

Hydraulische weerstandskarten van de Holocene deklaag in Nederland (beta-uitgave)

Totstandkomingsrapport van een opschaling
van GeoTOP-voxelniveau naar laagniveau

TNO 2025 R10421 – 27 februari 2026

Hydraulische weerstandskarten van de Holocene deklaag in Nederland (beta-uitgave)

Totstandkomingsrapport van een opschaling van GeoTOP-
voxelniveau naar laagniveau

Auteurs	Jelle Buma Jan Gunnink Aris Lourens Jan Stafleu Cjestmir Hockin
Rubricering rapport	TNO Public
Titel	TNO Public
Rapporttekst	TNO Public
Aantal pagina's	35 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	2
Projectnaam	GIP PIO Lijn Kartering
Projectnummer	060.67289

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2026 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
1.1	Doorlatendheden in ondergrondmodellen.....	4
1.2	Opschaling doorlatendheden.....	4
1.3	Complexe opschaling in GeoTOP.....	5
1.4	Opschaling doorlatendheden van voxelschaal naar gebruiksschaal.....	8
1.5	Leeswijzer.....	8
2	Uitgangspunten.....	9
2.1	Stratigrafische eenheden.....	9
2.2	K_{eff} -waarden.....	11
3	Resultaten.....	15
3.1	De hydraulische weerstandskarten.....	15
3.2	Vergelijking met LHM 4.2.....	19
3.3	Vergelijking met deklaagweerstand Zuidelijk Flevoland.....	21
3.4	Discussie.....	23
4	Conclusies en aanbevelingen.....	25
4.1	Conclusies.....	25
4.2	Gebruik van de opgeschaalde deklaagweerstand.....	26
4.3	Aanbevelingen voor nader onderzoek.....	26
5	Referenties.....	27
6	Ondertekening.....	28
Bijlagen		
Bijlage A:	Initiële opgeschaalde Kv-waarden	29
Bijlage B:	Opgeschaalde Kv-waarden na aanpassing	32

1 Inleiding

1.1 Doorlatendheden in ondergrondmodellen

Voor een duurzaam gebruik en beheer van de ondergrond is informatie over de opbouw en eigenschappen van de ondergrond essentieel. TNO – Geologische Dienst Nederland levert deze informatie o.a. in de vorm van landsdekkende ondergrondmodellen. Daarbij worden twee soorten modellen onderscheiden: (1) lagenmodellen, waarin de ondergrond wordt gerepresenteerd als een serie op elkaar gestapelde geologische of hydrogeologische lagen en (2) voxelmodellen waarin de ondergrond in een regelmatig raster van voxels (3D-gridcellen) is onderverdeeld.

