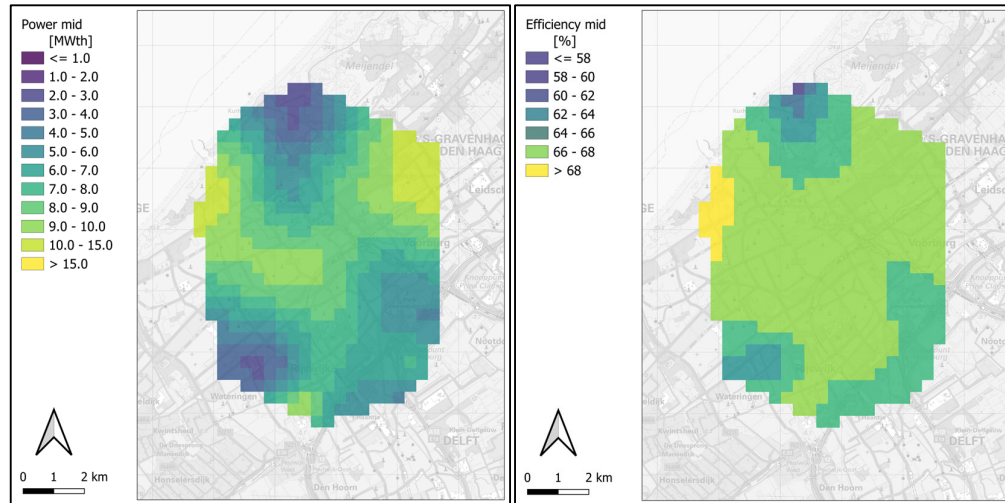


Figure 4-17 Power (in MW_{th}) and efficiency (in %) maps for the mid case scenario.

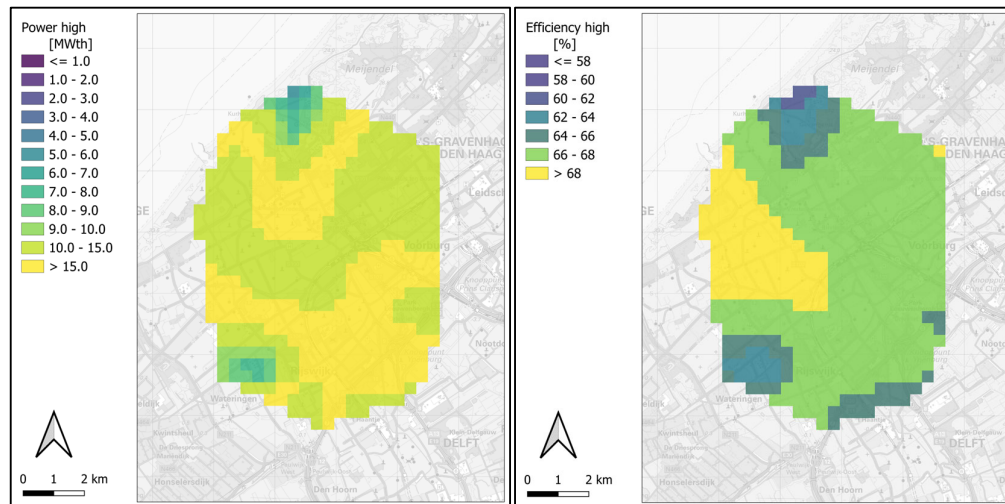


Figure 4-18 Power (in MW_{th}) and efficiency (in %) maps for the high case scenario.

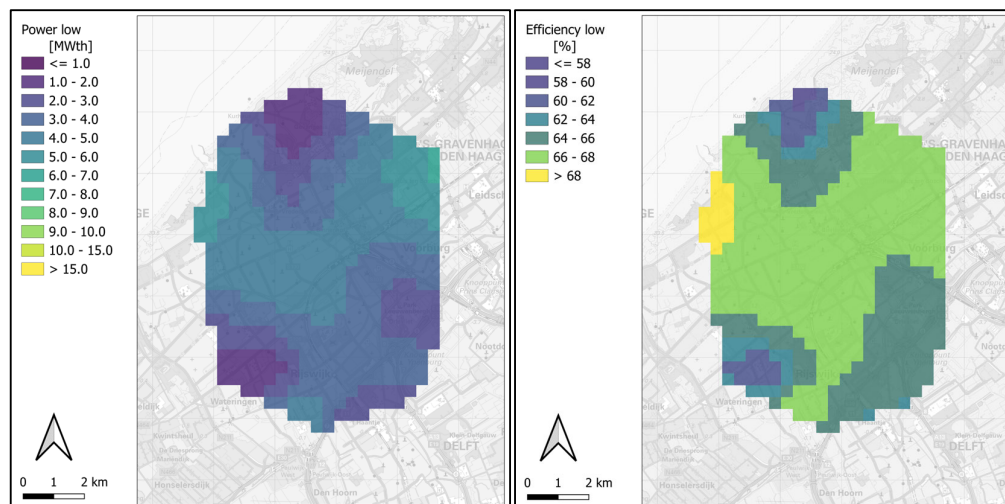


Figure 4-19 Power (in MW_{th}) and efficiency (in %) maps for the low case scenario.

5 Discussion

Results

In this report various data types were combined to improve the characterisation of the Oosterhout and Maassluis formations in the The Hague – Rijswijk area for calculating the HT-ATES potential. The use of previously under-employed data has led to an improved view on the HT-ATES potential of both units. Some of the properties that determine the HT-ATES potential, such as depth, thickness, permeability and lateral continuity, have been mapped in more detail than was previously done. The main issue for aquifers potentially present in the Oosterhout Formation is the lack of good quality data.

The used data have different sources and levels of uncertainty. In the course of time, well cuttings have been described by different drilling companies, using different standards. Different levels of detail have been used to describe the wells, both in terms of the resolution and the characteristics described. For the construction of DGM and REGIS, the lithological descriptions of the shallow wells has been strictly quality controlled. This does not hold for the data of the collected LT-ATES wells, which were used 'as is'. Determining the uncertainty quantitatively for this kind of data is not feasible.

For the hydraulic conductivity estimates, an uncertainty estimate was included consisting of a low, mid and high case. The uncertainty was estimated to be low (generally only a few percent, see Appendix A), but those estimates depend on the subsurface characterisation and are an underestimation. Because the setup of the wells and the hydraulic head monitoring differ considerably between LT-ATES systems, the conductivity is estimated at different scales, which complicates the interpretation.

Mapping the depth and thickness of the relevant aquifer units using well data alone is challenging because of the (very) small number of shallow wells reaching the base of the Maassluis (and deeper) units. Seismic data were only of limited use because it allows to map chronostratigraphic rather than lithostratigraphic units – the latter are the most relevant for aquifer mapping -, and because of the limited resolution in the shallow domain. Further, additional uncertainty was added to the seismic interpretation because of the limited detail of the used velocity model.

For the calculation of the HT-ATES potential, the flow rate is the most important variable. The flow rate, in turn, is determined by the thickness and permeability. State-of-the-art knowledge has been used for the calculation of the flow rate maps. The flow rate guidelines are continuously under development and will have to be updated when more knowledge on maximum feasible flow rates is gathered from future (experimental) research and HT-ATES pilots. Furthermore, the stored volumes and temperatures, and therefore the storage geometry, also strongly impact the HT-ATES performance (Beernink et al., 2024).

Definition of stratigraphic units

Until recently, the depth interval between ~200 and ~500 meters has received less stratigraphic attention than shallower (younger) and deeper (older) intervals because groundwater is generally produced from shallower levels, and hydrocarbons and salt from deeper ones. This has also resulted in data acquisition that did not target the intermediate depth interval properly. As a direct result, the geometries and interfaces of the stratigraphic units in this interval are less well studied. This again emphasizes that the use of geometrical models such as DGM and REGIS is challenging in

the mid depth range where data is sparse and the continuity of aquifer layers is not strictly horizontal.

This study has shown that previously under-employed data such as the intermediate depth (200-500m) parts of seismic cubes, and well data from LT-ATES systems that are not stored in DINOLoket are valuable for improving regional models. Reprocessing of seismic cubes is advantageous, especially when the intermediate and shallow depth levels are targeted (see (Paap, 2023; van der Voet et al., 2023)). However, where aquifer layers are horizontal and continuous, or located at depths where they were drilled densely, the existing models can still be used, albeit not for calculations on units that are thinner than the REGIS aquifers. Knowledge development of the stratigraphic development and resulting internal geometry of the understudied units is key, for instance by seismic interpretation and/or stratigraphic forward modelling.

The top of the Oosterhout Formation is defined in the national Stratigraphic Nomenclator as a 'gradual transition into (where top is sandy) or sharp contact with (where top is clayey) slightly coarser and less glauconitic shallow-marine sand (Maassluis Formation)'. In the study area, in most wells, the transition from the Maassluis Formation to the Oosterhout Formation is placed at the transition from predominantly clayey (assumed to be top Oosterhout Formation) to predominantly sandy deposits in the Maassluis Formation. Also, in multiple wells the base of the Maassluis Formation is set rather arbitrarily at TD, assuming that the Oosterhout Formation is present below this depth. This assumption is likely based on regional geological knowledge but cannot be accepted as very reliable. In a few wells glauconite descriptions are present (e.g. well B30G0935 in Rijswijk (de Keijzer, 2025)), which suggest the transition is shallower. So, alternatively, the top of the Oosterhout Formation could equally well be placed at the depth of the high GR clay layer mapped in Section 3.2.2. This also marks a transition from coarser above to finer sand below this layer. This boundary would coincide more with the top of the clinoforms that is seen on seismic data (Figure 4-2) and would imply that the top of the clinoforms in the Oosterhout Formation is often sandy. Using the top of the clinoform sets would facilitate the mapping of the Oosterhout – Maassluis boundary on seismic data. In this report, however, the traditional interpretation is followed and therefore the sandy layer below the high GR clay layer is interpreted as the lower part of the Maassluis Formation.

ATES potential

(IF Technology & EBN, 2023) conducted a similar study on HT-ATES in the Maassluis Formation in an (larger) area in Zuid-Holland (Den Haag, Rotterdam and Leiden). To improve the subsurface knowledge, they applied a comparable approach by integrating an additional 74 LT-ATES wells from their own database with the 88 wells from the Dutch DINO database. The key distinction between this study and the study by (IF Technology & EBN, 2023) lies in the selection of the top aquifer and aquifer thickness. They use the top of the Maassluis Formation (first sandy interval, MSz1) around ~80-130 m depth, as top of the storage aquifer and include all lower sand intervals (albeit interbedded with clayey intervals) as potential storage aquifer. They indicate the thickness of the clay layer on top with a clay layer overlay map. In the The Hague area, there were several parts with a risk of an insufficient sealing clay layer. In this study the lower part of the Maassluis Formation was investigated as storage aquifer, by choosing a deeper aquifer top around 165-200 m depth, with a ~5 m clay layer above. Both approaches could be justified from a HT-ATES and subsurface point of view and have their strengths and limitations. The fact that two studies in the same area and formation use a different approach and therefore result in different maps, also clearly indicates the complexity of characterisation of the subsurface for HT-ATES.

6 Conclusions

This report describes the results of an investigation into the feasibility of improving the underlying data (depth, thickness, flow properties) required to calculate the subsurface potential for high-temperature storage in aquifers (HT-ATES) in the Den Haag – Rijswijk area using previously understudied data such as seismic, deep wells, and LT-ATES wells. Two potential aquifers were studied based on an initial favourable assessment using data from the Regional Geo-hydrological Information System REGIS (suitable depth and occurrence of sandy units). The conclusions are listed below.

6.1 Oosterhout Formation

- The main conclusion for the Oosterhout Formation is that insufficient lithology and flow property data are available to calculate the HT-ATES potential. Sandy layers that can be traced over multiple kilometers exist within the Oosterhout Formation, but they cannot be mapped on seismic data alone. Because no well tests were performed on those layers, no information about the flow properties is known.
- 3D Seismic data are valuable for interpreting the depth of the base of the unit. The top of the unit (in its current definition) cannot clearly be interpreted on seismic data. The recently reprocessed Monster seismic cube, with improved time-depth model, allows a more detailed interpretation than older reprocessing of adjacent seismic cubes.
- Significant differences exist between the (regional to national scale) REGIS OOz2 aquifer grids, which in the area are based on sparse data, and (local to regional scale) seismic data and shallow and deep well data. This REGIS OOz2 can in this area not be used to assess the suitability for HT-ATES.
- The Oosterhout Formation is characterised by clinoforms in the area. The clinoforms were interpreted on seismic data over distances of multiple kilometres. The difference between top and bottom of the clinoforms is approximately 200 m.
- The top of the clinoform surfaces is located above the current Oosterhout – Maassluis formation boundary, which is purely based on lithological changes.
- The clinoform interpretations allow lithological correlations between wells using gamma ray logs along clinoform surfaces, rather than horizontally.
- Very few wells in the study area that drilled the Oosterhout Formation found sand (when following the traditional lithostratigraphic definition of the Maassluis/Oosterhout boundary). In the Oosterhout Formation depth interval of wells that were GR logged shalier and sandier parts can be observed (section 4.2.1), but the GR values in the Oosterhout Formation are usually lower than those in the Maassluis Formation, suggesting that the sandier parts in the former units are 'shalier' than those in the latter. In multiple wells one or more sandier layers of roughly 5 to 10 m thickness were found that can sometimes be tentatively correlated between wells over distances of 100s of meters.
- No reliable information about the local aquifer flow properties could be derived.

6.2 Maassluis Formation:

- 3D seismic data was not valuable for interpreting the depth of the base, nor the top of the formation. The data did show that the clay interval coincides with the top of the clinoforms. As discussed above, the base of the formation is based on lithological changes and is located below the clinoform tops. It cannot be linked to a specific reflector. The top of the formation is located at a depth where the quality of the seismic data is poor.
- The depth mapping of the aquifer and aquitard units within the Maassluis Formation, in the current subsurface models based on relatively sparse well data, can be improved by using LT-ATES well data. This data is often absent on the DINOloket website. Cutting descriptions of numerous LT-ATES well systems were digitized to assist in interpretation. The quality of the descriptions varies.
- Top seal thickness can be interpreted in shallow wells, and deep wells if GR-logged, but the correlation is challenging when the data density is low – inside the The Hague area, the abundance of LT-ATES wells allows for a detailed interpretation, but outside The Hague, the spatial density of LT-ATES and deep wells is low, and many of the deep wells do not have a GR in the first few 100s of meters.
- LT-ATES well tests could be interpreted to derive hydraulic conductivity values, but spatial patterns could not be identified, possibly because test results from different aquifer layers were combined. Therefore an average value was used for the potential calculations. This is still considered to be a large improvement over previous calculations that used less hydraulic conductivity data.

6.3 HT-ATES calculations

- The ThermoGIS-HT-ATES calculation tool was used to calculate the HT-ATES potential. The tool successfully calculated flow rate, power, energy produced and efficiency.
- The resulting maps show significant variations in aquifer thickness and efficiency across the study area, with higher efficiency and power potential observed in the east, middle and west. However, uncertainties remain due to limited subsurface data, particularly in the western section. The average calculated power for the mid case is 7.2 MW_{th}, and the recovery efficiency 66.9%. For the low case and high case, this is 3.7 and 14.3 MW_{th} respectively with an efficiency of 65.9% and 67.9% respectively.
- The comparison with (IF Technology & EBN, 2023) highlights the complexity of aquifer characterisation and the impact of different methodological approaches on HT-ATES potential assessments.

Future improvements in HT-ATES assessments will depend on ongoing research efforts to improve and benchmark the flow rate calculations, incorporate uncertainty maps, and include a heat pump model. The continued development of the ThermoGIS-HT-ATES app—including interactive user input capabilities and integration with heat pump modelling—will further support the first-order evaluation of HT-ATES potential on a regional and national scale.

References

- Ainsworth, B. R., Sanlung, M., & Duivenvoorden, S. T. C. (1999). Correlation techniques, perforation strategies, and recovery factors: an integrated 3-D reservoir modeling study. Sirikit Field Thailand. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 83(10), 1535–1551.
- Altenburg, R., & van Unen, M. (2025). *Towards national mapping of the Breda Subgroup and Oosterhout Formation*. Utrecht: TNO.
- Beernink, S., Barnhoorn, A., Vardon, P., Bloemendal, M., & Hartog, N. (2022). Impact of vertical layering and the uncertainty and anisotropy of hydraulic conductivity on HT-ATES performance. Paper presented at the *European Geothermal Congress*, Berlin, Germany.
- Beernink, S., Bloemendal, M., & Hartog, N. (2020). *WINDOW C2 – Prestaties en thermische effecten van ondergrondse warmteopslagsystemen. WINDOW phase 1, National research programme*. <https://www.warmingup.info/documenten/window-fase-1---c2---prestaties-en-thermische-effecten.pdf>
- Beernink, S., Hartog, N., Vardon, P. J., & Bloemendal, M. (2024). Heat losses in ATES systems: the impact of processes, storage geometry and temperature. *Geothermics*, 117(102889)<https://10.1016/j.geothermics.2023.102889>
- Bloemendal, M., van der Schans, M., Beernink, S., Hartog, N., & Vardon, P. J. (2023). Drivers to allow widespread adoption of ATES systems: a reflection on 40 years experience in The Netherlands. Paper presented at the *Symposium on Energy Geotechnics*, Delft, the Netherlands.
- Buik, N. A., & Willemsen, A. (2020). Clogging rate of recharge wells in porous media. In *Management of Aquifer Recharge for Sustainability. Management of Aquifer Recharge for Sustainability* (pp. 195–198). CRC Press.
- de Keijzer, O. (2025). *The impact of glauconite on petrophysical well logs in the Breda Subgroup and Oosterhout Formation*. Utrecht: Utrecht University / TNO.
- Deltares. (2021). *Veranderingsrapportage en plausibiliteitstoets LHM zoet-zout 4.1*. Utrecht: Deltares. https://nhi.nu/documents/53/11206798-013-BGS-0001-Veranderingsrapportage_en_plausibiliteitstoets_LHM_zoet-zout_4.1.pdf
- Dinkelman, D., Carpentier, S. F. A., Koenen, M., Oerlemans, P., Godschalk, B., Peters, E., Bos, W., Vrijlandt, M. A. W., & Van Wees, J. D. A. M. (2022). High temperature aquifer thermal energy storage performance in Middenmeer, the Netherlands: thermal monitoring and model calibration. Paper presented at the *European Geothermal Congress*, Berlin, Germany. , *European Geothermal Congress 2022*
- Dinkelman, D., & van Bergen, F. (2022). Evaluation of the country-wide potential for High-Temperature Aquifer Thermal Energy Storage (HT-ATES) in the Netherlands. Paper presented at the *European Geothermal Congress*, Berlin, Germany.
- Doughty, C., Hellström, G., Tsang, C. F., & Claesson, J. (1982). A Dimensionless Parameter Approach to the Thermal Behavior of an Aquifer Thermal Energy Storage System. *Water Resources Research*, 18(3), 571–587. <https://doi.org/10.1029/WR018i003p00571>
- Gani, M. R., & Bhattacharya, J. P. (2005). Lithostratigraphy versus chronostratigraphy in facies correlations of Quaternary deltas: Application for bedding correlation. In L. Giosan, & J. P. Bhattacharya (Eds.), *River Deltas: Concepts, Models and Examples* (pp. 31–48). SEPM Special Publication.

- Huizen, J. P. v., Spekreijse, P., Jorissen, E. L., & Bouwmeester, M. J. (2024). *WarmingUP GOO analyse van doorlatendheid & analyse van petrofysica*. (No. 132914/24-009.086).
- IF Technology. (2012). *Ontwerpnormen fijnzandige aquifers. Deelrapport Werkpakket I*. (No. 26.723/61335/RW). Arnhem: IF Technology.
- IF Technology, & EBN. (2023). *Hoge Temperatuur Opslag van warmte. Stand der techniek en bodempotentie. RES Rotterdam Den Haag & omgeving Leiden*. Utrecht: EBN.
https://www.ebn.nl/wp-content/uploads/2023/05/1jun2023_Potentieonderzoek_Aardwarmte_EBN_IF_Technology_-_Rotterdam_Den_Haag_-Holland-Rijnland.pdf
- Kleinlugtenbelt, R., Beernink, S., Zwamborn, M., & Heere, E. (2023). *Evaluatie haalbaarheid na uitvoeren proefboring. Hoge temperatuuropslag Rotterdam Nesselande*.
<https://www.warmingup.info/documenten/evaluatie-haalbaarheid-na-uitvoeren-proefboring-hoge-temperatuuropslag-rotterdam-nesselande.pdf>
- Munsterman, D. K., ten Veen, J. H., Menkovic, A., Deckers, J., Witmans, N., Verhaegen, J., Kerstholt-Boegehold, S. J., van de Ven, T., & Busschers, F. S. (2019). An updated and revised stratigraphic framework for the Miocene and earliest Pliocene strata of the Roer Valley Graben and adjacent blocks. *Netherlands Journal of Geosciences*, 98
- NVOE. (2006). *Richtlijnen ondergrondse energieopslag*. Naarden: Branchevereniging Bodemenergie.
<https://branchevereniging.bodemenergie.nl/wp-content/uploads/sites/3/2021/05/NVOE-Werkwijzen-en-richtlijnen-ondergrondse-energieopslag.pdf>
- Olsthoorn, T. N. (1982). *Verstopping van persputten*. Rijswijk: Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA. <https://edepot.wur.nl/452520>
- Paap, B. (2023). *Dataselectie en reprocessing van seismische data voor verkenning aardwarmtepotentieel Gemeenten Den Haag en Rijswijk*. (No. R11519). Utrecht: TNO.
- Patruno, S., & Helland-Hansen, W. (2018). Clinoforms and clinoform systems: Review and dynamic classification scheme for shorelines, subaqueous deltas, shelf edges and continental margins. *Earth-Science Reviews*, 185, 202–233. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.05.016>
- Pluymaekers, M. P. D., Doornenbal, J. C., & Middelburg, H. (2017). *Velmod-3.1*. (No. TNO 2017 R11014). Utrecht: TNO.
- Siebels, A., ten Veen, J., Munsterman, D., Deckers, J., Kasse, C., & van Balen, R. (2024). Miocene sequences and depocenters in the Roer Valley Rift system
. *Basin Research*, , 1–33. 10.1111/bre.12886
- Staatstoezicht op de Mijnen, & TNO-AGE. (2013). *Protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning - versie 2*. Den Haag: SODM.
<https://www.sodm.nl/documenten/publicaties/2013/11/23/protocol-bepaling-maximale-injectiedrukken-bij-aardwarmtewinning>
- TNO – GDN. (2019). *DGM-deep v5.0. TNO - Geological Survey of the Netherlands*, Retrieved 2025-08-25, from <https://www.dinoloket.nl/en/subsurface-models/map>
- TNO – GDN. (2025a). *BRO DGM v2.2.1. TNO - Geological Survey of the Netherlands*. Retrieved 2025-08-25, from <https://www.dinoloket.nl/en/subsurface-models/map>
- TNO – GDN. (2025b). *BRO REGIS II v2.2.3. TNO - Geological Survey of the Netherlands*.
<https://www.dinoloket.nl/en/subsurface-models/map>. Retrieved 2025-08-25, from
- van der Voet, E., Paap, B., & Veldkamp, J. G. (2023). *Data-integratie & seismische interpretatie voor Den Haag en Rijswijk*. Witteveen + Bos and TNO report 133419/23-014.601.
- Vrijlandt, M. A. W., Struijk, E. L. M., Brunner, L. G., Veldkamp, J. G., Witmans, N., Maljers, D., & Van Wees, J. D. (2019). ThermoGIS update: a renewed view on geothermal potential in the Netherlands. Paper presented at the *European Geothermal Congress*, The Hague, the Netherlands.

Vrijlandt, M. A. W., Struijk, E. L. M., Brunner, L. G., Veldkamp, J. G., Witmans, N., Maljers, D., & Van Wees, J. D. (2020). ThermoGIS: from a Static to a Dynamic Approach for National Geothermal Resource Information and Development. Paper presented at the *World Geothermal Congress*, Reykjavik, Iceland.

Appendix A WarmingUP GOO Analyse van doorlatendheid & Analyse van petrofysica



WarmingUP GOO

Analyse van doorlatendheid & Analyse van petrofysica

TNO

21 juni 2024

Project WarmingUP GOO
Opdrachtgever TNO

Document Analyse van doorlatendheid & Analyse van petrofysica
Status Definitief
Datum 21 juni 2024
Referentie 132914/24-009.086

Projectcode 132914
Projectleider Dr.ir. J.C. van 't Spijker
Projectdirecteur Ir. R.T. van der Velde

Auteur(s) J.P. van Huizen BSc, ir. P. Spekreijse, dr.ir. E.L. Jorissen, M.J. Bouwmeester MSc
Gecontroleerd door F.G. Versteegen MSc, Dr. F. Smit, dr.ir. J.C. van 't Spijker
Goedgekeurd door Dr.ir. J.C. van 't Spijker

Paraaf

Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Blaak 16
Postbus 2397
3000 CJ Rotterdam
+31 (0)10 244 28 00
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden vervaelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
2	ANALYSE VAN DOORLATENDHEID	6
2.1	Methode	6
2.1.1	Python TTIM model	6
2.1.2	Invoer in het TTIM model	7
2.1.3	Analyse van het TTIM model	7
2.1.4	Resultaat van het TTIM model	8
2.2	Resultaten van de doorlatendheid analyse	8
2.2.1	Hoogvliet Scheveningen	10
2.2.2	Waldo City	12
2.2.3	Centre Court	15
2.2.4	Waldo Mountains	19
2.2.5	Stationspostgebouw	23
2.2.6	The Grace	29
2.2.7	Gemeentekantoor	33
2.2.8	European Patent Office	36
2.2.9	Zorgcentrum Deo Gracias	39
2.3	Gevoeligheidsanalyse	41
2.3.1	Gevoeligheid: dikte aquifer van peilbuisfilter	42
2.3.2	Gevoeligheid: horizontale doorlatendheid bepompde aquifers	43
2.3.3	Gevoeligheid: weerstand van weerstandslagen	43
2.4	Conclusies en Aanbevelingen van de doorlatendheid analyse	44
2.4.1	Conclusies	44
2.4.2	Aanbevelingen	49
3	ANALYSE VAN PETROFYSICA	50
3.1	Selectie van kansrijke boringen	50
3.1.1	Selectiecriteria	50
3.1.2	Selectie van de 10 meeste kansrijke boringen	50
3.2	Workflow voor petrofysische analyse	51
3.2.1	TVD	52
3.2.2	Temperatuur	52
3.2.3	Klei volume	53
3.2.4	Porositeit	55
3.2.5	Lithologie interpretatie	60
3.2.6	Net-to-Gross	61

	3.2.7	Export van LAS bestanden	63
3.3		Resultaten van petrofysische analyse	63
	3.3.1	Petrofysische analyse per boring	63
	3.3.2	Bevindingen van de petrofysische analyse	77
3.4		Conclusies van de petrofysische analyse	82
3.5		Referenties	83
		Laatste pagina	85
		Bijlage(n)	Aantal pagina's
I		GeolOil log paneel per boring	10

INLEIDING

Regionale studies naar het potentieel van Hoog Temperaturen Opslag (HTO: meestal <500 m diepte) en ondiepe geothermie (meestal tussen 500 - 1.500 m diepte) zijn belangrijk voor de implementatie van geothermie projecten en voor de verduurzaming van warmtevoorziening in Nederland. Voor de versnelling, planning en ontwikkeling van ondiepe geothermie en HTO-projecten is een verbeterde voorspelling van eigenschappen van de (ondiepe) ondergrond wenselijk. In het kader van MOOI subsidie aanvraag (Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie), gaat het WarmingUP GOO project (Geothermie & Opslag Opschaling) - Resultaat 1: 'Verbeterde voorspelling van de eigenschappen van de (ondiepe) ondergrond voor versnelling planning en ontwikkeling van ondiepe geothermie en HTO-projecten' de eigenschappen van de (ondiepe) ondergrond onderzoeken aan de hand van drie regionale studies: in Flevoland, in de Gelderse Vallei en in Zuid-Holland.

Naar aanleiding hiervan, heeft Witteveen+Bos in 2023 een eerdere studie gedaan in opdracht van de gemeente Den Haag en de gemeente Rijswijk om de geothermie potentie in deze gemeenten te onderzoeken [ref. 1]. Uit deze studie was geconcludeerd dat de Formatie van Maassluis en de Formatie van Oosterhout de hoogste potentie tonen als aquifers voor ondiepe geothermie en HTO. Voor deze mogelijke aquifers kon echter niet met voldoende zekerheid een interpretatie gemaakt worden. De onzekerheden werden veroorzaakt door de complexe geometrieën van de aquifers (t.n.v. '*clinoforms*'), die niet van elkaar konden worden onderscheiden op basis van seismiek. Om uiteindelijk een inschatting te kunnen maken van de geothermie potentie van deze aquifers, moest eerst verder onderzoek naar het sedimentaire systeem van deze aquifers uitgevoerd worden (door middel van een zogenaamd voorwaarts stratigrafisch model). Hiermee wordt gesimuleerd hoe de lagen zijn opgebouwd en kan een voorspelling worden gedaan over waar meer zand of meer klei verwacht kan worden, zodat de geothermische potentie nauwkeuriger berekend kan worden.

Als vervolg hierop is Witteveen+Bos gevraagd om mee te werken aan WarmingUP GOO - Resultaat 1, om een vervolgstudie in de gemeente Den Haag uit te voeren. In deze rapportage worden de eigenschappen van de (ondiepe) ondergrond, met name in de Formatie van Maassluis en de Formatie van Oosterhout, verder verfijnd en verbeterd. De nadruk ligt 1) op een analyse van de doorlatendheid en 2) op een analyse van de petrofysica van de aquifers. De resultaten zullen vervolgens meegenomen worden in het voorwaarts stratigrafisch model dat TNO ontwerpt.

ANALYSE VAN DOORLATENDHEID

Regionaal onderzoek studies naar het potentieel van ondiepe geothermie (meestal tussen 500 - 1.500 m diepte) en Hoge Temperatuur Opslag (HTO: meestal < 500 m diepte) zijn belangrijk voor de implementatie van geothermie projecten en voor de verduurzaming van warmtevoorziening in Nederland. Voor de versnelling, planning en ontwikkeling van ondiepe geothermie en HTO-projecten moet een verbeterde voorspelling van eigenschappen van de (ondiepe) ondergrond worden gerealiseerd. De horizontale doorlatendheid van specifieke aquifers (watervoerende lagen) kan worden bepaald aan de hand van mate van afpompings gedurende een capaciteitsproef op Warmte Koude Opslag (WKO) systemen.

Uit een eerdere studie van Witteveen+Bos uit 2023 is geconcludeerd dat in de gemeente Den Haag de Formatie van Maassluis de hoogste potentie voor ondiepe geothermie en HTO toont [ref. 1]. Het doel van dit rapport is om de horizontale doorlatendheden en transmissiviteit van aquifers in de Formatie van Maassluis te berekenen. Op basis van deze resultaten krijgen we een beter idee over het geothermie potentieel van deze formatie.

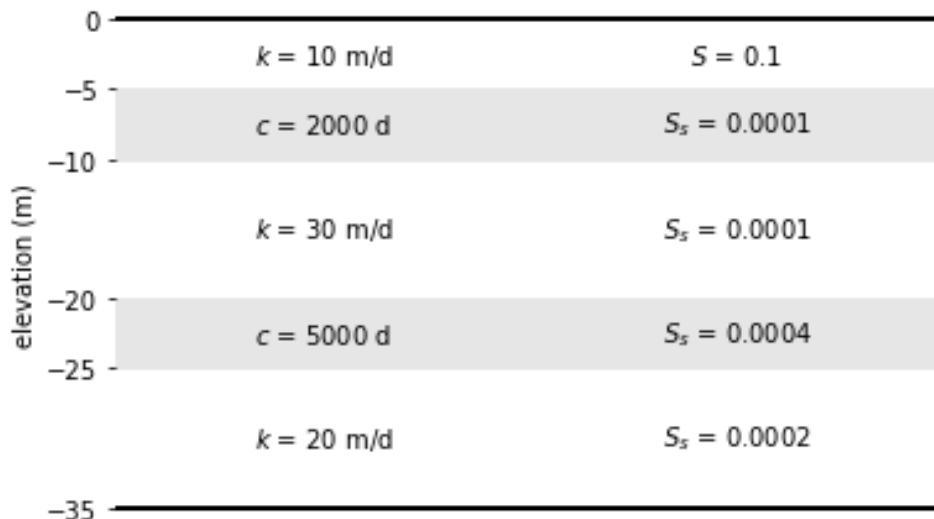
2.1 Methode voor doorlatendheid analyses

Dit hoofdstuk gaat in op de toegepaste methode om de doorlatendheden en transmissiviteit van de aquifers van de Formatie van Maassluis te berekenen. Hiervoor is gebruik gemaakt van de Python-module TTIM.

2.1.1 Python TTIM model

De Python-module TTIM [ref 2, 3] is gebruikt om een semi-analytische simulatie uit te voeren over een systeem met afwisselend aquifers en weerstandslagen (aquitards). Een voorbeeld van hoe de bodem is opgebouwd in een TTIM-model is weergegeven in afbeelding 2.1. De stijghoogte wordt alleen in de verschillende aquifers berekend. De weerstandslagen bieden weerstand tegen verticale stroming. Grondwaterstroming in de aquifers vindt plaats in de horizontale richting, terwijl grondwaterstroming in de weerstandslagen als verticaal wordt aangenomen. In TTIM wordt een oplossing analytisch uitgerekend in het Laplace domein en numeriek teruggerekend naar het tijd-domein door gebruik te maken van het algoritme van de Hoog, Stokes en Knight. Gedetailleerde achtergrondinformatie is in twee papers opgenomen [ref. 2, 3].

Afbeelding 2.1 Voorbeeld van een opbouw van de bodem bij gebruik van Python TTIM-module



2.1.2 Invoer in het TTIM model

De bovenkant van het grondmodel kan zowel een aquifer als weerstandslaag zijn. De opbouw van de bodem is gebaseerd op boorstaten van de WKO bronnen. Parameters voor de verschillende bodemsoorten zijn bepaald met behulp van het 'Grondwaterzakboekje', waarin kengetallen voor doorlatendheden en weerstanden van bodemsoorten zijn opgenomen [ref. 3]. Zo heeft fijn zand een horizontale doorlatendheid (k_h) van ca. 1 à 10 m/d en grof zand ca. 20 à 30 m/d. Kleiige lagen hebben een weerstand van enkele honderden dagen per meter dikte, afhankelijk van hoeveel zandige bijmenging aanwezig is.

De boorstaat is geschematiseerd als een afwisselend gelaagd systeem. Hierbij is aangenomen dat weerstandslagen dikker dan 2 m vlakdekkend zijn. Weerstandslagen dunner dan 2 m zijn meegenomen als 'lensjes'; het is aangenomen dat de aquifer na dit 'lensje' doorloopt.

De overige benodigde gegevens, zoals debieten, boorgatdiameters, filterstellingen, locatie van peilbuizen en metingen zijn gebaseerd op de gegevens van de capaciteitsproeven.

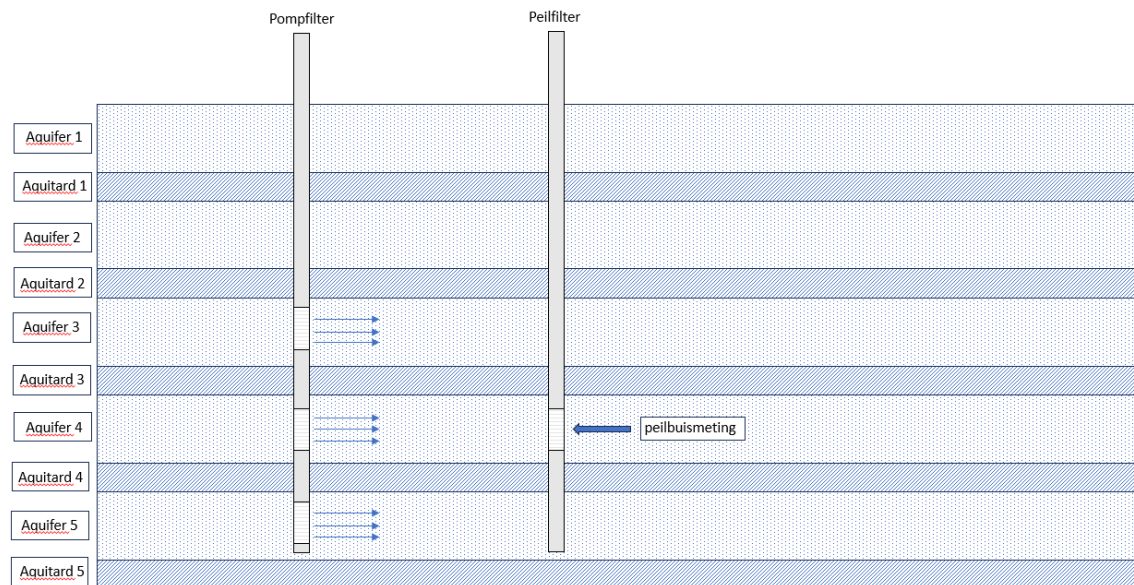
2.1.3 Analyse van het TTIM model

Bij de capaciteitsproef wordt een bepaald debiet onttrokken of geïnjecteerd. Dit debiet leidt tot een verhoging of verlaging van de stijghoogte, waarmee de horizontale doorlatendheid en bergingscoëfficiënt kunnen worden afgeleid. De **horizontale doorlatendheid** bepaalt hoe makkelijk water kan toestromen. Deze doorlatendheid is gerelateerd aan de constante stijghoogteverlaging bij een constant debiet en wordt dus gerepresenteerd door het **asymptotisch deel** van de afpompsingscurve. De **bergingscoëfficiënt** bepaalt de hoeveelheid water dat nog is opgeslagen in het poriënvolume, dat als eerste wordt weggepompt. Deze coëfficiënt is dus gerepresenteerd door de **kromming** van de afpompsingscurve.

In de geanalyseerde capaciteitsproeven wordt water uit één of meerdere aquifers gepompt. In sommige gevallen is het peilfilter op hetzelfde diepte interval als de pompfilter geplaatst: de peilbuis meet dan dus over meerdere aquifers. In dit geval wordt de verlaging over meerdere aquifers gemeten. Veelal staat de peilfilter slechts in een enkele aquifer en kan de stijghoogteverandering alleen in die specifieke aquifer bepaald worden, zie ook afbeelding 2.2. Daarmee kunnen dus ook alleen de parameters voor die specifieke aquifer worden afgeleid.

De waarden voor de horizontale doorlatendheid en bergingscoëfficiënt worden gekalibreerd op de stijghoogteverandering in de peilbuizen en zijn dus gerelateerd aan de mate van afpompings in de aquifer(s) waarin in de peilbuisfilters zijn geplaatst. In het voorbeeld in afbeelding 2.2 kunnen dus alleen de parameters van aquifer 4 bepaald worden, omdat in deze laag ook de peilbuismeting wordt uitgevoerd.

Afbeelding 2.2 Schematische beschrijving van de methode



2.1.4 Resultaat van het TTIM model

De resultaten van het TTIM model zijn een horizontale doorlatendheid (kh) en een bergingscoëfficiënt (S). De kh is om te rekenen naar een transmissiviteit (kD of T) door de kh te vermenigvuldigen met de aquiferdikte. De dikte van de aquifers is bepaald uit de boorbeschrijving van de WKO bron.

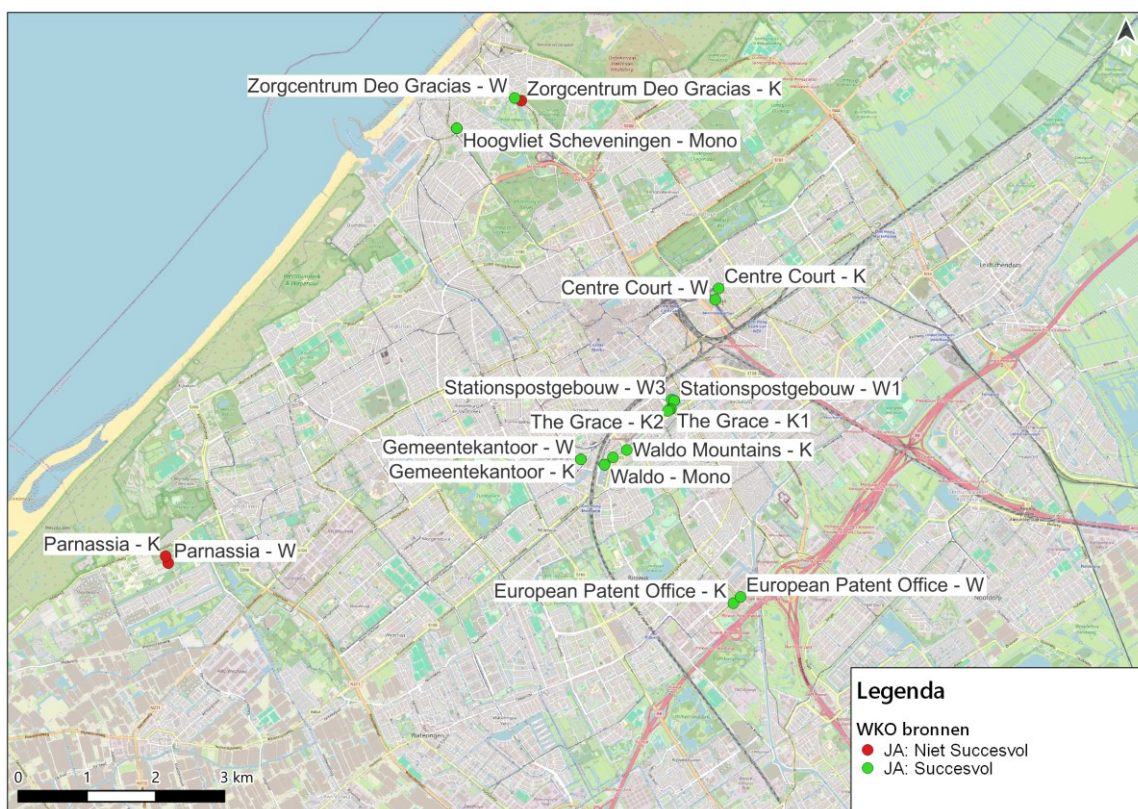
De aquifers kunnen niet 1-op-1 worden gekoppeld aan de verschillende zandige eenheden (subformaties) van de Formatie van Maassluis, omdat de dieptes van de aquifers in de lokale boorstaten niet altijd overeenkomen met ondergrondmodel BRO REGIS II v2.2.1. Van de horizontale doorlatendheid kan bepaald worden in welke subformaties deze is bemeten. Omdat de transmissiviteitswaarde echter afhangt van de dikte van een aquifer (die verschilt ten opzichte van REGIS), kan deze niet eenduidig worden gekoppeld aan een subformatie.

2.2 Resultaten van de doorlatendheid analyse

In dit hoofdstuk zijn de input en resultaten van de TTIM analyse per locatie weergegeven. Afbeelding 2.3 toont de locaties van de WKO bronnen waarop capaciteitsproef-analyses zijn uitgevoerd. Geanalyseerde WKO systemen zijn ruimtelijk verspreid over de gemeente Den Haag.

In de capaciteitsproef-analyse op de koude en warme bron ter locatie van Parnassia (ten zuidwesten van de gemeente) en de koude bron ter locatie van Zorgcentrum Deo Gracias (ten noorden van de gemeente) is het niet gelukt om een goede fit met de datapunten te verkrijgen. Er zijn te weinig meetpunten in de eerste paar minuten van de proef, waardoor modelmatig geen goede fit verkregen kan worden. Deze capaciteitsproef-analyses zijn daarom 'niet succesvol' verklaard.

Afbeelding 2.3 Locaties van de geanalyseerde WKO bronnen. Met groen en rood is aangegeven of de capaciteitsproef-analyse wel of niet succesvol is



Per succesvolle locatie zijn de coördinaten volgens het Rijksdriehoeksmeting (RD New) weergegeven in Tabel 2.1. Er zijn in totaal 9 succesvol geanalyseerde locaties verspreid over de gemeente Den Haag. In de paragrafen 3.1 tot en met 3.9 zijn de resultaten per locatie verder uitgewerkt.

Tabel 2.1 Locaties van de succesvol geanalyseerde WKO systemen

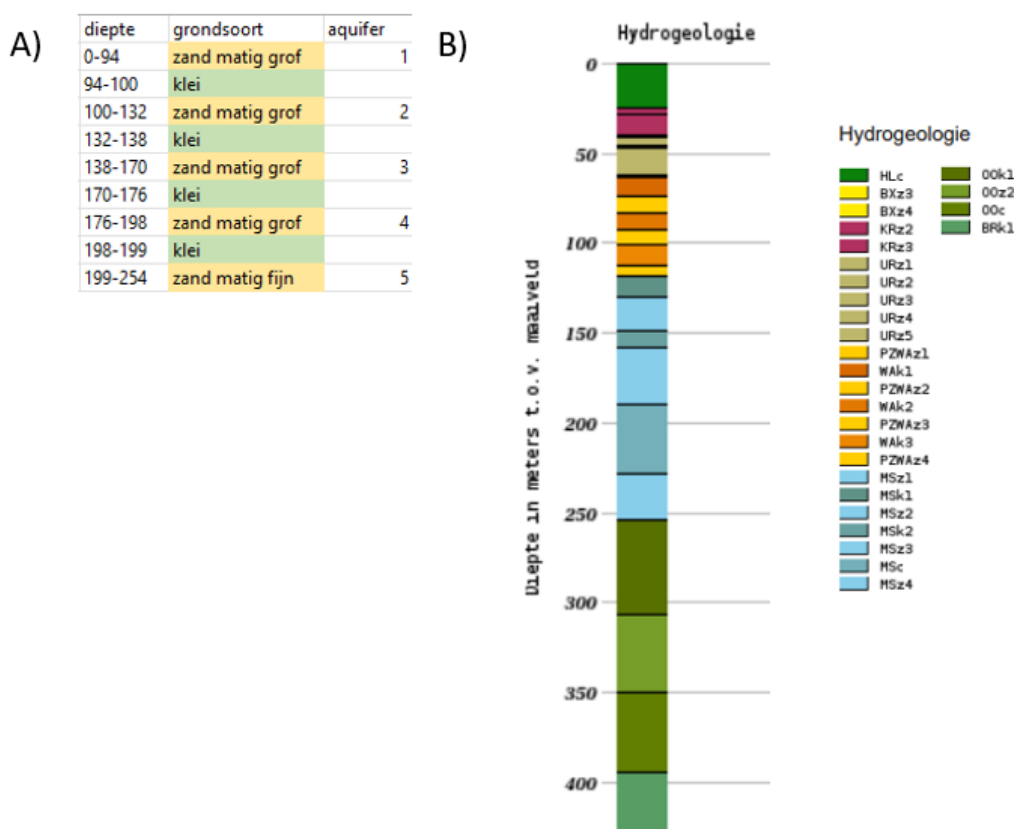
Locatie nummer	Locatie naam	X coördinaat	Y coördinaat
1	Hoogvliet Scheveningen (Monobron)	79.064	457.774
2	Waldo (Monobron)	81.214	452.873
3	Centre Court (Koude bron)	82.877	455.441
3	Centre Court (Warme bron)	82.827	455.277
4	Waldo Mountains (Koude bron)	81.549	453.087
4	Waldo Mountains (Warme bron)	81.338	452.980
5	Stationspostgebouw (Warme bron 1)	82.230	453.805
5	Stationspostgebouw (Warme bron 2)	82.211	453.811
5	Stationspostgebouw (Warme bron 3)	82.190	543.818
6	The Grace (Koude bron 1)	82.182	453.685
6	The Grace (Koude bron 2)	82.159	453.670
6	The Grace (Koude bron 3)	82.136	453.655
7	Gemeentekantoor (Monobron)	80.870	452.950
8	European Patent Office (Koude bron)	83.093	450.856

Locatie nummer	Locatie naam	X coördinaat	Y coördinaat
8	European Patent Office (Warme bron)	83.195	450.947
9	Zorgcentrum DEO Gracias (Warme bron)	79.907	459.215

2.2.1 Hoogvliet Scheveningen

Het bodemenergiesysteem te Hoogvliet (ten noorden van de gemeente Den Haag) betreft een monobron bestaande uit een koude en een warme bron. De lokale bodemopbouw en de bodemopbouw uit REGIS II v2.2.1 ter locatie van de monobron bij Hoogvliet Scheveningen worden weergegeven in afbeelding 2.4. Zandige holocene afzettingen worden opgevolgd door zandige eenheden van de Formatie van Kreftenheye en de Formatie van Urk. Onder deze formaties bevinden zich zandige en kleiige eenheden van de Formatie van Peize en de Formatie van Waalre. De Formatie van Maassluis wordt gevonden van 118 tot 254 m-mv. Het bestaat uit zandige en kleiige afzettingen.

Afbeelding 2.4 A) Geschematiseerde bodemopbouw op basis van boorbeschrijving en B) bodemopbouw op basis van BRO REGIS II v2.2.1 ter plaatse van de monobron bij Hoogvliet Scheveningen



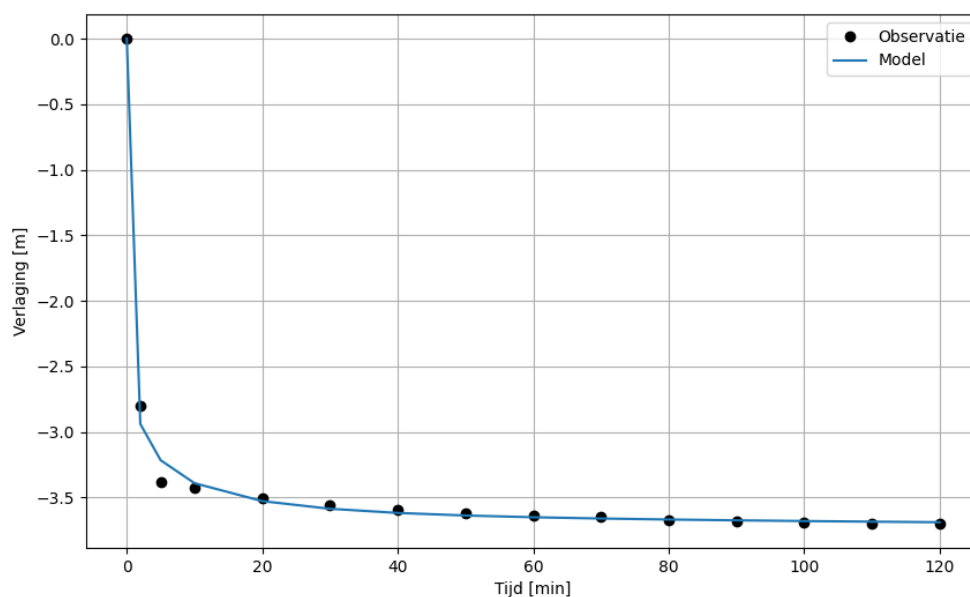
Het pompfilter ligt enkel in de vijfde aquifer, wat betekent dat afpompings enkel heeft plaatsgevonden in deze aquifer. Het peilbuisfilter is ook in deze aquifer geplaatst. Op basis van het diepte-interval van het peilbuisfilter kan het meetpunt gekoppeld worden aan de complexe eenheid van de Formatie van Maassluis. Op de warme bron is de capaciteitsproef enkel uitgevoerd over de derde aquifer. Het peilbuisfilter is ook geplaatst in deze aquifer en het meetpunt kan gekoppeld worden aan de tweede zandige eenheid van de Formatie van Maassluis. Gegevens van de capaciteitsproeven op beide bronnen zijn weergegeven in tabel 2.2.

Tabel 2.2 Gegevens uitgevoerde capaciteitsproef op WKO systeem Hoogvliet Scheveningen

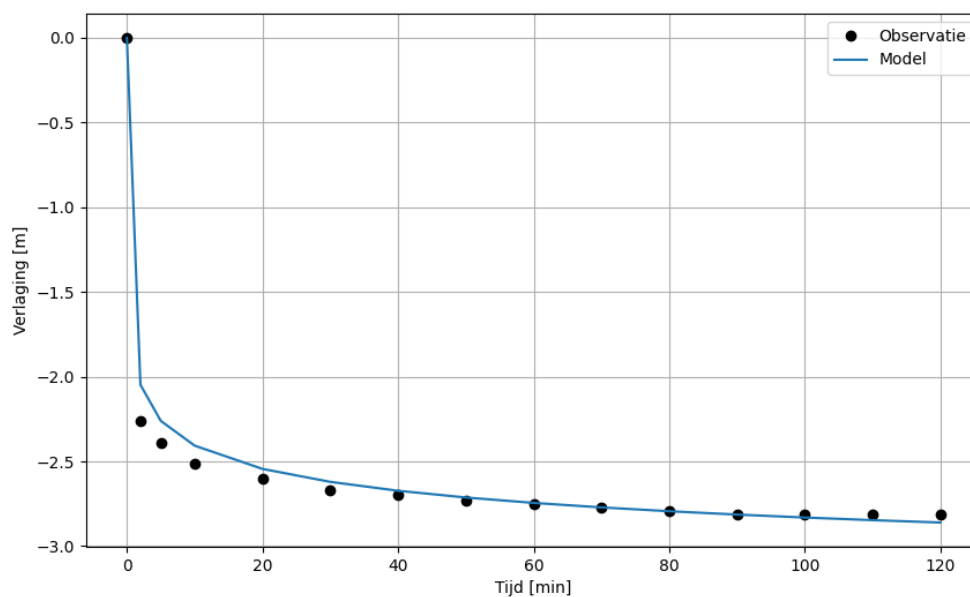
WKO Bron	Debiet [m ³ /h]	Filterstelling put [m-mv]	Filterstelling meetpunt [m-mv]	Formatie
koude bron	30	208 - 228	210 - 212	Maassluis (complexe eenheid)
warme bron	30	140 - 166	142 - 144	Maassluis (tweede zandige eenheid)

Afbeelding 2.5 toont de TTIM analyse op de koude bron, en Afbeelding 2.6 de TTIM analyse op de warme bron. Er kan geconcludeerd worden dat de initiële stijghoogteverlaging lichtelijk wordt overschat, maar over het algemeen is er goede correlatie met de observatiedata.

Afbeelding 2.5 TTIM analyse van capaciteitsproef op koude bron ter locatie Hoogvliet Scheveningen



Afbeelding 2.6 TTIM analyse van capaciteitsproef op warme bron ter locatie Hoogvliet Scheveningen



De waarden voor de horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte en transmissiviteit van de derde aquifer en vijfde aquifer uit de TTIM analyse van de pompproef op respectievelijk de koude en warme bron zijn weergegeven in tabel 2.3.

De dikte van de aquifer, waarin de horizontale doorlatendheid van de koude proef wordt gemeten, komt goed overeen met de dikte van de REGIS Formatie van Maassluis; complexe eenheid en zandige eenheid 4. Naar verwachting is deze transmissiviteit (T of T-waarde) dus redelijk representatief voor deze subformaties. De dikte van de aquifer van de warme boring wijkt echter wel af van de dikte van de tweede zandige eenheid in REGIS. Deze T-waarde is dus minder representatief voor deze subformatie. Deze T-waarde is wel representatief voor de (via de boorstaat geschematiseerde) aquifer op deze diepte.

Tabel 2.3 Berekende horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte van de aquifer en berekende transmissiviteit van aquifers ter locatie Hoogvliet Scheveningen op basis van de TTIM analyse

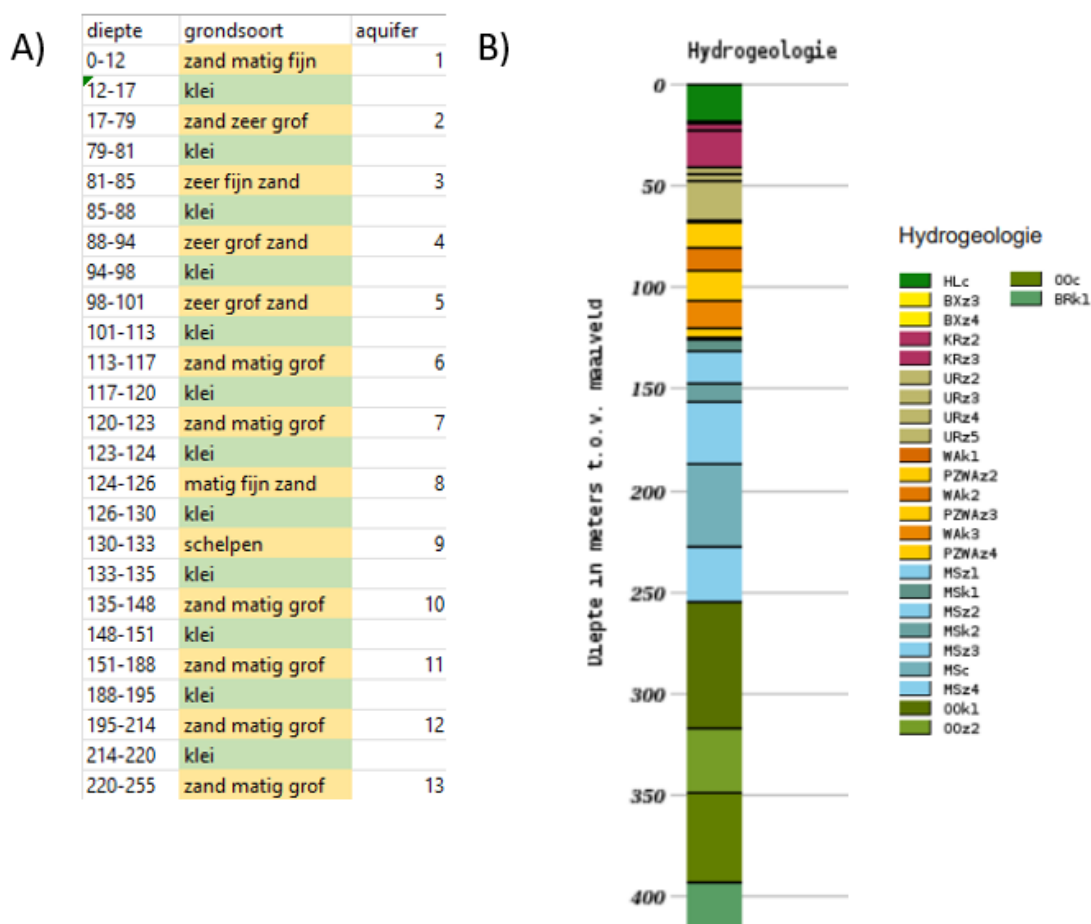
WKO Bron	Horizontale doorlatendheid [m/dag]	Bergingscoëfficiënt [/m]	Sub-formatie	Dikte subformatie o.b.v. REGIS [m]	Dikte aquifer o.b.v. boring [m]	Transmissiviteit [m ² /dag]*
Koud	3,48 ± 0,11	3,18e-6 ± 6,41e-6	Complex + zandig 4	56	55	191,4 ± 6,05
Warm	7,90 ± 0,32	1,79e-5 ± 4,17e-5	Zandig 2	18	32	249,28 ± 10,24

* De transmissiviteit is bepaald op basis van de dikte volgend uit de boring.

2.2.2 Waldo City

Het geïnstalleerde grondwatersysteem ter locatie Waldo City (te midden van de gemeente Den Haag) bestaat uit een monobron, waarin het warme en koude filter onder elkaar zijn geplaatst. De bodemopbouw op basis van de boorbeschrijving en REGIS II v2.2.1 ter locatie van de monobron bij Waldo City zijn weergegeven in afbeelding 2.7. Onder de holocene afzetting liggen zandige afzettingen van de Formatie van Kreftenheye en de Formatie van Urk. Onder deze zandige afzettingen bevinden zich zandige en kleiige lagen van de Formatie van Peize en de Formatie van Waalre. Hieronder worden zandige en kleiige afzettingen van de Formatie van Maassluis teruggevonden. De Formatie van Maassluis wordt gevonden vanaf 125 tot 255 m-mv.

Afbeelding 2.7 A) Geschematiseerde bodemopbouw op basis van boorbeschrijving en B) bodemopbouw op basis van BRO REGIS II v2.2.1 ter plaatse van de monobron bij Waldo City



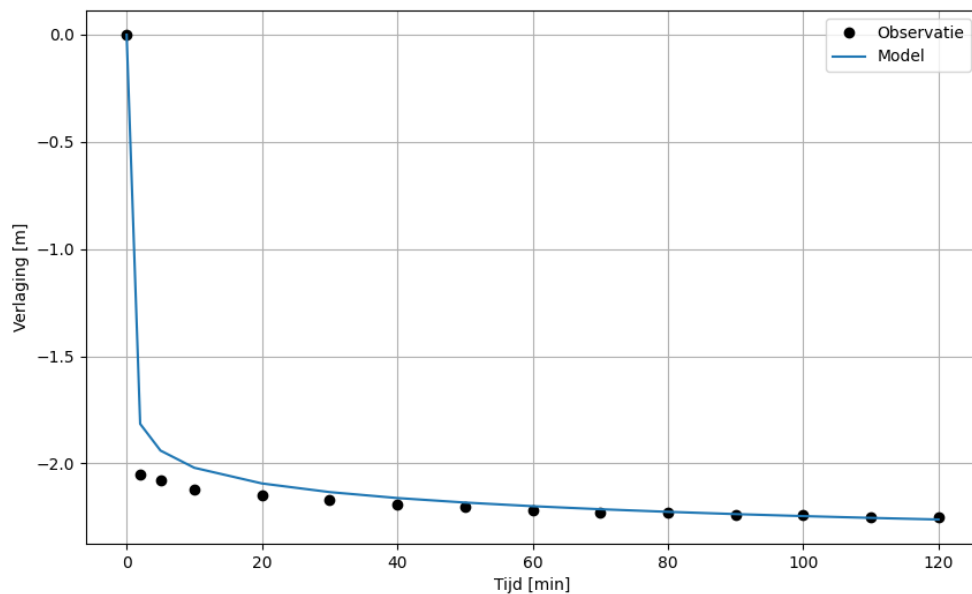
Het pompfilter van de koude bron ligt in de dertiende aquifer, wat betekent dat de afpompings tijdens de capaciteitsproef enkel heeft plaatsgevonden in dit pakket. Er is tevens een peilbuisfilter geplaatst in deze laag. De horizontale doorlatendheid van de stijghoogteverandering in de peilbuis kan op basis van het diepte-interval van het peilbuisfilter gekoppeld worden aan de complexe eenheid van de Formatie van Maassluis. Het pompfilter van de warme bron is geplaatst in de tiende en elfde aquifer, wat betekent dat er water is afgepompt over twee aquifers. Het peilbuisfilter is geplaatst in de tiende aquifer, dus de stijghoogteverandering is voornamelijk gebaseerd op afpompings in deze aquifer. Op basis van diepte-interval van het peilfilter kan het meetpunt gekoppeld worden aan de tweede zandige eenheid van de Formatie van Maassluis. Gegevens van deze capaciteitsproeven worden weergegeven in tabel 2.4.

Tabel 2.4 Gegevens uitgevoerde capaciteitsproeven op WKO systeem Waldo City

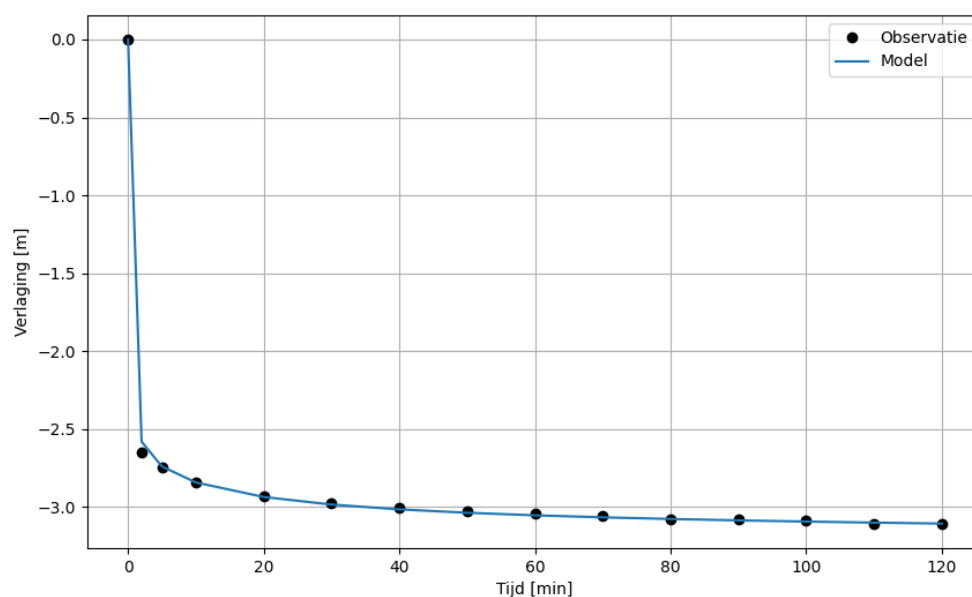
WKO Bron	Debiet [m ³ /h]	Filterstelling put [m-mv]	Filterstelling meetpunt [m-mv]	Formatie
Koud	31	221 - 244	221 - 224	Maassluis (complexe eenheid)
Warm	31	138 - 171	138 - 140	Maassluis (tweede zandige eenheid)

Afbeelding 2.8 en afbeelding 2.9 tonen op de resultaten van de capaciteitsproef-analyses op respectievelijk de koude en warme bron. In de analyse van de koude bron wordt de initiële verlaging lichtelijk onderschat, hoewel de analyse van de warme bron een goede correlatie laat zien met de datapunten.

Afbeelding 2.8 TTIM analyse van capaciteitsproef op koude bron ter locatie van Waldo City



Afbeelding 2.9 TTIM analyse van capaciteitsproef op warme bron ter locatie van Waldo City



De waarden voor horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte en transmissiviteit voor de dertiende en tiende aquifer uit de analyse van de pompproef op respectievelijk de koude en warme bron ter locatie van Waldo City zijn weergegeven in tabel 2.5. De diktes van de sub-formaties in REGIS en de boorbeschrijving komen redelijk overeen; de transmissiviteit is daarom naar verwachting ook een redelijke inschatting voor deze sub-formaties.

Tabel 2.5 Berekende horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte van de aquifer en berekende transmissiviteit van aquifers ter locatie Waldo City op basis van de TTIM analyse

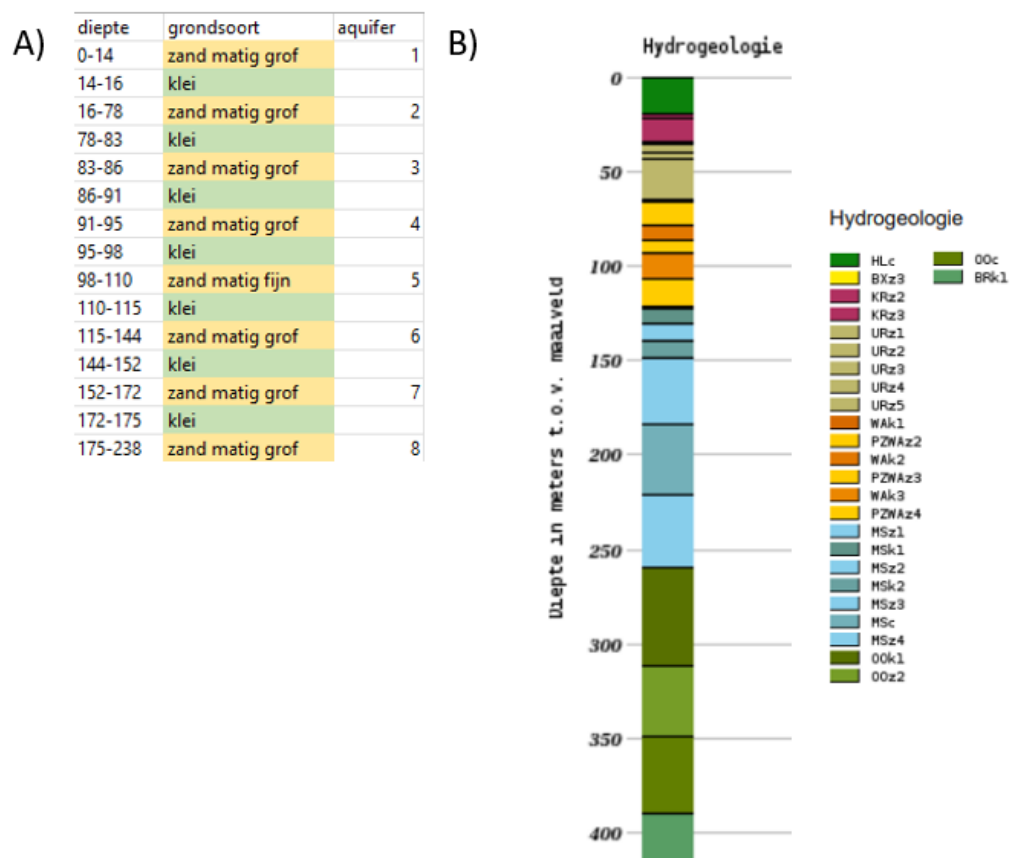
WKO Bron	Horizontale doorlatendheid [m/dag]	Bergingscoëfficiënt [/m]	Sub-formatie	Dikte subformatie o.b.v. REGIS [m]	Dikte aquifer [m]	Transmissiviteit [m ² /dag]*
koud	10,54 ± 0,25	1,54e-6 ± 3,13e-6	Zandig 4	27	35	368,9 ± 8,75
warm	18,75 ± 0,05	2,53e-6 ± 9,76e-5	Zandig 2	10	13	243,75 ± 0,65

* De transmissiviteit is bepaald op basis van de dikte volgend uit de boring.

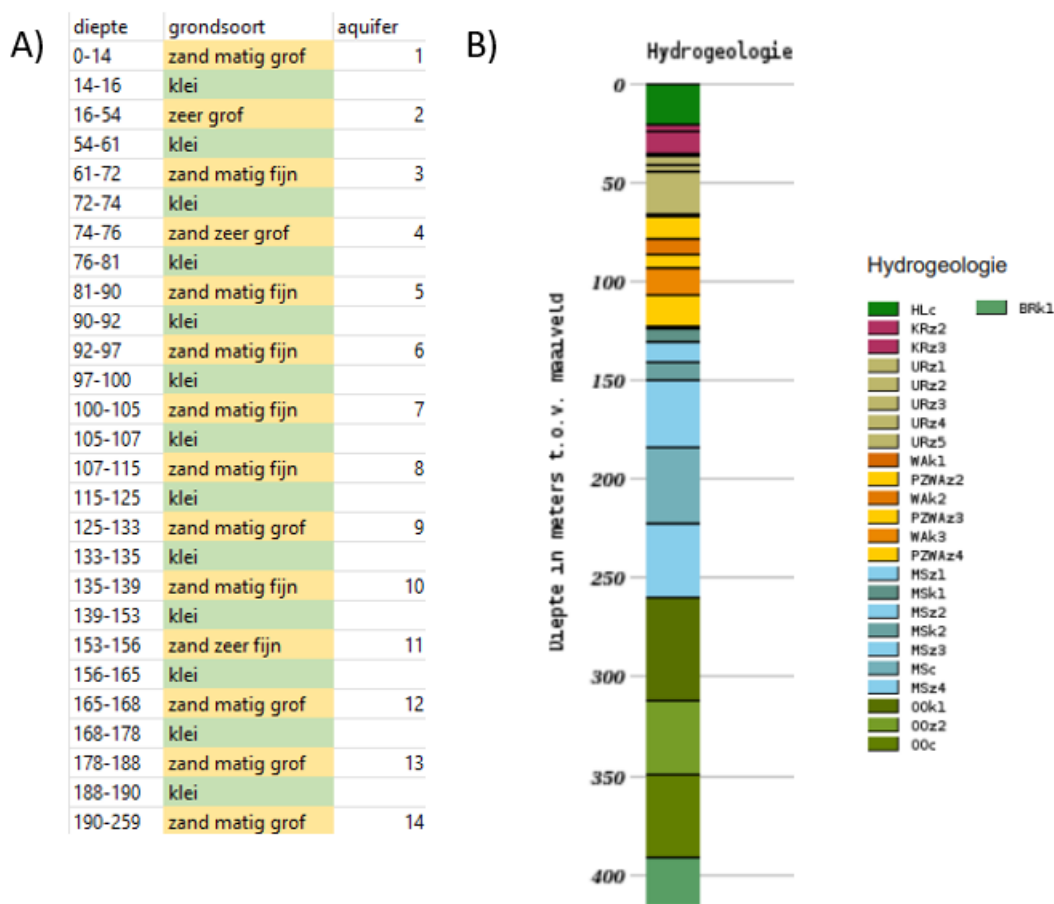
2.2.3 Centre Court

Het WKO systeem ter locatie Centre Court (te midden van de gemeente Den Haag) bestaat uit twee koude en twee warme bronnen. Er is een capaciteitsproef uitgevoerd op zowel een koude bron als een warme bron. De lokale bodemopbouw en de bodemopbouw uit ondergrondmodel REGIS II v2.2.1 zijn respectievelijk voor de koude en warme bron weergegeven in afbeelding 2.10 en afbeelding 2.11. Op beide locaties worden Holocene afzettingen aan het maaiveld teruggevonden. Ter plaatse van de koude bron wordt deze laag opgevolgd door een dunne zandige laag van de Formatie van Bortel, waarna zandige lagen van de Formatie van Kreftenheye en de Formatie van Urk volgen. Op de locatie van de warme bron wordt de Formatie van Bortel niet gevonden. Hieronder liggen zandige en kleiige afzettingen van de Formatie van Peize en Formatie van Waalre. De Formatie van Maassluis bestaat tevens uit zandige en kleiige lagen. De top van de Formatie van Maassluis wordt gevonden tussen 121 en 122 m-mv. De onderkant van de Formatie van Maassluis ligt tussen de 259 en 295 m-mv, afhankelijk van de gebruikte koude of warme bron.

Afbeelding 2.10 A) Geschematiseerde bodemopbouw op basis van boorbeschrijving en B) bodemopbouw op basis van BRO REGIS
II v2.2.1 ter plaatse van de koude bron bij Centre Court



Afbeelding 2.11 A) Geschematiseerde bodemopbouw op basis van boorbeschrijving en B) bodemopbouw op basis van BRO REGIS
II v2.2.1 ter plaatse van de warme bron bij Centre Court



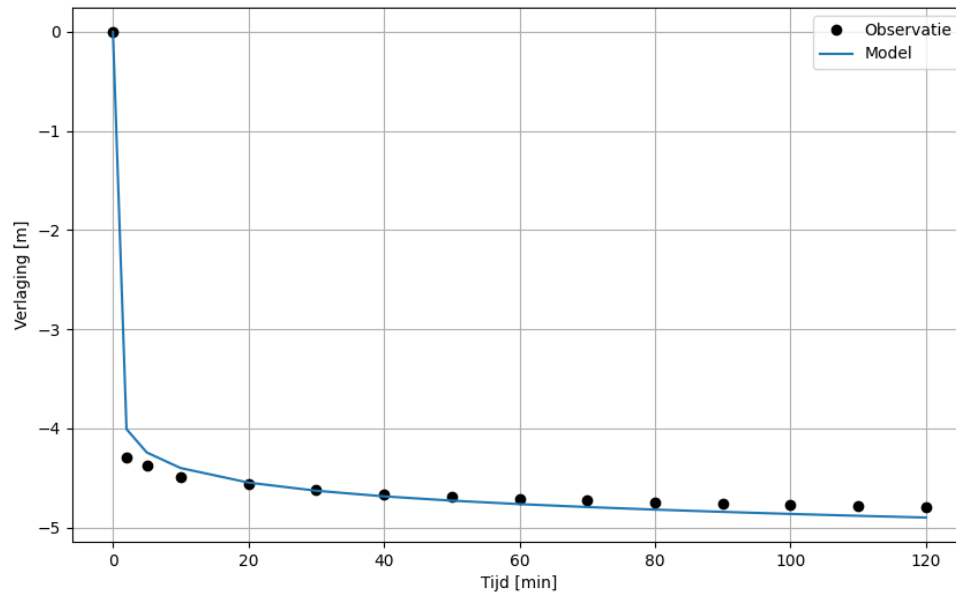
De filterstelling van de put van de koude bron is geplaatst in de zesde, zevende en achtste aquifer, wat betekent dat er over deze pakketten wordt afgepompt gedurende de capaciteitsproef. De capaciteitsproef op de koude bron wordt uitgevoerd over de zesde, zevende en achtste aquifer. De filterstelling van de peilbuis is geplaatst over hetzelfde diepte-interval, wat betekent dat de stijghoogteverandering is gebaseerd op afpompings in deze aquifers. Door het grote diepte-interval van het peilbuisfilter kan het meetpunt niet direct gekoppeld worden aan een specifieke aquifer van de Formatie van Maassluis. Op de warme bron wordt de capaciteitsproef uitgevoerd over de dertiende en veertiende aquifer. De peilbuis filterstelling is geplaatst over hetzelfde diepte-interval, waardoor de gemeten stijghoogteverandering wordt bepaald door afpompings in twee aquifers. Deze komen min of meer overeen met de complexe eenheid en de vierde zandige eenheid. Gegevens van de capaciteitsproeven op beide bronnen worden weergegeven in tabel 2.6.

Tabel 2.6 Gegevens uitgevoerde capaciteitsproeven op WKO systeem Centre Court

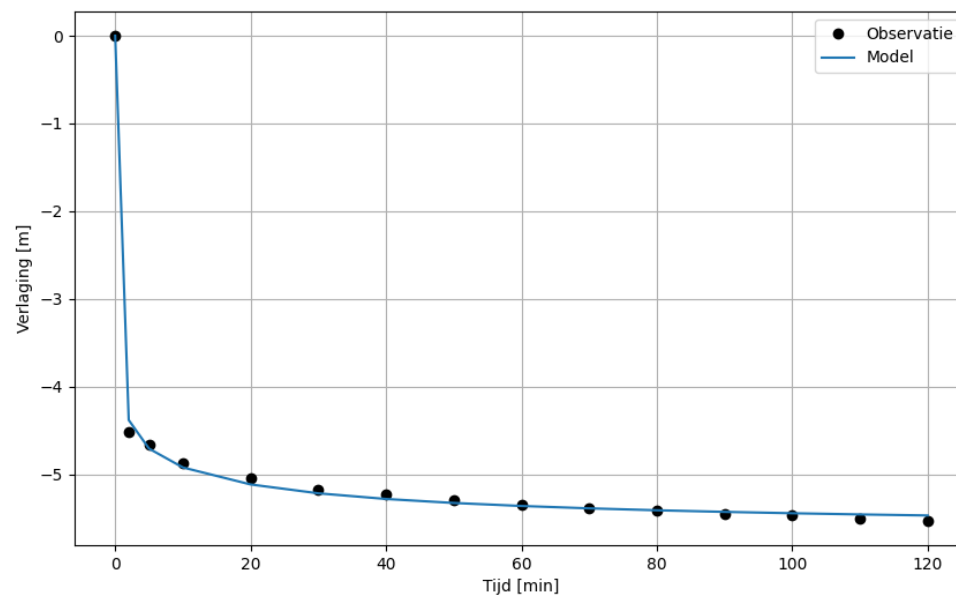
WKO Bron	Debiet [m³/h]	Filterstelling put [m-mv]	Filterstelling meetpunt [m-mv]	Formatie
Koud	130	122 - 233	122 - 233	Maassluis (eerste t/m vierde zandige eenheid)
Warm	130	179 - 249	179 - 249	Maassluis (complex en vierde zandige eenheid)

Afbeelding 2.12 en afbeelding 2.13 tonen de capaciteitsproef-analyses van respectievelijk de koude en warme bron ter locatie Centre Court. In de analyse op de koude bron wordt de initiële verlaging onderschat. De resultaten van de analyse op de warme bron laten een goede correlatie zien met de datapunten.

Afbeelding 2.12 TTIM analyse van capaciteitsproef op koude bron ter locatie Centre Court



Afbeelding 2.13 TTIM analyse van capaciteitsproef op warme bron ter locatie Centre Court



De geïntegreerde waarden voor horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte en transmissiviteit van de zesde, zevende en achtste ter locatie van de koude bron bij Centre Court en van de dertiende en veertiende aquifer ter locatie van de warme bron bij Centre Court, volgend uit de pompproef-analyses, worden weergegeven in tabel 2.7. De diktes uit de boorbeschrijving komen redelijkerwijs overeen met de beschrijving van REGIS. De transmissiviteit kan echter alleen bepaald worden over de meerdere sub-formaties.

Tabel 2.7 Berekende horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte van de aquifer en berekende transmissiviteit van aquifers ter locatie Centre Court op basis van de TTIM analyse

WKO Bron	Horizontale doorlatendheid [m/dag]	Bergingscoëfficiënt [/m]	Sub-formatie	Dikte subformatie o.b.v. REGIS [m]	Dikte aquifer [m]	Transmissiviteit [m ² /dag]**
koud *	14,01 ± 0,16	2,00e-6 ± 8,37e-6	Zandig 1 - 4	138	123	1734,3 ± 19,68
warm *	62,54 ± 0,41	1,70e-5 ± 4,16e-6	Complex + zandig 4	75	81	5065,74 ± 33,21

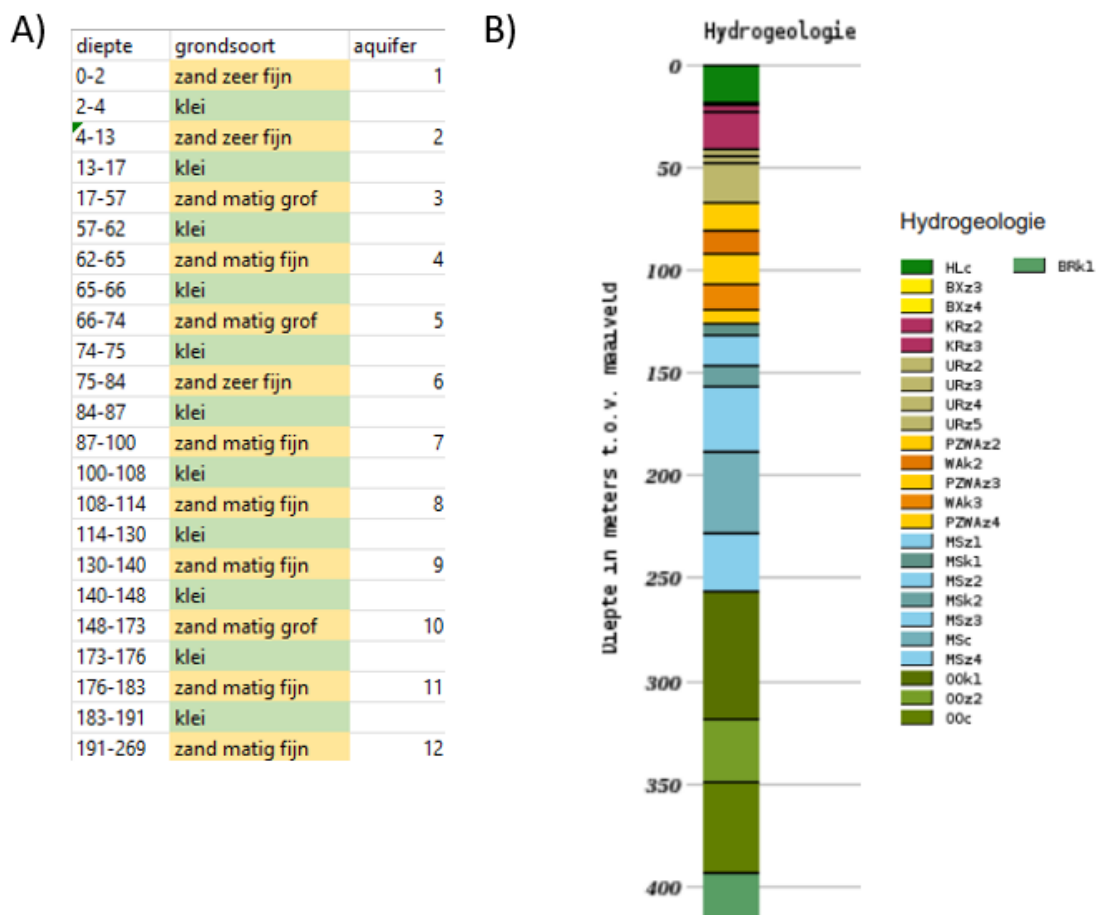
* De meting is uitgevoerd over meerdere aquifers en de berekende horizontale doorlatendheid en transmissiviteit geeft dus niet een waarde voor één specifieke aquifer.

** De transmissiviteit is bepaald op basis van de dikte volgend uit de boring.

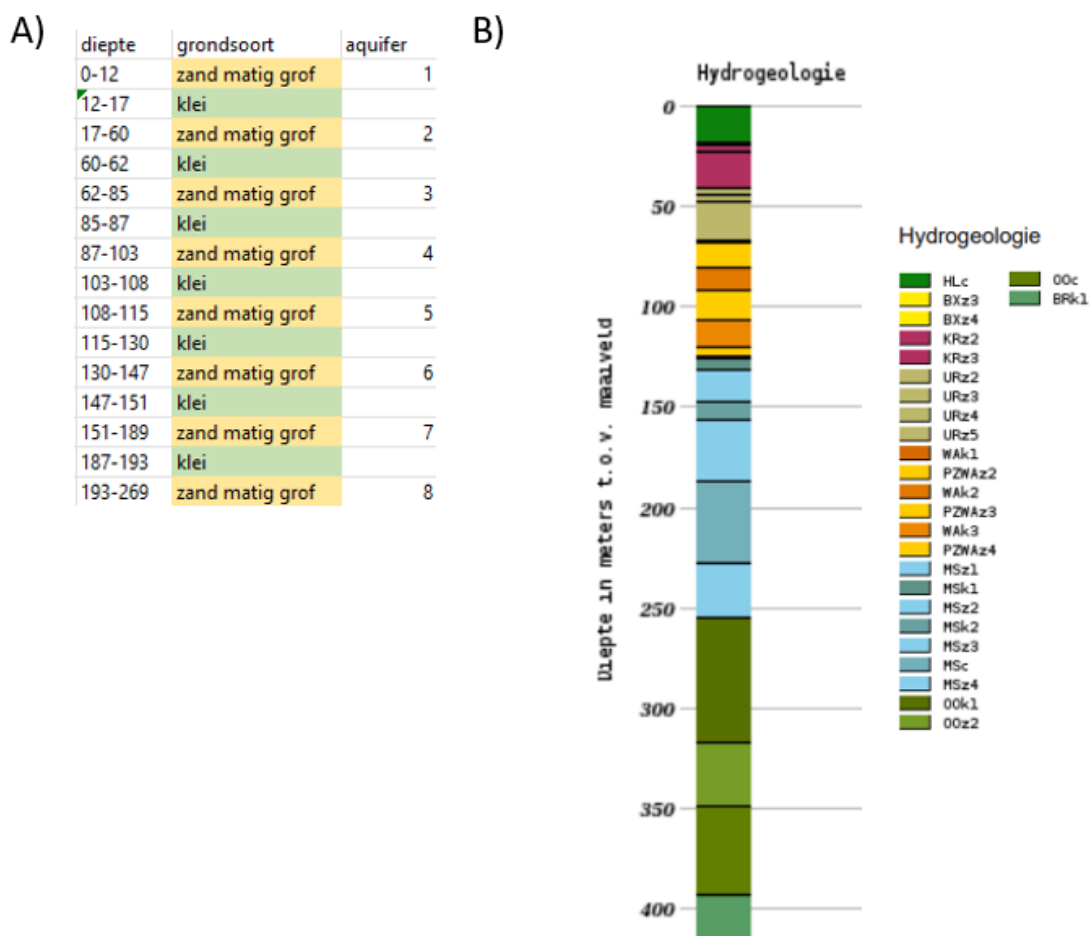
2.2.4 Waldo Mountains

Het geïnstalleerde grondwatersysteem ter locatie Waldo Mountains (te midden van de gemeente Den Haag) bestaat uit twee doubletten van een koude en een warme bron. Er is een capaciteitsproef uitgevoerd op een koude en warme bron. De lokale bodemopbouw en de gemodelleerde bodemopbouw van REGIS II v2.2.1 zijn respectievelijk voor de koude en warme bron weergegeven in afbeelding 2.14 en afbeelding 2.15. Aan het maaiveld worden kleiige en zandige Holocene afzettingen gevonden. Deze worden opgevolgd door zandige eenheden van de Formatie van Kreftenheye en de Formatie van Urk. Hieronder bevinden zich zandige en kleiige lagen van de Formatie van Peize en de Formatie van Waalre. Onder deze afzettingen bevindt zich de Formatie van Maassluis welke bestaat uit zandige en kleiige afzettingen. De top van de Formatie van Maassluis ligt tussen 125 en 126 m-mv. De onderkant van de Formatie van Maassluis ligt tussen 255 en 256 m-mv.

Afbeelding 2.14 A) Geschematiseerde bodemopbouw op basis van boorbeschrijving en B) bodemopbouw op basis van BRO REGIS
II v2.2.1 ter plaatse van de koude bron bij Waldo Mountains



Afbeelding 2.15 A) Geschematiseerde bodemopbouw op basis van boorbeschrijving en B) bodemopbouw op basis van BRO REGIS
II v2.2.1 ter plaatse van warme bron bij Waldo Mountains



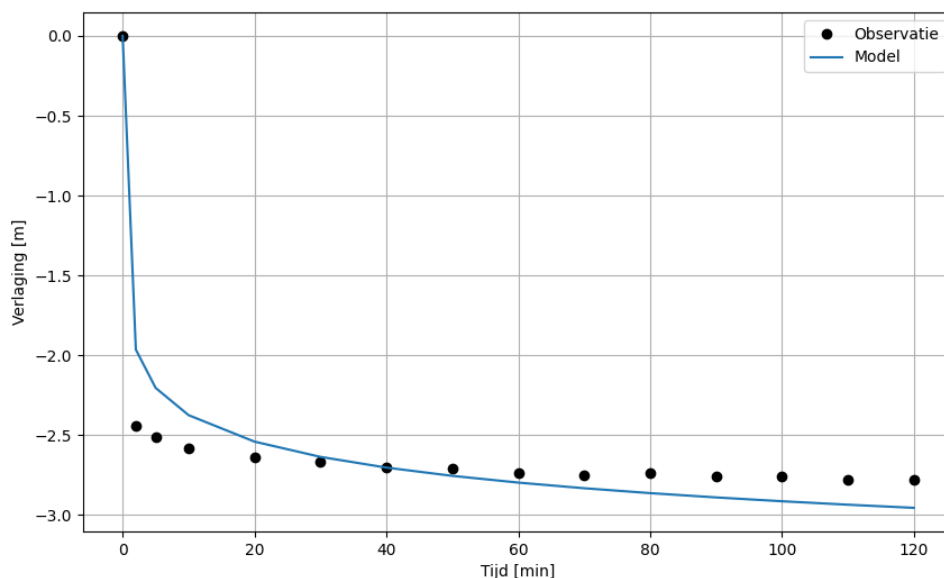
De filterstelling van de pomp van de koude bron is geplaatst in de twaalfde aquifer. De filterstelling van de peilbuis is net als filterstelling van de put geplaatst in de twaalfde aquifer. De stijghoogteverandering in de peilbuis kan dus gerelateerd worden aan het pompen in hetzelfde pakket. Het meetpunt van de peilbuis kan op basis van diepte gekoppeld worden aan de complexe eenheid van de Formatie van Maassluis. De filterstelling van de pomp is geplaatst in de zevende en achtste aquifer. Er wordt dus over twee pakketten water afgepompt. De peilbuisfilterstelling is geplaatst in de zevende aquifer, waardoor de stijghoogteverandering voornamelijk wordt veroorzaakt door de afpompings in deze aquifer. Het meetpunt van de peilbuis kan volgens REGIS gekoppeld worden aan de derde zandige eenheid van de Formatie van Maassluis. Tabel 2.8 toont de gegevens van de uitgevoerde capaciteitsproeven op het WKO systeem bij Waldo Mountains.

Tabel 2.8 Gegevens uitgevoerde capaciteitsproeven op WKO systeem Waldo Mountains

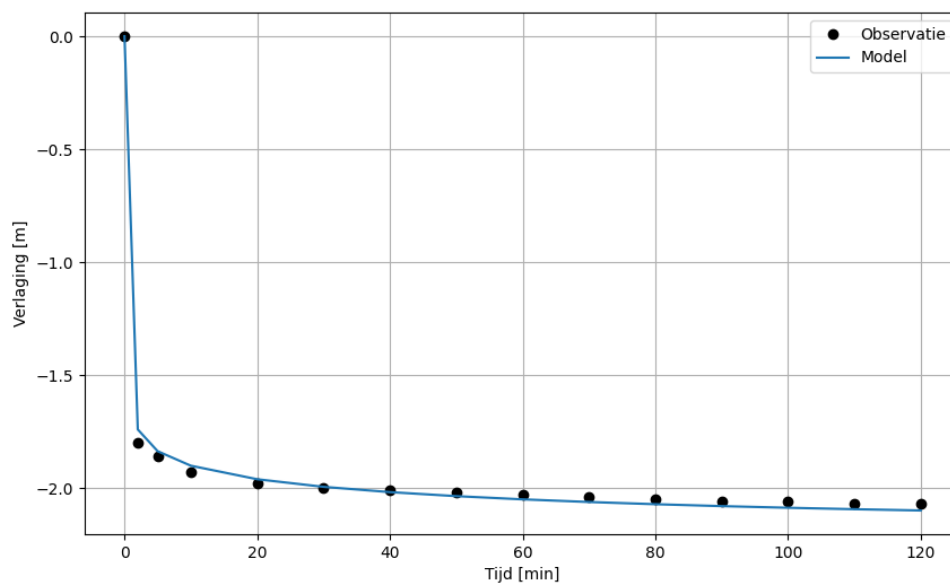
WKO Bron	Debiet [m³/h]	Filterstelling put [m-mv]	Filterstelling meetpunt [m-mv]	Formatie
Koud	45	193 - 264	195 - 197	Maassluis (complexe eenheid)
Warm	45	165 - 249	165 - 167	Maassluis (derde zandige eenheid)

De capaciteitsproef-analyses worden respectievelijk voor de koude en warme bron getoond in afbeelding 2.16 en afbeelding 2.17. In de analyse van de koude bron wordt de initiële daling van de stijghoogte onderschat. De gestabiliseerde grondwaterspiegel na onttrekking wordt overschat. Uit de analyse van de capaciteitsproef op de warme bron valt een goede correlatie met de meetpunten op te maken.

Afbeelding 2.16 TTIM analyse van capaciteitsproef op koude bron ter locatie van Waldo Mountains



Afbeelding 2.17 TTIM analyse van capaciteitsproef op warme bron ter locatie van Waldo Mountains



De waarden voor horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte en transmissiviteit van de twaalfde aquifer ter locatie van de koude bron bij Waldo Mountains en van de zevende aquifer ter locatie van de warme bron bij Waldo Mountains, volgend uit de pompproef-analyses, worden weergegeven in tabel 2.9. De diktes op basis van de boorbeschrijving en REGIS komen redelijkerwijs overeen. De inschatting van de transmissiviteit zal voor de specifieke subformaties wat afwijken. Deze T-waarden zijn wel representatief voor de aquifers op deze dieptes, maar kunnen dus niet zomaar vertaald worden naar een 'bijbehorende' subformatie.

Tabel 2.9 Berekende horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte van de aquifer en berekende transmissiviteit van aquifers ter locatie Waldo Mountains op basis van de TTIM analyse

WKO Bron	Horizontale doorlatendheid [m/dag]	Bergingscoëfficiënt [/m]	Sub-formatie	Dikte subformatie o.b.v. REGIS [m]	Dikte aquifer [m]	Transmissiviteit [m ² /dag]*
Koud	4,56 ± 0,52	3,95e-5 ± 0,01	Complex + zandig 4	68	78	355,68 ± 40,56
Warm	16,13 ± 0,11	1,39e-6 ± 1,02e-6	Zandig 3	31	38	612,94 ± 4,18

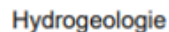
* De transmissiviteit is bepaald op basis van de dikte volgend uit de boring.

2.2.5 Stationspostgebouw

Als onderdeel van het bodemenergiesysteem van het HS-kwartier ter locatie Stationspostgebouw (te midden van de gemeente Den Haag) zijn zes geclusterde doubletten geïnstalleerd. Op drie van de zes warme bronnen is een capaciteitsproef uitgevoerd. De lokale bodemopbouw en de gemodelleerde bodemopbouw van REGIS II v2.2.1 zijn respectievelijk voor de eerste, tweede en derde warme bron weergegeven in afbeelding 2.18, afbeelding 2.19 en afbeelding 2.20. Aan het maaiveld worden afwisselend zandige en kleiige lagen gevonden. Op locaties 2 en 3 worden deze gekoppeld aan Holocene afzettingen. Op locatie 1 worden deze afzettingen echter toegeschreven aan de Formatie van Kreftenheye alhoewel deze formatie hoogstens zand bevat. Op de grens van de zandige eenheden van de Formatie van Kreftenheye en de Formatie van Urk wordt op alle locaties een kleilaag teruggevonden. Onder de Formatie van Kreftenheye ligt op alle drie locaties de Formatie van Urk. Deze wordt opgevolgd door zandige en kleiige afzettingen van de Formatie van Peize en de Formatie van Waalre. Hieronder ligt de Formatie van Maassluis, welke zandige en kleiige afzettingen bevat. De top van de Formatie van Maassluis ligt tussen de 105 en 113 m-mv. De onderkant van de Formatie van Maassluis wordt gevonden tussen 238 en 256 m-mv.