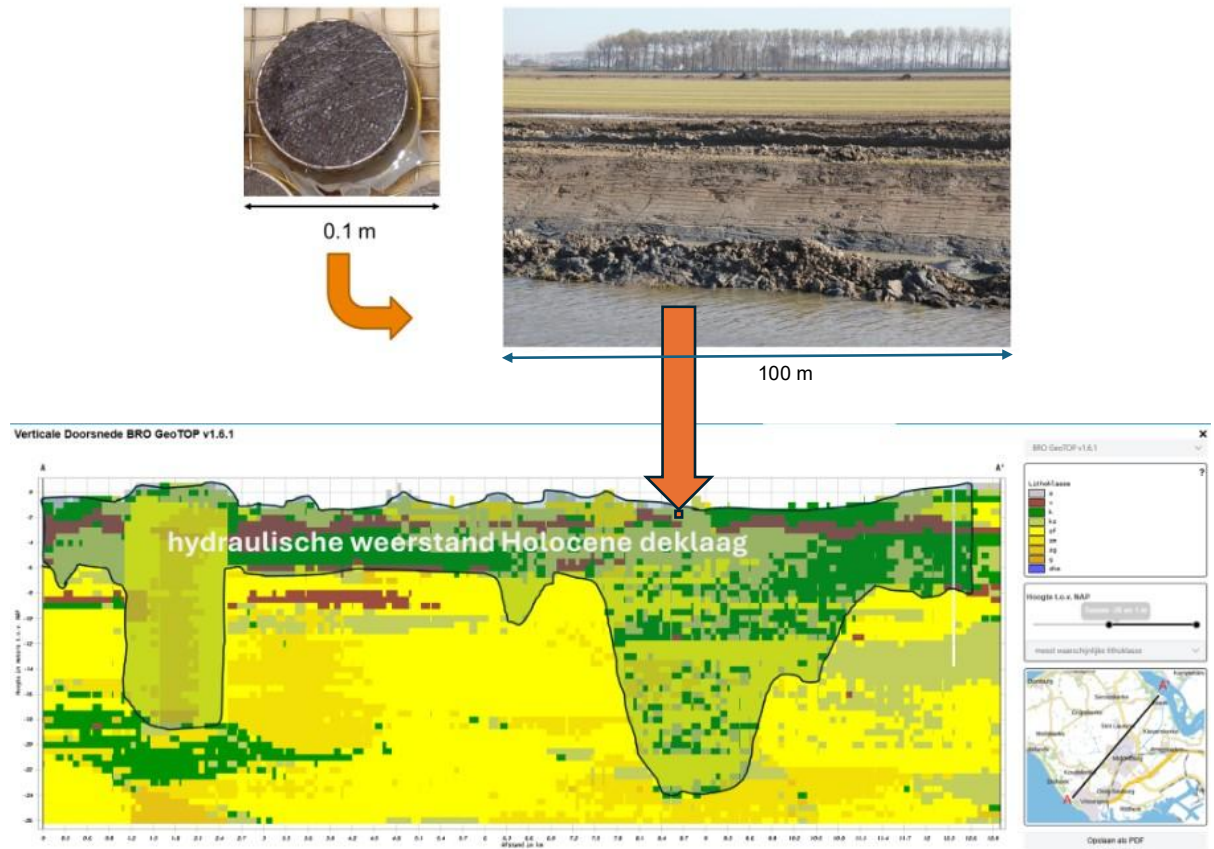
De ondergrondmodellen kunnen worden gebruikt als basis voor parametrisering met fysische of chemische parameters. Hierdoor worden de modellen bruikbaar in verschillende toepassingen waarin de ondergrond een rol speelt. In grondwaterstromingsmodellen is de hydraulische doorlatendheid een essentiële parameter. De doorlatendheid van de verschillende lagen in de ondergrond blijkt in de praktijk echter niet eenvoudig vast te stellen omdat directe metingen op de schaal van het model in veel gevallen niet beschikbaar zijn. Als alternatief worden vaak doorlatendheden afgeleid uit pompproeven (die duur zijn en vaak op verschillende manieren te interpreteren), worden empirische relaties tussen korrelgrootteverdelingen gebruikt of wordt de doorlatendheid in het laboratorium gemeten aan sedimentmonsters uit bijvoorbeeld boringen. Deze laatste vorm van informatie wordt door TNO-GDN verwerkt in de ondergrondmodellen REGIS II en GeoTOP.

1.2 Opschaling doorlatendheden

Het verschil tussen de schaal van aan laboratoriummonsters gemeten doorlatendheden (hierna: *monsterschaal*) en de ruimtelijke resolutie van ondergrondmodellen zoals GeoTOP (hierna: *voxelschaal*) wordt door Tran (1996) de “missing scale” genoemd. Er zijn diverse technieken ontwikkeld om metingen van monsterschaal “op te schalen” naar de voxelschaal. De methode van complexe opschaling is zo’n techniek, en is toegepast bij de hydraulische parametrisering van de GeoTOP-modellen van Zeeland (Stafleu en Gunnink, 2016) en Noord-Brabant en Noord- en Midden-Limburg (Stafleu e.a., 2021), hierna kortheidshalve aangeduid als Brabant-Limburg model. Met behulp van complexe opschaling wordt het verschil tussen monsterschaal (orde 40 tot 100 cm³) en voxelschaal (100 x 100 x 0,5 m³) overbrugd; zie Figuur 1.1 bovenste deel. De laboratoriummonsters die de doorlatendheidsgegevens leveren voor de complexe opschaling, zijn afkomstig uit boringen die uitgevoerd zijn in het kader van TopIntegraal, het boor- en meetprogramma van TNO-GDN voor de ondiepe ondergrond van Nederland.