II v2.2.1 ter plaatse van warme bron 1 bij Stationspostgebouw

B)

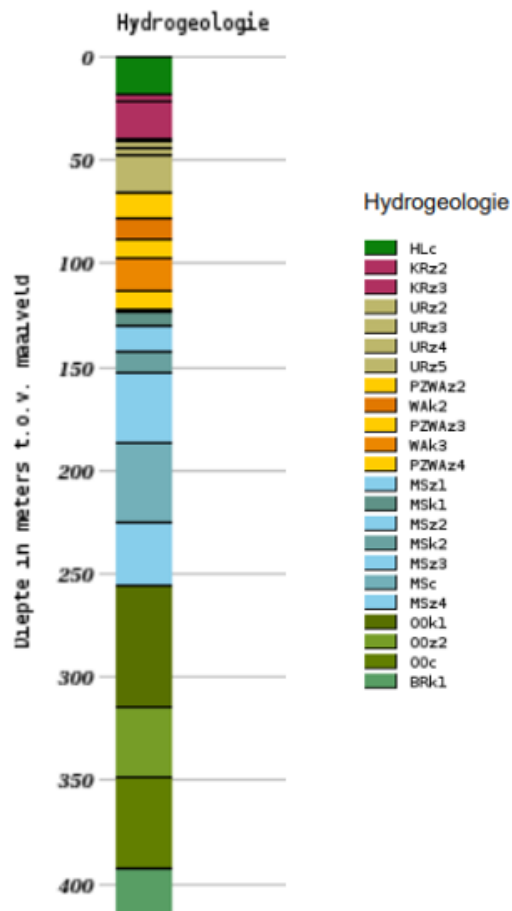


Afbeelding 2.19 A) Geschematiseerde bodemopbouw op basis van boorbeschrijving en B) bodemopbouw op basis van BRO REGIS
II v2.2.1 ter plaatse van warme bron 2 bij Stationspostgebouw

A)

diepte	grondsoort	aquifer
0-8	zand matig fijn	1
8-19	klei	
19-42	zand matig grof	2
42-46	klei	
46-79	zand matig grof	3
79-81	klei	
81-86	zand matig fijn	4
86-102	klei	
102-107	zand matig fijn	5
107-110	klei	
110-113	zand matig fijn	6
113-116	klei	
116-120	zand matig grof	7
120-129	klei	
129-140	zand matig fijn	8
140-144	klei	
144-149	zand matig grof	9
149-153	klei	
153-174	zand matig grof	10
174-178	klei	
178-183	zand matig grof	11
183-190	klei	
190-197	zand matig grof	12
197-198	klei	
198-218	zand matig grof	13
218-221	klei	
221-269	zand matig grof	14

B)

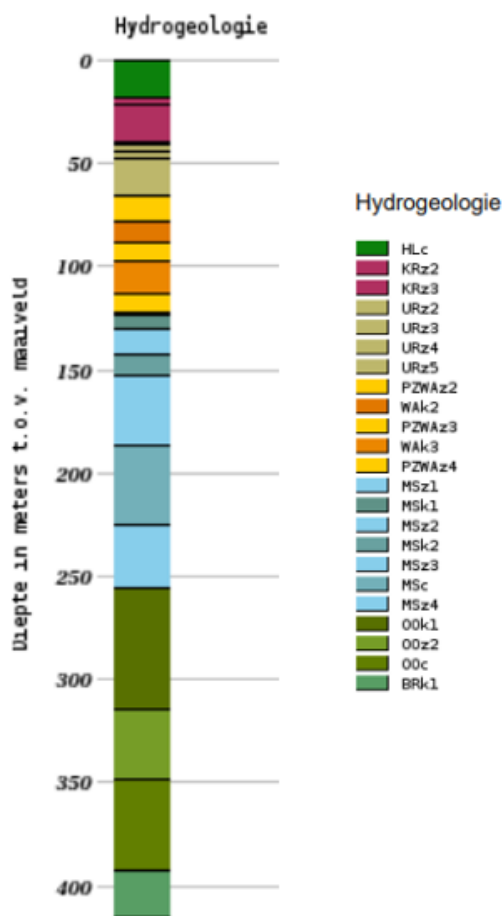


Afbeelding 2.20 A) Geschematiseerde bodemopbouw op basis van boorbeschrijving en B) bodemopbouw op basis van BRO REGIS II v2.2.1 ter plaatse van warme bron 3 bij Stationspostgebouw

A)

diepte	grondsoort	aquifer
0-2	zand matig fijn	1
2-7	klei	
7-11	zand matig grof	2
11-19	klei	
19-39	zand matig grof	3
39-46	klei	
46-77	zand matig grof	4
77-81	klei	
81-84	zand matig fijn	5
84-102	klei	
102-107	zand matig grof	6
107-110	klei	
110-113	zand matig fijn	7
113-117	klei	
117-120	zand matig grof	8
120-129	klei	
129-136	zand matig fijn	9
136-139	klei	
139-149	zand matig grof	10
149-153	klei	
153-173	zand matig grof	11
173-176	klei	
176-182	zand matig grof	12
182-189	klei	
189-218	zand matig grof	13
218-220	klei	
220-269	zand matig grof	14

B)



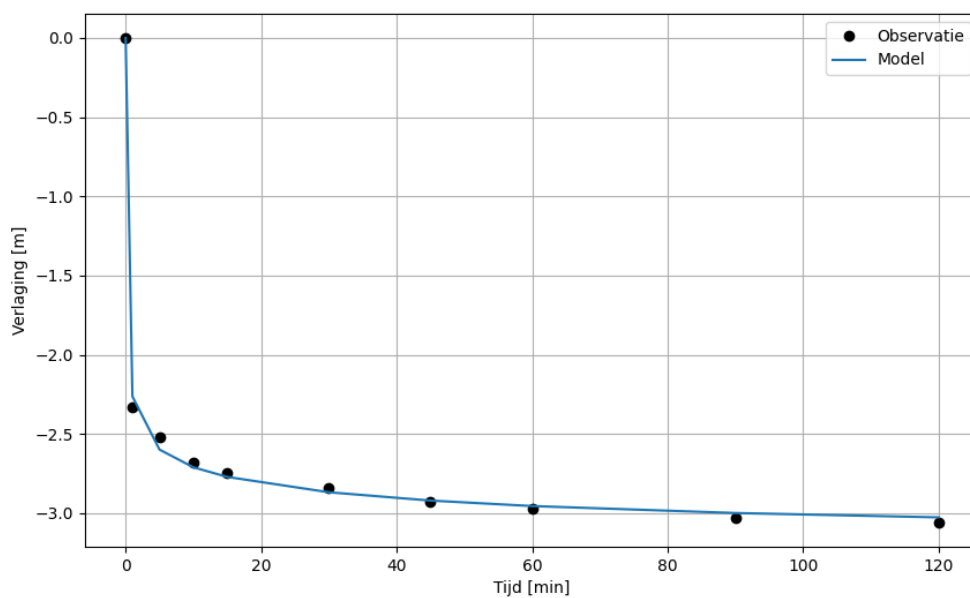
De filterstelling van de pomp van de eerste warme bron is geplaatst in de veertiende en vijftiende aquifer. Het peilbuisfilter is geplaatst in de veertiende aquifer, waardoor de stijghoogteverandering voornamelijk gerelateerd kan worden aan afpompings in deze aquifer. Op basis van diepte van het peilbuisfilter kan het meetpunt gekoppeld worden aan de derde zandige eenheid van de Formatie van Maassluis. De filterstelling van de pomp van de tweede warme bron is geplaatst in de elfde, twaalfde, dertiende en veertiende aquifer. De filterstelling van de peilbuis is geplaatst in de elfde aquifer, waardoor de stijghoogteverandering voornamelijk gebaseerd is op afpompings in dit pakket. Het peilbuismeetpunt kan gekoppeld worden aan de complexe eenheid binnen de Formatie van Maassluis. De capaciteitsproef over de derde warme bron wordt op locatie 3 uitgevoerd over de dertiende en veertiende aquifer. Het peilbuisfilter is geplaatst in de dertiende aquifer, waardoor stijghoogteverandering voornamelijk gebaseerd is op afpompings in dit pakket. Op basis van diepte kan het meetpunt worden gekoppeld aan de complexe eenheid in de Formatie van Maassluis. Tabel 2.10 omvat de gegevens van de uitgevoerde capaciteitsproeven.

Tabel 2.10 Gegevens uitgevoerde capaciteitsproeven op WKO systeem Stationspostgebouw

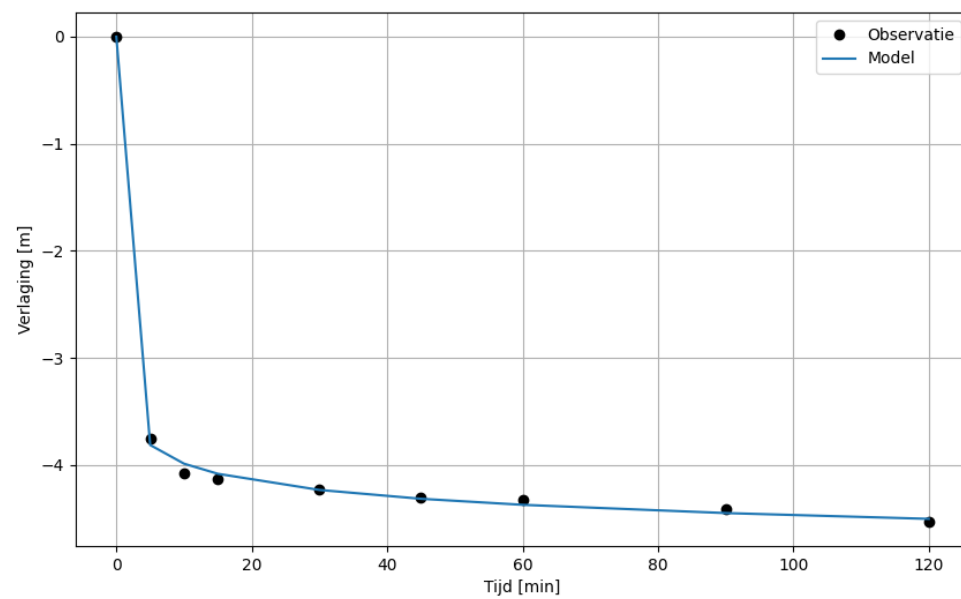
WKO Bron	Debiet [m3/h]	Filterstelling put [m-mv]	Filterstelling meetpunt [m-mv]	Formatie
Warm 1 (W1)	100	162 - 249	162 - 164	Maassluis (derde zandige eenheid)
Warm 2 (W2)	100	179 - 249	179 - 181	Maassluis (complexe eenheid)
Warm 3 (W3)	100	193 - 249	193 - 195	Maassluis (complexe eenheid)

De capaciteitsproef-analyses voor warme bron 1, warme bron 2 en warme bron 3 zijn respectievelijk weergegeven in afbeelding 2.21, afbeelding 2.22 en afbeelding 2.23.

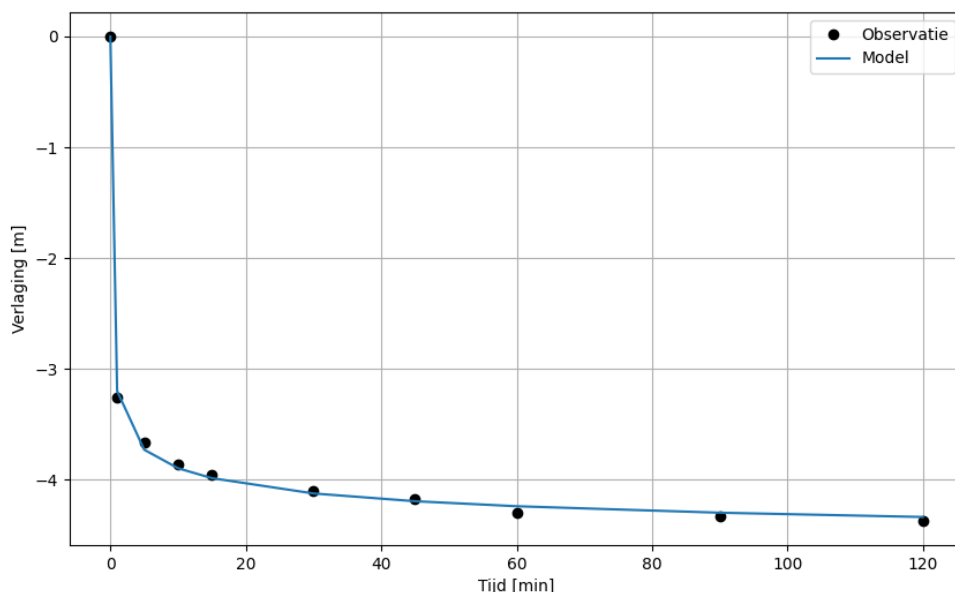
Afbeelding 2.21 TTIM analyse van de capaciteitsproef op warme bron 1 ter locatie Stationspostgebouw



Afbeelding 2.22 TTIM analyse van capaciteitsproef op warme bron 2 ter locatie Stationspostgebouw



Afbeelding 2.23 TTIM analyse van capaciteitsproef op warme bron 3 ter locatie van Stationspostgebouw



De waarden voor horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte en transmissiviteit van de veertiende aquifer ter locatie van de eerste warme bron bij Stationspostgebouw, van de elfde aquifer ter locatie van de tweede warme bron bij Stationspostgebouw en van de dertiende aquifer ter locatie van de derde warme bron bij Stationspostgebouw, volgend uit de pompproef-analyses, worden weergegeven in tabel 2.11. De transmissiviteit berekend uit bron W1 komt redelijkerwijs overeen met de derde zandige eenheid, vanwege de vergelijkbare dikte. Met name van bron 2, maar ook bron 3, wijkt de transmissiviteit voor de sub-formatie wel aanzienlijk af. Deze T-waarde is wel representatief voor de aquifer op deze diepte.

Tabel 2.11 Berekende horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte van de aquifer en transmissiviteit in aquifers ter locatie Stationspostgebouw op basis van de TTIM analyse

WKO Bron	Horizontale doorlatendheid [m/dag]	Bergingscoëfficiënt [/m]	Sub-formatie	Dikte subformatie o.b.v. REGIS [m]	Dikte aquifer [m]	Transmissiviteit [m ² /dag]*
Warm 1 (W1)	29,78 ± 0,26	4,67e-6 ± 3,12e-6	Zandig 3	34	30	893,4 ± 7,80
Warm 2 (W2)	17,67 ± 0,20	2,34e-6 ± 3,60e-5	Complex	38	5	88,35 ± 1,00
Warm 3 (W3)	20,79 ± 0,14	4,66e-6 ± 2,37e-6	Complex	38	29	602,91 ± 4,06

* De transmissiviteit is bepaald op basis van de dikte volgend uit de boring.

2.2.6 The Grace

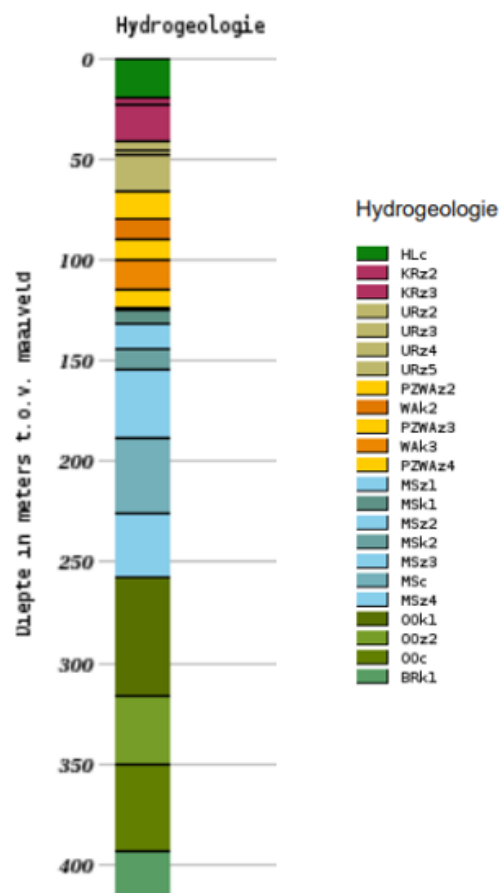
Ter hoogte van The Grace (te midden van de gemeente Den Haag) zijn drie doubletten bestaande uit een koude en een warme bron geïnstalleerd. De warme bronnen komen overeen met de beschreven bronnen op locatie Stationspostgebouw. Op de koude bronnen zijn capaciteitsproeven uitgevoerd, welke kunnen worden gebruikt in de analyse. De lokale bodemopbouw en de gemodelleerde bodemopbouw van REGIS II v2.2.1 worden respectievelijk voor de locatie van de eerste, tweede en derde koude bron geschematiseerd in afbeelding 2.24, afbeelding 2.25 en afbeelding 2.26. Aan het maaiveld worden zandige en kleiige Holocene afzettingen gevonden, welke worden opgevolgd door zandige eenheden van de Formatie van Kreftenheye en de Formatie van Urk. Hieronder liggen zandige en kleiige lagen van de Formatie van Peize en de Formatie van Waalre, welke worden opgevolgd door zandige en kleiige lagen van de Formatie van Maassluis. De top van de Formatie van Maassluis ligt tussen 123 en 124 m-mv. De onderkant van de Formatie van Maassluis ligt tussen 256 en 257 m-mv.

Afbeelding 2.24 A) Geschematiseerde bodemopbouw op basis van boorbeschrijving en B) bodemopbouw op basis van BRO REGIS II v2.2.1 ter plaatse van koude bron 1 bij The Grace

A)

diepte	grondsoort	aquifer
0-5	zand matig grof	1
5-10	klei	
10-15	zand matig grof	2
15-20	klei	
20-80	zand matig grof	3
80-93	klei	
93-97	zand matig fijn	4
97-102	klei	
102-107	zand matig fijn	5
107-111	klei	
111-114	zand matig grof	6
114-130	klei	
130-138	zand matig grof	7
138-141	klei	
141-144	zand matig grof	8
144-145	klei	
145-150	zand matig fijn	9
150-154	klei	
154-171	zand matig grof	10
171-173	klei	
173-184	zand matig grof	11
184-188	klei	
188-269	zand matig grof	12

B)

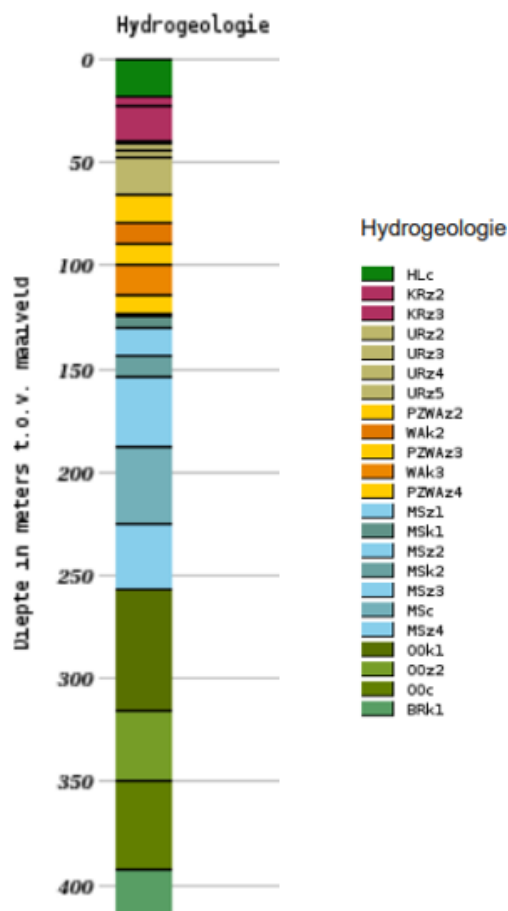


Afbeelding 2.25 A) Geschematiseerde bodemopbouw op basis van boorbeschrijving en B) bodemopbouw op basis van BRO REGIS
II v2.2.1 ter plaatse van koude bron 2 bij The Grace

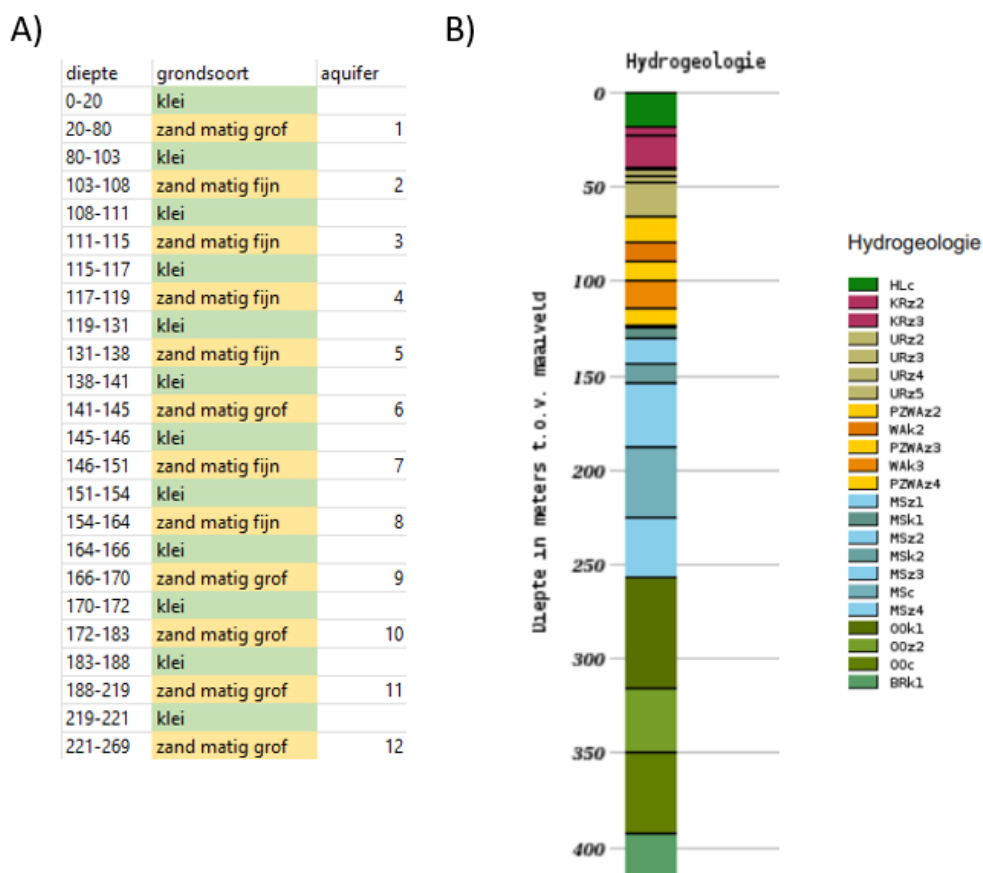
A)

diepte	grondsoort	aquifer
0-2	leem	
2-5	zand matig grof	1
5-20	klei	
20-76	zand matig grof	2
76-91	klei	
91-97	zand matig fijn	3
97-103	klei	
103-108	zand matig fijn	4
108-110	klei	
110-114	zand matig fijn	5
114-119	klei	
119-125	zand matig fijn	6
125-130	klei	
130-171	zand matig grof	7
171-173	klei	
173-183	zand matig grof	8
183-189	klei	
189-218	zand matig grof	9
218-220	klei	
220-269	zand matig grof	10

B)



Afbeelding 2.26 A) Geschematiseerde bodemopbouw op basis van boorbeschrijving en B) bodemopbouw op basis van BRO REGIS
II v2.2.1 ter plaatse van koude bron 3 bij The Grace.



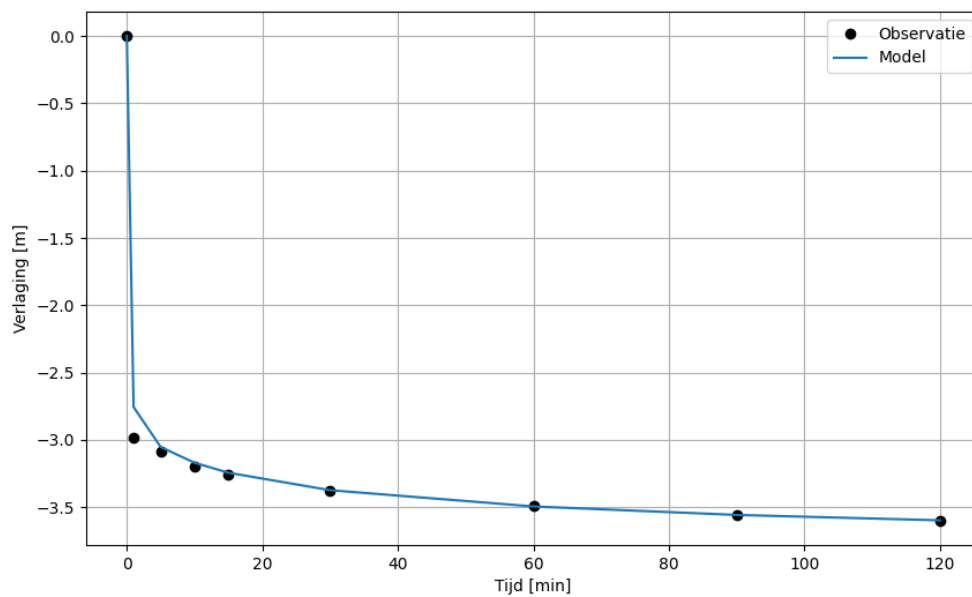
De filterstelling van de pomp van de eerste koude bron is geplaatst in de tiende, elfde en twaalfde aquifer. Er wordt dus over drie pakketten water afgepompt. De filterstelling van de peilbuis is geplaatst in de tiende aquifer. De stijghoogteverandering kan dus voornamelijk worden gekoppeld aan de afpompings in de tiende aquifer. Op basis van diepte kan het meetpunt gekoppeld worden aan de derde zandige eenheid van de Formatie van Maassluis. De filterstelling van de pomp van de tweede koude bron is geplaatst in de zevende, achtste, negende en tiende aquifer. Er wordt enkel gemeten in de zevende aquifer, wat op basis van diepte kan worden gekoppeld aan de derde zandige eenheid van de Formatie van Maassluis. Op de derde koude bron wordt de capaciteitsproef uitgevoerd over de tiende, elfde en twaalfde aquifer. De peilbuismeting is geplaatst binnen de tiende aquifer, wat volgens REGIS in de derde zandige eenheid van de Formatie van Maassluis ligt. Gegevens van de capaciteitsproeven zijn weergegeven in tabel 2.12.

Tabel 2.12 Gegevens uitgevoerde capaciteitsproeven op WKO systeem The Grace

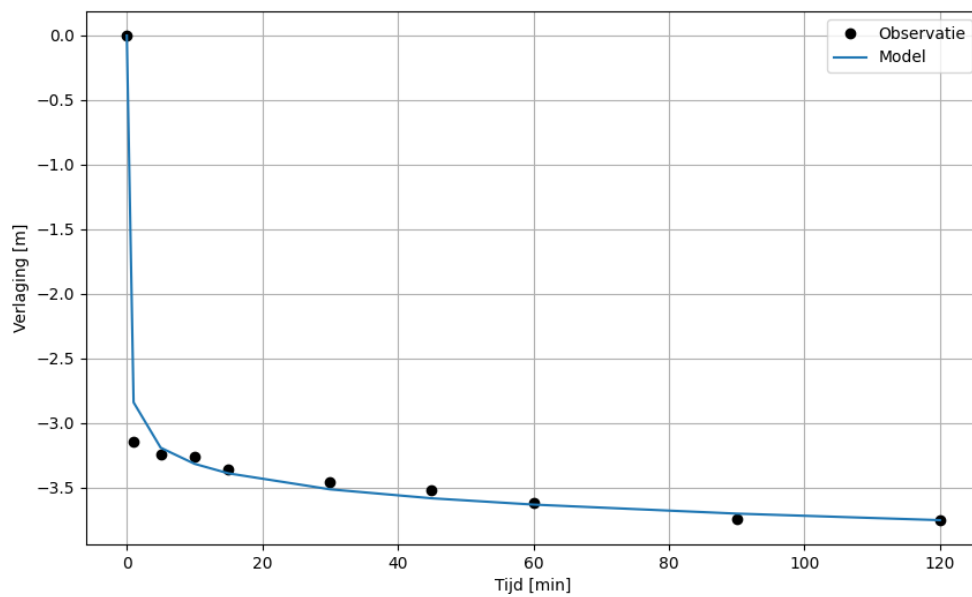
WKO Bron	Debiet [m³/h]	Filterstelling put [m-mv]	Filterstelling meetpunt [m-mv]	Formatie
koud 1 (K1)	108	167 - 247	167 - 169	Maassluis (derde zandige eenheid)
koud 2 (K2)	105	155 - 249	155 - 157	Maassluis (derde zandige eenheid)
koud 3 (K3)	106	177 - 249	177 - 179	Maassluis (derde zandige eenheid)

De capaciteitsproef-analyses voor koude bron 1, koude bron 2 en koude bron 3 zijn respectievelijk weergegeven in afbeelding 2.27, afbeelding 2.28 en afbeelding 2.29.

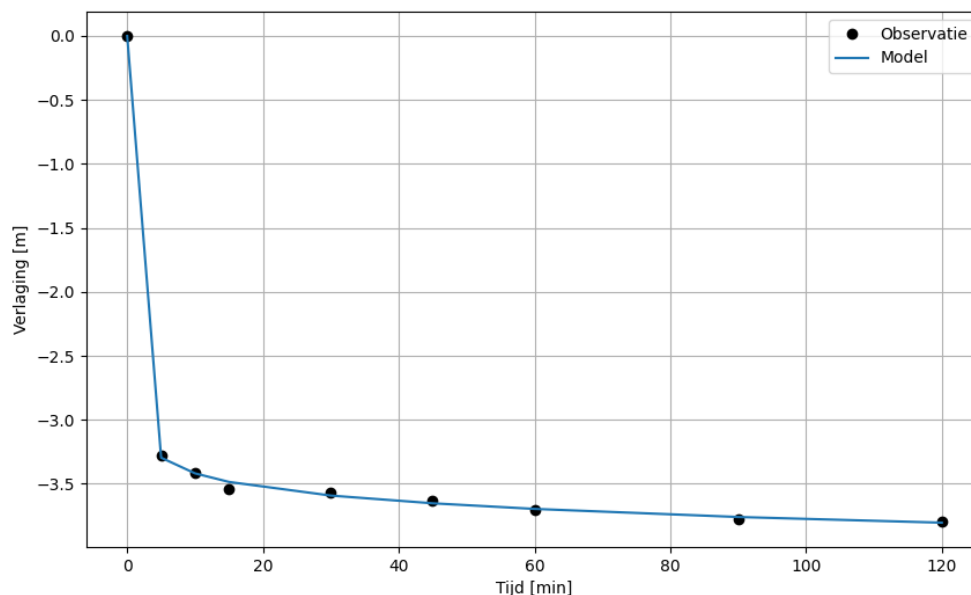
Afbeelding 2.27 TTIM analyse van de capaciteitsproef op koude bron 1 ter locatie The Grace



Afbeelding 2.28 TTIM analyse van de capaciteitsproef op koude bron 2 ter locatie The Grace



Afbeelding 2.29 TTIM analyse van de capaciteitsproef op koude bron 3 ter locatie The Grace



De waarden voor horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte en transmissiviteit van de tiende aquifer ter locatie van de eerste koude bron bij The Grace, van de zevende aquifer ter locatie van de tweede koude bron bij The Grace en van de tiende aquifer ter locatie van de derde koude bron bij The Grace, volgend uit de pompproef-analyses, zijn weergegeven in tabel 2.13. De diktes van de sub-formaties uit REGIS komen niet goed overeen met de dikte van de aquifers uit de boorbeschrijving. De transmissiviteit is dus niet representatief voor de sub-formatie, maar wel voor de diepte waarop de meting is gedaan.

Tabel 2.13 Berekende horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte van de aquifer en transmissiviteit in aquifers ter locatie The Grace op basis van de TTIM analyse

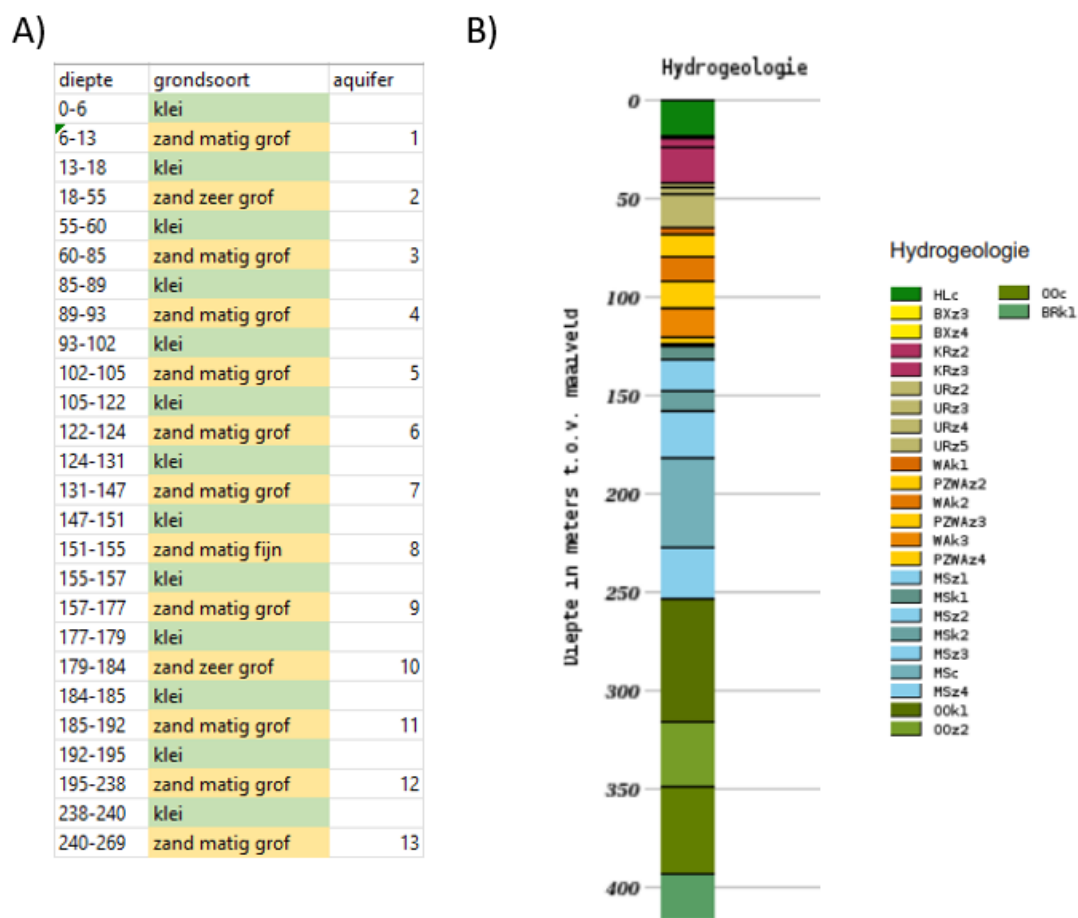
WKO Bron	Horizontale doorlatendheid [m/dag]	Bergingscoëfficiënt [/m]	Sub-formatie	Dikte subformatie o.b.v. REGIS [m]	Dikte aquifer [m]	Transmissiviteit [m ² /dag]*
Koud 1 (K1)	28,71 ± 0,49	1,30e-6 ± 2,33e-6	Zandig 3	35	17	448,07 ± 8,33
Koud 2 (K2)	8,95 ± 0,22	1,00e-6 ± 8,87e-8	Zandig 2 + 3	58	31	277,45 ± 6,82
Koud 3 (K3)	17,14 ± 0,13	1,91e-6 ± 7,65e-7	Zandig 3	35	11	188,54 ± 1,43

* De transmissiviteit is bepaald op basis van de dikte volgend uit de boring.

2.2.7 Gemeentekantoor

Ter plaatse van het Gemeentekantoor (te midden van de gemeente Den Haag) is een monobron geïnstalleerd, bestaande uit een koude en een warme bron. De lokale bodemopbouw en bodemopbouw van REGIS II v2.2.1 ter plekke van de geïnstalleerde monobron zijn geschematiseerd in afbeelding 2.30. Aan het maaiveld worden Holocene afzettingen teruggevonden. Deze afzettingen worden opgevolgd door zandige lagen van de Formatie van Kreftenheye en de Formatie van Urk. Hieronder liggen zandige en kleiige lagen van de Formatie van Peize en de Formatie van Waalre. De top van de Formatie van Maassluis, welke bestaat uit zandige en kleiige afzettingen, ligt op een diepte van 124 m-mv, terwijl de onderkant wordt gevonden op een diepte van 254 m-mv.

Afbeelding 2.30 A) Geschematiseerde bodemopbouw op basis van boorbeschrijving en B) bodemopbouw op basis van BRO REGIS
II v2.2.1 ter plaatse van monobron bij het Gemeentekantoor



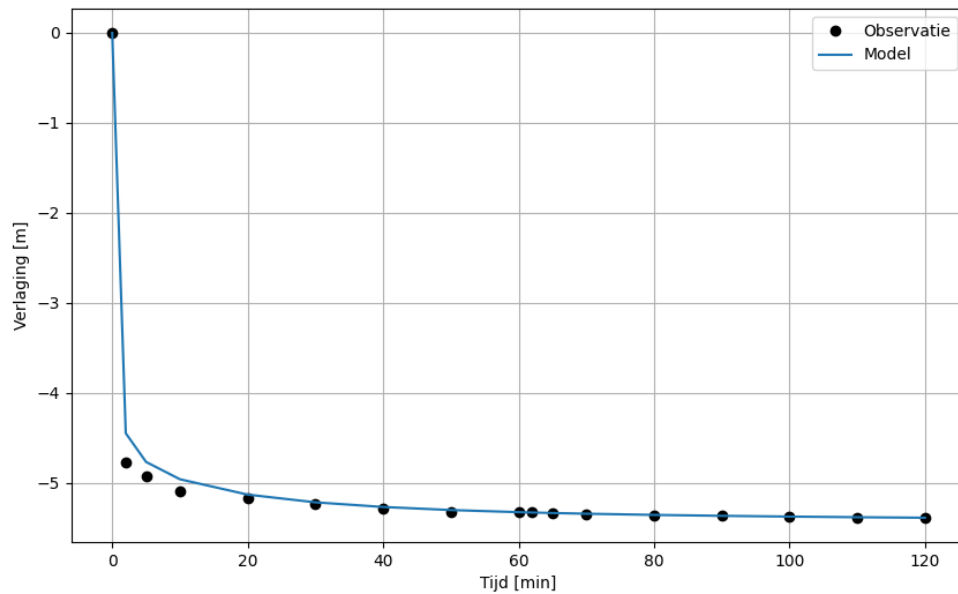
De filterstelling van de pomp van de koude bron is geplaatst in het twaalfde watervoerende pakket. Het peilbuisfilter is ook geplaatst in deze aquifer en de stijghoogteverandering is dus gekoppeld aan afpompings in deze laag. Op basis van diepte kan het meetpunt gekoppeld worden aan de complexe eenheid van de Formatie van Maassluis. Het pompfilter van de warme bron is geplaatst in het zevende, achtste en negende watervoerende pakket. Het peilbuisfilter is enkel geplaatst in het zevende watervoerende pakket en de stijghoogteverandering die hierin gemeten wordt, is dus gerelateerd aan afpompings in deze aquifer. Het meetpunt kan op basis van diepte gekoppeld worden aan de tweede zandige eenheid van de Formatie van Maassluis. De gegevens van de capaciteitsproeven worden weergegeven in tabel 2.14.

Tabel 2.14 Gegevens uitgevoerde capaciteitsproeven op WKO systeem Gemeentekantoor

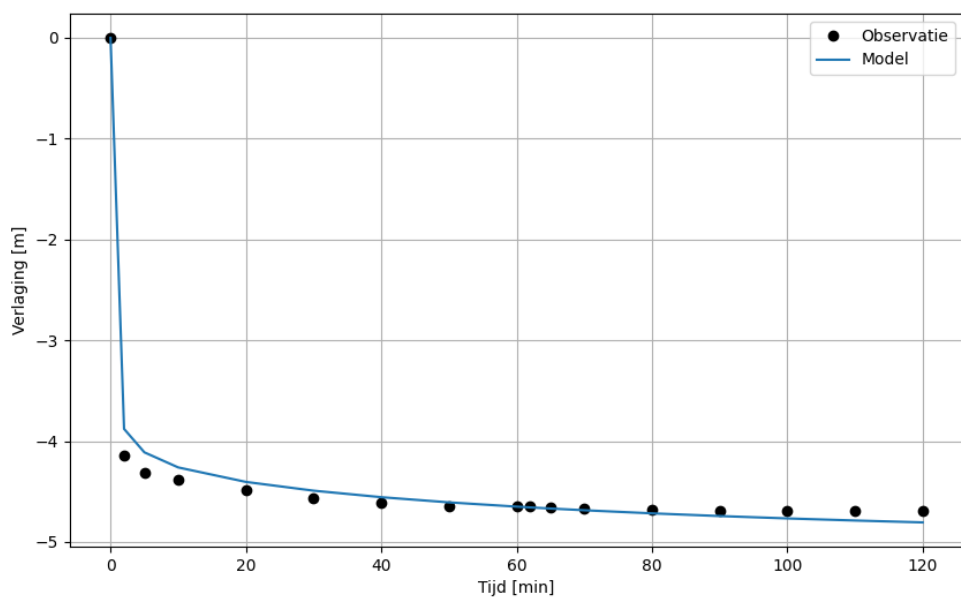
WKO Bron	Debiet [m ³ /h]	Filterstelling put [m-mv]	Filterstelling meetpunt [m-mv]	Formatie
Koud	60	200 - 236	202 - 204	Maassluis (complex eenheid)
Warm	60	136 - 175	138 - 140	Maassluis (tweede zandige eenheid)

De capaciteitsproef-analyses van de koude en warme bron ter locatie Gemeentekantoor zijn respectievelijk weergegeven in afbeelding 2.31 en afbeelding 2.32. In beide analyses wordt de initiële verlaging onderschat. In de analyse op de warme bron wordt tevens een overschatting van de maximale verlaging berekend. Over het algemeen laten beide analyses een goede correlatie zien met de observaties.

Abbeelding 2.31 TTIM analyse van de koude bron ter locatie Gemeentekantoor



Abbeelding 2.32 TTIM analyse van de warme bron ter locatie Gemeentekantoor



De waarden voor horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte en transmissiviteit van het zevende en twaalfde watervoerende pakket uit de analyses van respectievelijk de warme en koude bron ter locatie Gemeentekantoor zijn weergegeven in tabel 2.15. De diktes van de aquifers uit de boorbeschrijvingen komen zeer goed overeen met die van de sub-formaties. De berekende transmissiviteit is dus een goede inschatting voor de gekoppelde sub-formatie.

Tabel 2.15 Berekende horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte van de aquifer en transmissiviteit in aquifers Formatie van Maassluis ter locatie Gemeentekantoor op basis van de TTIM analyse

WKO Bron	Horizontale doorlatendheid [m/dag]	Bergingscoëfficiënt	Sub-formatie	Dikte subformatie o.b.v. REGIS [m]	Dikte aquifer [m]	Transmissiviteit [m ² /dag]*
Koud	6,31 ± 0,05	1,13e-6 ± 4,56e-7	Complex	45	43	271,33 ± 2,15
Warm	15,42 ± 0,17	1,18e-6 ± 1,65e-6	Zandig 2	16	16	246,72 ± 2,72

* De transmissiviteit is bepaald op basis van de dikte volgend uit de boring.

2.2.8 European Patent Office

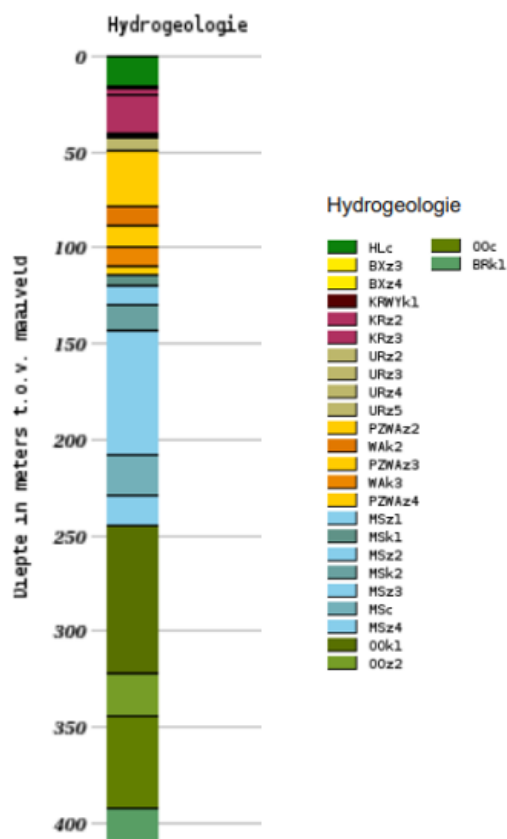
In de omgeving van European Patent Office (ten zuiden van de gemeente Den Haag) zijn twee dubletten geïnstalleerd, elk bestaande uit één koude bron en één warme bron. Op de verschillende bronnen zijn capaciteitsproeven uitgevoerd, waarvan alleen de capaciteitsproef op Koude bron 1 (K1) en Warme bron 2 (W2) geschikt zijn voor de capaciteitsproef-analyse. De lokale bodemopbouw en de gemodelleerde bodemopbouw van REGIS II v2.2.1 worden respectievelijk voor de koude en warme bron getoond in afbeelding 2.33 en afbeelding 2.34. Aan het maaiveld worden Holocene afzettingen gevonden, welke worden opgevolgd door zandige afzettingen van de Formatie van Kreftenheye en de Formatie van Urk. Hieronder liggen zandige en kleiige afzettingen van de Formatie van Peize en de Formatie van Waalre. De top van de Formatie van Maassluis, welke bestaat uit zandige en kleiige afzettingen, wordt gevonden rond de 134 m- mv. De onderkant van de Formatie van Maassluis ligt op een diepte van 245 à 246 m-mv.