In dit rapport wordt een volgende stap in de opschaling beschreven, namelijk die van doorlatendheden op de voxelschaal naar hydraulische eigenschappen van een watervoerend pakket of scheidende laag zoals die bijvoorbeeld in grondwatermodellen worden geschematiseerd. In dit geval betreft het de hydraulische weerstand van de Holocene

deklaag. Deze schaal wordt korthedshalve aangeduid als *gebruiksschaal*; zie Figuur 1.1 onderste deel.



Figuur 1.1: Schaalverschillen tussen *monsterschaal* (laboratoriummonster <10 cm, linksboven), *voxelschaal* (een slootwand in Zeeland met getijdeplaat-afzettingen van het Laagpakket van Walcheren, rechtsboven) en *gebruiksschaal* (de hele Holocene deklaag in een doorsnede uit GeoTOP v1.6.1, onder).

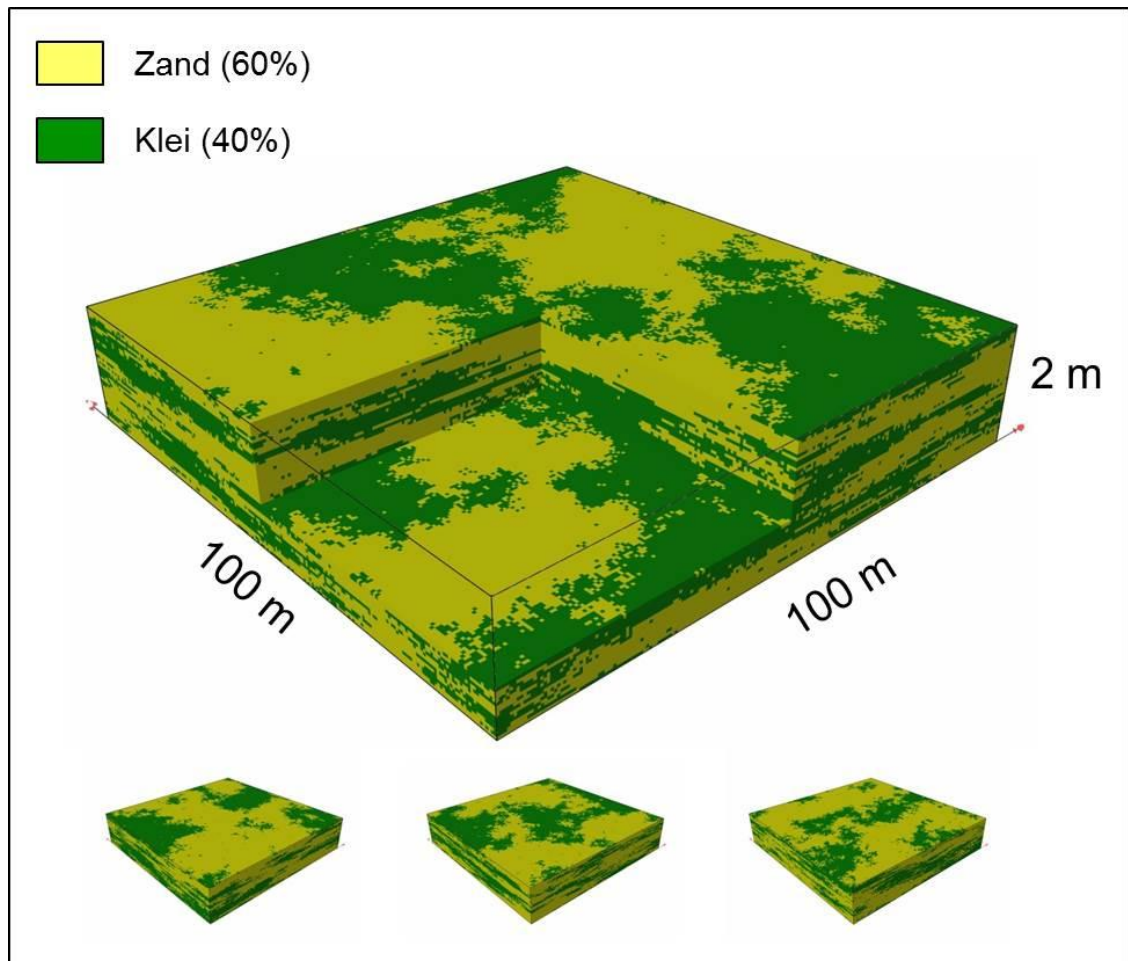
1.3 Complexe opschaling in GeoTOP

1.3.1 Onderverdeling van GeoTOP-voxel in subvoxels

De complexe opschaling houdt rekening met het patroon van de heterogeniteit binnen een GeoTOP-voxel. De methode maakt gebruik van een grondwaterstromingsmodel van een voxel die is onderverdeeld in kleine subvoxels met variërende grondsoort en doorlatendheid. De in grondsoorten onderverdeelde voxel is een representatie van het patroon van de heterogeniteit binnen de voxel.