Afbeelding 2.33 A) Geschematiseerde bodemopbouw op basis van boorbeschrijving en B) bodemopbouw op basis van BRO REGIS II v2.2.1 ter plaatse van koude bron bij European Patent Office

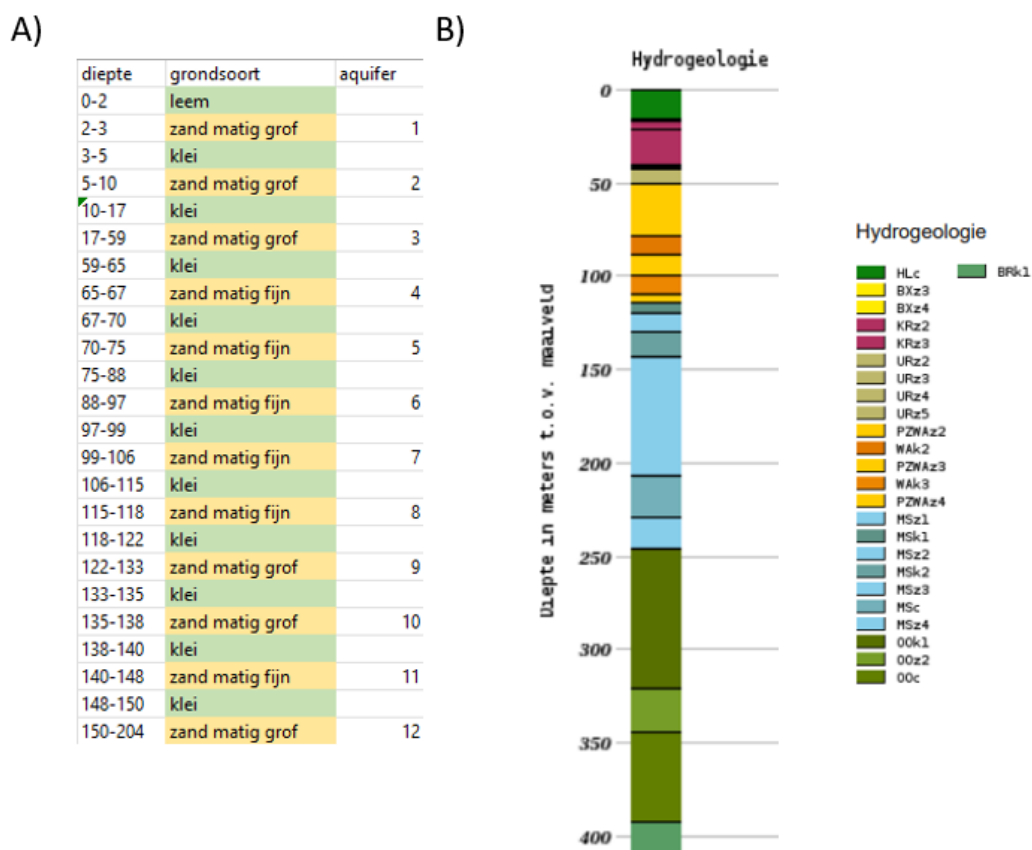
A)

diepte	grondsoort	aquifer
0-13	zand matig grof	1
13-17	klei	
17-77	zand matig grof	2
77-82	klei	
82-97	zand matig fijn	3
97-99	klei	
99-111	zand matig fijn	4
111-116	klei	
116-121	zand matig fijn	5
121-123	klei	
123-206	zand matig fijn	6

B)



Afbeelding 2.34 A) Geschematiseerde bodemopbouw op basis van boorbeschrijving en B) bodemopbouw op basis van BRO REGIS II v2.2.1 ter plaatse van warme bron bij European Patent Office



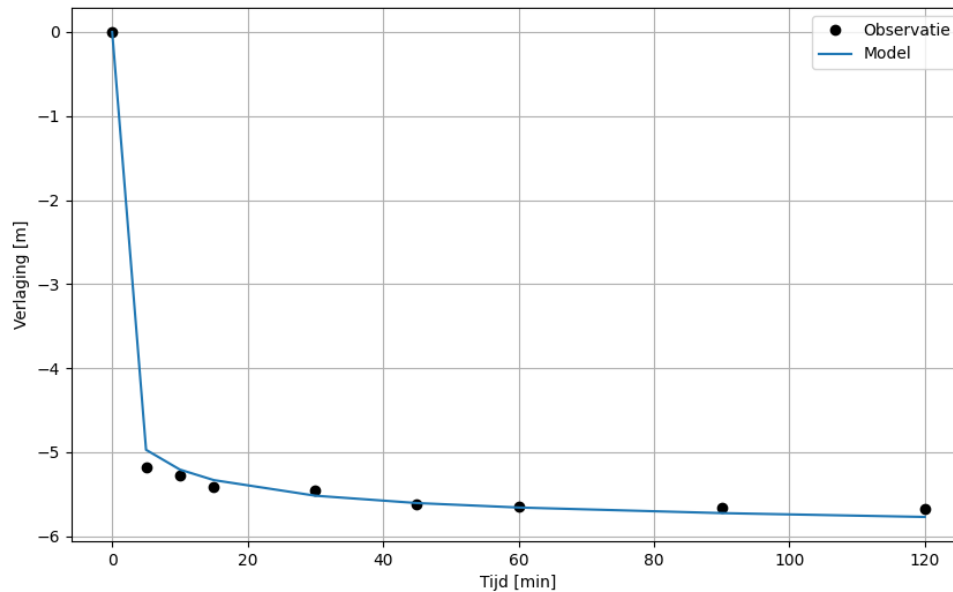
De filterstelling van de koude pomp is geplaatst in zesde aquifer. Hierin is tevens de filterstelling van de peilbuis geplaatst. De stijghoogteverandering wordt dus veroorzaakt door afpompings in de zesde aquifer. Op basis van diepte kan het meetpunt gekoppeld worden tweede zandige eenheid van de Formatie van Maassluis. De filterstelling van de warme pomp is geplaatst over negende, tiende, elfde en twaalfde aquifer. Aangezien het peilbuisfilter in de negende aquifer is geplaatst, wordt de stijghoogteverandering in de peilbuis voornamelijk veroorzaakt door de afpompings in deze aquifer. Op basis van diepte wordt het meetpunt gekoppeld aan tweede zandige eenheid. Gegevens van beide capaciteitsproeven zijn weergegeven in tabel 2.16.

Tabel 2.16 Gegevens uitgevoerde capaciteitstesten op WKO systeem European Patent Office

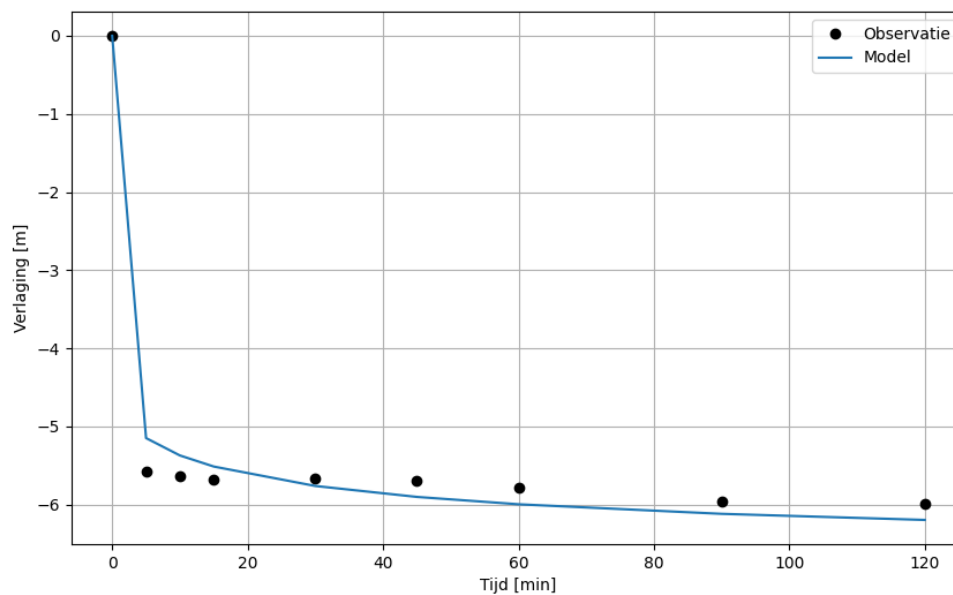
WKO Bron	Debiet [m³/h]	Filterstelling put [m-mv]	Filterstelling meetpunt [m-mv]	Formatie
Koud	100	126 - 205	126 - 128	Maassluis (tweede zandige eenheid)
Warm	100	123 - 203	123 - 125	Maassluis (tweede zandige eenheid)

Afbeelding 2.35 en afbeelding 2.36 tonen respectievelijk de capaciteitsproef-analyse voor de koude en warme bron ter locatie European Patent Office. In de analyse op de warme bron wordt de initiële verlaging onderschat, terwijl de maximale verlaging wordt overschat.

Afbeelding 2.35 TTIM analyse van de koude bron ter locatie European Patent Office



Afbeelding 2.36 TTIM analyse van de warme bron ter locatie European Patent Office



In tabel 2.17 worden de horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte en transmissiviteit van de zesde aquifer ter locatie van de koude bron bij European Patent Office en de negende aquifer ter locatie van de warme bron bij European Patent Office weergegeven. Deze waarden volgen uit de capaciteitsproef-analyses. De diktes van de aquifers in de boorbeschrijving en de REGIS beschrijving komen goed overeen. De berekende transmissiviteit is dus een degelijke inschatting voor de transmissiviteit van de subformaties.

Tabel 2.17 Berekende horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte van de aquifer en berekende transmissiviteit in aquifers ter locatie European Patent Office op basis van de TTIM analyse

WKO Bron	Horizontale doorlatendheid [m/dag]	Bergingscoëfficiënt	Sub-formatie	Dikte subformatie o.b.v. REGIS [m]	Dikte aquifer [m]	Transmissiviteit [m ² /dag]*
Koud	5,45 ± 0,25	1,00e-6 ± 3,46e-7	Zandig 2 + 3	88	83	452,35 ± 20,75
Warm	17,89 ± 0,90	1,20e-6 ± 1,07e-5	Zandig 2	11	11	196,79 ± 9,90

* De transmissiviteit is bepaald op basis van de dikte volgend uit de boring.

2.2.9 Zorgcentrum Deo Gracias

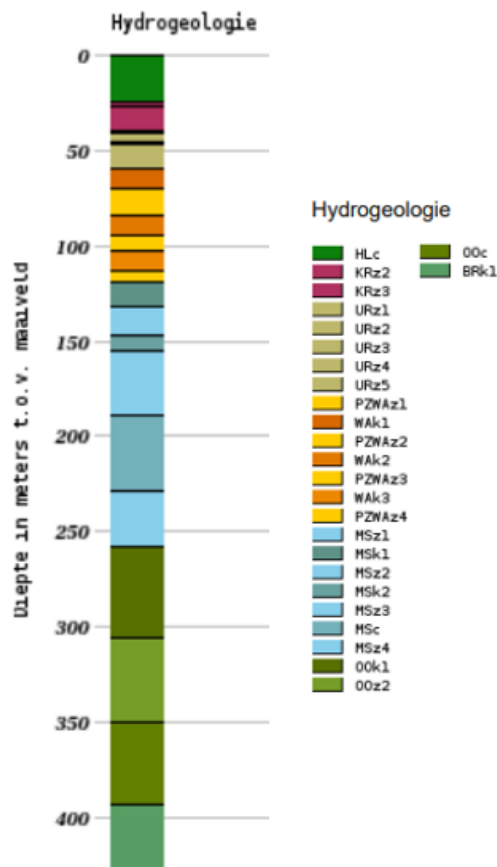
Ter plaatse van het Zorgcentrum Deo Gracias (ten noorden van de gemeente Den Haag) is een doublet geïnstalleerd, bestaande uit een koude en warme bron. Capaciteitsproeven zijn uitgevoerd op zowel de koude als warme bron. Voor de koude bron is de capaciteitsproef-analyse niet succesvol gebleken. Voor de warme bron is de capaciteitsproef-analyse enigszins succesvol en het is daarom nog toegevoegd aan deze rapportage. De lokale bodemopbouw en de gemodelleerde bodemopbouw van REGIS II v2.2.1 ter plaatse van de warme bron is geschematiseerd in afbeelding 2.37. Aan maaiveld worden Holocene afzettingen gevonden, welke worden opgevolgd door zandige eenheden van de Formatie van Kreftenheye en de Formatie van Urk. Hieronder liggen afwisselend kleiige en zandige lagen van de Formatie van Peize, Formatie van Waalre en de Formatie van Maassluis. De top van de Formatie van Maassluis ligt op 118 m-mv, terwijl de onderkant van de Formatie van Maassluis op 257 m-mv ligt.

Afbeelding 2.37 A) Lokale bodemopbouw en B) gemodelleerde bodemopbouw van BRO REGIS II v2.2.1 ter locatie van warme bron bij Zorgcentrum Deo Gracias

A)

diepte	grondsoort	aquifer
0-31	zand matig grof	1
31-32	klei	
32-56	zand zeer grof	2
56-60	klei	
60-65	zand matig grof	3
65-90	klei	
90-106	zand matig grof	4
106-112	klei	
112-118	zand matig grof	5
118-130	klei	
130-135	zand matig fijn	6
135-137	klei	
137-141	zand matig grof	7
141-143	klei	
143-145	zand matig grof	8
145-147	klei	
147-151	zand matig grof	9
151-173	klei	
173-177	zand matig grof	10
177-179	klei	
179-185	zand matig grof	11
185-192	klei	
192-210	zand matig grof	12
210-213	klei	
213-215	zand matig fijn	13
215-217	klei	
217-224	zand matig fijn	14

B)



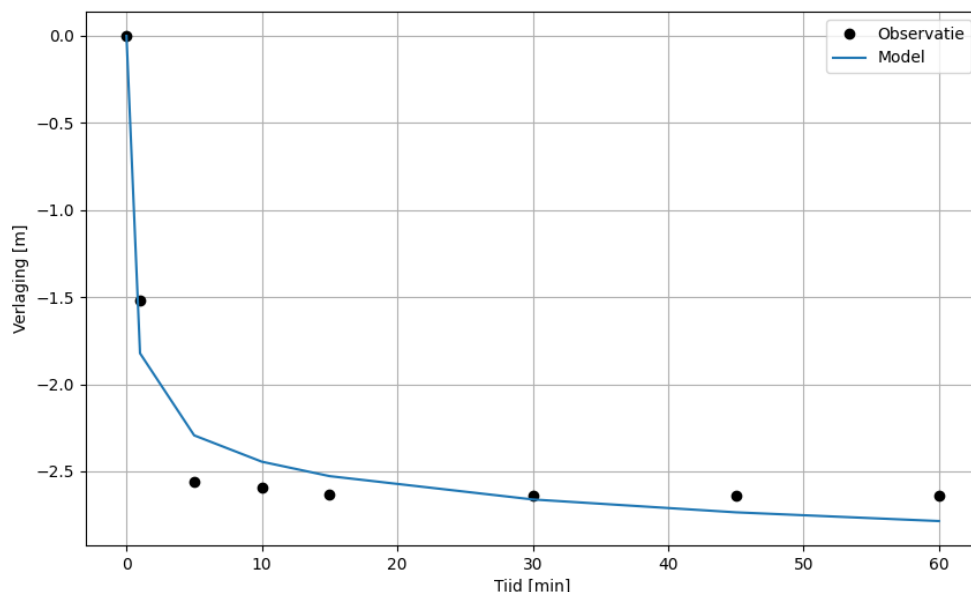
Het pompfilter van de bron is geplaatst in de twaalfde aquifer. Hierin is tevens het peilbuisfilter geplaatst, waardoor de stijghoogteverandering in de peilbuis is gerelateerd aan afpompings in deze aquifer. Op basis van diepte kan het peilbuismeetpunt gekoppeld worden aan de complexe eenheid van de Formatie van Maassluis. Gegevens van de capaciteitsproef zijn uitgezet in tabel 2.18.

Tabel 2.18 Gegevens uitgevoerde capaciteitstest op WKO systeem Zorgcentrum Deo Gracias

WKO Bron	Debiet [m³/h]	Filterstelling put [m-mv]	Filterstelling meetpunt [m-mv]	Formatie
Warm	26	193 - 207	193 - 194	Maassluis (complexe eenheid)

De capaciteitsproef-analyse is weergegeven in afbeelding 2.38. Door het ontbreken van meetpunten in het initiële deel van de proef is er een onderschatting van de initiële daling. De maximale daling van de grondwaterspiegel wordt overschat.

Afbeelding 2.38 TTIM analyse van de warme bron ter locatie Zorgcentrum Deo Gracias



De waarden voor horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte en transmissiviteit van de twaalfde aquifer ter locatie Zorgcentrum Deo Gracias worden weergegeven in tabel 2.19. De dikte van de aquifer is bepaald uit de lokale boring en komt niet overeen met de dikte van de subformatie op basis van REGIS. De inschatting van de transmissiviteit kan dus wel gebruikt worden als een inschatting op deze diepte, maar niet voor deze sub-formatie.

Tabel 2.19 Berekende horizontale doorlatendheid, bergingscoëfficiënt, dikte van de aquifer en berekende transmissiviteit van aquifer ter locatie Zorgcentrum Deo Gracias op basis van de TTIM analyse

WKO Bron	Horizontale doorlatendheid [m/dag]	Bergingscoëfficiënt [/m]	Sub-formatie	Dikte subformatie o.b.v. REGIS [m]	Dikte aquifer [m]	Transmissiviteit [m ² /dag]*
Warm	12,45 ± 1,19	3,66e-5 ± 4,37e-5	Complex	39	18	224,10 ± 21,42

* De transmissiviteit is bepaald op basis van de dikte volgend uit de boring.

2.3 Gevoeligheidsanalyse

In dit hoofdstuk is toegelicht in welke mate de modelresultaten afhangen van de modelinvoer. In andere woorden: hoe gevoelig de resultaten zijn voor onzekerheid in de input.

In de uitgangspunten van de berekende horizontale doorlatendheid zitten een aantal onzekerheden. Zo wordt de berekende k_h beïnvloed door:

- de dikte van de aquifer waarin het peilbuisfilter staat;
- de horizontale doorlatendheid in de pakketten waarin wel gepompt wordt maar geen peilbuisfilter is geplaatst;
- de weerstand van de weerstandslagen onder en boven het pakket waarin een stijghoogteverandering wordt gemeten.

De dikte van de aquifers is geschematiseerd op basis van lokale boorstaten. In deze (handmatige) indeling, kunnen afwijkingen zijn ontstaan ten opzichte van de sub-regionale bodemopbouw. De waardes voor de horizontale doorlatendheden en weerstanden zijn gebaseerd op kengetallen en de boorbeschrijving, waardoor ook hier een afwijking in kan ontstaan ten opzichte van de werkelijkheid. Deze verschillende variabelen bevatten een zekere mate van onzekerheid, wat doorwerkt in het model en daarmee de bepaling van de horizontale doorlatendheid.

Er is daarom een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de gevoeligheid van deze variabelen op de berekende horizontale doorlatendheid te bepalen.

2.3.1 Gevoeligheid: dikte aquifer van peilbuisfilter

In de gevoeligheidsanalyse naar de dikte van de aquifer wordt de dikte van de aquifer waarin het peilbuisfilter is geplaatst met 10 % verhoogd en 10 % verlaagd. De resultaten van deze gevoeligheidsanalyse zijn weergegeven in tabel 2.20.

Over het algemeen zorgt een toename in de dikte van de aquifer voor een afname van de horizontale doorlatendheid van de aquifer, terwijl een afname in de dikte van de aquifer zorgt voor een toename in de horizontale doorlatendheid. De verandering van de horizontale doorlatendheid (t.g.v. 10 % verandering dikte) is over het algemeen ongeveer 10 %. Aangezien de kalibratie bij een veranderende dikte een ander lokaal optimum kan vinden, is deze verandering niet altijd 10 %.

Tabel 2.20 Gevoeligheidsanalyse waarin de dikte van de aquifer met 10 % wordt verhoogd en verlaagd

Locatie	Horizontale doorlatendheid [m/dag]	Horizontale doorlatendheid [m/dag]	Horizontale doorlatendheid [m/dag]
	Originele interpretatie	Dikte aquifer +10 %	Dikte aquifer -10 %
Hoogvliet Scheveningen (Monobron, koud)	3,47 ± 0,11	2,59 ± 0,39	2,91 ± 0,39
Hoogvliet Scheveningen (Monobron, warm)	7,90 ± 0,32	7,28 ± 0,39	9,10 ± 0,04
Waldo City (Monobron, koud)	10,54 ± 0,25	9,48 ± 0,20	11,69 ± 0,24
Waldo City (Monobron, warm)	18,75 ± 0,05	17,21 ± 0,04	20,71 ± 0,05
Centre Court (Koude bron)*	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Centre Court (Warme bron)*	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Waldo Mountains (Koude bron)	4,56 ± 0,52	5,00 ± 0,19	5,93 ± 0,13
Waldo Mountains (Warme bron)	16,13 ± 0,11	14,82 ± 0,10	17,78 ± 0,14
Stationspostgebouw (Warme bron 1)	29,78 ± 0,26	27,30 ± 0,42	32,73 ± 0,41
Stationspostgebouw (Warme bron 2)	17,67 ± 0,20	17,41 ± 0,20	17,94 ± 0,20
Stationspostgebouw (Warme bron 3)	20,79 ± 0,14	19,0 ± 0,22	22,83 ± 0,21
The Grace (Koude bron 1)	28,71 ± 0,49	27,22 ± 0,43	30,03 ± 0,44
The Grace (Koude bron 2)	8,95 ± 0,22	8,75 ± 0,26	9,31 ± 0,20
The Grace (Koude bron 3)	17,14 ± 0,13	16,79 ± 0,13	17,52 ± 0,13

Locatie	Horizontale doorlatendheid [m/dag] Originele interpretatie	Horizontale doorlatendheid [m/dag] Dikte aquifer +10 %	Horizontale doorlatendheid [m/dag] Dikte aquifer -10 %
Gemeentekantoor (Monobron, koud)	6,31 ± 0,05	5,76 ± 0,11	6,76 ± 0,21
Gemeentekantoor (Monobron, warm)	15,42 ± 0,17	14,40 ± 0,16	16,61 ± 0,17
European Patent Office (Koude bron)**	5,45 ± 0,25	4,95 ± 0,25	n.v.t.
European Patent Office (Warme bron)	17,89 ± 0,90	17,29 ± 0,81	18,64 ± 0,95
Zorgcentrum Deo Gracias (Warme bron)	12,45 ± 1,19	11,44 ± 1,08	13,74 ± 1,30

* Centre Court is uit de gevoeligheidsanalyse gelaten omdat een toename of afname van 10 % zorgt voor het verdwijnen van gehele weerstandslagen, waardoor de gevoeligheid op dikte moeilijk is te bepalen.

** Bij verdunning van de aquifer wordt ofwel het peilfilter in een kleilaag geplaatst of wordt er over een kleilaag gepompt. Dit geeft onrealistische waarden voor de horizontale doorlatendheid

De schematisatie van de ondergrond speelt dus een belangrijke rol. De aanname van vlakdekkende weerstandslagen bij een dikte van meer dan 2 m leidt dus tot onzekerheid in de berekende doorlatendheid. Omdat de boorstaat veelal niet goed overeenkomt met REGIS II v2.2.1, is het vooralsnog niet vast te stellen of deze lagen daadwerkelijk vlakdekkend zijn, of slechts kleine 'lensjes' in het watervoerend pakket zijn. Hiervoor is een betere vlakdekkende bodembeschrijving nodig.

2.3.2 Gevoeligheid: horizontale doorlatendheid bepompte aquifers

In de gevoeligheidsanalyse op de horizontale doorlatendheid wordt de horizontale doorlatendheid van de aquifers waarin wel wordt gepompt maar waarin geen peilbuisfilter is geplaatst met 10 % verhoogd en met 10 % verlaagd. Indien er maar in één aquifer wordt gepompt is er geen gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Een verandering van de horizontale doorlatendheid in deze aquifers heeft geen effect op de gekalibreerde horizontale doorlatendheid van de aquifer met observatiepunt.

2.3.3 Gevoeligheid: weerstand van weerstandslagen

In de gevoeligheidsanalyse op de weerstand wordt de weerstand van de weerstandslagen boven en onder het pakket, waarin het peilbuisfilter is geplaatst en waar dus de stijghoogteverandering wordt gemeten, met 10 % verhoogd en 10 % verlaagd. Een toename van de weerstand zorgt over het algemeen voor een kleine toename van de horizontale doorlatendheid van de aquifer waarin de stijghoogteverandering wordt gemeten. Een afname van de weerstand zorgt over het algemeen voor een kleine afname van de horizontale doorlatendheid van de aquifer waarin de stijghoogteverandering wordt gemeten. De effecten van de weerstand op de gekalibreerde horizontale doorlatendheid zijn echter minimaal.

Tabel 2.21 Gevoeligheidsanalyse waarin de weerstand van de weerstandslagen boven en onder het pakket waarin wordt gemeten met 10 % verhoogd en 10 % verlaagd

Locatie	Horizontale doorlatendheid [m/dag] Originele interpretatie	Horizontale doorlatendheid [m/dag] Weerstand van weerstandslagen boven en onder observatiepakket +10 %	Horizontale doorlatendheid [m/dag] Weerstand van weerstandslagen boven en onder observatiepakket -10 %
Hoogvliet Scheveningen (Monobron, koud)*	3,47 ± 0,11	3,50 ± 0,11	3,45 ± 0,11
Hoogvliet Scheveningen (Monobron, warm)*	7,90 ± 0,32	7,92 ± 0,32	7,87 ± 0,31
Waldo City (Monobron, koud)	10,54 ± 0,25	10,57 ± 0,26	10,50 ± 0,25
Waldo City (Monobron, warm)	18,75 ± 0,05	18,86 ± 0,05	18,70 ± 0,04
Centre Court (Koude bron)	14,01 ± 0,16	14,02 ± 0,17	14,00 ± 0,16
Centre Court (Warme bron)	62,54 ± 0,41	62,63 ± 0,41	62,44 ± 0,40
Waldo Mountains (Koude bron)	4,56 ± 0,52	4,56 ± 0,53	4,56 ± 0,51
Waldo Mountains (Warme bron)	16,13 ± 0,11	16,33 ± 0,12	16,19 ± 0,12
Stationspostgebouw (Warme bron 1)	29,78 ± 0,26	29,92 ± 0,26	29,70 ± 0,26
Stationspostgebouw (Warme bron 2)	17,67 ± 0,20	17,70 ± 0,20	17,64 ± 0,20
Stationspostgebouw (Warme bron 3)	20,79 ± 0,14	20,88 ± 0,14	20,60 ± 0,21
The Grace (Koude bron 1)	28,71 ± 0,49	28,72 ± 0,52	28,60 ± 0,46
The Grace (Koude bron 2)	8,95 ± 0,22	8,96 ± 0,22	8,96 ± 0,22
The Grace (Koude bron 3)	17,14 ± 0,13	17,16 ± 0,13	17,11 ± 0,13
Gemeentekantoor (Monobron, koud)	6,31 ± 0,05	6,32 ± 0,05	6,27 ± 0,05
Gemeentekantoor (Monobron, warm)	15,42 ± 0,17	15,46 ± 0,16	15,37 ± 0,17
European Patent Office (Koude bron)	5,45 ± 0,25	5,47 ± 0,26	5,45 ± 0,26
European Patent Office (Warme bron)	17,89 ± 0,90	17,92 ± 0,89	17,87 ± 0,91
Zorgcentrum Deo Gracias (Warme bron)	12,45 ± 1,19	12,49 ± 1,20	12,41 ± 1,16

2.4 Conclusies en aanbevelingen van de doorlatendheid analyse

2.4.1 Conclusies

In de gemeente Den Haag zijn de horizontale doorlatendheid en transmissiviteit van verschillende watervoerende lagen (aquifers) binnen de Formatie van Maassluis bepaald. Deze waarden zijn berekend op basis van capaciteitstest-analyses uitgevoerd in WKO boringen. Deze berekeningen zijn gedaan met behulp van de Python module TTIM.

De berekende waarden voor horizontale doorlatendheid en transmissiviteit zijn voor de 9 onderzochte locaties in de gemeente Den Haag weergegeven in Tabel 2.22. De horizontale doorlatendheid varieert tussen ca. 3,5 en 62,5 m/dag en de transmissiviteit tussen ca. 88 en 5000 m²/dag. Er is dus sprake van een grote heterogeniteit tussen de verschillende aquifers van de Formatie van Maassluis.

De berekende horizontale doorlatendheid is gevoelig voor de dikte van de aquifer. Verandering van de aquifers en weerstandslagen naast het bemeten pakket hebben geen significante effecten op de resultaten. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat een toename in aquiferdikte van 10 % leidt tot een afname van de berekende horizontale doorlatendheid van ca. 10 %, terwijl een dikte afname van 10 % zorgt voor een toename van de berekende horizontale doorlatendheid met ca. 10 %. De schematisatie van de ondergrond speelt hierin dus een belangrijke rol. Deze afwijking is echter onvoldoende groot om de heterogeniteit te verklaren.

De grote heterogeniteit van de geohydrologische kenmerken van de verschillende aquifers kan dus gedeeltelijk worden toegeschreven aan de heterogeniteit van de verschillende sub-formaties in de Formatie van Maassluis. Deze resultaten laten zien dat er een zeer variable klei- versus zandpercentages in deze Formatie bestaat, maar ook de grote variaties in textuur van de sedimenten, welke heel moeilijk voorspelbaar blijkt te zijn.

Berekende waarden voor horizontale doorlatendheid van de aquifers zijn gekoppeld aan sub-formaties van de Formatie van Maassluis. De transmissiviteit is niet gekoppeld aan een specifieke sub-formatie, maar enkel gekoppeld aan een specifieke aquifer, omdat de diktes uit de boorbeschrijving niet altijd overeenkomen met de dikte van de sub-formatie uit REGIS II v2.2.1. Wanneer deze diktes wel overeenkomen, kan de transmissiviteit wel vertaald worden naar één of meerdere sub-formaties: zie hiervoor de inhoudelijke hoofdstukken. De inschatting van de transmissiviteit is altijd van toepassing op de gegeven aquiferdiepte.

Tabel 2.22 Berekende horizontale doorlatendheid, dikte van aquifer en berekende transmissiviteit van aquifers in de verschillende afzettingen van de Formatie van Maassluis

Locatie	Sub-formatie	Horizontale doorlatendheid [m/dag]	Dikte aquifer (o.b.v. boring) [m]	Diepte aquifer (o.b.v. boring) [m]	Transmissiviteit [m ² /dag]
Hoogvliet Scheveningen (Monobron, koud)	Maassluis (complexe eenheid)	3,48 ± 0,11	55	199 - 254	191,40 ± 6,05
Hoogvliet Scheveningen (Monobron, warm)	Maassluis (tweede zandige eenheid)	7,90 ± 0,32	32	138 - 170	252,80 ± 10,24
Waldo City (Monobron, koud)	Maassluis (complexe eenheid)	10,54 ± 0,25	35	220 - 255	368,90 ± 8,75
Waldo City (Monobron, warm)	Maassluis (tweede zandige eenheid)	18,74 ± 0,05	13	135 - 148	243,62 ± 0,65
Centre Court (Koude bron)*	Maassluis (eerste t/m vierde zandige eenheid)	14,01 ± 0,16	123	115 - 238	1734,30 ± 19,68
Centre Court (Warme bron)*	Maassluis (complexe eenheid en vierde zandige eenheid)	62,54 ± 0,41	81	178 - 259	5065,74 ± 33,21

Locatie	Sub-formatie	Horizontale doorlatendheid [m/dag]	Dikte aquifer (o.b.v. boring) [m]	Diepte aquifer (o.b.v. boring) [m]	Transmissiviteit [m ² /dag]
Waldo Mountains (Koude bron)	Maassluis (complexe eenheid)	4,62 ± 0,62	78	191 - 269	360,36 ± 48,36
Waldo Mountains (Warme bron)	Maassluis (derde zandige eenheid)	16,13 ± 0,11	38	151 - 189	612,94 ± 4,18
Stationspostgebou w (Warme bron 1)	Maassluis (derde zandige eenheid)	29,78 ± 0,26	30	153 - 183	893,40 ± 7,80
Stationspostgebou w (Warme bron 2)	Maassluis (complexe eenheid)	17,67 ± 0,20	5	178 - 183	88,35 ± 1,00
Stationspostgebou w (Warme bron 3)	Maassluis (complexe eenheid)	20,79 ± 0,14	29	189 - 218	602,91 ± 4,06
The Grace (Koude bron 1)	Maassluis (derde zandige eenheid)	28,71 ± 0,49	17	154 - 171	448,07 ± 8,33
The Grace (Koude bron 2)	Maassluis (derde zandige eenheid)	8,95 ± 0,22	31	130 - 171	277,45 ± 6,82
The Grace (Koude bron 3)	Maassluis (derde zandige eenheid)	17,14 ± 0,13	11	172 - 183	188,54 ± 1,43
Gemeentekantoor (Monobron, koud)	Maassluis (complex eenheid)	6,31 ± 0,05	43	195 - 238	271,33 ± 2,15
Gemeentekantoor (Monobron, warm)	Maassluis (tweede zandige eenheid)	15,42 ± 0,17	16	131 - 147	246,72 ± 2,72
European Patent Office (Koude bron)	Maassluis (tweede zandige eenheid)	5,45 ± 0,25	83	123 - 206	452,35 ± 20,75
European Patent Office (Warme bron)	Maassluis (tweede zandige eenheid)	17,89 ± 0,90	11	122 - 133	196,79 ± 9,90
Zorgcentrum Deo Gracias (Warme bron)	Maassluis (complexe eenheid)	12,45 ± 1,19	18	192 - 210	224,10 ± 21,42

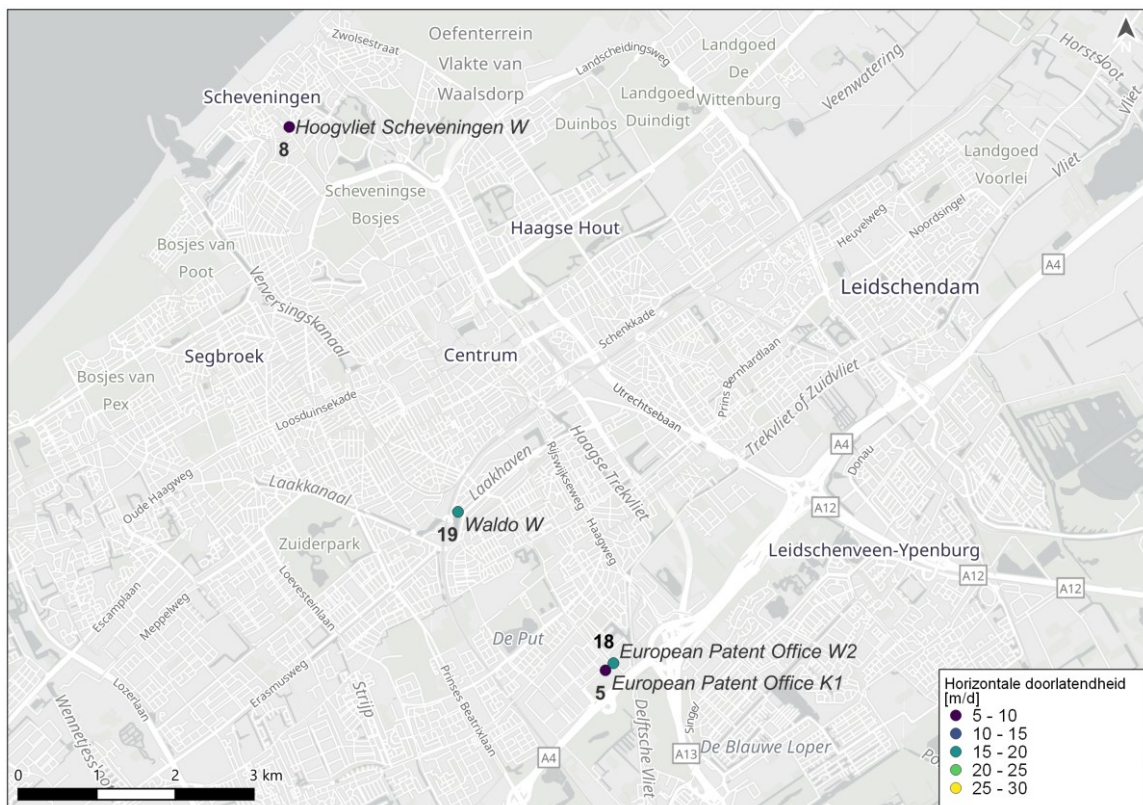
* De meting is uitgevoerd over meerdere aquifers en de berekende horizontale doorlatendheid en transmissiviteit geeft dus niet een waarde voor één specifieke aquifer.

Afbeelding 2.39, afbeelding 2.40 en afbeelding 2.41 tonen de ruimtelijke spreiding van de berekende horizontale doorlatendheden in respectievelijk de tweede zandige eenheid, de derde zandige eenheid en de complexe eenheid van de Formatie van Maassluis.

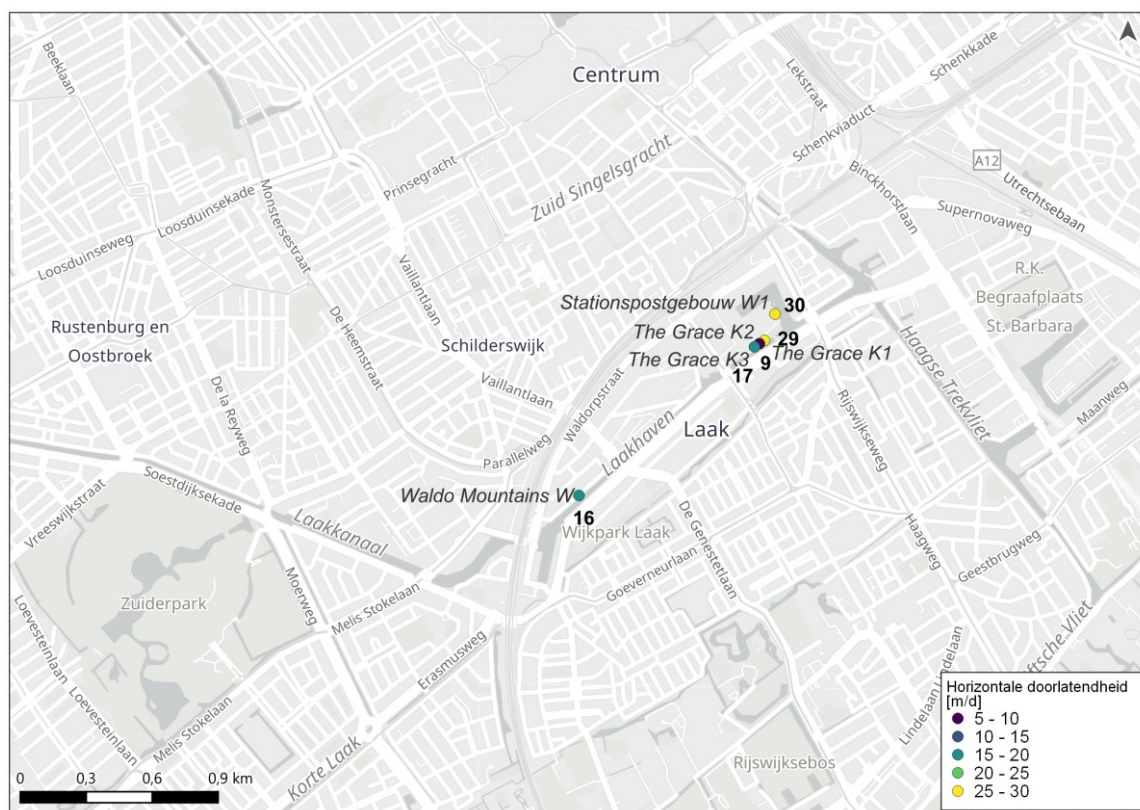
In de tweede zandige eenheid is geen ruimtelijk patroon te onderscheiden. Bij de WKO bronnen bij de European Patent Office worden in een straal van minder dan 100 meter erg uiteenlopende waarden berekend. Ook in derde zandige eenheid is geen lateraal patroon te herkennen. Bij de WKO bronnen bij The Grace worden uiteenlopende waarden gevonden voor de horizontale doorlatendheid, terwijl deze bronnen niet ver uit elkaar liggen. Tenslotte is er ook geen ruimtelijk patroon in horizontale doorlatendheid zichtbaar in de complexe eenheid van de Formatie van Maassluis.

Omdat de boorstaten waarop de bodemschematisatie is gebaseerd niet overeenkomen met het ondergrondmodel van REGIS v2.2.1, kunnen de geïnterpreteerde aquifers niet altijd worden gekoppeld aan sub-formaties van de Formatie van Maassluis en is het voornamelijk mogelijk om een transmissiviteit te bepalen van de geïnterpreteerde aquifer.

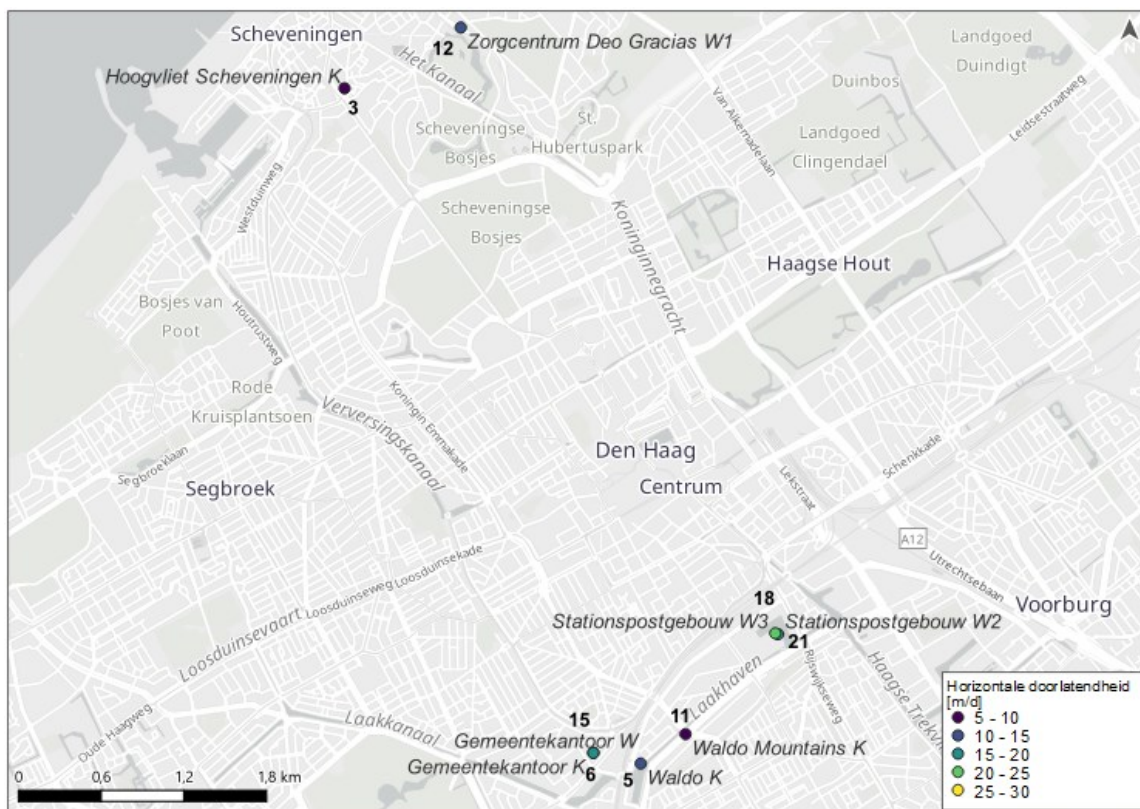
Afbeelding 2.39 Berekende horizontale doorlatendheden in tweede zandige eenheid van de Formatie van Maassluis



Afbeelding 2.40 Berekende horizontale doorlatendheden in derde zandige eenheid in de Formatie van Maassluis



Afbeelding 2.41 Berekende horizontale doorlatendheden in complexe eenheid in de Formatie van Maassluis



2.4.2 Aanbevelingen

In de huidige schematisatie zijn aannames gedaan voor het al dan niet vlakdekkend aanwezig zijn van weerstandslagen. Deze aannames leiden tot onzekerheid in de doorlatendheidsberekeningen.

Om deze onzekerheid te verkleinen is een ruimtelijke bodemkaart nodig die aansluit op de boorstaten. Op deze manier kan afgeleid worden welke weerstandslagen daadwerkelijk vlakdekkend zijn en welke alleen een lokale 'lens' vormen en het watervoerend pakket niet zouden afdekken.

Om deze kaart te maken kunnen aanvullende boringen worden gezet, die minimaal de formatie van Maassluis in kaart brengen.

ANALYSE VAN PETROFYSICA

Om de eigenschappen van de (ondiepe) ondergrond, in de Formatie van Maassluis en de Formatie van Oosterhout, verder te verfijnen en verbeteren ten opzicht van de eerdere studie van Witteveen+Bos uit 2023 [ref. 1], is een analyse van de petrofysica van de aquifers uitgevoerd. Deze analyse is gebaseerd op log data van boringen uit NLOG of DINOloket. De analyse staat toe om kleivolumen goed in beeld te kunnen brengen en een realistischere inschatting van de porositeit te kunnen maken.

3.1 Selectie van kansrijke boringen

3.1.1 Selectiecriteria

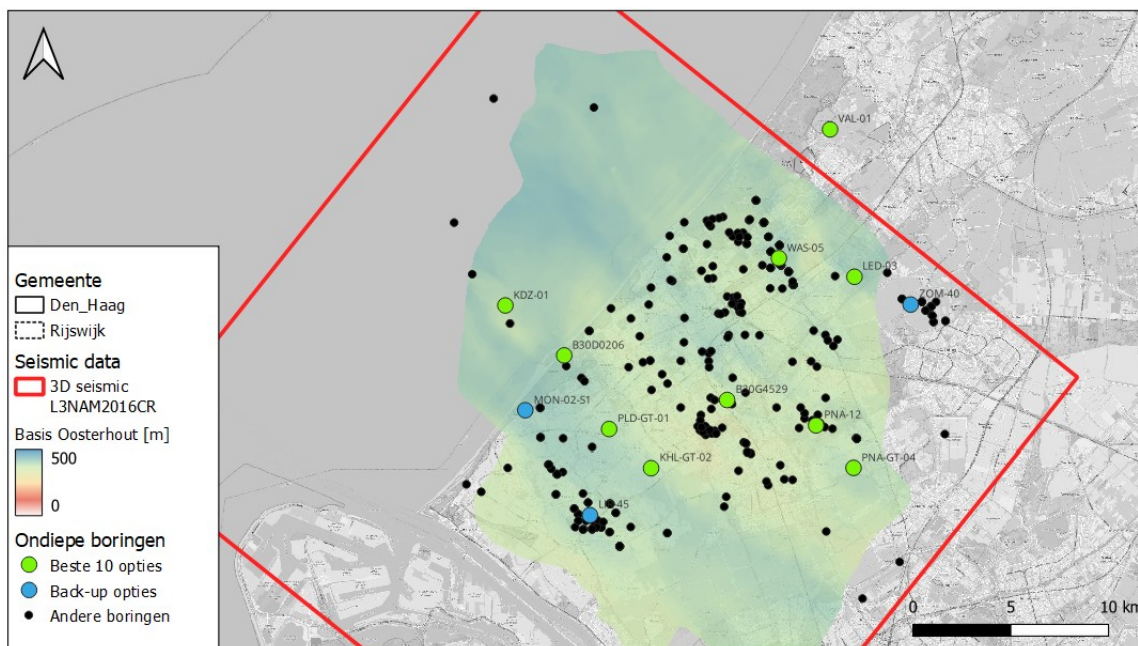
Uit NLOG of DINOloket, zijn de 10 meeste kansrijke boringen met de beste gegevens in het ondiepe bereik van loggegevens uitgekozen. Om deze selectie te maken, zijn de volgende selectiecriteria gebruikt:

- log data zijn bij voorkeur aangeleverd als samengestelde LAS bestanden (waarin de individuele log runs zijn samengevoegd);
- boorrapporten zijn bij voorkeur aangeleverd als PDF;
- well tops zijn bij voorkeur aanwezig en tonen bij voorkeur de aanwezigheid van de Formatie van Maassluis en de Formatie van Oosterhout;
- de Formaties bevatten tenminste een log van goede kwaliteit voor lithologie beschrijving (gamma ray, spontaneous potential, weerstand of inductie): klei, zand, kalksteen, en bij voorkeur ook een log van goede kwaliteit voor porositeit (density, neutron, of sonic). Een goede kwaliteit betekent een consistent signaal met constante sampling intervallen, weinig uitschieters (tripping), en consistente patronen met andere logs. Bijbehorende boorrapporten met mudlogs en cuttings beschrijvingen maken dit meer compleet;
- de boringen moeten ook geografisch goed verdeeld zijn over de gemeente Den Haag zijn in verband met de benodigde kalibratie data voor het voorwaarts stratigrafisch model.

3.1.2 Selectie van de 10 meeste kansrijke boringen

In overleg met TNO, zijn de 10 meeste kansrijke boringen met de beste gegevens van logs vastgelegd zoals weergegeven in afbeelding 3.1 en tabel 3.1. Een algemene uitdaging voor de selectie van de boringen in de gemeente Den Haag is dat er weinig boringen zijn die de Formaties van Maassluis en Oosterhout in zijn geheel bereiken, en die zowel een (geode kwaliteit) logs bevatten om de shale volume en de porositeit mee te kunnen berekenen. Dit interval is nooit de target voor olie- en gasexploratie geweest. De logging van deze ondiepe formaties is meestal overslaan geweest of onnauwkeurig gedaan om het zo goedkoop mogelijk te houden. Als gevolg daarvan, is de kwaliteit van de logs in sommige boringen erg gering (e.g. WAS-05, KDZ-01), ook vanwege ouderdom en slechte documentatie.

Afbeelding 3.1 Verspieding over Den Haag van de 10 meeste kansrijke boringen met de beste gegevens van petrofysica. De basis van de Oosterhout Formatie aangegeven op de kaart komt uit een eerdere studie van Witteveen+Bos in 2023 [ref. 1] en is gebaseerd op 3D seismic blok L3NAM2016CR. Omdat de seismische gegevens in deze regio met veel *clinoforms* moeilijk te interpreteren waren, was het helaas niet mogelijk om de verspreiding van de Oosterhout Formatie over het hele interessegebied te extrapoleren



Tabel 3.1 Algemene gegevens van de 10 meeste kansrijke boringen met de beste gegevens van petrofysica in het ondiepe bereik (tot ca. 500 m)

Boring naam	Jaar	X-coördinaat [Amersfoort / RD New]	Y-coördinaat [Amersfoort / RD New]	Begindiepte [mTVD]	Einddiepte [mTVD]
B30D0206	1983	73815	452761	2	460
B30G4529	2008	82150	450480	27	387
KDZ-01	1961	70806	455314	0	1.918
KHL-GT-02	2016	78263	447047	13	2.802
LED-03	1972	88667	456781	46	1.169
PLD-GT-01	2016	76115	448995	0	2.799
PNA-12	1967	86703	449181	51	1.890
PNA-GT-04	2011	88619	447064	0	2.957
VAL-01	1998	87417	464313	3	3.228
WAS-05	1957	84799	457730	60	1.339

3.2 Workflow voor petrofysische analyse

We gebruiken de petrofysische software GeolOil Petrophysics (hierna GeolOil) voor het visualiseren en interpreteren van de log data. Met deze software is het mogelijk om LAS bestanden te importeren, beheren en te exporteren. Well tops kunnen ook worden ingeladen en vergeleken met boorrapporten om een eerste indruk van de te verwachten lithologieën te kunnen krijgen.

De software bevat meerdere geautomatiseerde workflows om de verschillende logs te interpreteren, en biedt ook de mogelijkheid om eigen scripts te ontwikkelen. Helaas zijn geen milieucorrecties mogelijk in deze software, om omgevingsinvloeden op de boringen logs te elimineren, zoals bij voorbeeld boorgatgrootte of type boormodder ('*drilling mud type*' in het Engels). Schatten wat deze zouden moeten zijn door twee nabijgelegen boringen te vergelijken is ook een uitdaging, omdat de boringen over een zeer lange periode zijn uitgevoerd, en met verschillende boorgatgrootte en type boormodder. Met zoveel variabelen, is het moeilijk om de invloed van elke factor op de verschillende logs te beoordelen.

3.2.1 TVD

Voor gedeveierde boringen (alle boringen behalve B30D0206 en B30G4529), de gemeten dieptes ('*measured depth*' = MD) zijn omgezet naar de correcte verticale dieptes ('*true vertical depth*' = TVD). Informatie over het referentiepunt van de meting (e.g. hoogte van de '*rotary table*' ten opzicht van het maaiveldniveau of zeeniveau) en de deviatie van de boring zijn uit NLOG uitgehaald en in GeolOil ingeladen (zie afbeelding 3.2).

Afbeelding 3.2 GeolOil well path correctie

Well Geometry Header

Common short well name:

Depths & Survey Distance Units: **METER**

Log datum height to sea level:

X-Y coordinates at surface:

N-S Latitude, E-W Longitude:

Well Path Geometry:

[Well Path Help](#) [Load Well Path](#) [Export Well Path](#) [Google Map](#) [Load Survey File](#) [Export Survey File](#)

Directional Survey:

MD	TVD	DX	DY	INC	AZI
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
110.0	109.99	-0.03	0.96	1.34	-1.34
300.0	299.99	-0.09	2.62	0.0	-2.07
606.0	605.97	-0.17	5.29	0.42	-4.51
781.0	780.95	-0.26	7.96	1.25	-1.19
1094.0	1093.91	-0.42	12.73	0.54	-3.46
1286.0	1285.88	-0.53	16.08	1.42	-1.33
1416.0	1415.86	-0.61	18.63	0.52	-4.12
1480.0	1479.85	-0.65	19.75	1.44	-1.37
1527.0	1526.84	-0.67	20.36	0.91	-0.91
1553.0	1552.84	-0.68	20.76	0.0	-1.43
1617.0	1616.83	-0.72	22.02	1.66	-2.89
1690.0	1689.82	-0.76	23.13	0.0	-2.06
1787.0	1786.81	-0.8	24.4	1.41	-1.28
1840.0	1839.8	-0.83	25.21	0.78	-2.43
1916.0	1915.8	-0.86	26.2	0.78	-1.74

3.2.2 Temperatuur

De reservoir temperatuur is berekend op basis van TVD volgens de geothermische gradiënt voor onshore Nederland voorgesteld door Békési [ref. 5], met een oppervlaktetemperatuur van 10.1°C en een geothermische gradiënt relatie van 31.3°C/km. Mogelijk is de geothermische gradiënt lager (rond 22°C/km) in de ondiepere ondergrond waarin de Formaties van Maassluis en Oosterhout voorkomen. Voor deze studie is echter besloten in samenspraak met TNO om de hogere geothermische gradiënt aan te houden om vergelijking met de eerdere Brussels Zand petrofysische evaluatie van TNO in 2021 mogelijk te maken [ref. 6]. Gegeven dat Maassluis en Oosterhout tussen circa 100 - 400 m diep liggen, is er een verschil in temperatuur van alleen 1 à 4°C mogelijk, wat weinig invloed heeft op de interpretatie van resistiviteit logs is.

De temperatuur berekeningen in GeolOil zijn uitgedrukt in Fahrenheit temperatuur. Daarom is de temperatuur eerst in Fahrenheit berekend (zie afbeelding 3.3), en later met een script naar Celsius omgerekend (zie afbeelding 3.4).

Afbeelding 3.3 GeolOil formule om de Fahrenheit temperatuur te berekenen

Functions Workflow Edit function UID=90: BHEMPF

Output Transf. Vshale PHI & RHOM Permeab. Resist & Temp:11 SW & TOC Geomech. Miner & RHOM Scripting

Export Function SPECS UID 90 = BHEMPF : Borehole temperature from gradient in Fahrenheit

Help Deselect Suggest/Validate Calculate Comments: Type a comment for resistivity calculation

11: Calculate formation temperature at TVD depths using a geothermal gradient. Output is temperature (°F) @ TVD

T_{surf} = 50.18 Annual average temperature (°F) at surface

Grad = 0.05639 Temperature gradient (°F/ft)

TVD = 2 Curve number for True Vertical Depth TVD (feet) (use 1:MD curve if the well is vertical)

Afbeelding 3.4 GeolOil script om de Fahrenheit temperatuur te berekenen

Functions Workflow Edit function UID=81: BHEMPC

Output Transf. Vshale PHI & RHOM Permeab. Resist & Temp SW & TOC Geomech. Miner & RHOM Scripting

Export Function SPECS UID 81 = BHEMPC : Borehole temperature from gradient in Fahrenheit

Deselect Calculate Active Comments: Type a comment Reference Help

User Script:

```

1 Temp_Farenh = @6 # For example here temp is the curve number 37 in the log
2 Temp_Celsius = (Temp_Farenh - 32) * (5.0/9.0)
3 return (Temp_Celsius)

```

3.2.3 Klei volume

Met behulp van de gamma ray log (GR-log) of de spontaneous potential log (SP-log) is het klei volume ('shale volumes' = VSh) berekend. Hier is gebruik gemaakt van de GeolOil standaard formule om de Linear GR index te kunnen berekenen (zie afbeelding 3.5). Volgens de eerdere Brussels Zand petrofysische evaluatie van TNO in 2021 [ref. 6], is in de huidige ervoor gekozen om de Linear GR index te gebruiken in plaats van mogelijke andere relaties zoals bij voorbeeld Larionov. De Linear GR index is conservatiever en zorgt voor hogere klei volume dan met Larionov met een toename van ongeveer 20-30 %.

Afbeelding 3.5 GeoOil standaard formule Linear GR index om klei volumes te berekenen

Functions Workflow **Edit function UID=68: VSH_IGR**

Output Transf. **Vshale:1** PHI & RHOM Permeab. Resist & Temp SW & TOC Geomech. Miner & RHOM Scripting

Export Function SPECS UID 68 = **VSH_IGR**: Shale volume from Linear Gammaray Index

Help Deselect Suggest/Validate Calculate Comments: Type a comment for Vshale calculation

1: $VSH_{LinearIndex} = IGR = (GR - GR_{CleanRock}) / (GR_{PureShale} - GR_{CleanRock})$ Thorium, Potassium, or SP may replace Gamma Ray

GR = 2 ☐ is a constant ☒ is a curve number (from which the variable will be read)

GR_{CleanRock} = 15.0 ☒ is a constant ☐ is a curve number (GR reading for a free clay rock)

GR_{PureShale} = 70 ☒ is a constant ☐ is a curve number (make sure to pick a real shale)

De waarden voor GR_{CleanRock} en GR_{Shale} zijn bepaald met behulp van de logs en zijn gecontroleerd met behulp van de boorrapporten, en indien aanwezig van korrelgrootte analyse (zie tabel 3.2). Voor de GR_{Shale} gebruiken we indien mogelijk de gemiddelde waarden binnen de Rupel Klei, alleen lukt dat niet elke keer (bijvoorbeeld log te ondiep of laag niet aanwezig). De gemiddelde GR_{Shale} is ca. 25 GAPI. Voor de GR_{CleanRock} gebruiken we de gemiddelde waarden van Kwartair zand, of oudere zanden als deze schoner uit zien, dus met lagere GR waarden en zonder indicatie van glauconiet in de boorbeschrijvingen. De gemiddelde GR_{CleanRock} is ca. 70 GAPI.

Er lijkt geen correlatie te zijn tussen de GR_{CleanRock} en GR_{Shale} waarden en de gebruikte type mud (zie tabel 3.3). PLD-GT-01 is geboord met een KCI mud en laat lage waarden zien. Hetzelfde kan gezegd worden van WAS-05 dat geboord is met een FWM mud. PNA-GT-04 is daarentegen ook gedaan met een KCI muden laat hogere waarden zien voor de GR_{CleanRock}.

Tabel 3.2 Logs en waarden voor GR_{CleanRock} en GR_{Shale} gebuikt om bij de verschillende boringen de VSH te berekenen

Boring	Log voor VSH	GR _{CleanRock}	GR _{Shale}	Opmerkingen
B30D0206	o.b.v. GR	15 Kwartair (25m TVD)	100 Rupel Klei (455m TVD)	GR log stopt in Rupel Klei, zonder andere diepere schonere zandige formaties als alternatief
B30G4529	o.b.v. GR	15 Kwartair (35m TVD)	60 Oosterhout Formatie (290m TVD)	GR log stopt in Oosterhout, zonder andere diepere schonere zandige formaties en zonder andere diepere schonere kleiige formaties als alternatief
KDZ-01	o.b.v. GR	20 Formatie van Texel (760m TVD)	80 Rupel Klei (455m TVD)	GR log begint in Oosterhout, zonder andere ondiepere zandige formaties als alternatief. Dunne zandlaag aanwezig in mergel-rijke Formatie van Texel
	o.b.v. SP	25 Maassluis (115m TVD)	75 Maassluis (210m TVD)	betrouwbare SP log begint en stopt in Maassluis, zonder andere zandige of kleiige formaties als alternatief
KHL-GT-02	o.b.v. GR	40 Kwartair (15m TVD)	65 Rupel Klei (440m TVD)	-

Boring	Log voor VSH	GR _{CleanRock}	GR _{Shale}	Opmerkingen
LED-03	o.b.v. GR	25 Kwartair (60m TVD)	50 Breda Formatie (430m TVD)	GR log stopt in Onder-Holland Mergel, zonder andere echte zandige formatie aanwezig. geen Rupel klei aanwezig in de lithostratigraphie op NLOG, alleen Breda en Midden-Holland Kleisteen
PLD-GT-01	o.b.v. GR	20 Ommelanden Formatie (700m TVD)	45 Rupel Klei (450m TVD)	diepere GR log beschikbaar met schoonere zand aanwezig binnen een dunne zandlaag aanwezig in kalkrijke Ommelanden Formatie
PNA-12	o.b.v. GR	13 Kwartair (50m TVD)	60 Breda Formatie (380m TVD)	geen lithostratigraphie op NLOG aangegeven. Diepe well tops op basis van GR log ingeschat. Voor de zekerheid Kwartair zand aangehouden. Rupel Klei komt niet duidelijk terug, dus voor de zekerheid Breda Formatie aangehouden
PNA-GT-04	o.b.v. GR	18 Kwartair (115m TVD)	80 Rupel Klei (470m TVD)	-
VAL-01	o.b.v. GR	45 Kwartair (50m TVD)	120 Rupel Klei (430m TVD)	GR log stopt in Boven-Holland Mergel, zonder andere echte zandige formatie aanwezig
WAS-05	o.b.v. SP	18 Laagpakket van Vessem (450m TVD)	45 Rupel Klei (430m TVD)	diepere GR log beschikbaar met schoonere zand aanwezig

3.2.4 Porositeit

De methode, die wordt gebruikt om de totale en effectieve porositeit te berekenen, is afhankelijk van de beschikbare logs in de boringen (zie tabel 3.3). Hiervoor zijn 4 scenario's mogelijk:

- gamma ray log + density log (x2) → porositeit berekend op basis van density log;
- gamma ray log + sonic log (x2) → porositeit berekend op basis van sonic log;
- alleen resistivity log (x2) → porositeit berekend op basis van resistivity log;
- alleen gamma ray log (x4) → geen porositeit berekend.

Tabel 3.3 Evaluatiemethode om de porositeit te berekenen bij de verschillende boringen

Boring	Jaar	Logs digitaal beschikbaar	Type boring + mud	Boorgatdiameter [inch]	Evaluatiemethode
B30D0206	1983	GR, SN, LN, CAL	Luchtliftboring	11 3/4"	-
B30G4529	2008	GR, DT, RT, RHOZ	Unweighted bentonite mud / Dens.: 1,20	20"	o.b.v. density log
KDZ-01	1961	GR (only >300m), LATL, LN, SN, SP	SWEM / Dens.: 1,26	14 3/4"	o.b.v. resistivity log
KHL-GT-02	2016	GR	KCl-Glycol Polymer mud / Dens.: 1,14-1,18	16"	-

Boring	Jaar	Logs digitaal beschikbaar	Type boring + mud	Boorgatdiameter [inch]	Evaluatiemethode
LED-03	1972	GR, SON, DILD, SN, SP, BCSL, FDC, CAL	Bentoniet Water mud (WBM) / Dens.: 1,16	14 3/4"	o.b.v. sonic log
PLD-GT-01	2016	GR	KCl-Glycol Polymer (AMC Glycodrill) / Dens.: 1,09	17,5"	-
PNA-12	1967	GR, BCSL	Bentonite Water mud (WBM) / Dens.: 1,14	14 3/4"	o.b.v. sonic log
PNA-GT-04	2011	GR	KCl Bentonite (WBM) / Dens.: 1,08-1,13	12 1/4"	-
VAL-01	1998	GR, DT, RHOB, DRHO	KPM (water-based KCl polymer) / Dens.: 1,17-1,30	12 1/4"	o.b.v. density log
WAS-05	1957	CAL, LATL, LN, SN, SP	Fresh Water bentonite Mud (FWM) / Dens.: 1.28	12 1/4"	o.b.v. resistivity log

Porositeit berekenen op basis van density log

De eerste methode is om de totale en effectieve porositeit te berekenen op basis van een density log. Hier is eerst de totale porositeit (DPHIT) berekend met een matrix dichtheid (ρ_{ma}) van 2.65 g/cc voor siliciclastische sedimenten en een vloeistof dichtheid (ρ_{fl}) van 1.00 g/cc voor zoet water (zie afbeelding 3.6). Hier is ervan uitgegaan dat de boormodder zoet water was, en dat de modder mogelijk zout water dusdanig heeft verdrreven in het gebied dat de density log meet.

Vervolgens is een berekening gedaan van de effectieve porositeit (DPHIE). De effectieve porositeit is de porositeit die alleen in de zand zit, en niet de porositeit die in de klei zit. Om dit deel eraf te halen, is een porositeitwaarde voor shale nemen bij 100 % VSh, waardoor $DPHIE = DPHIT - VSh * \text{Shale POR}$. Aangezien de door de density log gemeten totale porositeit zowel open poriën in zand als gebonden poriën in klei beschouwd, wordt voor de effectieve porositeit de gebonden porositeit in klei in mindering gebracht, op basis van de klei volume inschatting en een afnemende porositeit met diepte. De effectieve porositeit is berekend met een totale shale porositeit van circa 40 %, en toont geen grote variaties tussen de boringen. Deze is bepaald op basis van de waarde op de DPHIT log bij 100 % shale in de Formatie van Oosterhout, of eventueel de Formatie van Maassluis afhankelijk van de boring (zie afbeelding 3.7). De aanname die hier is gedaan, is dat de shale porositeit niet afneemt, maar constant is in de Formaties van Maassluis en Oosterhout.

Afbeelding 3.6 GeolOil script om DPHIT te berekenen

The screenshot shows the 'Scripting' window in GeolOil. At the top, there's a 'Functions Workflow' tab and a sub-tab 'Edit function UID=76: DPHIT'. Below this are several tabs: 'Output', 'Transf.', 'Vshale', 'PHI & RHOM', 'Permeab.', 'Resist & Temp', 'SW & TOC', 'Geomech.', 'Miner & RHOM', and 'Scripting' (which is active). The main area displays the function definition: 'Export Function SPECS UID 76 = DPHIT : Total porosity from density log with Rho_fl = 1.03'. Below this are buttons for 'Deselect', 'Calculate', and a checkbox for 'Active' (which is checked). There's also a 'Comments' field with the placeholder 'Type a comment' and 'Reference' and 'Help' buttons. At the bottom, the 'User Script:' section contains the following code:

```

1  rhob = @4; rho_ma = 2.65; rho_fl = 1.00
2  DPHIT = (rho_ma-rhob)/(rho_ma-rho_fl)
3  return DPHIT

```


Afbeelding 3.7 GeolOil standard formule om DPHIE te berekenen

5: $\Psi_{\text{EffType1}} = \Psi_{\text{Total}} - \text{VSH} \cdot \Psi_{\text{Shale}}$ corrects total porosity for shale pore space. Apply to density, neutron and sonic

$\Psi_{\text{Total}} =$ ☐ is a constant ☒ is a curve number.

$\text{VSH} =$ ☐ is a constant ☒ is a curve number.

$\Psi_{\text{Shale}} =$ ☒ is a constant ☐ is a curve number. (Total shale porosity around 0-0.30 V/V)

Porositeit berekenen op basis van sonic log

Als alternatief kan met een sonic log de totale porositeit berekend worden vervolgen de Wyllie vergelijking [ref. 7]. Eerst is eerst de totale porositeit (SPHIT) berekend met een 'matrix density' ($D_{t_{ma}}$) van 56 $\mu\text{s}/\text{ft}$ voor siliciclastische sedimenten en een 'fluide density' (D_{t_f}) van 218 $\mu\text{s}/\text{ft}$ voor zoet water (zie afbeelding 3.8).

Daarna is de effectieve porositeit (SPHIE) berekend door het deel eraf te halen dat gebonden in kleimineralen zit (VSh en snelheid van 100 % klei, en snelheid van water hier ook weer zoet aangenomen) en vervolgens een geschatte compactie factor (zie afbeelding 3.9). De compactie factor (C_p) die wordt in de berekening gebruikt is ingeschat op basis van de snelheid van een 100 % shale ($D_{t_{sh}}$). Langs de boringen met een sonic log, zijn waarden tussen 160 - 175 $\mu\text{s}/\text{ft}$ uitgelezen uit de formaties waar ook de GR_{shale} waarden ook uitafgelezen (zie Tabel 3.2). Dit resulteert in een C_p van ongeveer 1,6 – 1,75. Deze is vervolgens gekalibreerd op basis van boring B30G4529. Deze put heeft de meeste informatie beschikbaar qua logs met een density log, een sonic log en een resistivity log, en is gebruikt om de workflow welke is toegepast om de porositeit te berekenen op basis van sonic log te kunnen kalibreren. Voor boring B30G4529, zijn de curven van de effectieve porositeit berekend op basis van de verschillende type log tegen elkaar geplot en vergeleken. De workflow is door een iteratief proces aangepast zo dat deze curven zo dichtbij mogelijk bij elkaar komen liggen. Uiteindelijk is voor alle boringen met een sonic log een compactie factor van 1.7 gehanteerd, wat voor de best mogelijke kalibratie zorgt tussen de resultaten van verschillende methoden om porositeit te berekenen. Dit komt overeen met een recentelijk onderzoek studie van TNO, waar in de gemeente Den Haag een C_p van circa 1,65 in de Formaties van Maassluis en Oosterhout was ingeschat [ref. 8].

Afbeelding 3.8 GeolOil script om SPHIT te berekenen

Functions Workflow Edit function UID=98: SPHIT_Willy

Output Transf. Vshale PHI & RHOM Permeab. Resist & Temp SW & TOC Geomech. Miner & RHOM Scripting

Export Function SPECS UID 98 = **SPHIT_Willy** : Total porosity from SONIC Willy's equation

Deselect Calculate ☒ Active Comments: Type a comment Reference Help

User Script:

```

1 Dt = @3; Dt_ma=56; Dt_fl=218
2
3 SPHIT = (Dt-Dt_ma) / (Dt_fl-Dt_ma)
4 return SPHIT

```

Afbeelding 3.9 GeolOil script om SPHIE te berekenen

Functions Workflow Edit function UID=32: SPHIE_WillyC

Output Transf. Vshale PHI & RHOM Permeab. Resist & Temp SW & TOC Geomech. Miner & RHOM Scripting

Export Function SPECS UID 32 = **SPHIE_WillyC** : Effective porosity from SONIC Willy's equation with compaction factor

Deselect Calculate ☒ Active Comments: Type a comment Reference Help

User Script:

```

1 Dt = @3; Dt_ma=56; Dt_fl=218; Dt_sh=175; Vsh=@8; Cp=1.7
2
3 SPHIE = (1/Cp) * ((Dt-Dt_ma) / (Dt_fl-Dt_ma) - Vsh * (Dt_sh-Dt_ma) / (Dt_fl-Dt_ma))
4 return SPHIE

```

Porositeit berekenen op basis van resistivity log

Voor boringen KDZ-01 en WAS-05 zijn er geen (complete) density of sonic logs beschikbaar. Hier is dus de effectieve porositeit op basis van de resistivity log berekend. Hiervoor zijn twee methodes getest op boring B30G4529 en vergeleken: de 'Simandoux methode' en de 'TNO methode'. De 'Simandoux methode' is alleen gebruikt bij boring B30G4529, om de factoren a en m te kunnen kalibreren. Deze gekalibreerde factoren zijn daarna geïnjecteerd in de zo genoemde 'TNO-methode' voor boringen KDZ-01 en WAS-05.

Simandoux Methode

De eerste methode maakt gebruik van de reverse Archie en Simandoux vergelijkingen. Ter vereenvoudiging wordt deze de 'Simandoux methode' genoemd. Deze methode is alleen gebruikt bij boring B30G4529, die zowel een density log en een resistivity log heeft, om de factoren a en m te kunnen kalibreren. Hiervoor zijn vier stappen nodig om met een onafhankelijke porositeit uit een density log of sonic log de water resistiviteit (R_{wa}) te kunnen berekenen:

- 1 berekenen van de water resistiviteit (R_w) volgens de reverse Archie vergelijking [ref. 9] als functie van gemeten reservoir resistiviteit (R_t) en de totale porositeit DPHIT berekend op basis van de density log (zie afbeelding 3.10). Hiervoor zijn de factoren $a=1.0$ en $m=1.3$ bepaald op basis van de resistivity log en gekalibreerd op basis van boring B30G4529. Deze put heeft de meeste informatie beschikbaar qua logs met een density log, een sonic log en een resistivity log, en is gebruikt om de workflow welke is toegepast om de porositeit te berekenen op basis van resistivity log te kunnen kalibreren. De curven van de effectieve porositeit berekend op basis van de verschillende type log (DPHIE, SPHIE, RPHIE (Simandoux)) zijn tegen elkaar geplot en vergeleken. De workflow is door een iteratief proces aangepast zo dat deze curven zo dichtbij mogelijk bij elkaar komen liggen. Uiteindelijk zijn de factoren $a=1.0$ en $m=1.3$ gehanteerd. De gekalibreerde factoren a en m worden later opnieuw geïnjecteerd in de zo genoemde 'TNO-methode', om ook een porositeit op basis van een resistivity log voor de boringen KDZ-01 en WAS-05 te kunnen berekenen;
- 2 berekenen van de apparent reservoir resistivity (R_{wa}) als functie van de berekende reservoir temperatuur (T_{reserv}) en water resistiviteit (R_w) (zie afbeelding 3.11);
- 3 berekenen van de shale resistivity curve (R_{sh}) via een interpolatie van de gemeten reservoir resistiviteit (R_t) (zie afbeelding 3.12). Dit wordt gedaan door meerdere punten langs de resistivity log uit te lezen om de invloed van zoet, brak, zout water op resistiviteit logs als een functie van de diepte uit te slaan;
- 4 berekenen van de effectieve porositeit RPHIE op basis van Simandoux vergelijking [ref. 7] als functie van de berekende klei volume (V_{sh}), de gemeten reservoir resistiviteit (R_t), de berekende apparent water resistiviteit (R_{wa}) en de berekende shale resistivity curve (R_{sh}) (zie afbeelding 3.13).

Afbeelding 3.10 GeolOil script om apparent water resistivity R_{wa} te berekenen volgens de 'Simandoux methode'

Functions Workflow Edit function UID=26: Rwa_Archie

Output Transf Vshale PHI & RHOM Permeab Resist & Temp1 SW & TOC Geomech Miner & RHOM Scripting

Export Function SPECS UID 26 = Rwa_Archie: Rwa with reversed Archie

Help Deselect Suggest/Validate Calculate Comments: Type a comment for resistivity calculation

1: $R_{wa_Archie} = \phi_e^m R_t / a$ apparent water resistivity $R_{wa} = R_w$ only if SW=1, otherwise R_{wa} is a hydrocarbon indicator

$\phi_e =$ 10 ☐ is a constant ☒ is a curve number. (use on clean rocks when $\phi_e = \phi_s$ and $V_{sh} = 0$)

$R_t =$ 5 ☐ is a constant ☒ is a curve number. true uninvasion formation resistivity $\Omega \cdot m$

$a =$ 1 ☒ is a constant ☐ is a curve number. tortuosity factor, usually around 1.0

$m =$ 1.3 ☒ is a constant ☐ is a curve number. sands around 1.8, carbonates around 2.0

Afbeelding 3.11 GeolOil script om reservoir saliniteit te berekenen volgens de 'Simandoux methode'

Output Transf Vshale PHI & RHOM Permeab Resist & Temp7 SW & TOC Geomech Miner & RHOM Scripting

Export Function SPECS UID 96 = Salinity_Rwa_Archie: Salinity using apparent water resistivity from Archie

Help Deselect Suggest/Validate Calculate Comments: Type a comment for resistivity calculation

7: Apparent wat resist. R_{wa} to apparent salinity (or R_w to reservoir NaCl). Output is app NaCl or reservoir salinity (ppm)

$T_{reserv} =$ 6 ☐ is a constant ☒ is a curve number. Reservoir temperature (°F)

R_{wa} or $R_w =$ 14 ☐ is a constant ☒ is a curve number. Apparent wat. R_{wa} or Form. water resist R_w ($\Omega \cdot m$)

Afbeelding 3.12 GeolOil standard functie om shale resistivity curve te berekenen volgens de 'Simandoux methode'

Afbeelding 3.13 GeolOil script om effectieve porositeit op basis van Simandoux vergelijking te berekenen volgens de 'Simandoux methode'

Aangepaste TNO Methode

De tweede methode volgt deels de workflow gebruikt voor de Brussels zand in het WarmingUp GOO report uit 2021 [ref. 6]. Ter vereenvoudiging wordt deze de 'TNO methode' genoemd. Deze methode is gebruikt bij boringen KDZ-01 en WAS-05, die geen (complete) density of sonic logs hebben. De factoren a en m gekalibreerd dankzij de 'Simandoux methode' zijn hier geïnjecteerd in de 'TNO-methode'. Hiervoor zijn vier stappen nodig om zonder porositeit indicatie uit een density log of sonic log, toch aanname over de saliniteit te kunnen doen om de water resistiviteit (R_w) als functie van een berekende saliniteit in te schatten:

- 1 berekenen van de reservoir saliniteit (NaCl) met Chloride (Cl) en Natrium (Na) als functie van de diepte, beide in 'parts per million' aangegeven (zie afbeelding 3.14). Dit is berekent op basis van een simpele aanname van een gelijk lineaire toename van Cl en Na met de diepte, welke overeen komt met de saliniteit waarden in de database van TNO (resultaten nog niet gepubliceerd);
- 2 berekenen van de apparent reservoir resistiviteit (R_{wa}) als functie van de berekende reservoir temperatuur (T_{reserv}) en reservoir saliniteit (NaCl) (zie afbeelding 3.15);
- 3 berekenen van de shale resistivity curve (R_{sh}) via een interpolatie van de gemeten reservoir resistiviteit (R_t) (zie afbeelding 3.16). Dit wordt gedaan door meerdere punten langs de resistivity log uit te lezen om de invloed van zoet, brak, zout water op resistiviteit logs als een functie van de diepte uit te slaan;
- 4 berekenen van de effectieve porositeit RPHIE op basis van Simandoux vergelijking [ref. 7] als functie van de berekende klei volume (VSh), de gemeten reservoir resistiviteit (R_t), de berekende apparent reservoir resistiviteit (R_{wa}) en de berekende shale resistivity curve (R_{sh}) (zie afbeelding 3.17). Deze workflow volgt deels die voor de Brussels zand in het WarmingUp GOO report uit 2021 [ref. 6]. Hiervoor zijn de factoren $a=1.0$ en $m=1.3$ gekalibreerd op basis van boring B30G4529. Deze put heeft de meeste informatie beschikbaar qua logs met een density log, een sonic log en een resistivity log, en is gebruikt om de workflow welke is toegepast om de porositeit te berekenen op basis van resistivity log (DPHIE, SPHIE, RPHIE (Simandoux), RPHIE(TNO)) te kunnen kalibreren. De curven van de effectieve porositeit berekend op basis van de verschillende type log zijn tegen elkaar geploteerd en vergeleken. De workflow is door een iteratief proces aangepast zo dat deze curven zo dichtbij mogelijk bij elkaar komen liggen. Uiteindelijk zijn de factoren $a=1.0$ en $m=1.3$ gehanteerd.

Afbeelding 3.14 GeoOil script om reservoir saliniteit te berekenen volgens de zo genoemde 'TNO methode'

Functions Workflow **Edit function UID=50: Salinity_TNO**

Output Transf. Vshale PHI & RHOM Permeab. Resist & Temp SW & TOC Geomech. Miner & RHOM **Scripting**

Export Function SPECS UID 50 = **Salinity_TNO**: Salinity using linear relation TNO Excel spreadsheet

Deselect **Calculate** ☒ Active Comments: Type a comment **Reference** **Help**

User Script:

```

1 depth=@1
2 C1 = 42.677*depth - 1219
3 Na = 42.677*depth - 1219
4 NaCl = C1+Na
5 return NaCl
6
7

```

Afbeelding 3.15 GeoOil standard functie om water resistiviteit Rw te berekenen volgens de zo genoemde 'TNO methode'

Functions Workflow **Edit function UID=79: Rw_TNOSalinity**

Output Transf. Vshale PHI & RHOM Permeab. **Resist & Temp** SW & TOC Geomech. Miner & RHOM Scripting

Export Function SPECS UID 79 = **Rw_TNOSalinity**: Rw from TNO salinity

Help **Deselect** **Suggest/Validate** **Calculate** Comments: Type a comment for resistivity calculation

8: Convert salinity to an equivalent resistivity at a reservoir temperature. Output is resistivity $\Omega \cdot m$ @ reservoir TVD

T_{reserv} = ☐ is a constant ☒ is a curve number. Reservoir temperature (°F)

$NaCl$ = ☐ is a constant ☒ is a curve number. Equivalent NaCl salinity (ppm)

Afbeelding 3.16 GeoOil functie om shale resistivity curve Rsh te berekenen volgens de zo genoemde 'TNO methode'

Functions Workflow **Edit function UID=85: Shale resistivity curve**

Output Transf. Vshale PHI & RHOM Permeab. Resist & Temp SW & TOC Geomech. Miner & RHOM **Scripting**

Export Function SPECS UID 85 = **Shale resistivity curve**: Interpolation from point

Help **Deselect** **Suggest/Validate** **Calculate** Comments: Type a comment for the transformation applied

CURVE INTERPOLATION and KERNEL SMOOTHING Fill void gaps through interpolation, or smooth curves to produce trends

3: Interpolate and fill -999.25 void gaps in a curve x, up to a maximum depth separation distance

x = Introduce the curve number to interpolate

gap = Introduce the maximum slot depth aperture to fill with interpolation, 0 to a big number

$Curvature$ = 0: linear interpolation, 0.50-0.60 yields good results, 1 smoother but may yield outliers

Afbeelding 3.17 GeoOil script om effectieve porositeit op basis van Simandoux vergelijking te berekenen volgens de zo genoemde 'TNO methode'

Functions Workflow **Edit function UID=54: RPHIE_Simandoux_RwaTNO**

Output Transf. Vshale PHI & RHOM Permeab. Resist & Temp SW & TOC Geomech. Miner & RHOM **Scripting**

Export Function SPECS UID 54 = **RPHIE_Simandoux_RwaTNO**: Simandoux script with Rwa TNO, m, n, a, Rsh, Vsh

Deselect **Calculate** ☒ Active Comments: Type a comment **Reference** **Help**

User Script:

```

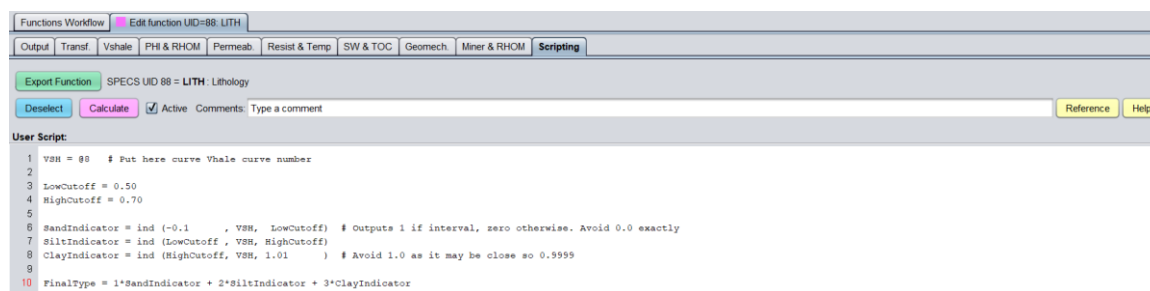
1 Rwa = @15; Rt = @5; Vsh = @8; Rsh=@22; a=1; m=1.3
2
3 RPHIE_Siman = (a*Rwa/Rt - a*Rwa*(Vsh/Rsh))^(1/m)
4 return RPHIE_Siman
5
6
7

```

3.2.5 Lithologie interpretatie

Op basis van het klei volume en in samenspraak met het boorrapport, is de lithologie geïnterpreteerd. Een individuele log track is toegevoegd met een onderscheiding tussen zand = 1, silt = 2 en klei = 3 (zie afbeelding 3.18). Voor zand is een cut-off op < 50 % VSh en voor klei een cut-off op > 70 % Vsh gehanteerd. Deze onderverdeling wordt gesubstantieerd door standard sedimentaire classificaties, zoals bij voorbeeld de Classificatieschema van Shepard [ref. 11].

Afbeelding 3.18 GeolOil script om lithologie te classificeren tussen Sand=1, Silt=2, Clay=3



3.2.6 Net-to-Gross

Er is gebruik gemaakt van de berekende klei volume (VSh) en eventueel de berekende effectieve porositeit logs om de Net-to-Gross (NtG) voor de Formaties van Maassluis en Oosterhout te berekenen. In GeolOil is dit met behulp van een sommatie functie gedaan. De sommatie functie maakt een cut-off in het klei volume met waarden van minder dan circa 40 % afhankelijk van de gebruikte boring, en indien de effectieve porositeit was berekend (DPHIE, SPHIE of RPHIE) ook een cut-off in de effectieve porositeit met waarden van minder circa 20 % afhankelijk van de gebruikte boring (zie Tabel 3.4).

Tabel 3.4 Cut-off gebuikt in GeolOil bij VSh en porositeit om de Net-to-Gross te kunnen berekenen

Boring	Berekende curven	Cut-off VSh [%]	Cut-off porositeit [%]
B30D0206	VSH, RPHIE (TNO)	40	30
B30G4529	VSH, DPHIE	40	25
	VSH, SPHIE	40	25
	VSH, RPHIE (TNO)	40	25
	VSH, RPHIE (Simandoux)	40	25
KDZ-01	VSH_SP, RPHIE (TNO) voor de Oosterhout Formatie	70	20
	VSH_GR, RPHIE (TNO) voor de Maassluis Formatie	40	20
KHL-GT-02	VSH	40	n.v.t.
LED-03	VSH, SPHIE	40	25
PLD-GT-01	VSH	40	n.v.t.
PNA-12	VSH, SPHIE	30	30
PNA-GT-04	VSH	30	n.v.t.
VAL-01	VSH, DPHIE	50	15
	VSH, SPHIE	50	15
WAS-05	VSH_SP, RPHIE (TNO)	55	15

Binnen het reservoir interval van de Maassluis Formatie komen uitschieters in de GR log voor die bijdragen aan het klei volume, porositeit en uiteindelijk NtG inschattingen, maar niet altijd daadwerkelijk veroorzaakt worden door klei. Elke uitschieter in de GR log is vergeleken met boorbeschrijvingen (waar beschikbaar) om te achterhalen of deze bijdraagt aan het klei volume, porositeit en NtG, of veroorzaakt wordt door andere lithologische eigenschappen. Verschillende oorzaken voor uitschieters in de GR log zijn: glauconiet-rijke zanden, organisch materiaal (plantenresten), mica-rijke lagen, schelpenlagen, en daadwerkelijke klei of leem lagen. Hieronder is de geschatte invloed van deze oorzaken beschreven. De LAS bestanden geven aan wat is opgenomen in de boorbeschrijving voor elke uitschieter. Onze aanname is dat als een uitschieter in de boorbeschrijvingen niet tot deze categorie behoort, deze als kleilaag wordt meegenomen.

Glauconiet

Boorbeschrijvingen geven aan dat in sommige boringen zanden kunnen soms licht glauconitisch zijn. Glauconietkorrels bevatten veel kalium wat een sterke GR respons geeft, zodat lagen waar glauconiet geconcentreerd is kunnen pieken veroorzaken in de GR log, wat voor een overschatting van het theoretisch klei volume zorgt, terwijl de theoretische porositeit niet noodzakelijk vermindert [ref. 12&13]. Het is onmogelijk met conventionele GR data om te kwantificeren wat het effect van verspreide glauconiet in glauconitische zandige intervallen is op de GR curve [ref. 12]. Het onderscheid van glauconiet is alleen mogelijk met spectrale GR metingen, welke niet beschikbaar zijn voor deze boorgatmetingen.

Door variabele resolutie van boorbeschrijvingen in het studie gebied, kunnen we niet met zekerheid onderscheid maken tussen schone zanden en glauconietdragende zanden, waardoor de bijdrage van glauconiet aan de kleivolume en porositeit berekeningen niet te kwantificeren is. De invloed van verspreide glauconiet op de berekeningen wordt echter als minimaal geschat aangezien alleen sommige zanden maar licht glauconitisch zijn, en kan enkel leiden tot een lichte onderschatting van porositeit wat conservatief is.

Organisch materiaal

Sommige GR-pieken vallen volgens boorbeschrijvingen samen met lagen die rijk zijn aan organisch materiaal zoals plantenresten of hout. Organisch materiaal is relatief verrijkt in radioactieve stoffen, voornamelijk Uranium, die een sterke GR respons veroorzaken [ref. 12]. In de meeste gevallen worden deze plantenresten gevonden in zandige lagen, en zal de theoretische porositeit niet noemenswaardig verminderen. De invloed van organisch materiaal op de berekeningen wordt echter als minimaal geschat aangezien dit heel weinig voorkomt, en kan enkel leiden tot een lichte onderschatting van porositeit wat conservatief is.

Mica

Mica mineralen zijn, net zoals glauconiet, hoog in radioactieve componenten, die een sterke GR respons veroorzaken [ref. 12&13]. Vaak komen mica's voor als plaatvormige korrels, welke indien geconcentreerd in zandige lagen tot een lichte vermindering van de theoretische porositeit kunnen zorgen, maar niet zullen bijdragen aan het theoretisch klei volume. In de boorbeschrijvingen worden mica mineralen beschreven in zandlagen. De invloed van mica op de berekeningen is zeer moeilijk in te schatten. Echter kan deze leiden tot een lichte onderschatting van porositeit wat conservatief is.

Schelpenlagen

Opvallend is dat sommige uitschieters in het GR signaal samenvallen met schelprijke lagen in de boorbeschrijvingen. En in één boring komt dat overheen met lagere sonic waarden. Normaal gesproken hebben carbonaat-rijke sedimenten juist lage GR waarden. Mogelijk zijn in deze schelpenlagen ook glauconiet of organisch materiaal geconcentreerd. Door mogelijk gelijke hydraulische sortering van schelpfragmenten en plantenresten tijdens bij voorbeeld stormen of mariene transgressie, kunnen deze samen worden afgezet in 'tempestites' of 'maximum flooding surfaces', waarbij de aanwezigheid van organisch materiaal zorgt voor een reducerend milieu benodigd voor glauconietvorming. De aanwezigheid van organisch materiaal en/of glauconiet zou in dit geval dus de GR uitschieters kunnen verklaren (zie hierboven voor uitgebreidere toelichting). De invloed op de berekeningen wordt echter als minimaal geschat aangezien dit heel weinig voorkomt, en kan enkel leiden tot een lichte onderschatting van porositeit wat conservatief is.

3.2.7 Export van LAS bestanden

De verrijkte samengestelde LAS bestanden (shale volume, porositeit, permeabiliteit, lithologie) zijn uiteindelijk als digitale boorbeschrijvingen geleverd, alsook een afdruk van een log paneel van elke boring (zie bijlage I). Hiermee kunnen opwaarts vergroevende opeenvolgingen worden geïnterpreteerd en gebruikt als kalibratie voor het voorwaarts stratigrafische model.

3.3 Resultaten van petrofysische analyse

De resultaten van de petrofysische analyse zijn eerst per boring beschreven, waarna de bevindingen van de petrofysische analyse in het algemeen en hun betekenis voor de kwaliteit van de verschillende reservoirs in de gemeente Den Haag worden besproken.

3.3.1 Petrofysische analyse per boring

B30D0206

Log bewerking

In boring B30D0206 zijn een goede GR log en resistivity log beschikbaar, waarmee de VSh op basis van de GR log en de effectieve porositeit op basis van de resistivity log zijn berekend (zie afbeelding 3.19). Hiervoor wordt een aangepaste versie van de workflow van TNO voor de Brussels zand uit het WarmingUp GOO report van 2021 beruikt (zie 3.2.4), om zonder totale porositeit indicatie uit een density log of sonic log, toch aanname over de saliniteit doen om de apparent water resistiviteit (R_{wa}) en de effectieve porositeit te kunnen berekenen.

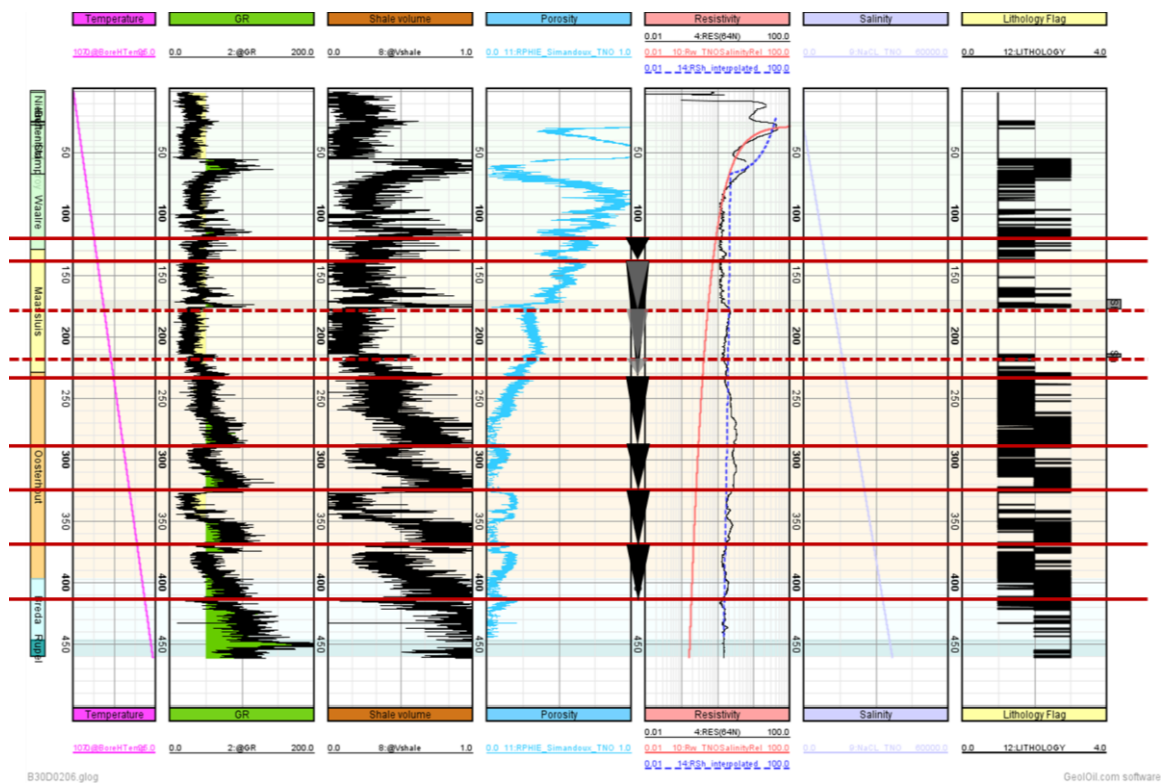
Oosterhout Formatie

De Oosterhout Formatie (397 - 230 m diepte) is 168 m dik en bestaat uit afwisselingen tussen klei en zand pakketten van circa 20 m dik. De klei pakketten bevatten hoge VSh waarden (circa 80 %) en geen porositeit (circa 0 %) bevatten, terwijl de zand pakketten bevatten relatief lage VSh waarden (circa 30 %) en relatief hoge porositeit waarden vergeleken met de rest van de Oosterhout Formatie (circa 15 %), wat meer overeen met komt kleiige zand. Deze afwisseling tussen klei en kleiig zand pakketten zijn geïnterpreteerd als vier opwaarts vergroevende opeenvolgingen ('*upwards coarsening sequences*' in het Engels) en vertegenwoordigen een algemene afname van de VSh (circa 90 % naar circa 50 %) over de hele Oosterhout Formatie. De bovengrens met de Maassluis Formatie is een geleidelijke toename in zandige lithologie.

Maassluis Formatie

De Maassluis Formatie (230 - 130 m diepte) is 100 m dik en wordt gekenmerkt door voornamelijk zand, met vrij uniform lage VSh waarden (circa 20 %) en hoge porositeit waarden (circa 40 %). Twee intervallen met hoge VSh waarden: hogere waarde rond 215 m diepte en een peik tussen 175 m en 160 m diepte, die samen vallen met schelp-rijke lagen in de boorbeschrijvingen. Deze lagen vormen mogelijk de overgang tussen drie opwaarts vergroevende opeenvolgingen.

Afbeelding 3.19 GeolOil paneel van B30D0206 met GR en resistivity logs, en berekende shale volume, saliniteit, effectieve porositeit (op basis van de zo genoemde 'TNO methode') en lithologie klassen



B30G4529

Log bewerking

Boring B30G4529 is de meeste complete boring in de gemeente Den Haag. Deze boring bevat een goede GR log, density log, sonic log en resistivity log (zie afbeelding 3.20). Op basis hiervan, is de workflow voor het berekenen van de effectieve porositeit dankzij de sonic log en resistivity log verbeteren, door deze te kalibreren op de berekende effectieve porositeit dankzij de density log. Dit is gedaan door bepaalde parameters aan te passen, zoals de factoren $a=1.0$ en $m=1.3$. Zo doende is het mogelijk om deze workflow naar andere boringen met minder logs te kunnen exporteren. Het blijkt dat de DPHIE (op basis van density log), SPHIE (op basis van sonic log), RPHIE_Simandoux (op basis van de 'Simandoux methode') en RPHIE_TNO (op basis van de zo genoemde 'TNO methode') redelijk overeenkomen. De DPHIE en SPHIE zijn zeer vergelijkbaar, terwijl de RPHIE_Simandoux, en voornamelijk de RPHIE_TNO, lagere effectieve porositeit waarden laten zien. Met een sonic of resistivity logs worden de resultaten wat meer conservatieve, maar aangezien de alternatieve methodes wat onzekerder zijn, is de workflow als waardevol gezien om toch een petrofysische analyse te kunnen uitvoeren met boringen die minder data bevatten.