Met behulp van geostatistische simulatie (non-conditional sequential indicator simulation) worden 50 even waarschijnlijke verdelingen van de grondsoort gegenereerd. De ruimtelijke verdeling binnen de voxel wordt bepaald door (1) de verhouding tussen de grondsoorten, bijvoorbeeld zand en klei, en (2) de ruimtelijke samenhang in het voorkomen van de grondsoorten, uitgedrukt in een horizontale en verticale correlatielengte. Hoe groter de

correlatielengte, hoe uitgestrekter en meer aaneengesloten de volumes van een bepaalde grondsoort. Hoe hoger de zand-klei verhouding en hoe groter de correlatielengte, hoe groter de kans bestaat op (verticale) kortsluitstroming van grondwater door een voxel, met als gevolg een hoge doorlatendheid en lage weerstand. In Figuur 1.2 is een voorbeeld gegeven van vier mogelijke verdelingen van zand en klei binnen een voxel op basis van 60% zand, 40% klei, een horizontale correlatielengte van 25 m en een verticale correlatielengte van 0,25 m.



Figuur 1.2: Vier verdelingen van zand en klei binnen een voxel, onderverdeeld in subvoxels van 0,5 x 0,5 x 0,05 m op basis van 60% zand, 40% klei, een horizontale correlatielengte van 25 m en een verticale correlatielengte van 0,25 m. NB: Bij het invullen van de voxel wordt een hoogte van 2 m gehanteerd, dat wil zeggen vier keer de hoogte van een GeoTOP-voxel. Dit is gedaan om randeffecten te voorkomen. Bron: Stafleu & Gunnink (2016). Het grondwaterstromingsmodel zelf wordt wel gesimuleerd op een voxel van 0,5 m hoogte.

1.3.2 Toekenning doorlatendheden

Met behulp van geostatistische simulatie (non-conditional sequential Gaussian simulation) worden vervolgens aan alle subvoxels die met zand zijn gevuld doorlatendheden toegekend die geselecteerd zijn uit een dataset met zandige monsters. Op dezelfde manier worden aan alle subvoxels die met klei zijn gevuld doorlatendheden toegekend die geselecteerd zijn uit

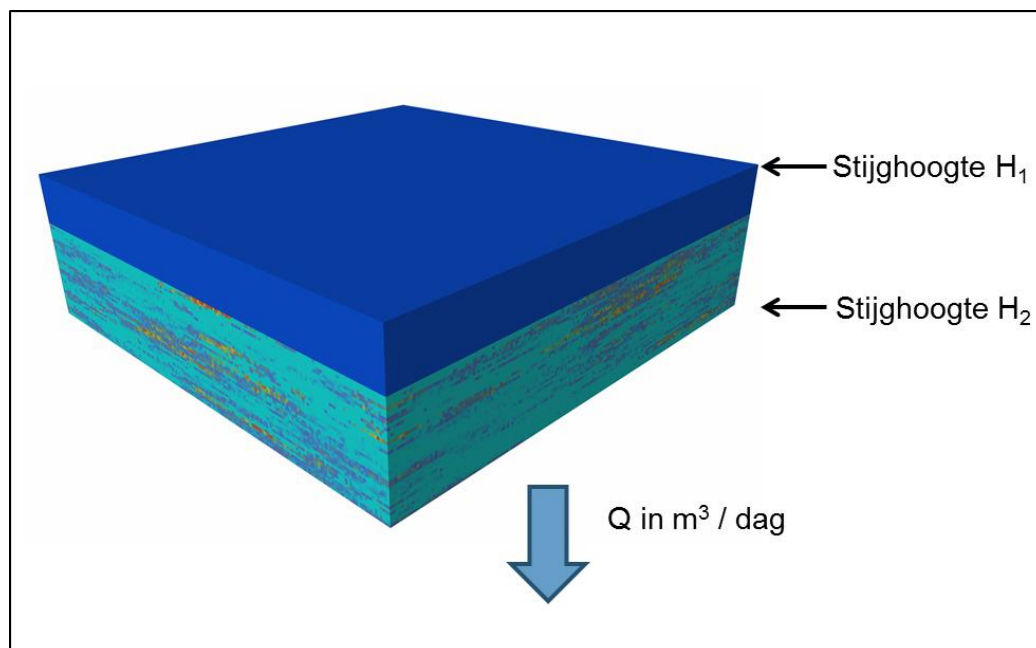
de dataset met kleiige monsters. De parameters die de ruimtelijke verdeling van doorlatendheden sturen zijn:

- De TopIntegraal-datasets met gemeten doorlatendheden aan zandige en kleiige monsters, per stratigrafische eenheid.
- Horizontale en verticale correlatielengten voor doorlatendheid.

1.3.3 Grondwaterstromingsmodel

Voor elk van de 50 doorlatendheidsverdelingen uit de vorige stap wordt vervolgens de effectieve doorlatendheid berekend met Darcy-opscaling (Vermeulen, 2006). Met behulp van het grondwaterstromingsprogramma iMOD (Vermeulen e. a., 2014) wordt de voxel als MODFLOW-grondwatermodel gesimuleerd. Aan boven- en onderrand van het model worden verschillende vaste stijghoogten H_1 en H_2 opgelegd waardoor een verticale gradiënt ontstaat (Figuur 1.3). Door de berekende uitstroom van de subvoxels aan de onderkant van de voxel te sommeren komen we op de totale uitstroom Q . De effectieve doorlatendheid van de voxel, $K_{eff,model}$, kan nu berekend worden als:

$K_{eff,model} = -1 * Q / (A * (H_1 - H_2))$, waar A staat voor het oppervlak van de onderkant van de voxel (10.000 m^2). De 50 doorlatendheidsverdelingen leiden dus tot 50 $K_{eff,model}$ -waarden. Hiervan wordt een gemiddelde K_{eff} bepaald aan de hand van het teruggetransformeerde gemiddelde van de log-doorlatendheden.



Figuur 1.3: Schematische weergave van de MODFLOW-simulatie van een GeoTOP-voxel waarbij de uitstroom aan de onderkant van het model (Q) bepaald wordt door een stijghoogteverschil ($H_1 - H_2$), de verdeling van doorlatendheden van de subvoxels en de randvoorwaarde dat er aan de zijkanten van het model geen stroming plaatsvindt. Bron: Stafleu & Gunnink (2016).

Door per combinatie van stratigrafie en lithoklasse (strat-lithoklasse combinatie) gebruik te maken van (1) een subset van gemeten doorlatendheden uit de TopIntegraal-database, en (2) een op expert kennis gebaseerde inschatting van zand-klei verhoudingen en

correlatielengten voor grondsoort en doorlatendheid, wordt op deze manier voor alle strat-lithoklasse combinaties die in GeoTOP kunnen voorkomen één waarde voor K_{eff} bepaald.

Uitzonderingen hierop zijn strat-lithoklasse combinaties waarvoor niet voldoende monstergegevens aanwezig zijn. De betreffende voxels krijgen doorlatendheden toegewezen op basis van expertkennis of die oorspronkelijk voor regionale (niet openbaar uitgegeven) toepassingen van REGIS II zijn gebruikt (Vernes e.a., 2010).

Voor een uitgebreidere beschrijving van de methode van complexe opschaling wordt verwezen naar Stafleu & Gunnink (2016).