Oosterhout Formatie

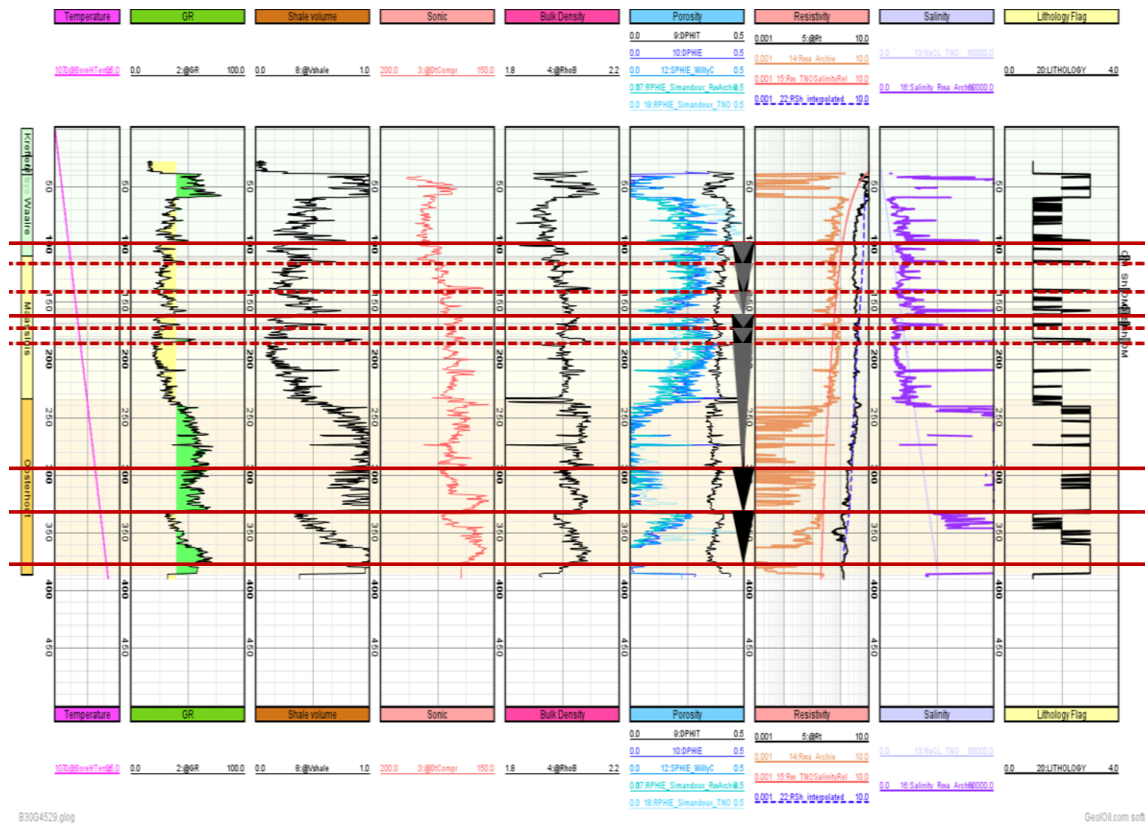
De Oosterhout Formatie (378 - 235 m diepte) is 143 m dik. De Oosterhout is hier heel kleiig, met vrij uniform zeer hoge VSh waarden (circa 90 %) en lage porositeit waarden (circa 5 %). Een interval rond 350 m diepte van ca 20 m dik bevat lagere VSh waarden (circa 40 %), met een bijbehorende toename van de porositeit (circa 20 %), kenmerkend voor een kleiige zandlaag. Deze zandlaag vormt de overgang tussen twee opwaarts vergroevende opeenvolgingen. De bovengrens met de Maassluis Formatie is een wat meer abrupte toename in zandige lithologie waarbij de formatiegrens samenvalt met lagere VSh waarden (<50 %).

Maassluis Formatie

De Maassluis Formatie (235 - 111 m diepte) is 124 m dik en bestaat voornamelijk uit zandige lithologieën, met relatief lage VSh waarden (circa 25 %) en relatieve hoge porositeit waarden (circa 30 %). De Maassluis Formatie wordt onderbroken door een kleiig interval tussen 160 m en 140 m diepte van ca 20 m dik, welke hogere VSh waarden (circa 30 %) en lagere porositeit waarden (circa 20 %) bevat.

Deze kleilaag vormt de overgang tussen twee opwaartse vergroevende opeenvolgingen. Daarnaast bevinden zich vijf dunne intervallen met hoge VSh waarden en meestal lage sonic waarden rond 185 m, 170 m, 160 m, 140 m en 115 m diepte, welke samenvallen met schelp-rijke, organisch-rijke of glauconiet-rijke lagen in de boorbeschrijvingen, wat door een sterk GR-sigitaal het kleivolume kan doen overschatten en de porositeit kan doen onderschatten. Deze lagen vormen mogelijk de overgang tussen vijf opwaarts vergroevende opeenvolgingen.

Afbeelding 3.20 GeoOil paneel van B30G4529 met GR, density, sonic en resistivity logs, en berekende shale volume, saliniteit, totale en effectieve porositeit (op basis van de 4 verschillende methodes om de workflow zo goed mogelijk te kunnen kalibreren) en lithologie klassen



KDZ-01

Log bewerking

Boring KDZ-01 is uit 1961 en bevat een dataset van slechte kwaliteit. Er is een GR log alleen vanaf circa 300 m diepte beschikbaar. Bovendien bevat de SP log vrij onbetrouwbare oude data met meerdere abrupte overgangen, voornamelijk in de formaties ouder en jonger dan de Maassluis Formatie. Er zijn inderdaad twee drie abrupte overgangen te zien rond 315 m, 255 m en 125 m diepte, wat overeenkomt met verschillende stukken logs voor elke formaties (zie afbeelding 3.21). Er is wel een resistiviteit log voor de hele boring beschikbaar. Hier is voor de diepere lagen (500 - 300 m diepte) een VSh_GR en vervolgens een RPHIE_GR op basis van de GR log in de basis van de Oosterhout Formatie berekend, en voor de ondiepere lagen (250 - 0 m diepte) is een VSh_SP en vervolgens een RPHIE_SP op basis van de SP log in de Maassluis Formatie berekend.

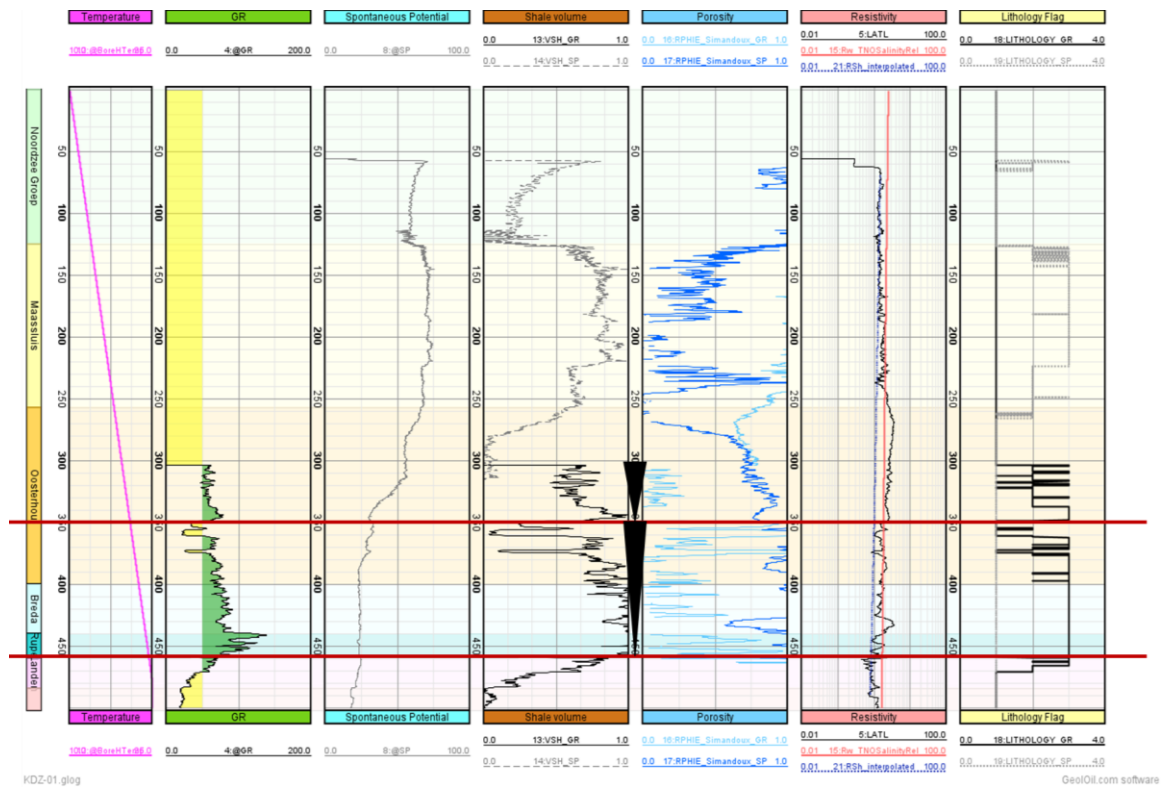
Oosterhout Formatie

De Oosterhout Formatie (400 - 257 m diepte) is hier 143 m dik en wordt gekenmerkt door hoge VSh waarden (circa 90 %) met lage porositeit waarden op basis van de RPHIE_GR (circa 15 %). Een algemene afname van de VSh (circa 100 % naar circa 60 %) is herkenbaar door de beschikbare Oosterhout Formatie. Dit komt echter niet terug in de berekende porositeit log. Een zandig interval tussen 365 m en 350 m diepte van circa 15 m dik bevat lagere VSh waarden (circa 10 %) met hogere porositeit waarden (circa 30 %). Deze zandlaag vormt de overgang tussen twee opwaarts vergroevende opeenvolgingen.

Maassluis Formatie

De Maassluis Formatie (257 - 125 m diepte) is hier 132 m dik. Dit interval heeft geen GR log en dus zijn de VSh en vervolgens de porositeit op basis van de SP log berekend. In de boorbeschrijving is de Maassluis Formatie als zeer kleiig beschrijven. Dit is hier wel terug te zien met hoge VSh_SP waarden (circa 70 %) en relatief lage porositeit waarden (circa 25 %). Echter is de SP log zeer onbetrouwbaar. Door de slechte kwaliteit van de gegevens is het dus ingewikkeld om meer interpretaties te maken.

Afbeelding 3.21 GeoOil paneel van KDZ-01 GR, SP en resistivity logs, en met berekende shale volume, saliniteit, effectieve porositeit (op basis van de zo genoemde 'TNO methode') en lithologie klassen



Log bewerking

In boring KHL-GT-02 is alleen een goede GR log beschikbaar (zie afbeelding 3.22). Hier kan dus alleen de VSh berekend worden, en helaas geen effectieve porositeit.

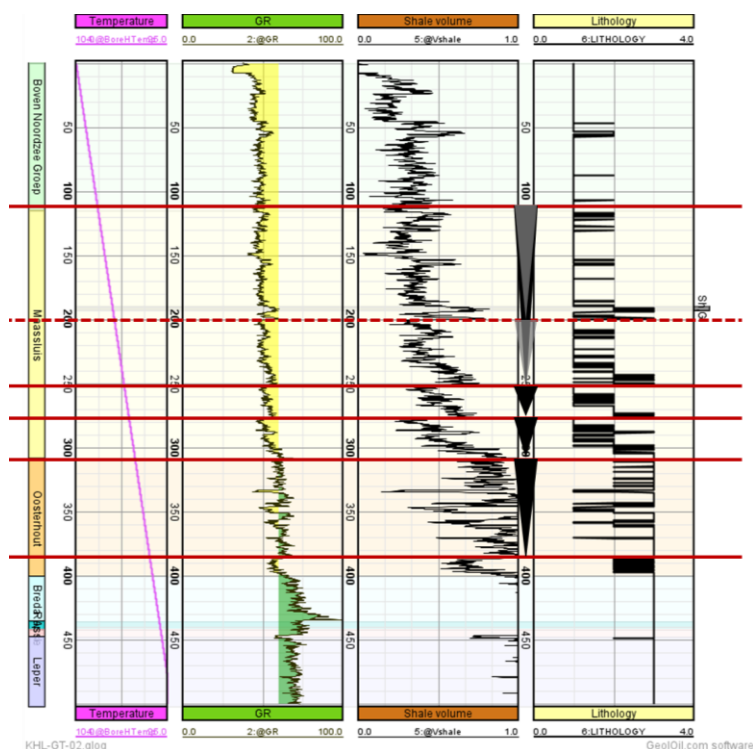
Oosterhout Formatie

De Oosterhout Formatie (401 - 309 m diepte) is 92 m dik en bestaat grotendeels uit klei, met hoge VSh waarden (circa 90 %) met ten minstens 5 dikke zandpakketten van circa 5 m op circa 390 m, 370 m, 360 m, 345 m en 335 m met relatief lage VSh waarden (circa 50 %). De VSh neemt geleidelijk af naar de bovenkant van de Oosterhout Formatie (circa 95 % naar circa 80 %), kenmerkend voor een verzandende opeenvolging. Een interval rond 380 m diepte van circa 20 m dik bevat lagere VSh waarden (circa 60 %), welke wordt geïnterpreteerd als een zandige kleilaag. Deze laag vormt de overgang tussen twee opwaarts vergroevende opeenvolgingen. De bovengrens met de Maassluis Formatie is een abrupte toename in zandige lithologie.

Maassluis Formatie

De Maassluis Formatie (309 - 115 m diepte) is 194 m dik en bestaat grotendeels uit zand, met relatief lage VSh waarden (circa 35 %). De formatie bevat drie circa 10 m dikke pakketten rond 273 m, 247 m en 192 m diepte, met hogere VSh (circa 70 %). De bovenste valt duidelijk samen met een schelp-rijke laag in de boorbeschrijvingen. De twee andere zijn mogelijk dunne kleilagen, waar we dus een kleine afname van de porositeit verwachten. De kleilagen, en eventueel ook de schelp-rijke laag, vormen de overgang tussen drie of eventueel vier opwaarts vergroevende opeenvolgingen.

Afbeelding 3.22 GeolOil paneel van KHL-GT-02 met GR log, en berekende shale volume en lithologie klassen



Log bewerking

In boring LED-03 zijn een oude GR log en sonic log beschikbaar uit 1972, waarmee de VSh op basis van de GR log, en de effectieve porositeit op basis van de sonic log zijn berekend (zie afbeelding 3.23). De composite log van deze boring *leidschendam_3.las* begint pas op 260 m diepte. Ter aanvulling van deze dataset, gebruiken we ook de alternatieve log *led03t01.las*, welke al op 46 m diepte begint. Dit bestand laat wel een slechte kwaliteit van de sonic log zien, met langs de hele log bijzondere variaties in de vorm van verschillende constant hoge waarden op een BCSL van ca. 45 $\mu\text{s}/\text{ft}$. Dit maakt echter relatief weinig verschil voor de algemene resultaten van de petrofysische analyse, aangezien de berekende effectieve porositeit op basis van de composite log en op basis van de alternatieve log goed overeen komen.

In deze boring is de overgang tussen de Oosterhout en de Maassluis Formaties vrij onduidelijk. De overgang is aangegeven op 281 m diepte. In de boorbeschrijvingen komt dat overeen met het verschijnen van schelprijke sedimenten in de Maassluis Formatie, in tegenstelling tot de Oosterhout Formatie waar geen schelpen aanwezig zijn. Echter zien we pas later een zeer duidelijke overgang in de GR log met een abrupte afname rond 235 m diepte (zie afbeelding 3.24), typisch voor de grens tussen deze twee formaties volgens de andere boringen. Daarom hebben we hier gekozen om voor beide gevallen de GeolOil data te presenteren.

Oosterhout Formatie

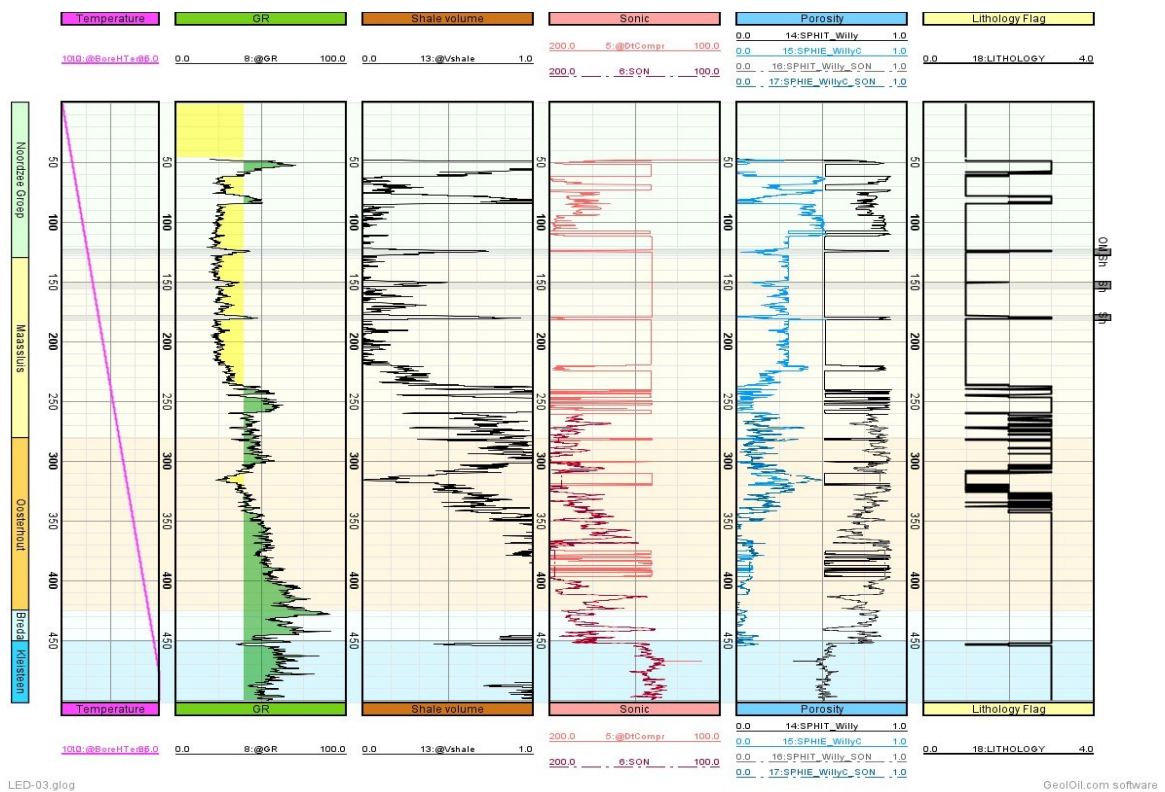
De Oosterhout Formatie (425 - 281 m diepte) is 144 m dik. Indien een ondiepere overgang op 235 m diepte is deze 190 m dik, wat vrij dik is vergeleken met de andere boringen, waar de formatie over het algemeen slechts 140 m dik is. De Oosterhout Formatie bestaat hier bijna geheel uit kleirijke lithologieën met hoge VSh waarden (circa 90 %) en lage porositeit (circa 5 %). Een zandig interval rond 315 m diepte van circa 10 m dik bevat lagere VSh waarden (circa 20 %), met een bijbehorende toename van de porositeit waarden (circa 30 %). Deze zandlaag vormt de overgang tussen twee opwaarts vergroevende opeenvolgingen. De eerste aan de basis is duidelijk zichtbaar met een toename van de porositeit naar boven toe, terwijl de tweede is iets minder goed zichtbaar.

Maassluis Formatie

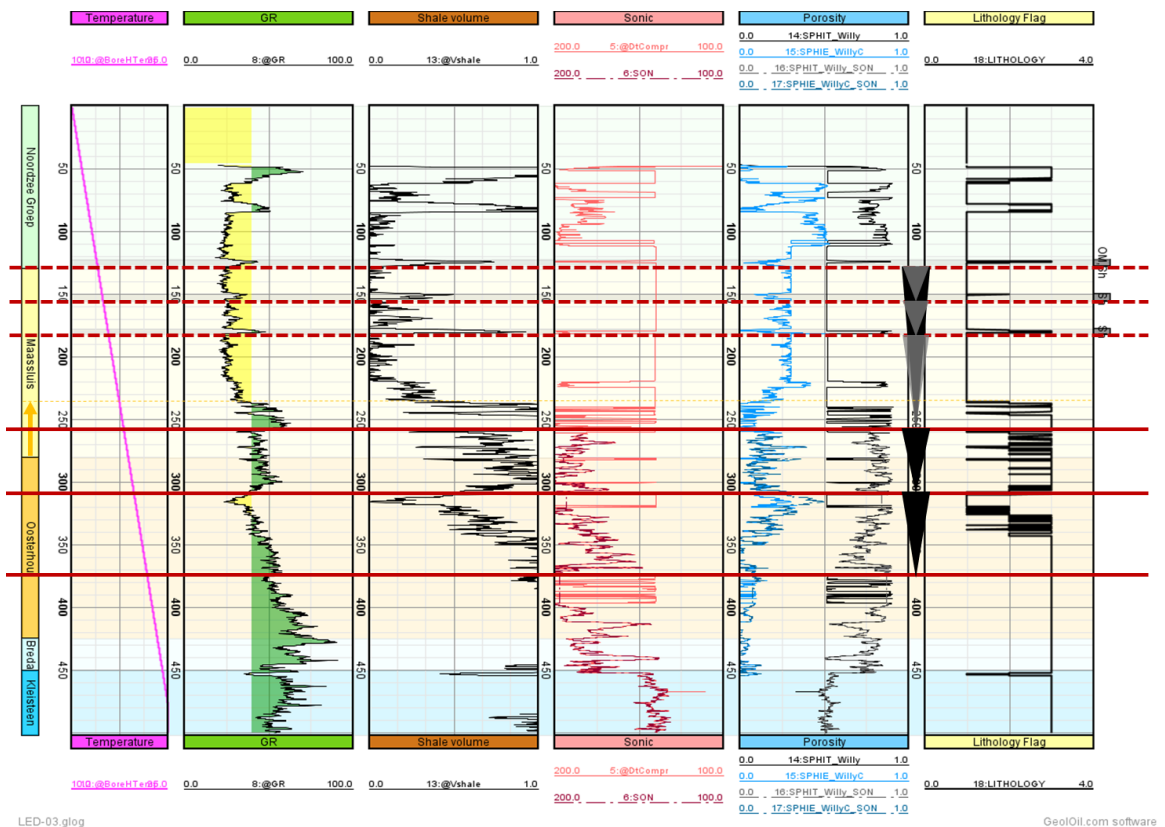
De Maassluis Formatie (281 - 130 m diepte) is 151 m dik. Indien een ondiepere overgang op 235 m diepte is deze 105 m dik, wat vrij dun is vergeleken met de andere boringen, waar de formatie over het algemeen slechts 135 m dik is. De Maassluis Formatie bestaat hier uit twee delen. De basis van de formatie is klei-rijk in de onderste 40 m met relatief hoge VSh waarden (circa 70 %) en lage porositeit waarden (circa 15 %). Dit klei-rijke interval kan mogelijk ook geïnterpreteerd worden als de Oosterhout Formatie in vergelijking met andere boringen waar de abrupte overgang tussen klei-rijk en zand-rijk sedimenten ondiepere is.

Hierna in het tweede deel, bestaat de formatie grotendeels uit zandige lithologieën met lage VSh waarden (circa 10 %) en hoge porositeit waarden (circa 30 %). Echter is de porositeit hier grotendeels beïnvloed door de statica in de sonic en is niet betrouwbaar. Binnen dit pakket bevinden zich drie dunne lagen van circa 5 m dik rond 180 m, 150 m en 125 m diepte met hoge VSh waarden (circa 50 %), wat overeenkomt met een afname in berekende porositeit (circa 10 %). Echter, in de boorbeschrijvingen vallen deze dunne lagen samen met schelprijke en/of organisch-rijke lagen, wat door een sterk GR-sigitaal het kleivolume kan doen overschatten en de porositeit kan doen onderschatten. Deze lagen vormen mogelijk de overgang tussen vier opwaarts vergroevende opeenvolgingen.

Afbeelding 3.23 GeolOil paneel van LED-03 met GR en sonic logs, en berekende shale volume, totale en effectieve porositeit (op basis van de sonic log) en lithologie klassen



Afbeelding 3.24 Alternatief GeolOil paneel van LED-03 met GR en sonic logs, en berekende shale volume, totale en effectieve porositeit (op basis van de sonic log) en lithologie klassen, met basis van Maassluis op 235 m diepte in plaats van 281 m diepte



Log bewerking

In boring PLD-GT-01 is alleen een goede GR log beschikbaar (zie afbeelding 3.25). Hier kan alleen de VSh berekend worden, en dus geen effectieve porositeit. In de las bestanden beschikbaar op NLOG, blijkt de GR log een offset aan te tonen met waarden > 100 API. In de composite las bestand, is een edited GR log gegeven, welke waarden < 100 API aantoont. Hier is dus gekozen om de edited GR log vanuit de composite las bestand te gebruiken.

In deze boring is de overgang tussen de Oosterhout en de Maassluis Formaties vrij onduidelijk. De overgang is aangegeven op 250 m diepte. In de boorbeschrijvingen komt dat overeen met een transitie van klei naar zand. Echter zien we al dieper een zeer duidelijke overgang in de GR log met een abrupte afname rond 298 m diepte (zie afbeelding 3.26), typische voor de grens tussen deze twee formaties volgens de andere boringen. In de boorbeschrijvingen komt dat overeen met een transitie van zandrijke klei naar mergelrijke klei rond 300 m. Daarom hebben we hier gekozen om voor beide gevallen de GeolOil panelen te presenteren.

Oosterhout Formatie

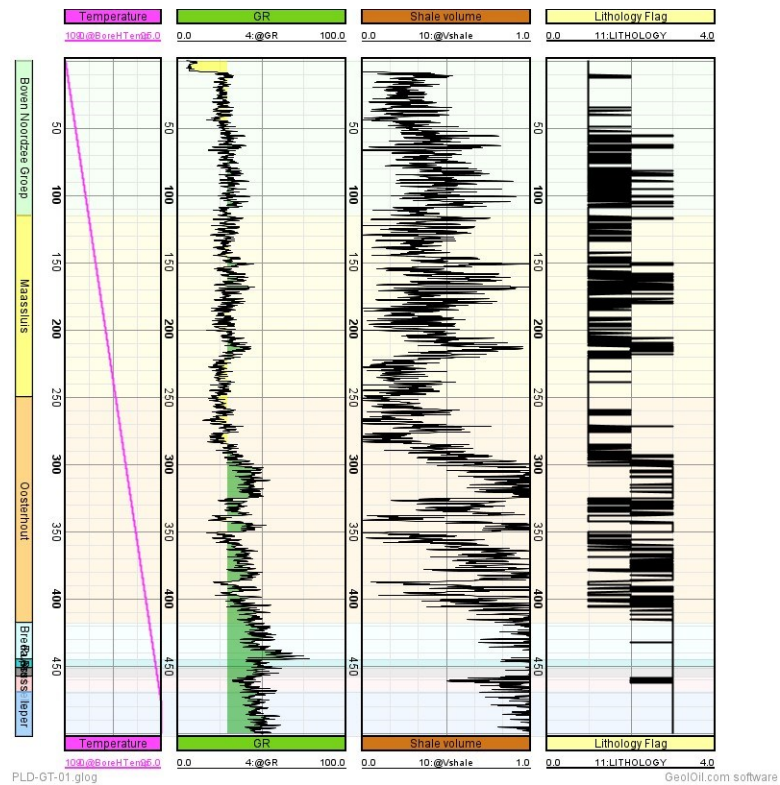
De Oosterhout Formatie (418 - 250 m diepte) is hier 168 m dik. Indien een diepere overgang op 298 m diepte is deze 120 m dik, wat binnen het bereik valt van wat kan worden gevonden in andere boringen, waar de formatie over het algemeen 140 m dik is. De Oosterhout Formatie bestaat hier uit voornamelijk klei-rijke lithologieën met hoge VSh waarden (circa 60 %). Drie zandige intervallen van circa 15 m dik worden herkend op 380 m, 350 m en 330 m dieptes, met lage VSh waarden (circa 10 %), en waar we dus hogere porositeit verwachten. Deze zandlagen vormen de overgang tussen vier opwaarts vergroevende opeenvolgingen.

In de bovenste 30 m zijn vrij zandrijke sedimenten afgezet met lage VSh waarden (circa 20 %). Dit zand-rijke interval kan mogelijk ook geïnterpreteerd worden als de Maassluis Formatie in vergelijking met andere boringen waar de abrupte overgang tussen klei-rijk en zand-rijk sedimenten net iets ondiepere ligt.

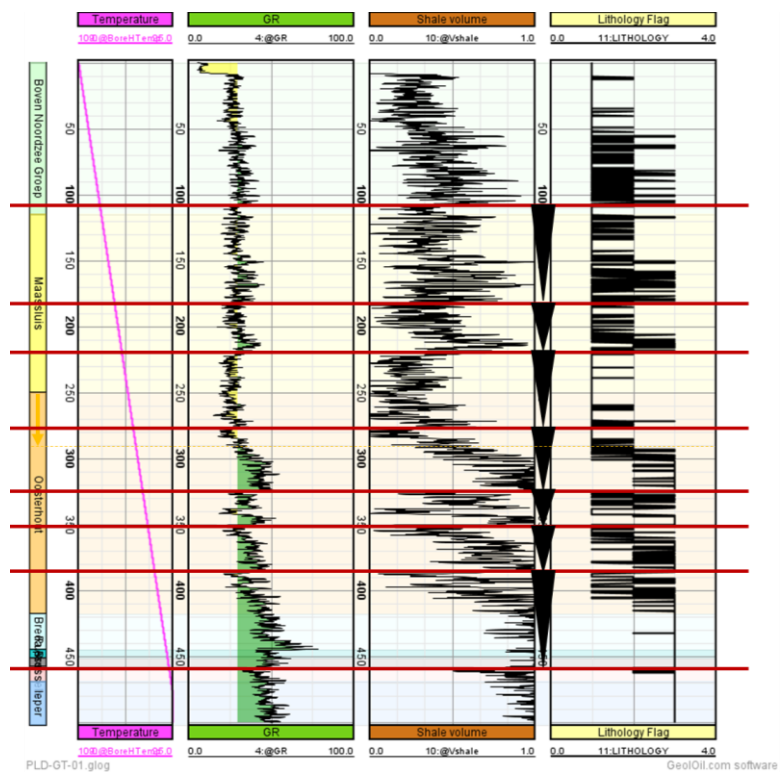
Maassluis Formatie

De Maassluis Formatie (250 - 115 m diepte) is hier 135 m dik. Indien een diepere overgang op 298 m diepte is deze 183 m dik, wat binnen het bereik valt van wat kan worden gevonden in andere boringen, waar de formatie over het algemeen 135 m dik is. De Maassluis Formatie is hier relatief vrij zandig met lage VSh waarden (circa 25 %). Twee meer klei-rijke intervallen van circa 20 m dik zijn verspreid over de formatie rond 215 m en 170 m diepte, en bevatten hogere VSh waarden (circa 60 %). Deze worden niet expliciet beschreven in de boorbeschrijvingen, en bestaan dus waarschijnlijk uit zandige sedimenten, waar we hogere porositeit verwachten. Deze zandlagen vormen de overgang tussen drie opwaarts vergroevende opeenvolgingen.

Afbeelding 3.25 GeolOil paneel van PLD-GT-01 met GR log, en berekende shale volume en lithologie klassen



Afbeelding 3.26 Alternatief GeolOil paneel van PLD-GT-01 met GR log, en berekende shale volume en lithologie klassen, met basis van de Maassluis Formatie op 298 m diepte in plaats van 250 m diepte



PNA-12

Log bewerking

In boring PNA-12 zijn een oude GR log en sonic log uit 1967 beschikbaar, waarmee de VSh op basis van de GR log en de effectieve porositeit op basis van de sonic log zijn berekend (zie afbeelding 3.27). Hiervoor zijn een algemene Dt_{sh} van 175 $\mu s/ft$ en C_p van 1.7 gebruikt, volgens gegevens afgeleid aan de basis van de kleiige Oosterhout/Breda Formatie. De lithostratigrafie is niet op NLOG aangegeven, en is ingeschat voor de ondiepe formaties op basis van naastgelegen boring B37E0481 uit DINOloket (basis Maassluis Formatie en jonger) en voor de diepere formaties op basis van de GR log (basis Oosterhout en ouder).

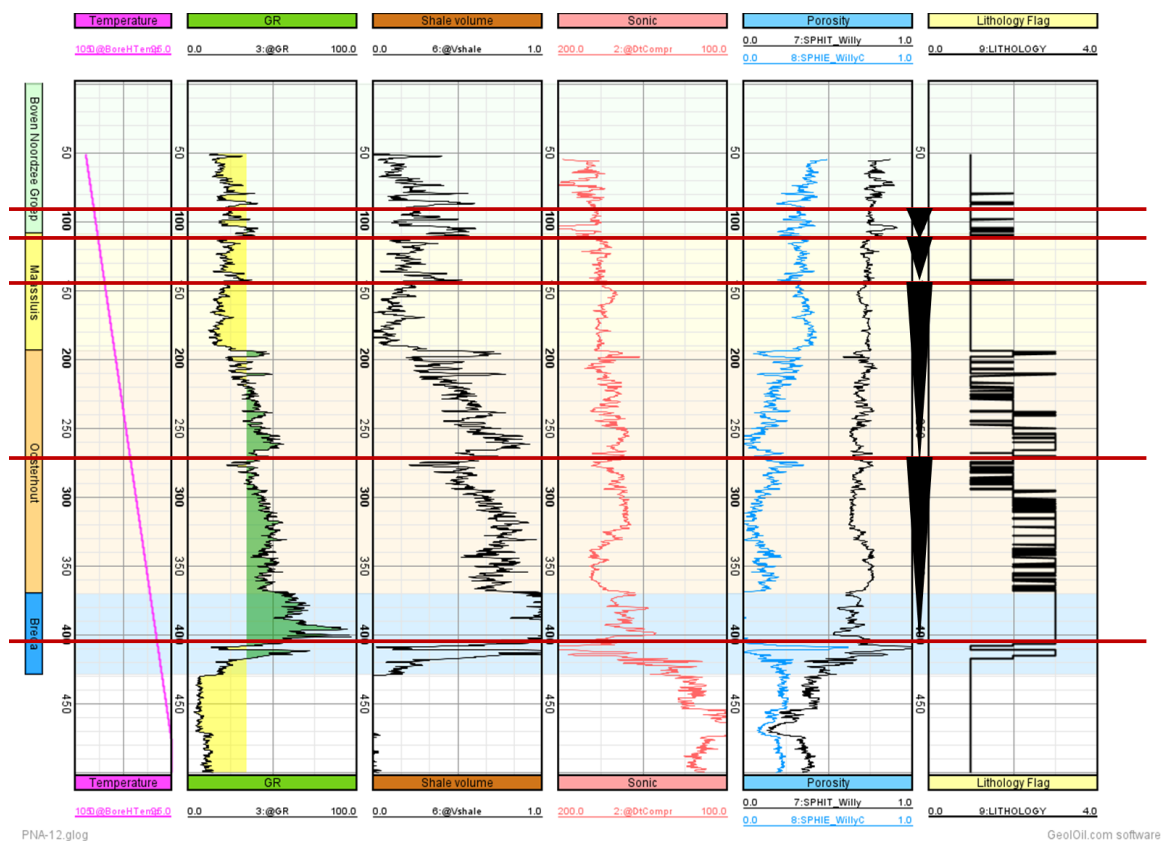
Oosterhout Formatie

De Oosterhout Formatie (370 - 194 m diepte) is hier 176 m dik en is voornamelijk klei-rijk met hoge VSh waarden (circa 75 %) en lage porositeit waarden (circa 10 %). De VSh neemt geleidelijk af richting de bovenkant van de formatie tot <50 %, terwijl de porositeit geleidelijke toeneemt tot >20 %. Een circa 10 m dik interval op 270 m diepte van met lage VSh waarden (circa 20 %) en hoge porositeit waarden (circa 30 %) is zichtbaar op de logs, wat overeen komt met een kleiige zandlaag. Deze zandlaag vormt de overgang tussen twee opwaarts vergroevende opeenvolgingen. De bovengrens met de Maassluis Formatie is een abrupte toename in zandige lithologie.

Maassluis Formatie

De Maassluis Formatie (194 - 109 m diepte) is hier 85 m dik en overwegend zandrijk met lage VSh waarden (circa 20 %) en hoge porositeit waarden (circa 35 %). Twee circa 10 m dik intervallen rond 140 m en 120 m diepte zijn lichtelijk rijker in klei met hogere VSh waarden (circa 35 %) en met een kleine vermindering in porositeit (circa 25 %). Deze worden niet expliciet beschreven in de boorbeschrijvingen, en bestaan dus waarschijnlijk uit kleiige sedimenten. Deze kleilagen vormen de overgang tussen twee opwaarts vergroevende opeenvolgingen.

Afbeelding 3.27 GeoOil paneel van PNA-12 met GR en sonic logs, en berekende shale volume, totale en effectieve porositeit (op basis van sonic log) en lithologie klassen



Log bewerking

In boring PNA-GT-04 is alleen een goede GR log beschikbaar (zie afbeelding 3.28). Hier kan dus alleen de VSh berekend worden, en helaas geen effectieve porositeit.

In deze boring is de overgang tussen de Oosterhout en de Maassluis Formaties vrij onduidelijk. De overgang is aangegeven op 330 m diepte. In de boorbeschrijvingen, komt dat overeen met een transitie van silt-rijke mergel naar mergel-rijke silt. Echter zien we pas ondieper een zeer duidelijke overgang in de GR log met een abrupte afname rond 230 m diepte (zie afbeelding 3.29). In de boorbeschrijvingen komt dat overeen met een transitie van mergel-rijk silt naar schoon zand, typische voor de grens tussen deze twee formaties volgens de andere boringen. Daarom hebben we hier gekozen om voor beide gevallen de GeolOil panelen te presenteren.

Oosterhout Formatie

De Oosterhout Formatie (400 - 330 m diepte) is hier 70 m dik, wat vrij dun is vergeleken met de andere boringen, waar de formatie over het algemeen 140 m dik is. Indien een ondiepere overgang op 230 m diepte is deze 170 m dik. De Oosterhout Formatie is algeheel zand-arm met relatief hoge en constante VSh waarden (circa 55 %).

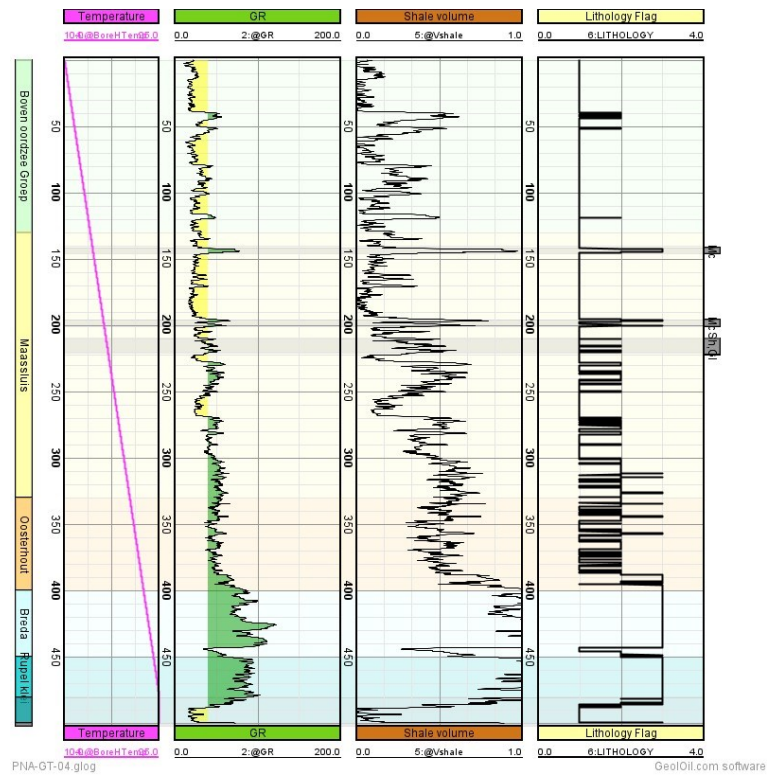
Maassluis Formatie

De Maassluis Formatie (330 - 130 m diepte) is hier 200 m dik, wat vrij dik is vergeleken met de andere boringen, waar de formatie over het algemeen 135 m dik is. Indien een ondiepere overgang op 230 m diepte is deze 100 m dik. De Maassluis Formatie is voornamelijk zandrijk met lage VSh waarden (circa 10 %). De onderste 100 m bevatten echter kleirijke sedimenten met hogere VSh waarden (circa 50 %). Dit klei-rijke interval kan mogelijk ook geïnterpreteerd worden als de Oosterhout Formatie in vergelijking met andere boringen waar de abrupte overgang tussen klei-rijk en zand-rijk sedimenten ondiepere is.

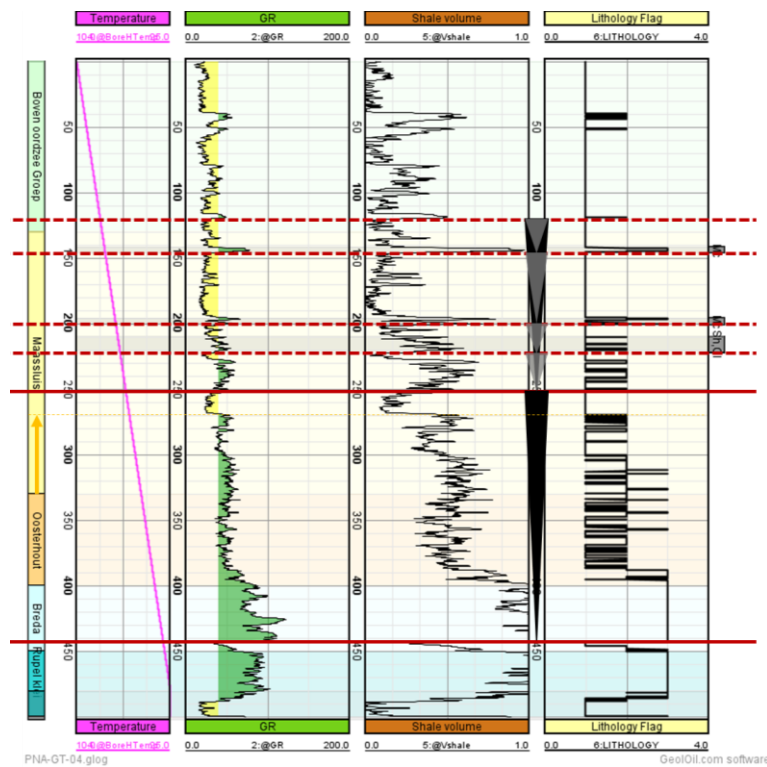
Een circa 20 m dik interval rond 260 m diepte bevat lage VSh waarden (circa 20 %), wat overeen komt met een kleiige zandlaag. Deze zandlaag vormt de overgang tussen twee opwaarts vergroevende opeenvolgingen.

Daarboven is de Maassluis Formatie vrij uniform met lage VSh waarden (circa 10 %), behalve drie intervallen rond 220 m, 200 m en 140 m diepte met hoge VSh waarden (circa 50 %). De boorbeschrijvingen geven aan dat deze hoge VSh waarden samenvallen met mica-rijke, glauconiet-rijke of schelpenrijke lagen, wat door een sterk GR-sigitaal het kleivolume kan doen overschatten en de porositeit kan doen onderschatten. Deze lagen vormen mogelijk de overgang tussen vier opwaarts vergroevende opeenvolgingen.

Afbeelding 3.28 GeolOil paneel van PNA-GT-04 met GR log, en berekende shale volume en lithologie klassen



Afbeelding 3.29 Alternatief GeolOil paneel van PNA-GT-04 met GR log, en berekende shale volume en lithologie klassen, met basis van de Maassluis Formatie op 230 m diepte in plaats van 330 m diepte



VAL-01

Log bewerking

Boring VAL-01 is de tweede meest complete log in de gemeente Den Haag. Deze boring bevat een goede GR log, density log en sonic log (zie afbeelding 3.30). Hiervoor zijn een algemene Dt_{sh} van 175 $\mu s/ft$ en C_p van 1.7 gebruikt, volgens gegevens afgeleid in de voornamelijk kleiige Breda Formatie. De DPHIE en SPHIE komen goed overeen, echter laat de SPHIE iets lagere effectieve porositeit waarden zien.

De lithostratigrafie is niet volledig op NLOG aangegeven, zodat alleen de basis van de Oosterhout Formatie en van diepere formaties aangegeven zijn. Voor de ondiepere lagen, is de basis van de Maassluis Formatie ingeschat op basis van de GR log en is de basis van jongere formaties ingeschat op basis van naastgelegen boring B30E0166 uit DINOlaket.

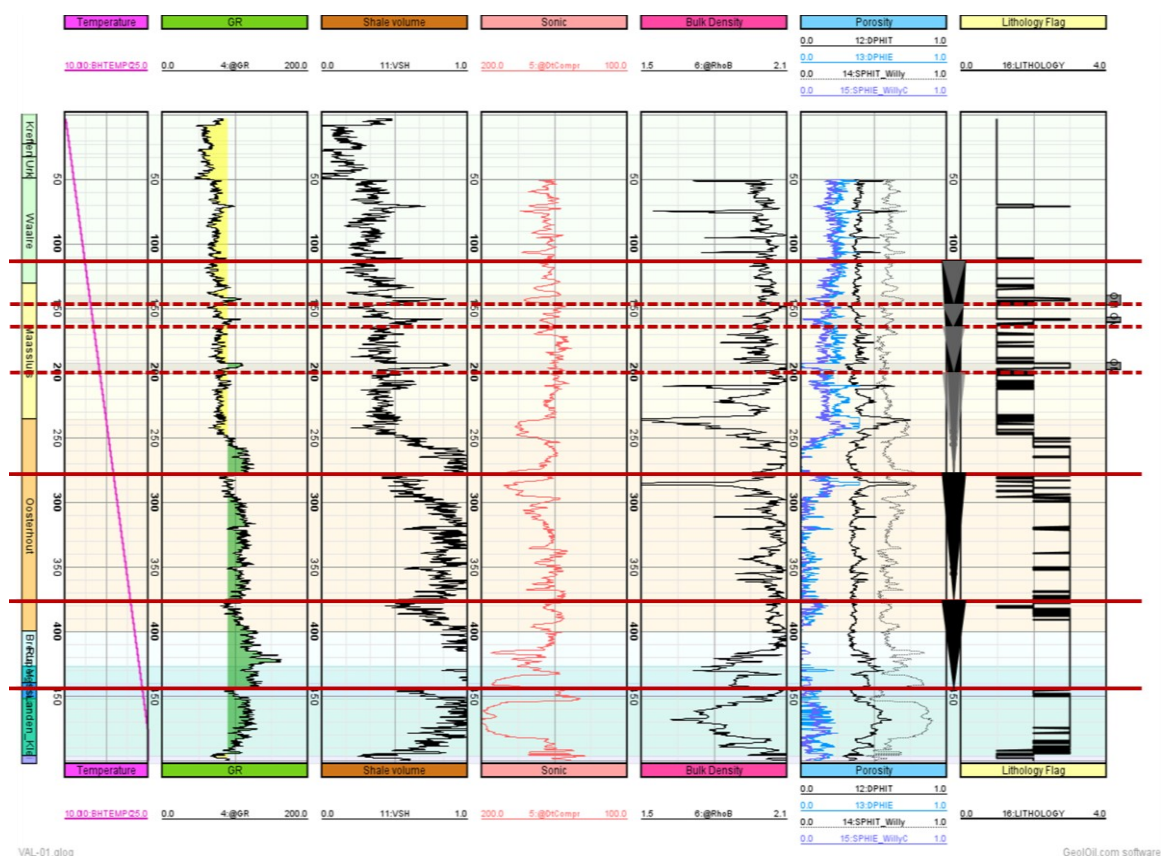
Oosterhout Formatie

De Oosterhout Formatie (400 - 236 m diepte) is hier 164 m dik, met grotendeels uniform hoge VSh waarden (circa 90 %) en lage porositeit (circa 10 %). Twee circa 20 m dikke pakketten rond 380 m en 280 m diepte zijn iets zandrijker met relatief lagere VSh waarden (circa 50 %) en met iets hogere porositeit waarden (circa 20 %). Deze zandlagen vormen de overgang tussen drie opwaarts vergroevende opeenvolgingen. De bovengrens met de Maassluis Formatie is een abrupte toename in zandige lithologie.

Maassluis Formatie

De Maassluis Formatie (236 - 131 m diepte) is hier 105 m dik en heeft vrij uniforme lage VSh waarden (circa 35 %) met relatief hoge porositeit waarden (circa 15 %). Uitzonderingen hierop zijn drie piekintervallen van circa 5 m dik rond 200 m, 160 m en 145 m met hogere VSh waarden (circa 90 %) en lagere porositeit waarden (circa 5 %). In de boorbeschrijvingen vallen deze samen met organisch-rijke zandlagen. Deze lagen vormen mogelijk de overgang tussen vier opwaarts vergroevende opeenvolgingen.

Afbeelding 3.30 GeolOil paneel van VAL-01 met GR, density en sonic logs, en berekende shale volume, totale en effectieve porositeit (op basis van density en sonic logs) en lithologie klassen



Log bewerking

In boring WAS-05 is geen GR beschikbaar, alleen een oude SP log en resistivity log uit 1957 (zie afbeelding 3.31). Hier is de VSh dus berekend op basis van de SP log en de effectieve porositeit op basis van de resistivity log. De SP log is echter van 9lage kwaliteit met voornamelijk in de Maassluis Formatie een vreemd gedempt patroon met vrij constante waarden. De SP log is daarom verondersteld als vrij onbetrouwbaar, waardoor de porositeit onderschat lijkt te worden. Hiervoor wordt de workflow van TNO voor de Brussels zand uit het WarmingUp GOO report van 2021 gebruikt (zie 3.2.4), om zonder totale porositeit indicatie uit een density log of sonic log, toch aanname over de saliniteit doen om de apparent water resistiviteit (R_{wa}) en de effectieve porositeit te kunnen berekenen.

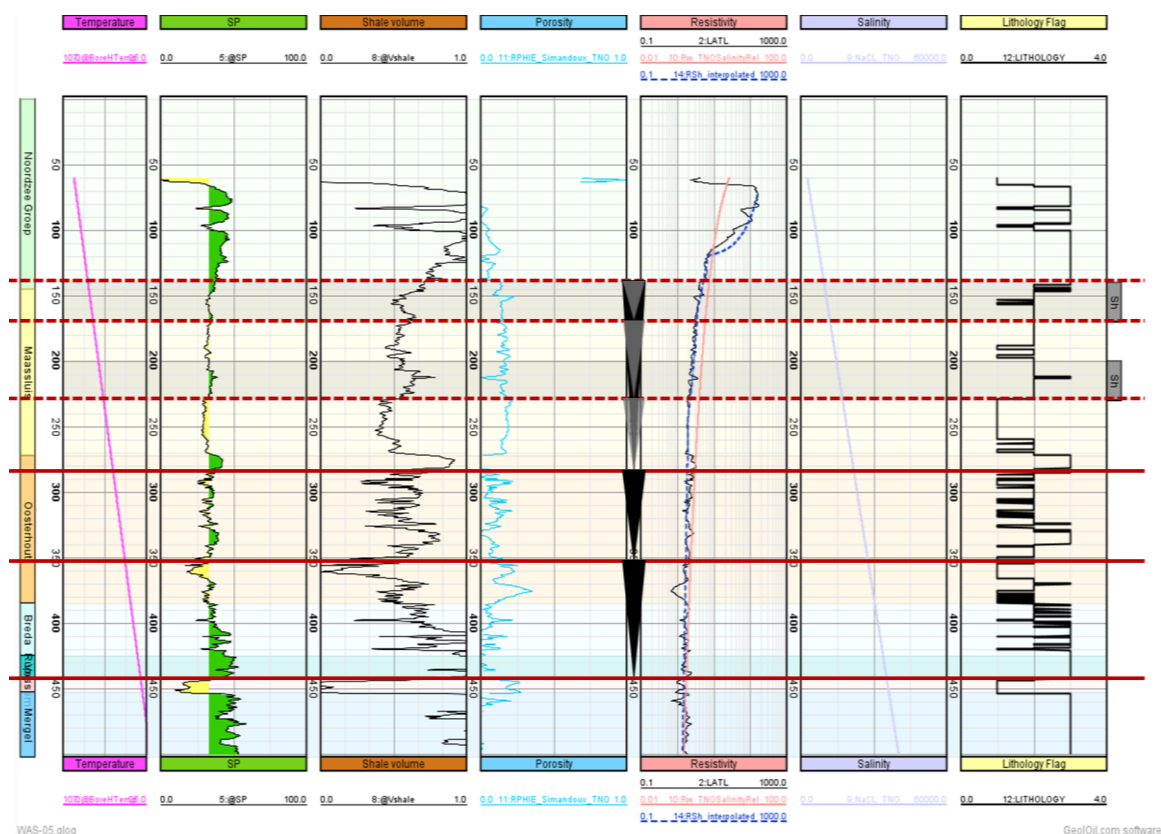
Oosterhout Formatie

De Oosterhout Formatie (385 - 272 m diepte) is hier 113 m dik en bestaat voornamelijk uit kleiige sedimenten met relatief hoge VSh waarden (circa 60 %) en lage porositeit waarden (circa 10 %). De formatie bevat een zandige laag van circa 10 m dik rond 360 m diepte met lage VSh waarden (circa 5 %) en relatief hogere porositeit waarden (circa 20 %). Deze zandlaag vormt de overgang tussen twee opwaarts vergroevende opeenvolgingen.

Maassluis Formatie

De Maassluis Formatie (272 - 145 m diepte) is hier 127 m dik en is onregelmatig afwisselend zand en klei. De VSh waarden zijn dus relatief hoog (circa 50 %) en de porositeit waarden relatief laag (circa 20 %) in vergelijking met de andere boringen. De boorbeschrijvingen, alhoewel met lage resolutie, rapporteren schelpenresten in het gehele Maassluis interval. Twee circa 30 m dik kleiige intervallen met hogere VSh waarden (circa 60 %), vormen mogelijk de overgang tussen drie opwaarts vergroevende opeenvolgingen. Door de slechte kwaliteit van de gegevens is het echter ingewikkeld om meer interpretaties te maken.

Afbeelding 3.31 GeolOil paneel van WAS-05 met SP en resistivity logs, en berekende shale volume, saliniteit, effectieve porositeit (op basis van de zo genoemde 'TNO methode') en lithologie klassen



3.3.2 Bevindingen van de petrofysische analyse

Algemene petrofysische resultaten

Voor de Formaties van Oosterhout en Maassluis zijn de diktes en gemiddelde kleivolume (VSh), effectieve porositeit en Net-to-Gross (NtG) weergegeven per boring in tabel 3.5. Deze waarden houden helaas geen rekening met milieucorrecties, wat niet mogelijk is in de software GeolOil. Het lijkt er op dat KCL-mud de neiging heeft om het GR-signaal te verzwakken in vergelijking met zoetwatermodder. Dit is wel handmatig gecorrigeerd door, in de VSh-berekeningen, representatieve GR_{CleanRock} en GR_{Shale} uit te kiezen.

De Oosterhout Formatie is gemiddeld 138 m dik en bestaat voornamelijk uit kleiige sedimenten met zeer hoge kleivolumen rond 77 % en zeer lage effectieve porositeit waarden rond 8 %, resulterend in zeer lage NtG waarden rond 6 %. Daarentegen bestaat de 135 m dikke Maassluis Formatie uit afwisselingen tussen kleiig zand en zandige klei met relatief lage kleivolumes rond 33 % en relatief hoge porositeit waarden rond 28 %, resulterend in relatief hoge NtG waarden rond gemiddeld 54 %.

In tabel 3.5 zijn ook alternatieve waarden gepresenteerd. Deze alternatieve waarden zijn berekend met de aangepaste grens tussen de Formaties van Oosterhout en Maassluis op basis van de aangegeven lithostratigrafie op NLOG versus de duidelijke alternatieve overgangen geïdentificeerd op de GR log. Dit heeft een iets dikkere Oosterhout Formatie tot gevolg (148 m dik), met iets hogere kleivolumen rond 78 % en dito porositeit en NtG. Met betrekking tot de Maassluis Formatie is deze iets dunner (126 m dik), met iets lagere kleivolumen rond 30 % en iets hogere porositeit rond 28 % en NtG rond 57 %. Over het algemeen heeft dit dus weinig invloed op het globale beeld. De welltops die in NLOG staan of in boorrapporten zijn echter mogelijk te updaten op basis van recentelijke biostratigrafie of sequence stratigraphy studies.

Tabel 3.5 Gemiddelde diktes, kleivolume, porositeit en NtG per boring voor de Formaties van Oosterhout en Maassluis

Boring	Oosterhout				Maassluis			
	Dikte [m]	VSh [%]	Porositeit [%]	NtG [%]	Dikte [m]	VSh [%]	Porositeit [%]	NtG [%]
B30D0206	168	70	10	0	100	20	40	70
B30G4529	143	90	5	1	124	25	30	47
KDZ-01	143	90	5	8	132	70	25	24
KHL-GT-02	92	90	-	3	194	35	-	44
LED-03	144	90	5	1	151	20	25	53
<i>alt *</i>	<i>190</i>	<i>90</i>	<i>5</i>	<i>2</i>	<i>105</i>	<i>10</i>	<i>30</i>	<i>75</i>
PLD-GT-01	168	60	-	28	135	30	-	58
<i>alt *</i>	<i>120</i>	<i>80</i>	<i>-</i>	<i>13</i>	<i>183</i>	<i>25</i>	<i>-</i>	<i>60</i>
PNA-12	176	75	10	3	85	20	35	88
PNA-GT-04	70	55	-	0	200	25	-	47
<i>alt *</i>	<i>170</i>	<i>45</i>	<i>-</i>	<i>11</i>	<i>100</i>	<i>10</i>	<i>-</i>	<i>76</i>
VAL-01	164	90	10	8	105	35	15	67
WAS-05	113	60	10	19	127	50	20	45
gemiddeld	138 m	77 %	8 %	6 %	135 m	33 %	27 %	54 %
<i>alt *</i>	<i>148 m</i>	<i>78 %</i>	<i>8 %</i>	<i>6 %</i>	<i>126 m</i>	<i>30 %</i>	<i>28 %</i>	<i>57 %</i>

* Alternatieve waarden berekend met de aangepaste grens tussen de Formaties van Oosterhout en Maassluis op basis van de aangegeven lithostratigrafie op NLOG versus de duidelijke alternatieve overgangen geïdentificeerd op de GR log.

Regressief sedimentair systeem

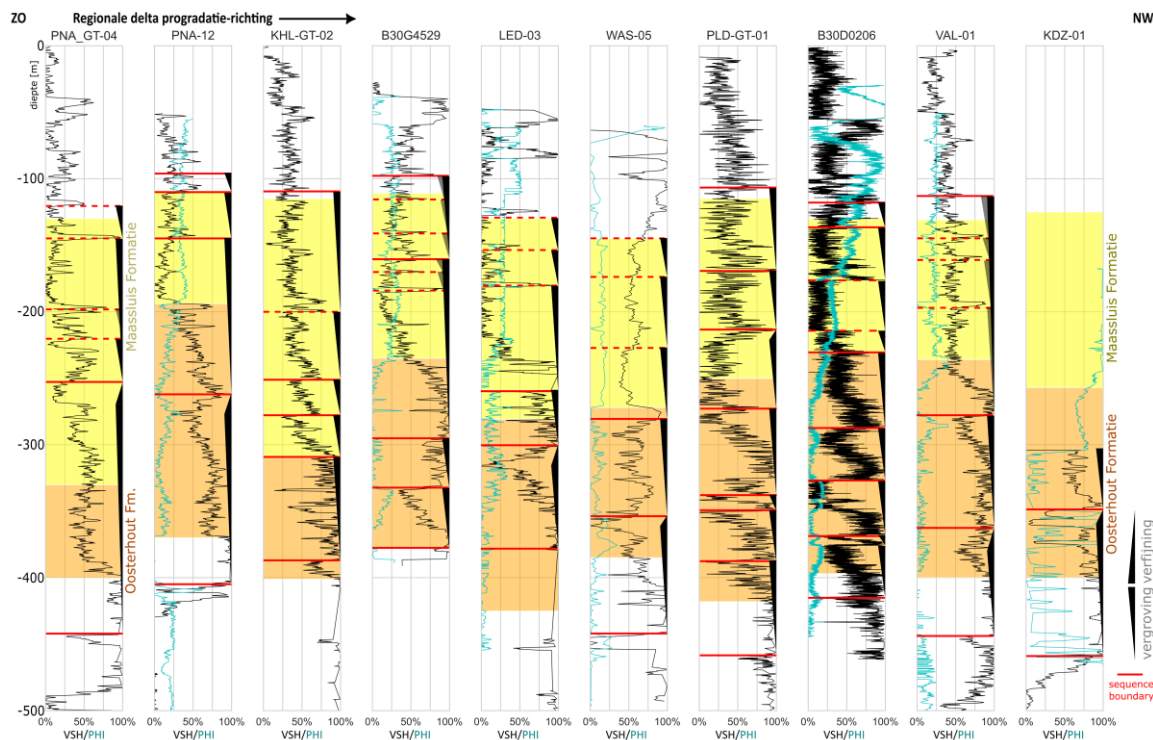
Het sedimentair systeem registreert een algemene regressie met een opwaartse vergroving van de klei-rijke Oosterhout Formatie, naar de afwisselend keiige zand- en zandige klei-rijke Maassluis Formatie, tot de zeer zandige Formaties binnen de Boven Noordzee Groep.

Beide formaties laten binnen deze algemene regressie meerdere opwaarts vergroevende opeenvolgingen zien (zie afbeelding 3.32). In het figuur is een verschil gemaakt tussen opwaarts vergroevende opeenvolgingen in volle- of stippellijn.

De eerste type opeenvolgingen zijn duidelijk geïdentificeerd dankzij opwaarts vergroevende sedimenten, die zich vertalen in een opwaarts afname van de VSh log, met in het bovenste gedeelte een heldere zandlaag. In de Oosterhout Formatie zijn de opwaarts vergroevende opeenvolgingen meestal vrij goed zichtbaar op basis van de VSh log. Ze zijn zeer kleiig en vrij dik, rond 75 m dikte. In de Maassluis Formatie hebben deze een zwakker signaal in de VSh log. Ze zijn meer zandig en vrij dun, rond 37 m dikte. Dit verschil reflecteert mogelijk de overgang tussen de progradatie van de pro-delta tijdens afzetting van de Oosterhout Formatie, naar later de progradatie van het delta-front tijdens afzetting van de Maassluis Formatie.

De tweede type opeenvolgingen zijn mogelijke opwaarts vergroevende opeenvolgingen, die alleen door schelplagen zijn gescheiden welke en waar geen duidelijke trend zichtbaar is langs de VSh. Er bestaat dus nog twijfels als deze schelplagen alleen tijdens 'tempestites' zijn gevormt, of tijdens 'maximum flooding surfaces' en dus de overgang tussen opwaarts vergroevende opeenvolgingen markeren.

Afbeelding 3.32 Lengteprofiel van de boringen in de deltaïsche progradatie richting met berekende kleivolume en porositeit in de Formaties van Oosterhout en Maassluis (o.b.v. NLOG well-tops) en geïnterpreteerde opwaarts vergroevende opeenvolgingen, die duidelijke 'maximum flooding surfaces' markeren (rode volle lijn), of die mogelijke ook geïnterpreteerd kunnen worden als 'tempestites' (rode stippellijn). Voor boring KDZ-01 worden alleen GR en RPHIE_GR geplot, omdat deze meer betrouwbare zijn dan SP en RPHIE_SP



Laterale variaties in sedimentinput

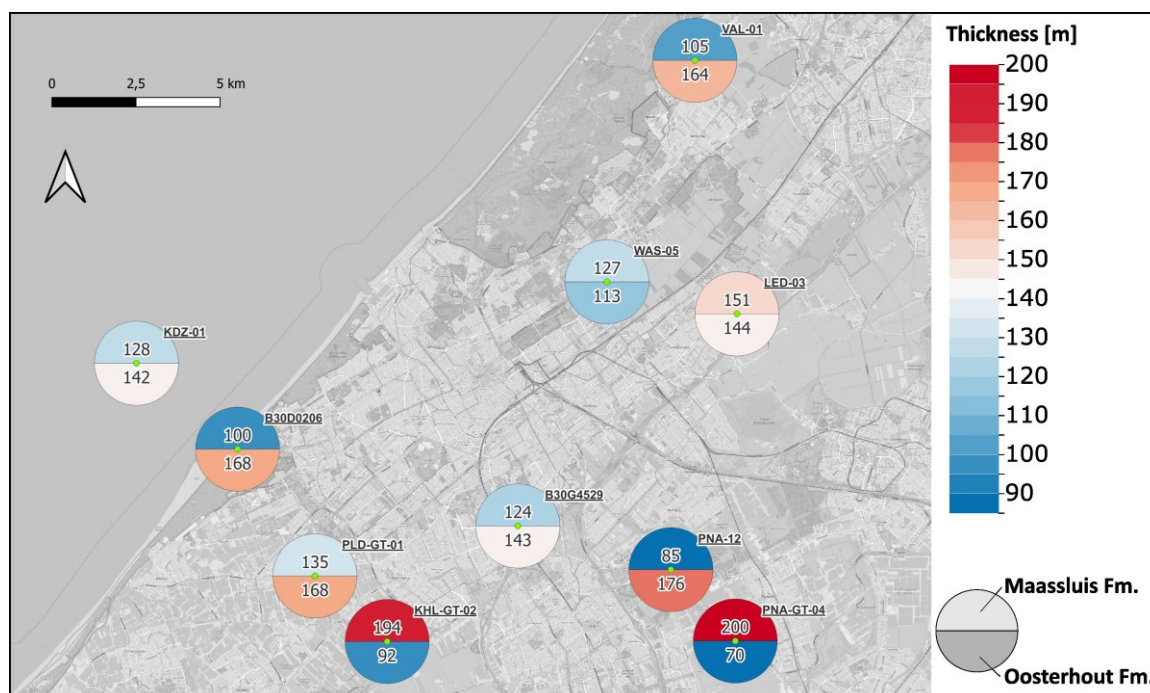
Binnen de klei-rijke Oosterhout Formatie, zijn de opwaarts vergroevende opeenvolgingen onderbroken door één of meerdere circa 15 m dikke zandige lagen. Het aantal en diepte van de zandige lagen varieert sterk tussen de boringen, zodat het lastig is om met zekerheid te zeggen dat zandige pakketten daadwerkelijk met elkaar verbonden zijn. De interpretatie van de Oosterhout Formatie als pro-delta betekent inderdaad dat deze zandige pakketten niet continu hoeven te zijn, maar er is mogelijk wel een grotere kans op ruimtelijke continuïteit van individuele kleilagen, omdat de stratigrafie in dit soort distale afzettingssmilieus typisch completer is, met minder erosie en herwerking, hoewel gedomineerd door dikke kleipakketten. Mogelijk zijn enkele zandige lagen lateraal wijdverspreid genoeg om als volumetrisch significante aquifers voor geothermie te dienen, maar de ruimtelijke resolutie van de boringen is niet voldoende om hier zeker van te zijn.

Binnen de afwisselend kleiige zand- en zandige klei-rijke Maassluis Formatie, zijn de opwaarts vergroevende opeenvolgingen onderbroken door meerdere circa 5 m dikke kleilagen. Het aantal en de diepte van deze dunne kleilagen varieert sterk tussen de boringen, zodat het zeer onwaarschijnlijk is dat ze met elkaar verbonden zijn. De interpretatie van de Maassluis Formatie als delta-front betekent ook een grotere kans op ruimtelijke discontinuïteit van individuele kleilagen, mogelijk afgezet tijdens relatieve '*maximum flooding surfaces*' tussen de verschillende migrerende deltaïsche lobben. Dikke zandrijke pakketten in de Maassluis Formatie zijn ook waarschijnlijk goed ruimtelijk met elkaar verbonden door een hoge herwerkingsgraad (*amalgamatie*) in de ondiepe delen van de uitbouwende delta-front. Discontinuïteit van kleilagen zorgt mogelijk voor betere kwaliteit van de geothermie aquifers door een discontinue '*seal rock*', al bestaat het risico dat ze lokaal barrières vormen die lastig te voorspellen zijn. Dit zal echter voornamelijk van invloed zijn in verticale richting en verwaarloosbaar in de voor geothermie relevantere horizontale doorlatendheid.

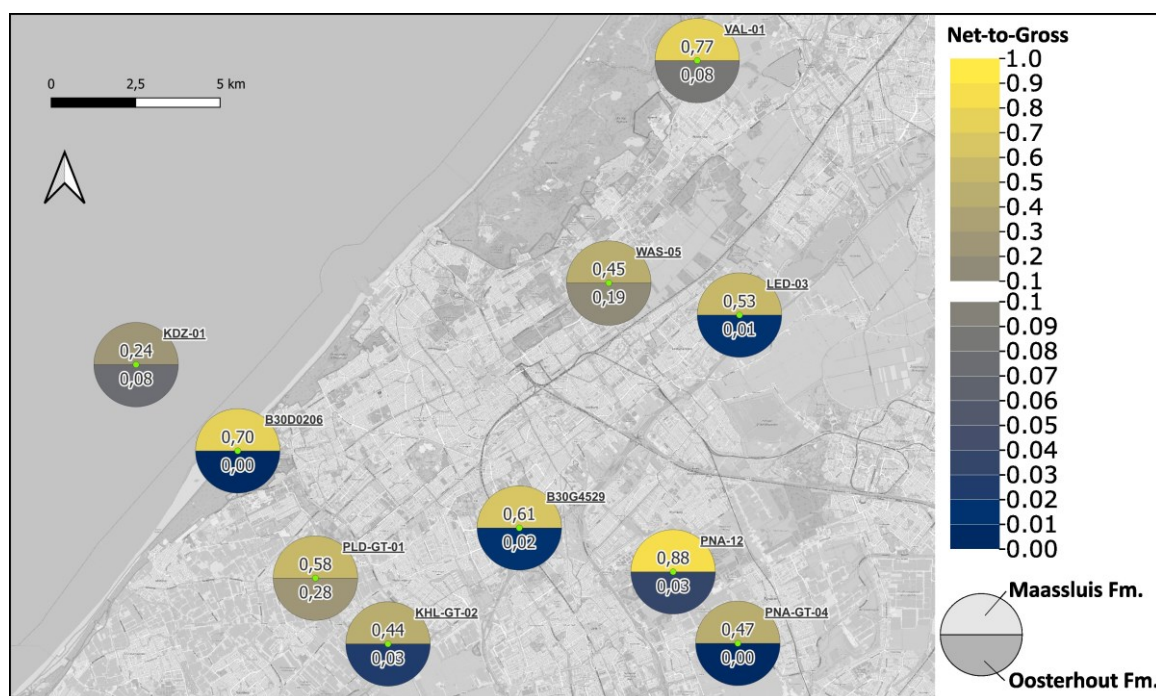
Ruimtelijke trends van reservoir kwaliteit

In de gemeente Den Haag zijn zeer weinig ruimtelijke trends tussen boringen te herkennen. De diktes van de Formaties van Oosterhout en Maassluis zijn zeer variabel tussen de verschillende boringen en geen ruimtelijke trends zijn onderscheidbaar (zie afbeelding 3.33). Dezelfde opmerking kan worden gemaakt aan de hand van de berekende NtG, en bij uitbreiding met de berekende VSh en porositeit, welke zeer variabel zijn tussen de verschillende boringen zodat geen ruimtelijke trends herkend kunnen worden in de reservoir kwaliteit (zie afbeelding 3.34). Wanneer de alternatieve toppen van de Formaties van Maassluis en Oosterhout zijn toegepast, verandert deze waarneming ook niet.

Afbeelding 3.33 Dikte van de Oosterhout Formatie (onderste halve cirkel) en de Maassluis Formatie (bovenste halve cirkel)
o.b.v. NLOG well-tops

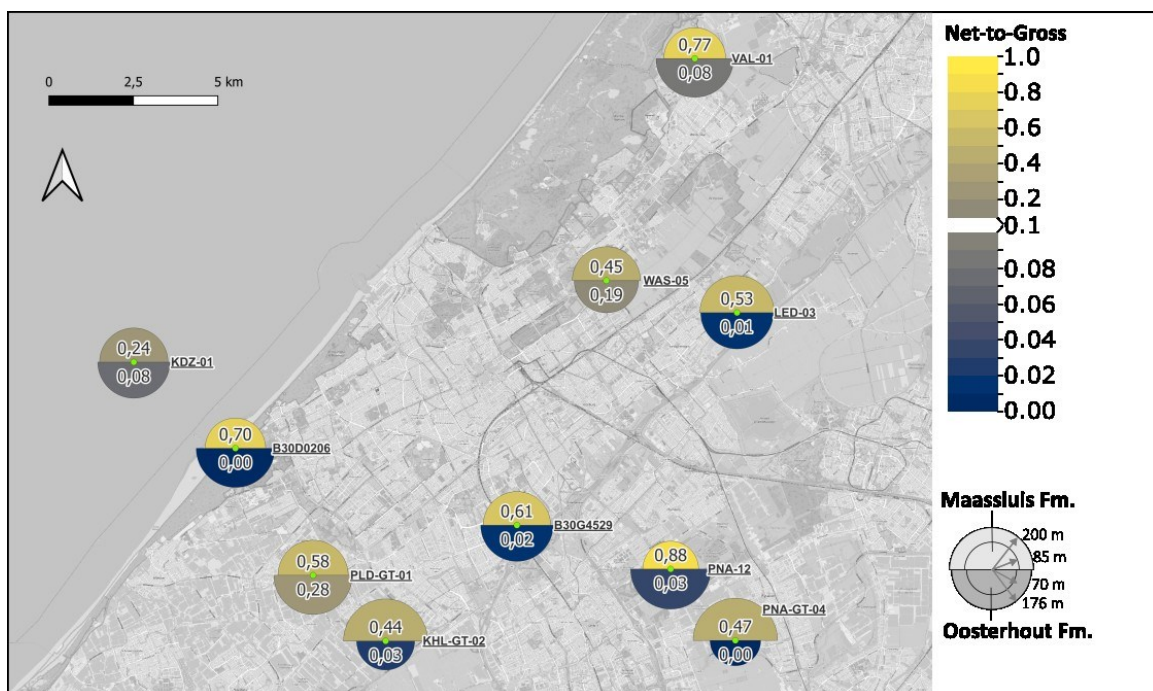


Afbeelding 3.34 Net-to-Gross van de Oosterhout Formatie (onderste halve cirkel) en de Maassluis Formatie (bovenste halve cirkel)
o.b.v. NLOG well-tops



Een mogelijke ruimtelijke trend die we herkennen in de Maassluis Formatie is de inverse correlatie tussen formatie-dikte en NtG; een dünnere formatie lijkt een hogere NtG te hebben, en vice versa (zie afbeelding 3.35). Dit kan verklaard worden door sedimentaire eigenschappen van delta-opbouw, waarbij een dünnere opeenvolging wordt afgezet op topografisch hooggelegen gebieden doordat daar weinig accommodatie-ruimte voor sediment is, relatief tot diepere delen in het bekken. In deze ondiepe delen zal de transport-energie en herwerking van sediment hoger zijn, waardoor fijnkorrelige fracties worden uitgespoeld en voorbij ondiepe delen worden gebracht (*'sediment bypass'*). Dit leidt tot een relatieve verrijking met klei in diepe delta-front afzettingen (Oosterhout Formatie), en meer zandige afzettingen in de ondiepe delta-top (Maassluis Formatie). Het ondiepe afzettingsmilieu en hogere herwerkingsgraad van de Maassluis Formatie verklaart ook waarom het signaal van sedimentaire sequenties onduidelijker is vergeleken met de diepere en stratigrafische meer complete Oosterhout Formatie. Het resultaat is dat de Maassluis Formatie een betere reservoir-kwaliteit heeft voor geothermie.

Afbeelding 3.35 Samenvattend figuur van de petrofysische analyse in de gemeente Den Haag met dikte (grootte van symbool) en Net-to-Gross (kleur van symbool) van de Oosterhout Formatie (onderste halve cirkel) en de Maassluis Formatie (bovenste halve cirkel) o.b.v. NLOG well-tops



Betekenis voor de permeabiliteit

De doorlatendheid van zandstenen is sterk afhankelijk van korrelgrootte en korrelgrootteverdeling, waarvan data schaars is in de boringen binnen de Maassluis Formatie. Voor ongeconsolideerde zandstenen bestaat weinig theoretisch of empirisch referentiemateriaal voor algemene verbanden tussen korrelgrootte(verdeling), porositeit en permeabiliteit waardoor directe metingen van producerende aquifers het beste uitgangspunt zijn. Uit de Analyse Doorlatendheid eerder in dit rapport blijkt uit 19 bestaande putten in de Maassluis Formatie een gemiddelde (*mean*) horizontale doorlatendheid van 13 m/d en transmissiviteit van 384 m²/d. Wel werd geconcludeerd dat de waarden sterk uiteenlopen en dat de Maassluis Formatie dus sterk heterogene geohydrologische eigenschappen heeft. Dit is te verwachten gezien het afzettingsmilieu van het sediment in een regressief uitbouwende delta en kustlijn, met grote horizontale en stratigrafische verschillen in sedimentkaliber over korte afstanden, wat ook uit onze petrofysische analyse van boringen blijkt. Hier zal dus rekening mee gehouden moeten worden in het voorwaarts stratigrafisch model, rond gemiddelde waardes voor de Maassluis Formatie van 28 % porositeit, 13 m/d horizontale doorlatendheid en 384 m²/d transmissiviteit.

3.4 Conclusies van de petrofysische analyse

Uit analyse van petrofysische gegevens van 10 boringen en berekening van porositeit en Net-to-Gross in de gemeente Den Haag, concluderen we het volgende over reservoir-eigenschappen van de Oosterhout en Maassluis Formaties:

De Oosterhout Formatie is algeheel zeer klei-rijk met lage porositeit en lage Net-to-Gross. Dit zijn geen wenselijke eigenschappen voor geothermische aquifers. De kleiige formatie bevat wel enkele zandlagen met ruimtelijk zeer wisselend aantal en diepte. In de diepere delen van de uitbouwende pro-delta, zijn mogelijk enkele zandige lagen lateraal wijdverspreid genoeg om als volumetrisch significante aquifers te dienen. De ruimtelijke resolutie van de gebruikte boringen is echter niet voldoende om met zekerheid te zeggen dat deze zandige pakketten daadwerkelijk met elkaar verbonden zijn. De zekerheid van interpretatie sterk afneemt met toenemende afstand van de gebruikte boringen, zodat aanvullende (proef)boringen waarschijnlijk noodzakelijk zullen zijn om de lokaal reservoir kwaliteit goed in beeld te kunnen krijgen.

De Maassluis Formatie bestaat voornamelijk uit dikke kleiige zandpakketten en dunne zandige kleilagen, met algeheel hoge porositeit en hoge Net-to-Gross. De formatie is wel sterk ruimtelijk en stratigrafisch heterogeen, met zeer variabele porositeit en Net-to-Gross onder de gemeente Den Haag. Wel kunnen we met enige zekerheid stellen, dat de dikke zandrijke pakketten in de Maassluis Formatie waarschijnlijk goed ruimtelijk met elkaar verbonden door een hoge herwerkingsgraad (*amalgamatie*) in de ondiepe delen van de uitbouwende delta-front. Echter is het zandig interval verstoord door wisselend aantal en diepte van kleilagen, zodat het zeer onwaarschijnlijk is dat ze met elkaar verbonden zijn. De interpretatie van de Maassluis Formatie als delta-front betekent wel een grotere kans op ruimtelijke discontinuïteit van individuele kleilagen, mogelijk afgezet tijdens relatieve '*maximum flooding surfaces*' tussen de verschillende migrerende deltaïsche lobben. Op basis van de gebruikte boringen, presenteert de Maassluis Formatie algeheel wenselijke eigenschappen voor geothermie aquifers. Wel zullen aanvullende (proef)boringen waarschijnlijk noodzakelijk zullen zijn om de lokaal reservoir kwaliteit goed in beeld te kunnen krijgen.

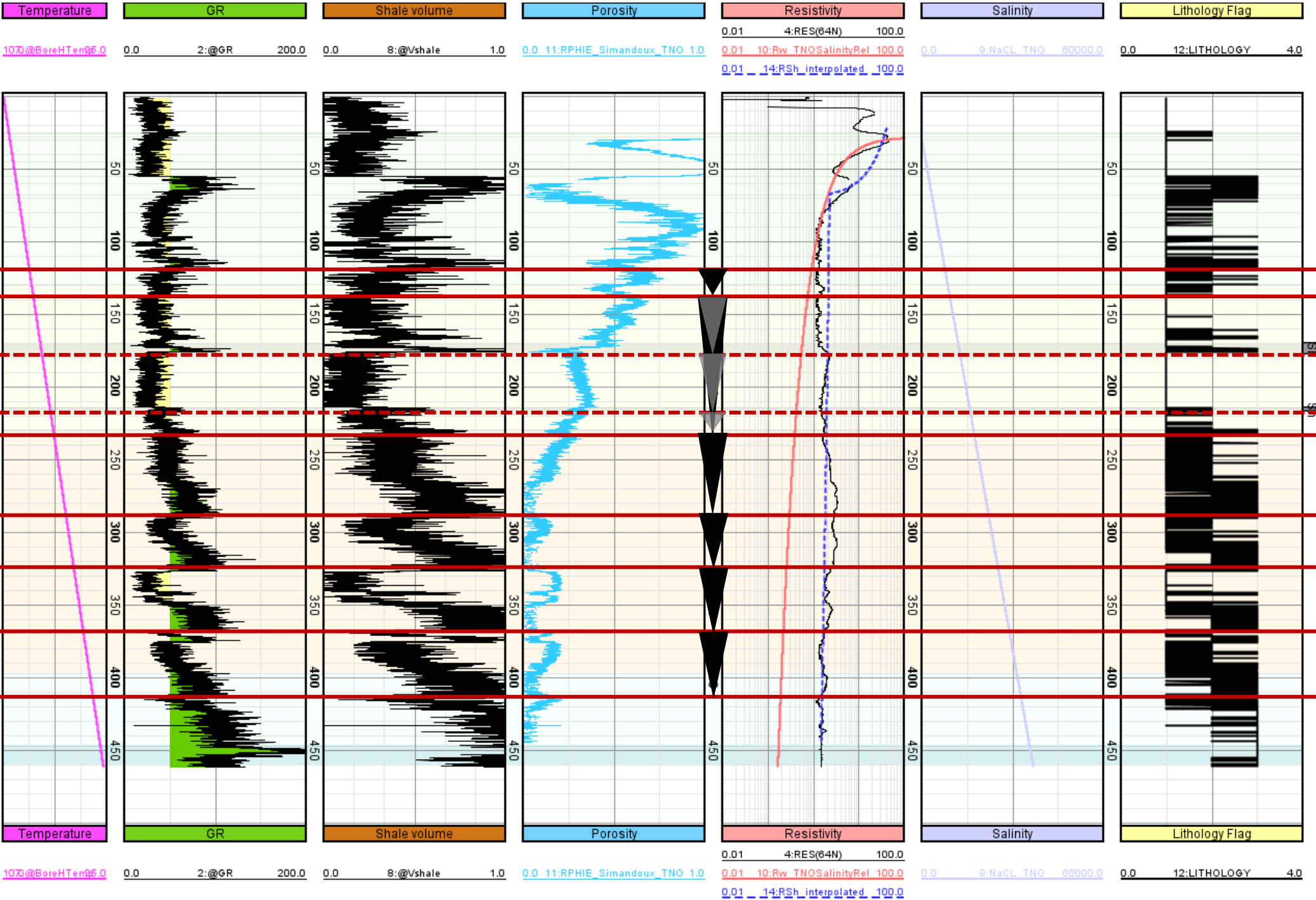
3.5 Referenties

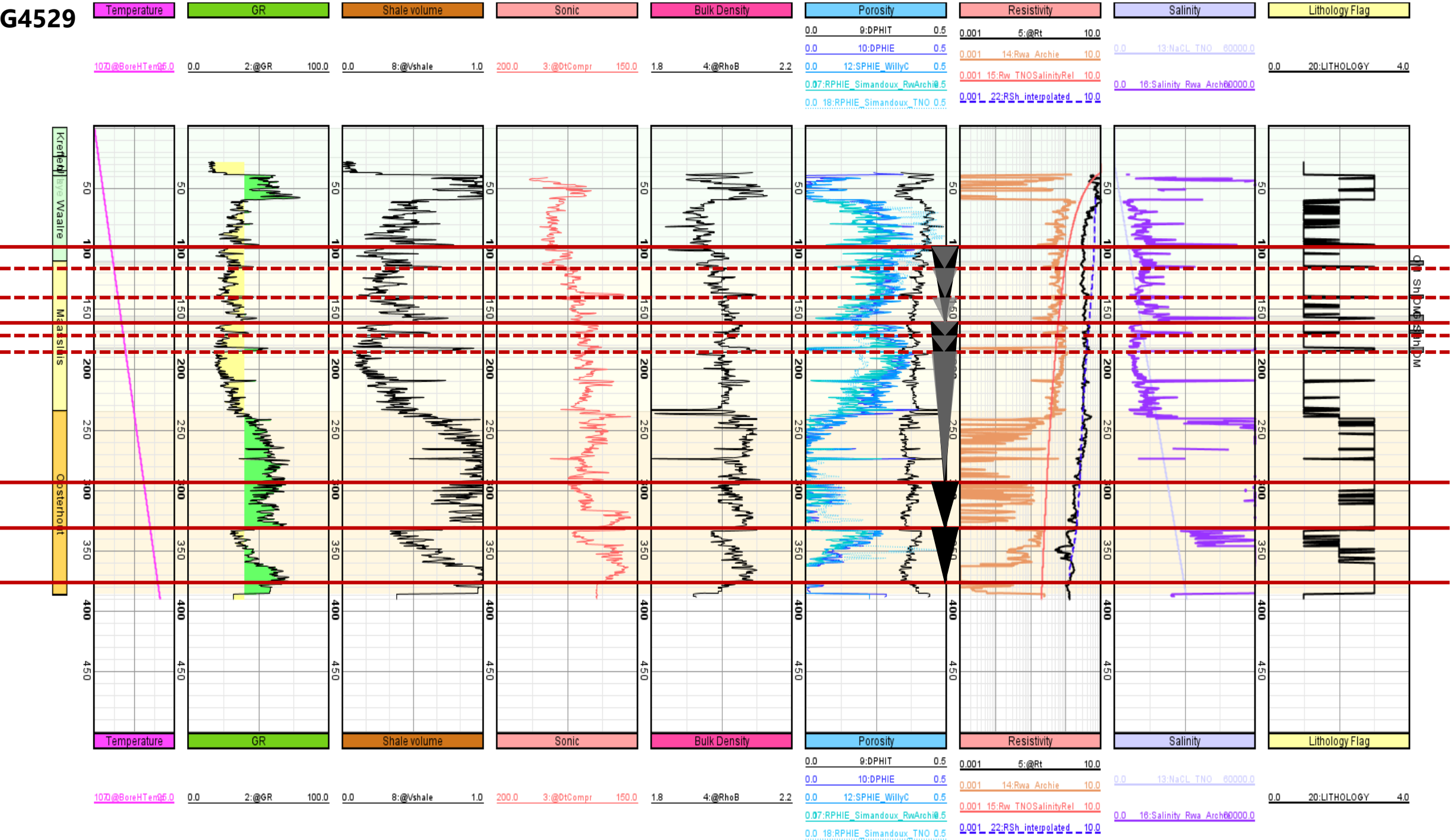
- 1 Witteveen+Bos (2023). Rapport data-integratie en seismische interpretatie voor Den Haag en Rijswijk, 133419_23-013.578, 22 augustus 2023.
- 2 M. Bakker. 2013. Semi-analytic modeling of transient multi-layer flow with TTIM. *Hydrogeology Journal*, 21: 935-943.
- 3 M. Bakker. 2013. Analytic modeling of transient multi-layer flow. In: *Advances in Hydrogeology*, edited by P Mishra and K Kuhlman, Springer, Heidelberg, 95-114.
- 4 Bot. B. 2016. Grondwaterzakboekje. Bot Raadgevend Ingenieur, Rotterdam.
- 5 E. Békési, M. Struijk, D.Bonté, H. Veldkamp, J. Limberger, P.A. Fokker, M. Vrijlandt, J.D. Wees (2020). An updated geothermal model of the Dutch subsurface based on inversion of temperature data. *Geothermics*, 88, p. 101880.
- 6 K. Geel & J. Foeken (2021). Formation Evaluation of the Brussels Sand Member in the Netherlands. WarmingUp report 060.43190/01.01.01, 26 november 2021.
- 7 M.R.J. Wyllie, A.R. Gregory, L.W. Gardner (1958). An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in porous media. *Geophysics*, 23 (3), pp. 459-493.
- 8 D. Dieperink (2024). Porosity-depth relation for unconsolidated sediments of the Upper North Sea Group. MSc thesis VU, Amsterdam.
- 9 G. E. Archie (1942). The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Transactions of the AIME*, 146 (01), pp. 54-62.
- 10 P. Simandoux (1963). Dielectric measurements on porous media, application to the measurements of water saturation: study of behavior of argillaceous formations. *Revue de L'institut Francais du Pétrole*, 18, Supplementary Issue, pp. 193-215.
- 11 F. Shepard (1954). Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal Sedimentary Petrology*, 24, p. 151-158.
- 12 M. Rider (1996). *The Geological Interpretation of Well Logs*, Whittles Publishing, 2nd edition 2002, ISBN 0-9541906-0-2.
- 13 G. Asquith and D. Krygowski (2004). Gamma Ray, in G. Asquith and D. Krygowski, *Basic Well Log Analysis*. AAPG Methods in Exploration, 16, p. 31-35.

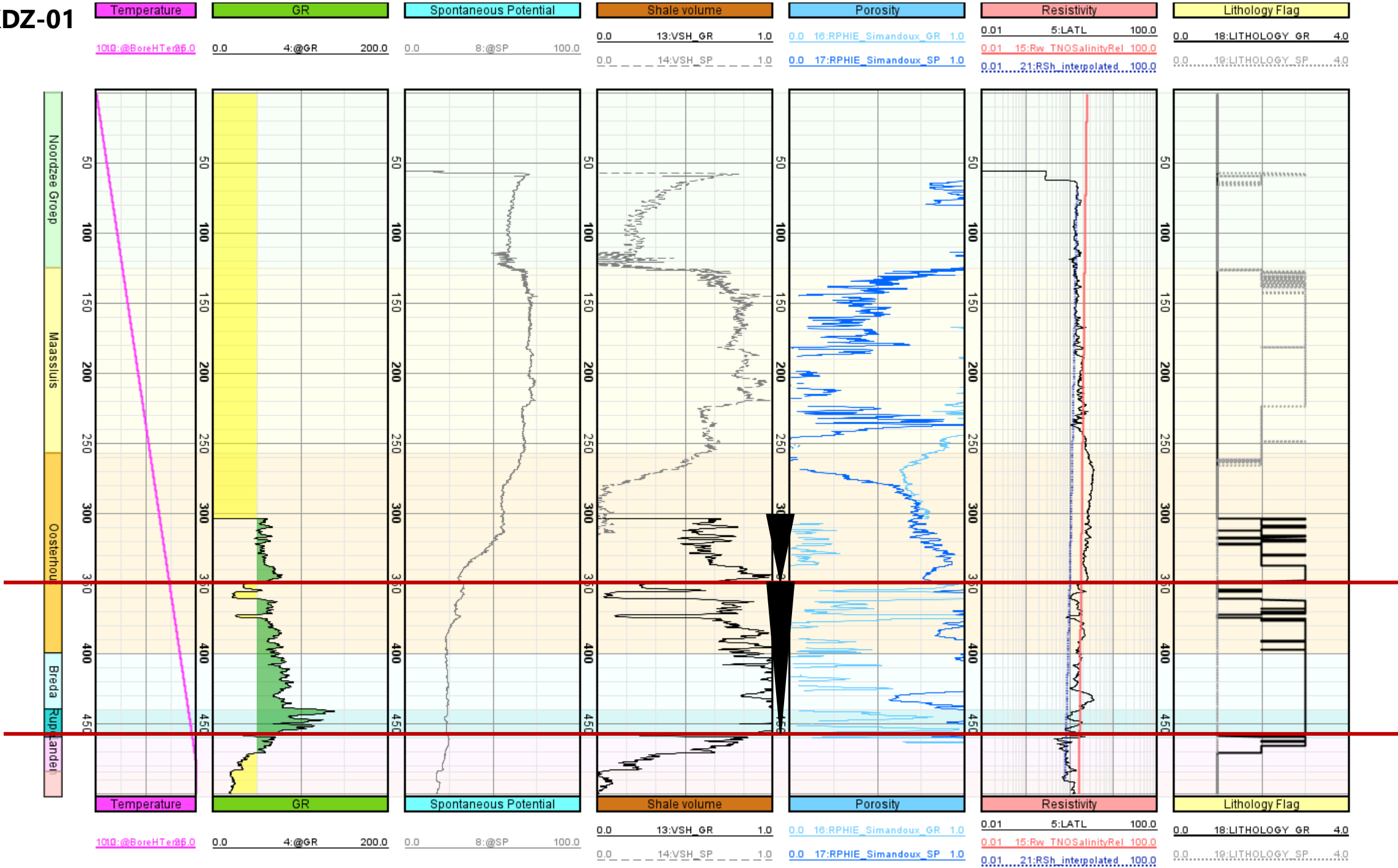
Bijlage(n)



BIJLAGE: GEOLOIL LOG PANEEL PER BORING







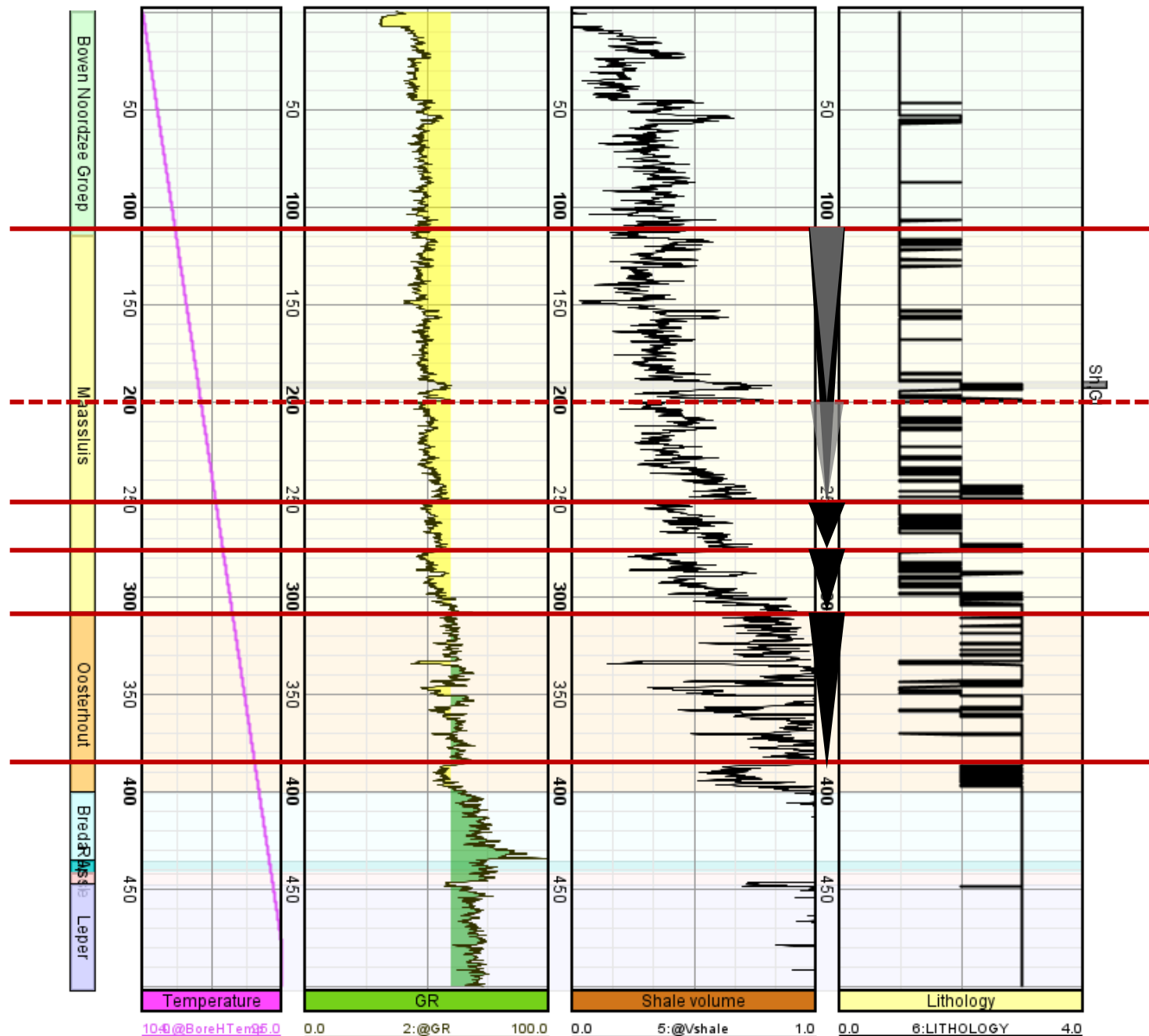
KHL-GT-02

Temperature
10-4 @BoreHTen35.0

GR
0.0 2:@GR 100.0

Shale volume
0.0 5:@Vshale 1.0

Lithology
0.0 6:LITHOLOGY 4.0

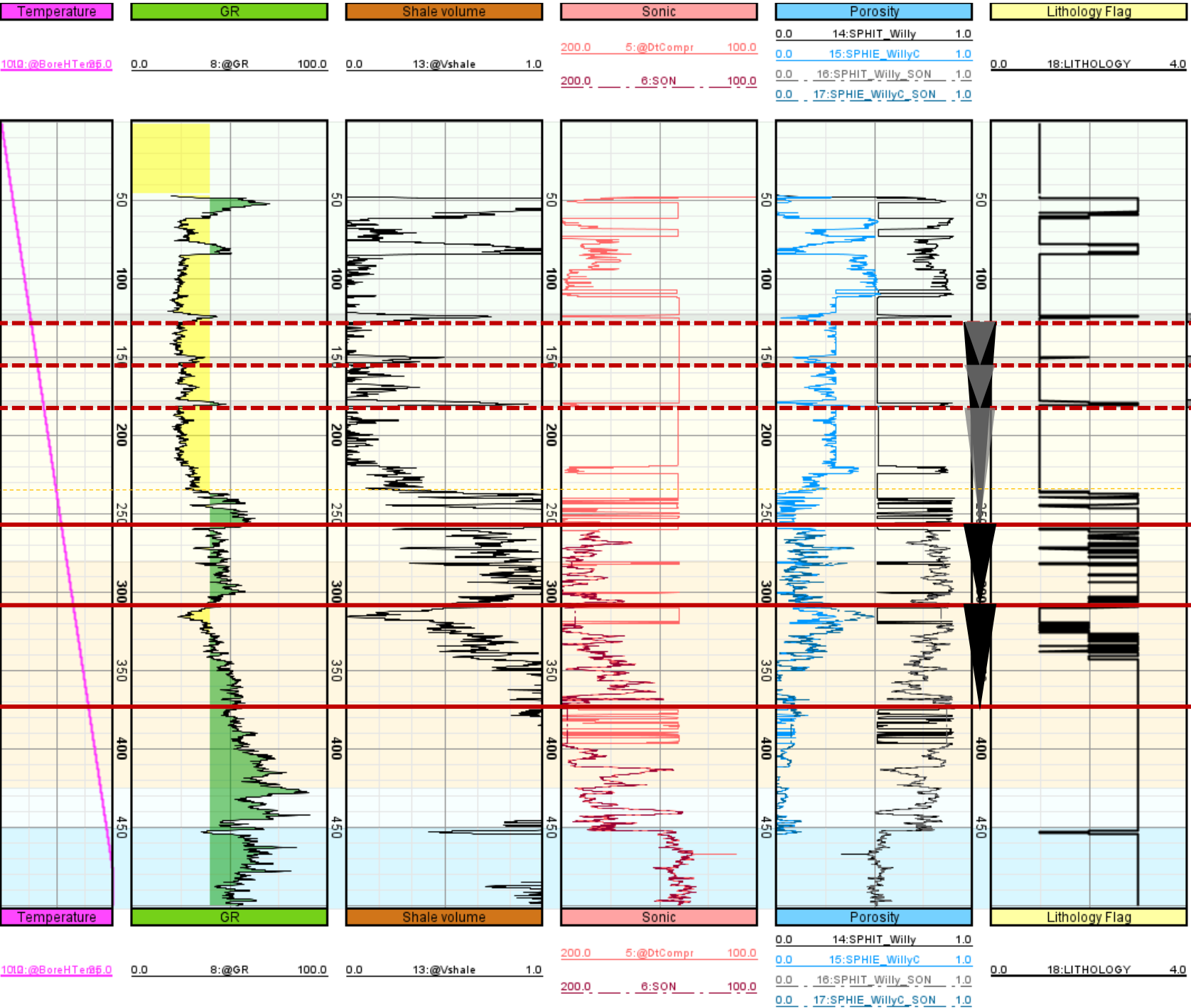


10-4 @BoreHTen35.0

0.0 2:@GR 100.0

0.0 5:@Vshale 1.0

0.0 6:LITHOLOGY 4.0



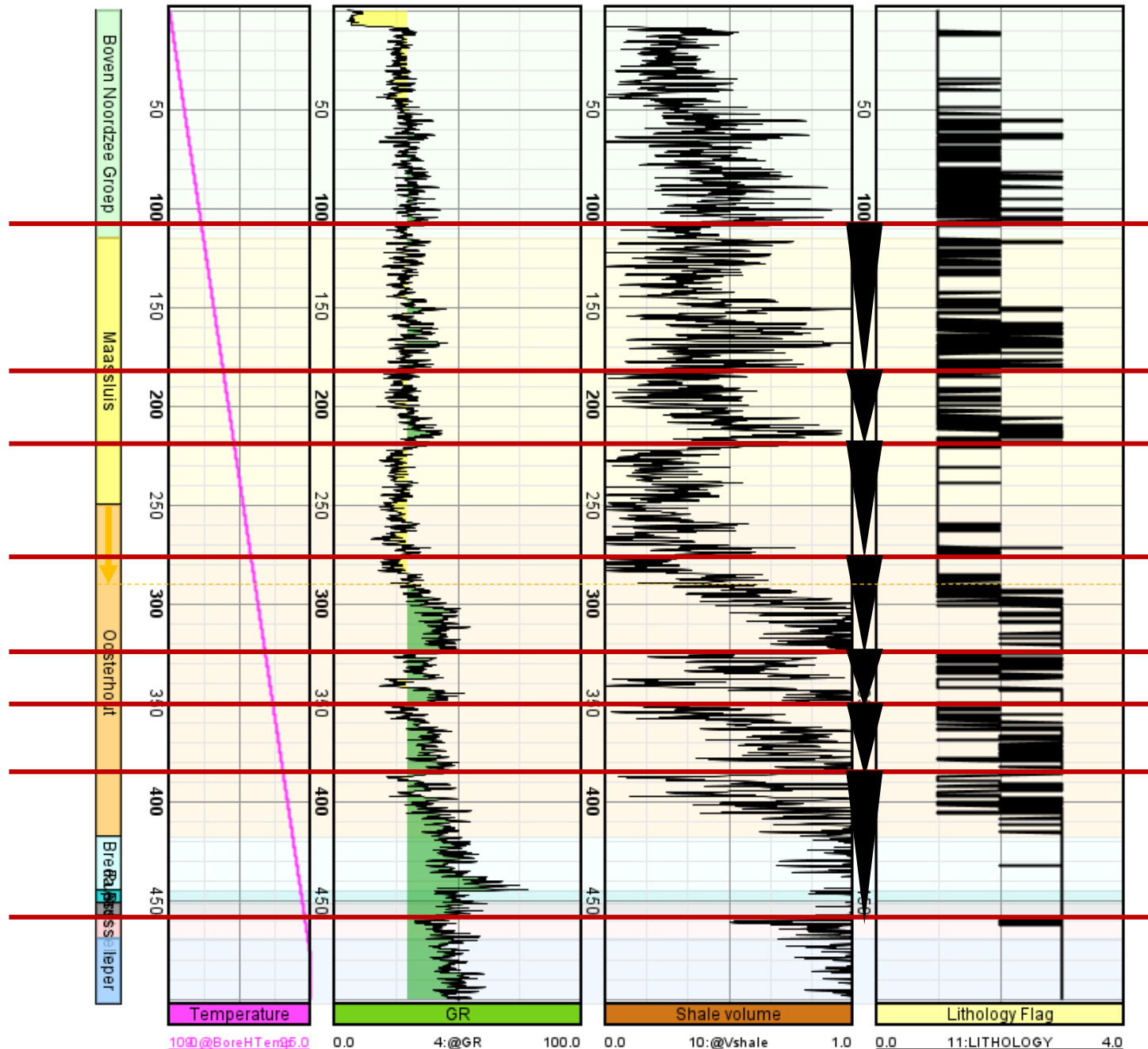
PLD-GT-01

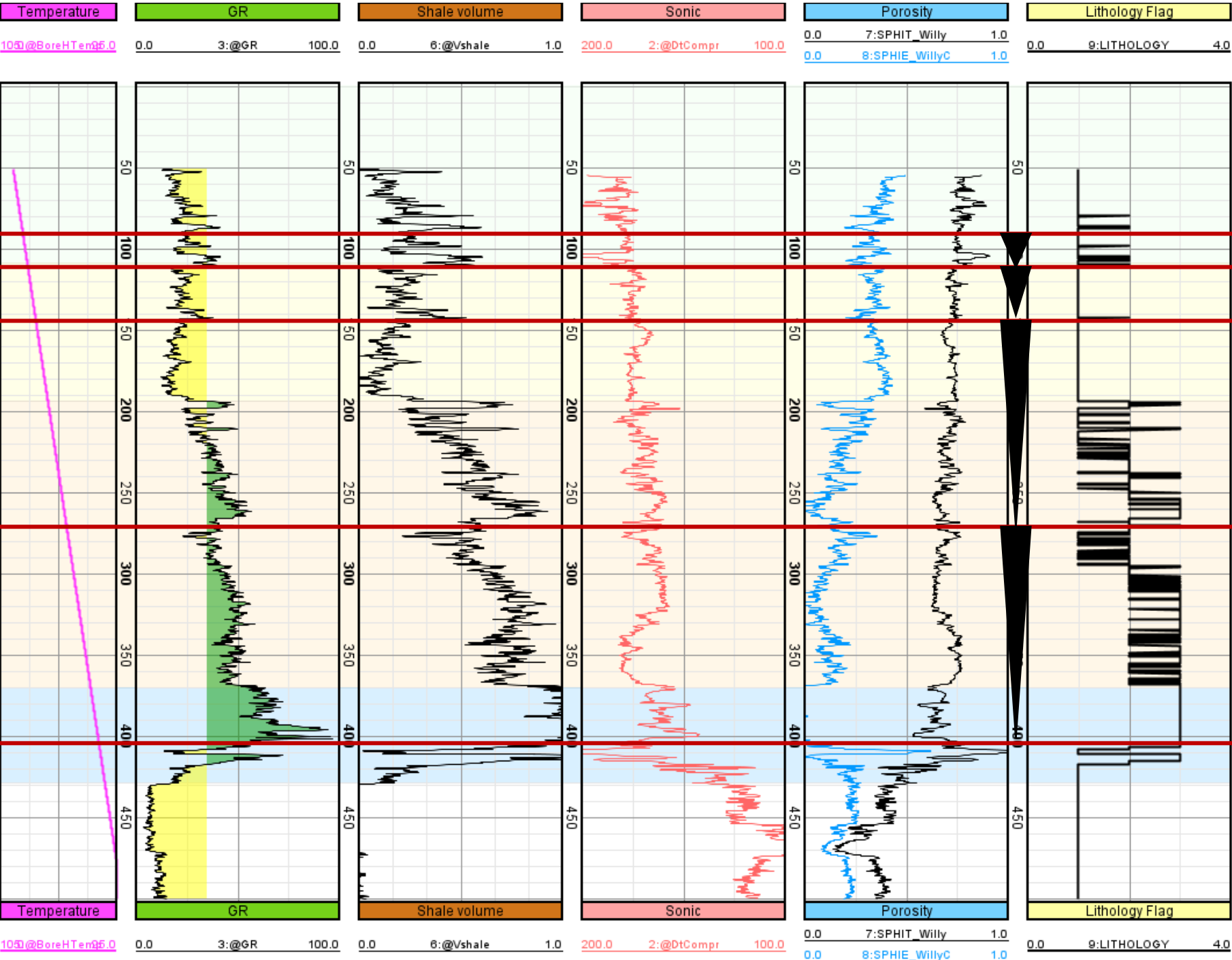
Temperature
10@BoreHTem@5.0

GR
4:@GR 0.0 100.0

Shale volume
10:@Vshale 0.0 1.0

Lithology Flag
11:LITHOLOGY 0.0 4.0





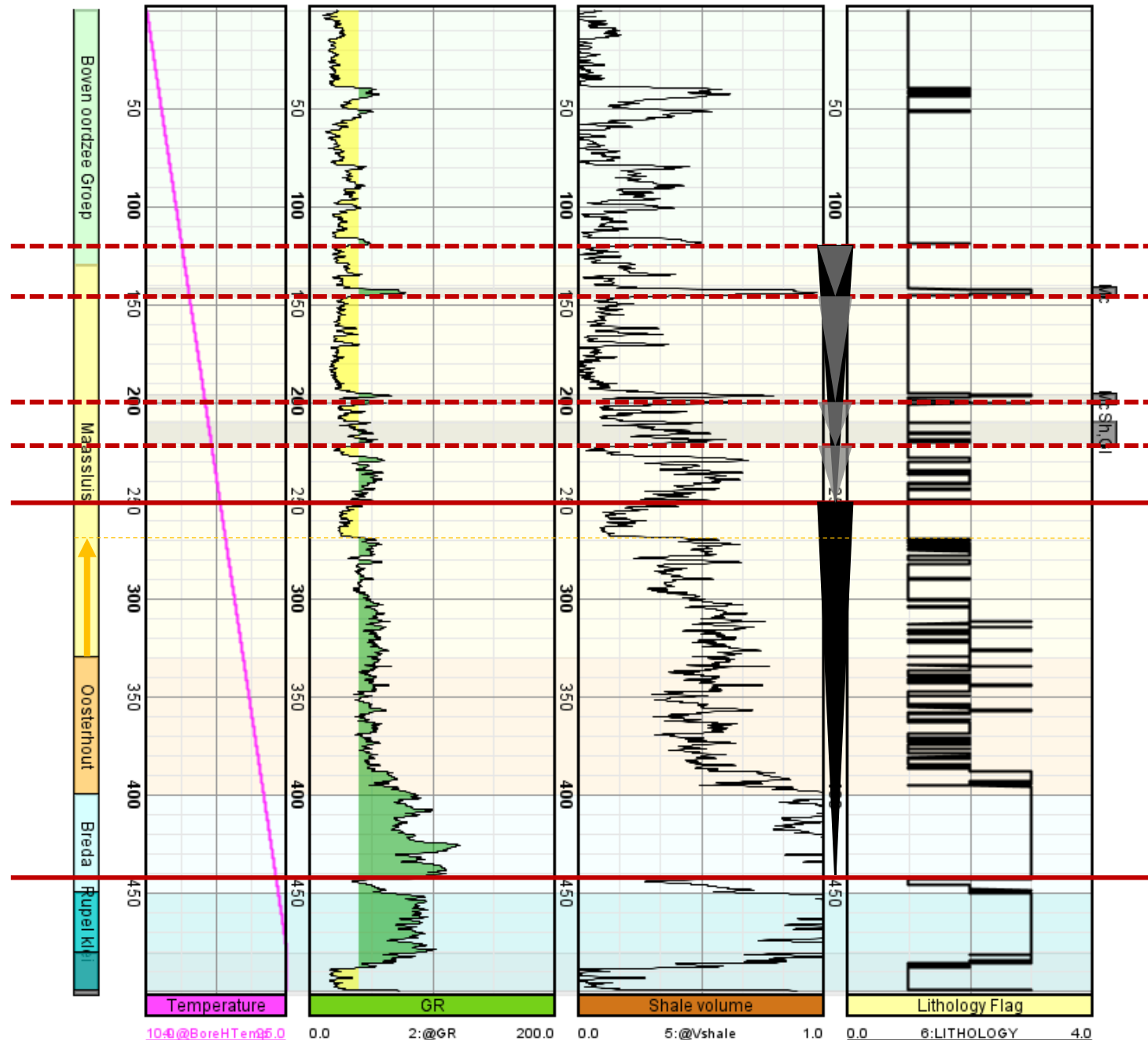
PNA-GT-04

Temperature
10:4@BoreHTen95.0

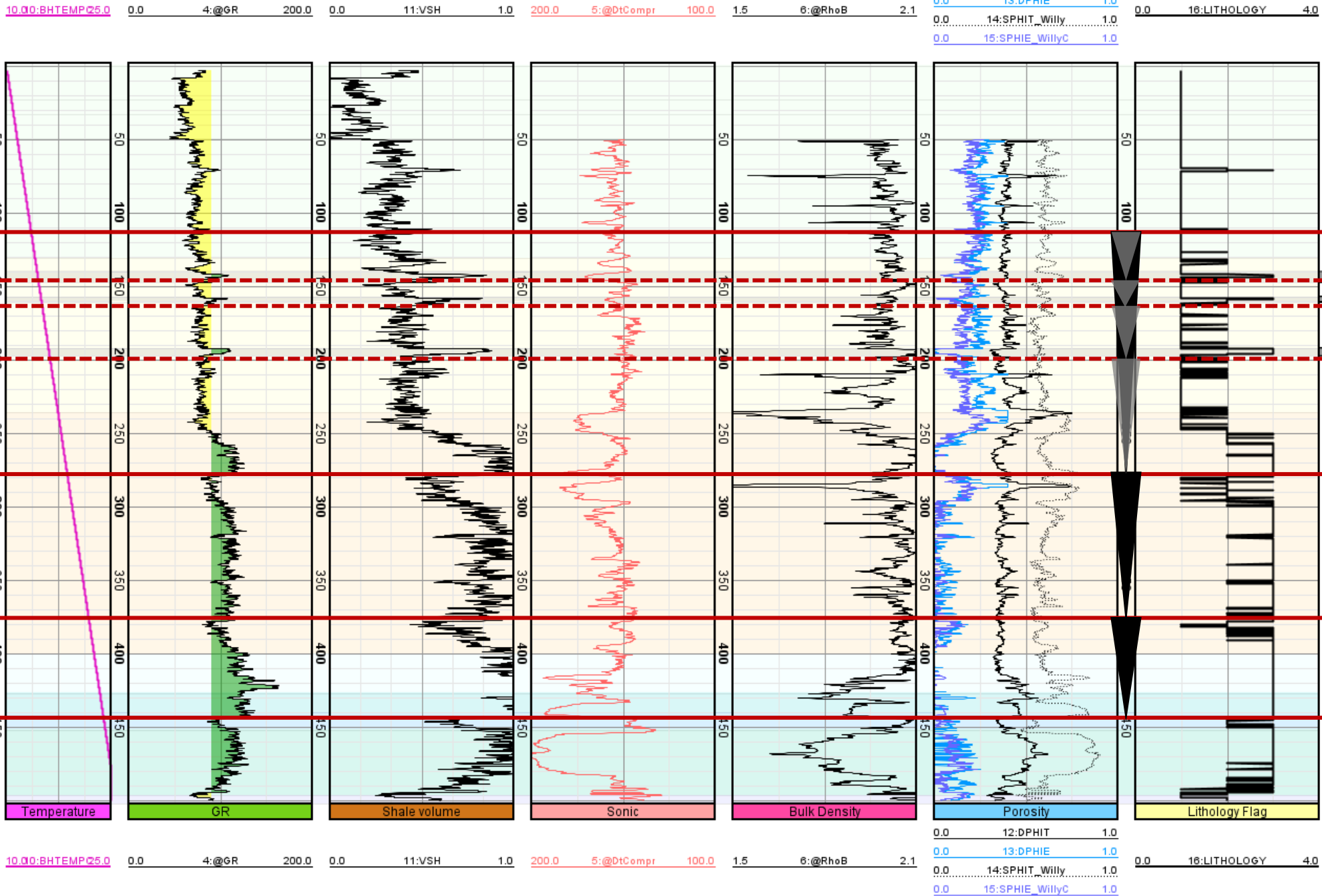
GR
2:@GR 0.0 200.0

Shale volume
5:@Vshale 0.0 1.0

Lithology Flag
6:LITHOLOGY 0.0 4.0



Temperature	GR	Shale volume	Sonic	Bulk Density	Porosity	Lithology Flag
-------------	----	--------------	-------	--------------	----------	----------------



Temperature

SP

Shale volume

Porosity

Resistivity

Salinity

Lithology Flag

1000@BoreHTen95.0

0.0 5:@SP 100.0

0.0 8:@Vshale 1.0

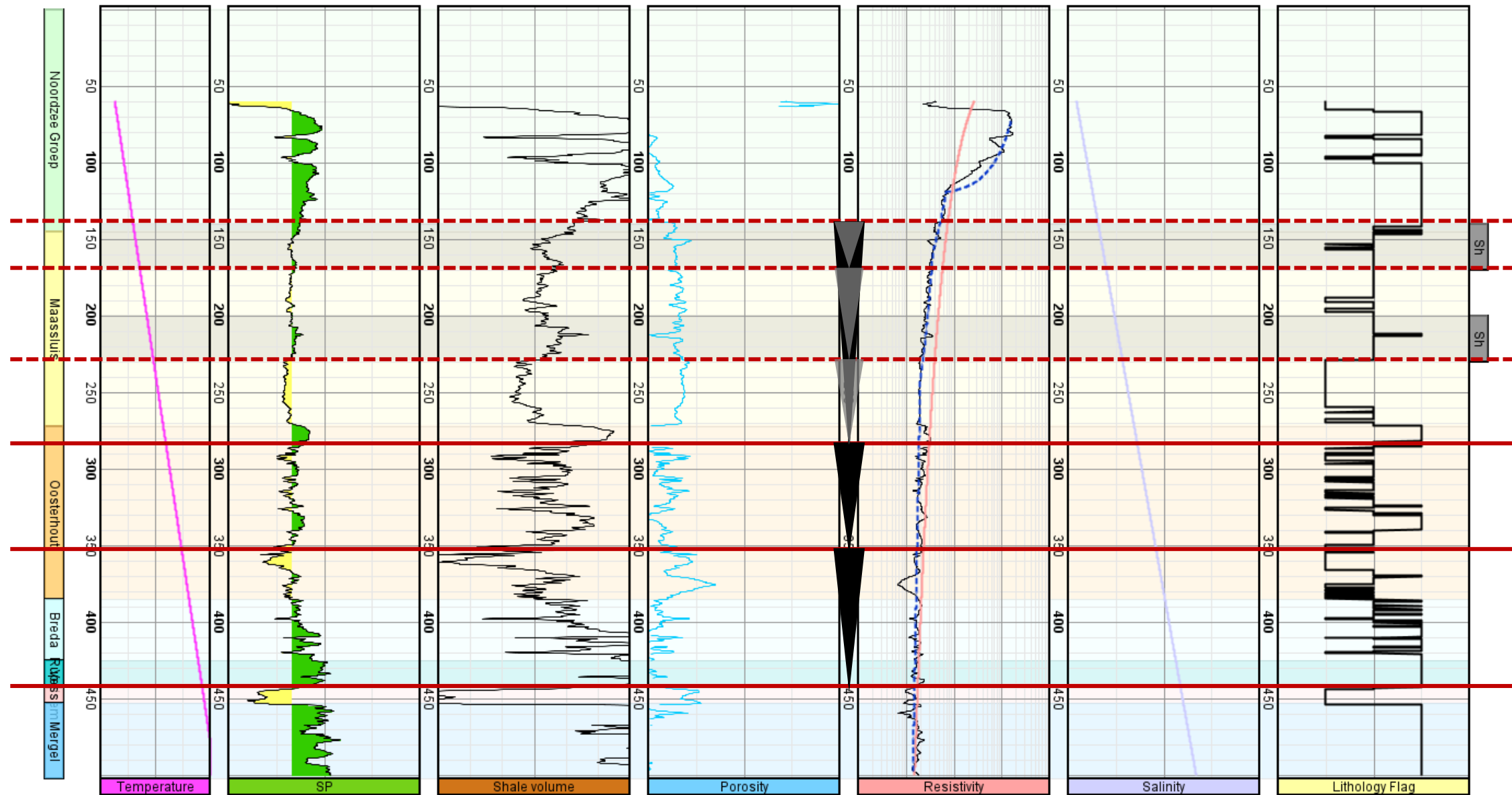
0.0 11:RPHIE_Simandoux_TNO 1.0

0.01 10:Rw_TNOSalinityRel 100.0

0.0 9:NaCL_TNO 60000.0

0.0 12:LITHOLOGY 4.0

0.1 14:RSh_interpolated 1000.0



1000@BoreHTen95.0

0.0 5:@SP 100.0

0.0 8:@Vshale 1.0

0.0 11:RPHIE_Simandoux_TNO 1.0

0.01 10:Rw_TNOSalinityRel 100.0

0.0 9:NaCL_TNO 60000.0

0.0 12:LITHOLOGY 4.0

0.1 14:RSh_interpolated 1000.0

Appendix B Listing of shallow wells

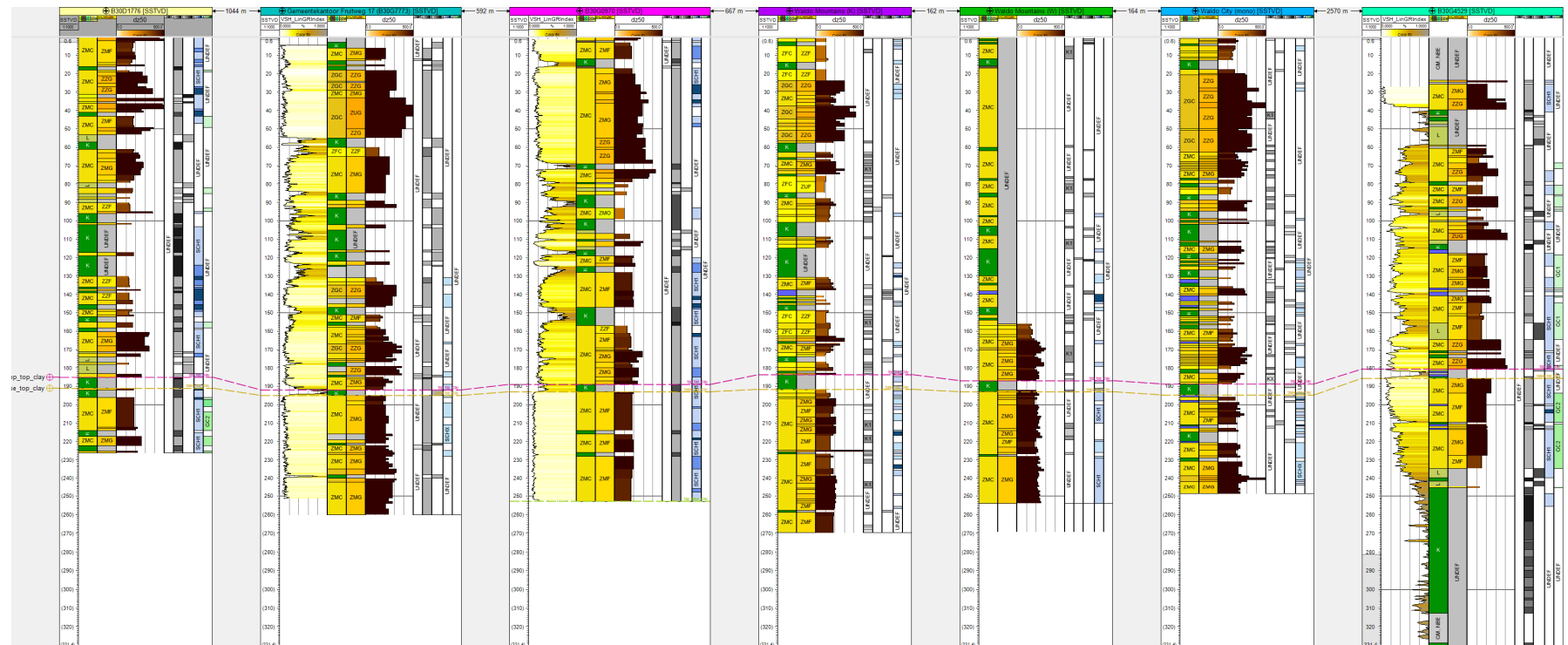
location name (if applicable)	x	y	NITG_NR	location number	digitized from cuttings desc.	logged	W+B welltest	welltest successful	cuttings desc.
Appartementencomplex Leidschenhoof	87590	453240		L-000753					PDF only
ASN Bank	82670	455790		L-002034					PDF only
B30	82454	455724		L-000393					PDF only
CBS Double U	87300	453530		L-000364					PDF only
Centre Court (K)	82877	455441	B30G7677	L-084166	yes		yes	yes	yes
Centre Court (W)	82827	455277	B30G7679		yes		yes	yes	yes
CMAG Houtrustweg	78141	457217		L-074163					PDF only
DaVinci (2010)	82056	450300							yes
Delftse Hout (DAPGEO-02)	85833	449052	B37E6785						yes
DEL-GT-01	85106	446165				yes			yes
Deo Gratias (K1)	80002	458176		L-074919	yes		yes	no	yes
Deo Gratias (W1)	79908	458216	B30D7265		yes		yes		yes
Eurojust	78140	455360	B30D0217	L-006708					yes
European Patent Office (K1)	83093	450856			yes		yes	yes	yes
European Patent Office (K2)	83118	450877			yes				yes
European Patent Office (W1)	82986	450761			yes				yes
European Patent Office (W2)	83195	450947			yes		yes	yes	yes
Europol	79250	456650		L-001011					PDF only
Gemeentekantoor Fruitweg 17 (K)	80870	452950	B30G7773	L-087319			yes	yes	yes
Gemeentekantoor Fruitweg 17 (W)	80870	452950	B30G7773	L-087319			yes	yes	yes
Grand Hotel Amrath Kurhaus	79300	458800		L-000298					PDF only
Groene Toren Schenkkade	82907	454945		L-089313					PDF only
Grotius Toren	82479	455289		L-001764					PDF only
Haagse Hogeschool (K1)	82182	453685			yes		yes	yes	yes
Haagse Hogeschool (K2)	82159	453670			yes		yes	yes	yes
Haagse Hogeschool (K3)	82136	453655			yes		yes	yes	yes
Haagse Hogeschool (W1)	82230	453805		L-085736	yes		yes	yes	yes
Haagse Hogeschool (W2)	82211	453812			yes		yes	yes	yes
Haagse Hogeschool (W3)	82191	453819			yes		yes	yes	yes
Hagaziekenhuis Leyweg	77950	452500		L-001034					PDF only
Het Zamen	79920	454648		L-001877					PDF only
Hogeschool Inholland	82500	455600		L-000731					PDF only
Hoogvliet (mono K)	79064	457774		L-070468	yes		yes	yes	yes
Hoogvliet (mono W)	79064	457774		L-070468	yes		yes		yes
ICC Strafhof	81775	458050		L-002121					PDF only
KPMG Hartstichting	86449	452458		L-001526					PDF only
Louwman Museum	83997	457412		L-000616					PDF only

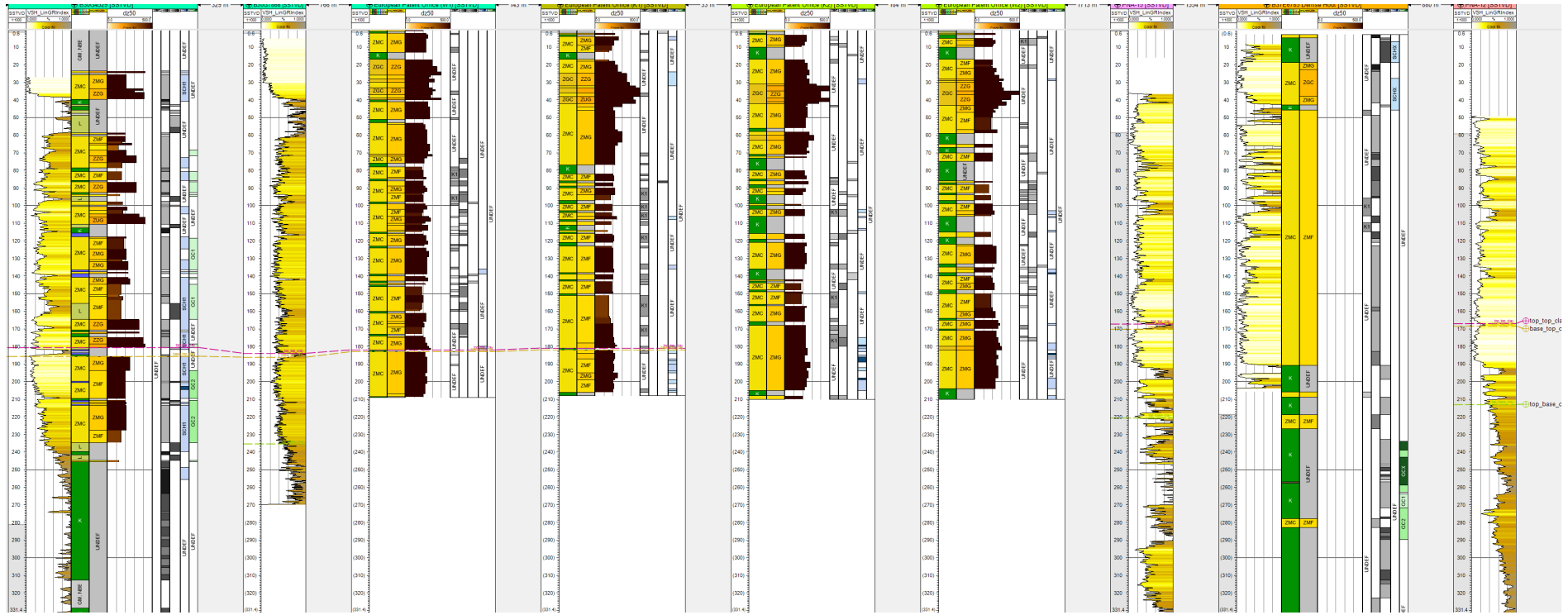
location name (if applicable)	x	y	NITG_NR	location number	digitized from cuttings desc.	logged	W+B welltest	welltest successful	cuttings desc.
Louwman Retail	86629	453944		L-002042					PDF only
Melis	78283	450986		L-070395					PDF only
Monarch	82770	455190		L-000098					PDF only
Monarch (K)	82802	455135			yes				yes
Monarch (W)	82695	455230			yes				yes
Nesselande (2022)	100032	442552	B38A2759						yes
NH Kijkduin	75118	454204		L-002166					PDF only
Parnassia (K)	74825	451539			yes		yes	no	yes
Parnassia (W)	74862	451439			yes		yes	no	yes
Parnassia dubbele problematiek	74855	451439		L-001243					PDF only
Politie Haaglanden	80740	456210		L-000966					PDF only
Politie Haaglanden De Yp	86691	452234		L-000922					PDF only
Shell 2000 (at Rijswijk Center for Sustainable Geo-Energy)	82150	450480	B30G0935						yes
Spoorwijk III	81230	452157		L-000103					PDF only
Spuikwartier K1	81751	454942		L-074513	yes				yes
Spuikwartier K2	81780	454968			yes				yes
Spuikwartier W1	81824	454885			yes				yes
Spuikwartier W2	81832	454908			yes				yes
Stadsdeelkantoor Escamp Leyweg K1	79148	451251		L-000415	yes				yes
Stadsdeelkantoor Escamp Leyweg W1	79016	451341			yes				yes
Stationspostgebouw (W1)	82207	454060			yes				yes
Uitzicht Florence	73815	452761	B30D0206	L-001755					yes
Universe	82182	453685		L-088314					PDF only
Waldo City (mono K)	81214	452873		L-070717	yes		yes	yes	yes
Waldo City (mono W)	81214	452873			yes		yes		yes
Waldo Mountains (K)	81459	453087			yes		yes	yes	yes
Waldo Mountains (W)	81338	452980		L-084299	yes		yes	yes	yes
Ypenburg	85483	452438		L-080382					PDF only
Zuiderpark	79781	452480		L-041672					PDF only
	70930	447060	B37B0172			yes			yes
	73760	448520	B37B0049						yes
	73921	452216	B30D0197			yes			yes
	74700	451610	B30D0003						yes
	75092	454007	B30D7498			yes			yes
	77387	436644	B37D0228						yes
	79350	456560	B30D0216			yes			yes
	79778	450097	B30D1775						yes
	79942	453429	B30D1776						yes
	79959	459564	B30D0207			yes			yes
	81115	459655	B30G0610						yes

location name (if applicable)	x	y	NITG_NR	location number	digitized from cuttings desc.	logged	W+B welltest	welltest successful	cuttings desc.
	81120	458450	B30G0779			yes			yes
	81183	456680	B30G7675			yes			yes
	81211	459480	B30G7459			yes			yes
	81213	452467	B30G0970			yes			yes
	81312	459357	B30G0744			yes			yes
	81400	459730	B30G0780			yes			yes
	81426	456707	B30G7410			yes			yes
	81700	454900	B30G0831			yes			yes
	81730	459780	B30G0612						yes
	81857	431608	B37G0443						yes
	81940	459840	B30G0025						yes
	82000	445080	B37E0510			yes			yes
	82040	454960	B30G0857			yes			yes
Rijswijk Center for Sustainable Geo-Energy	82150	450480	B30G4529						yes
	82155	455770	B30G0504						yes
	82256	459048	B30G0830			yes			yes
	82260	450320	B30G0320						yes
	82401	450267	B30G7866			yes			yes
	82430	458850	B30G0188						yes
	82650	455370	B30G0856			yes			yes
	82698	459015	B30G0828			yes			yes
	82712	458997	B30G0827			yes			yes
	82720	458570	B30G0189						yes
	82725	458982	B30G0825			yes			yes
	82770	458815	B30G0833			yes			yes
	82790	454990	B30G0500			yes			yes
	82790	458865	B30G0823			yes			yes
	82793	458848	B30G0822			yes			yes
	82963	459036	B30G0821			yes			yes
	82980	457160	B30G0505						yes
	83064	453807	B30G7867			yes			yes
	83100	448270	B37E0483			yes			yes
	83130	448250	B37E0481			yes			yes
	83135	458475	B30G0608						yes
	83169	458458	B30G0743			yes			yes
	83192	458801	B30G1101			yes			yes
	83270	459670	B30G0041						yes
	83312	459716	B30G0742			yes			yes
	84840	457415	B30G0607						yes
	84870	447200	B37E0001						yes

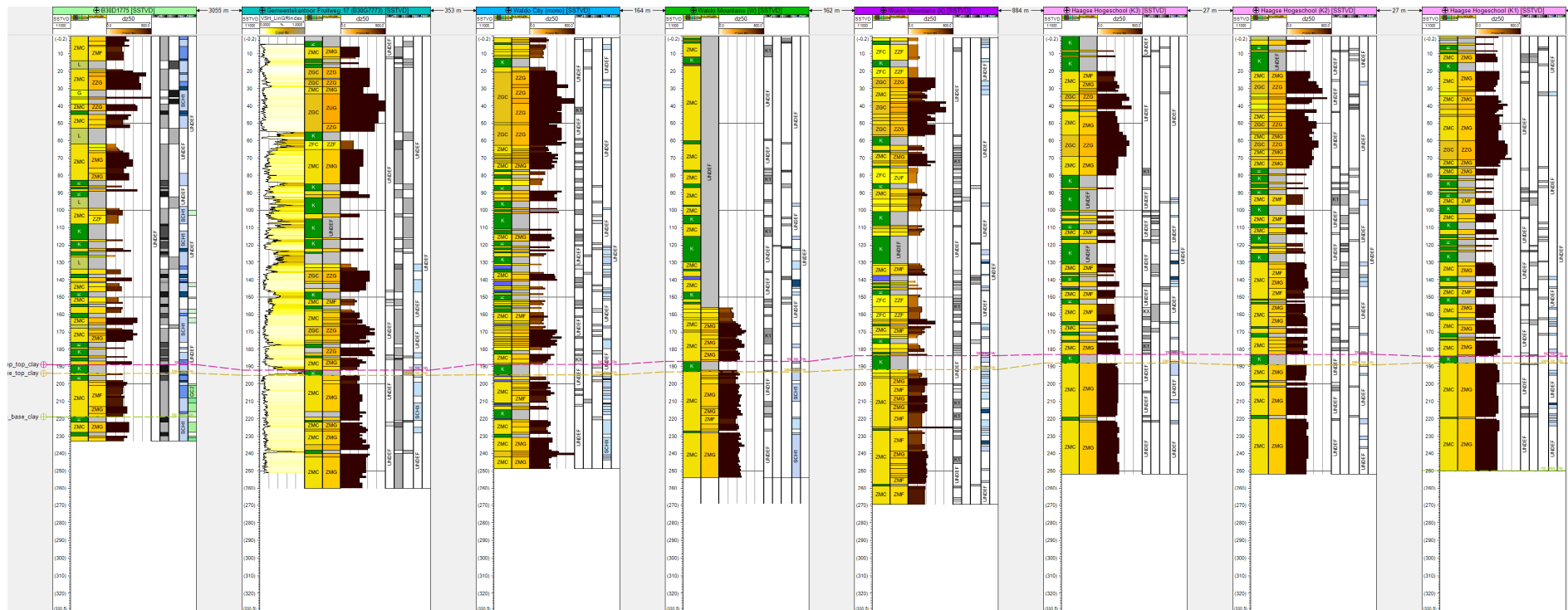
location name (if applicable)	x	y	NITG_NR	location number	digitized from cuttings desc.	logged	W+B welltest	welltest successful	cuttings desc.
	84975	456175	B30G0877			yes			yes
	84978	434126	B37G0442						yes
	85500	446450	B37E0581			yes			yes
	85500	456540	B30G0936			yes			yes
	86100	456276	B30G7682			yes			yes
	86113	456284	B30G7681			yes			yes
	86247	456259	B30G7680			yes			yes
	86314	456267	B30G7678			yes			yes
	87675	456815	B30G0764						yes
	89077	440382	B37E3633						yes

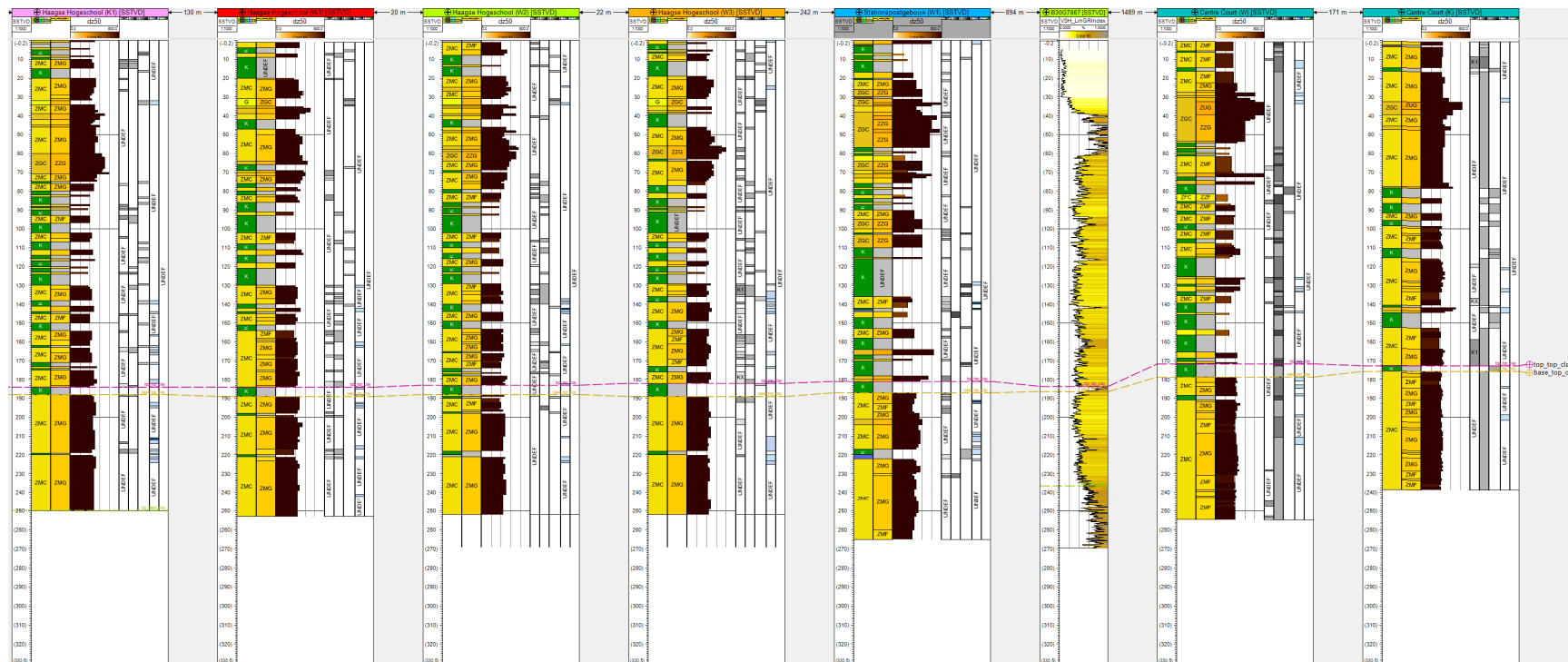
Appendix C Maassluis well section E





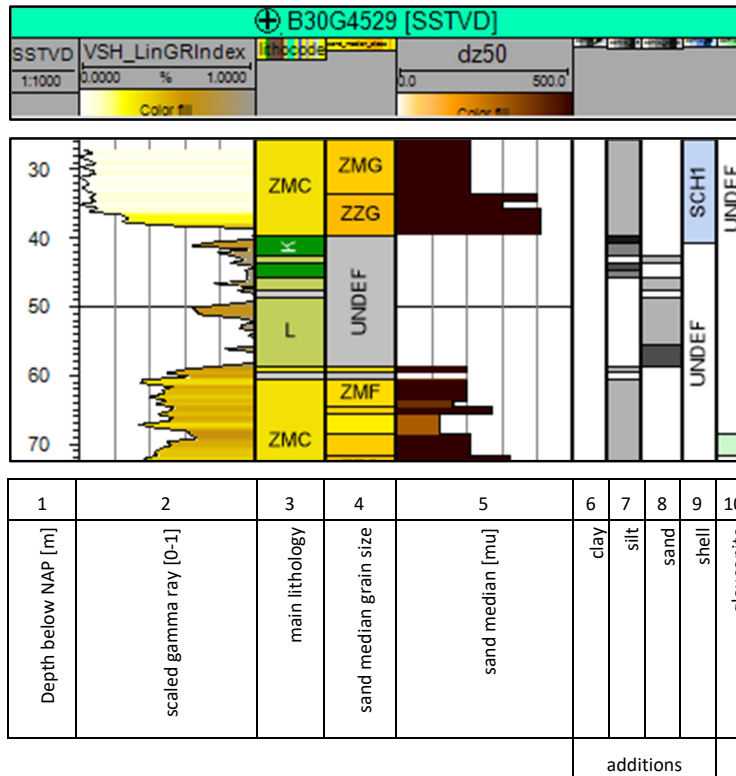
Appendix D Maassluis well section F





Appendix E Well sections legend

In the well panels, the following information is displayed per well from left to right (if recorded)



The colour coding of tracks 3, 4 and 7-10 is as follows:

3		4		6 / 7 / 8		9		10	
lithology		sand median grain size		clay / silt / sand content		shell content		glauconite content	
K	clay	ZFC	fine	K1 / S1 / Z1	weakly clayey / silty / sandy	SCH0	absent	GC0	absent
ZFC	sand (fine)	ZMC	medium	S2 / Z2	moderately silty / sandy	SCH1	trace	GC1	trace
ZMC	sand (middle)	ZGC	coarse	K3 / S3 / Z3	strongly clayey / silty / sandy	SCH2	little	GC2	little
ZGC	sand (coarse)			S4 / Z4	extremely silty / sandy	SCH3	much	GC3	much
G	gravel	ZUF	ultra fine	KX / SX / ZX	clayey / silty / sandy	SCHX	shells	GC4	very much
V	peat	ZZF	very fine					GC5	extremely much
L	loam	ZMF	moderately fine					GCX	glauconite
SHE	shell	ZMG	moderately coarse						
		ZZG	very coarse						
		ZUG	ultra coarse						
		ZMO	unknown						

Appendix F Nomenclator descriptions

Maassluis Formation	Lithology	Coarsening upward. Fining from southeast to northwest. Grey very fine to medium sand, usually micaceous and calcareous, shelly, slightly glauconitic. Intercalated light to dark grey clay, commonly silty or sandy, micaceous and calcareous with marine shells. Locally, basal gravel. Near the top, freshwater shells mixed with marine shells.
	Depositional setting	Shallow marine near-coastal (shallowing; coarsest in the coastal zone).
Oosterhout Formation	Lithology	Light grey to greyish green very fine to medium sand, locally clayey, glauconitic, with shells. At the top, dark grey to greyish brown clay, silty or sandy. Shell banks (craggs). Locally, yellow to reddish brown medium sand, fossiliferous, partly cemented by iron(hydr)oxides.
	Depositional setting	Shallow marine (shelf and shoreface; clay with tempestites), estuarine, deltaic, beach and nearshore (sand and shell banks).
Breda Formation	Lithology	Greyish to blackish green very fine to medium sand, silty, (very) glauconitic, calcareous, and locally micaceous or organic. Clay, very sandy to moderately silty. Intercalated sand and clay with goethite and phosphorite concretions. Dominance of foresets and bottom sets.
	Depositional setting	Warm shallow marine, delta front, coastal (slightly glauconitic sand or bleached quartz sand) and continental (sand with intercalated lignite) near the unit's margins.

(copied from <https://www.dinoloket.nl/en/stratigraphic-nomenclature>)

Warming^{UP}GOO

Geothermie & Opslag Opschaling

Adres

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht

Postadres

Postbus 80015
3508 TA Utrecht

Telefoon

088 866 42 56

E-mail

contact@warmingup.info

Website

www.warmingup.info