1.4 Opschaling doorlatendheden van voxelschaal naar gebruiksschaal

De opschaling van voxelschaal naar gebruiksschaal verloopt methodisch op dezelfde manier als de complexe opschaling zoals beschreven in paragraaf 1.3. Door Stafleu en Gunnink (2016) is een toepassing beschreven in het kader van een vergelijking van het hydraulische geparametriseerde GeoTOP-model van Zeeland met pompproefwaarden. In deze rapportage betreft het de opschaling van doorlatendheden op de voxelschaal van GeoTOP naar de gebruiksschaal van de Holocene deklaag in heel Nederland; zie Figuur 1.1, onderste deel. De opschaling levert een verzameling kaarten van de hydraulische weerstand van de deklaag op verschillende laterale schaalniveaus. Deze afmetingen hebben betrekking op het gebied waarbinnen alle voxels worden betrokken in de opschalingsprocedure; de afmetingen van de voxels zelf blijven onveranderd, namelijk 100x100 m. Voor elke kaart wordt een gebied van n bij n voxels ($n = 1, 3, 5, \dots, 19$) gemodelleerd in het al eerder genoemde iMOD. De hydraulische weerstand van de Holocene deklaag is zodoende bepaald voor gebiedsgrootten van 100 x 100 m, 300 x 300 m,, 1900 x 1900 m, en wordt steeds toegekend aan de centrale 100 x 100 m voxel in het gebied.

Voor de opschaling van voxelschaal naar gebruiksschaal zijn de doorlatendheden op voxelschaal (K_{eff}) afkomstig uit het Brabant-Limburg model als uitgangspunt genomen. In het vervolg worden deze waarden de “initiële K_{eff} -waarden” genoemd. Deze zijn beschikbaar per combinatie van stratigrafische eenheid en lithoklasse, en zijn over het algemeen lager dan in het eerder geparametriseerde GeoTOP-model van Zeeland. Dit geldt bijvoorbeeld voor de lithoklasse veen in de eenheden Basisveen (0,00011 vs. 0,00057 m/d) en Hollandveen (0,00042 m/d vs. 0,001 m/d).

1.5 Leeswijzer

Op de initiële K_{eff} -waarden zijn aanpassingen gedaan, deze worden samen met enkele andere uitgangspunten beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 worden de resultaten beschreven, waarbij ook een vergelijking wordt gemaakt met de hydraulische weerstanden in het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) van het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI). Het rapport besluit met enkele conclusies en aanbevelingen voor het gebruik in hoofdstuk 4.

2 Uitgangspunten

2.1 Stratigrafische eenheden

Tot de Holocene deklaag worden alle stratigrafische eenheden van Holocene ouderdom gerekend. De meest voorkomende zijn de formaties van Naaldwijk, Nieuwkoop en Echteld, en de bijbehorende laagpakketten, lagen en geulgeneraties. De Holocene deklaag omvat ook het Laagpakket van Oost-Maarland van de Formatie van Beegden, met de bijbehorende geulgeneratie. Verder betreft het de Kreekrak Formatie en een aantal eenheden die geologisch (deels) van Pleistocene ouderdom zijn, maar in hydrologisch opzicht toch tot de deklaag gerekend worden omdat ze (1) overwegend slecht doorlatend zijn en (2) aan de bovenkant begrensd worden door ook overwegend slecht doorlatende afzettingen van Holocene ouderdom. Dit betreft de Laag van Wijchen die deel uitmaakt van zowel de Formatie van Beegden als de Formatie van Kreftenheye (NUBEWY en NUKRWY) de kleiige top van de Koewacht Formatie (NUKW1) en het Laagpakket van Singraven van de Formatie van Boxtel (NUBXSI). Het Laagpakket van Kootwijk van de Formatie van Boxtel (NUBXKO) is weliswaar van Holocene ouderdom maar is vanwege het overwegend zandige karakter niet in de deklaag meegenomen. Tot slot maken de antropogene eenheden opgebrachte grond (NUAAOP) en esdekken (NUAAES) deel uit van de deklaag. Een overzicht van alle beschouwde eenheden is opgenomen in Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Stratigrafische eenheden in GeoTOP die deel uitmaken van de Holocene deklaag.

Code	Nummer in voxel-model	Omschrijving	Afzettings-milieu
NUAAOP	1000	Antropogene afzettingen, opgebrachte grond	Door de mens gemaakt
NUAAES	1005	Antropogene afzettingen, esdekken	Door de mens gemaakt
NUNIGR	1010	Formatie van Nieuwkoop, Laagpakket van Griendtsveen	Moeras
NUNInb	1045	Formatie van Nieuwkoop, laag van Nij Beets (informele laag)	Moeras
NUNASC	1020	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Schoorl	Kustduin
NUNAWA1	1030	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren, gedeelte boven Laagpakket van Zandvoort	Getijden
NUNAZA1	1040	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Zandvoort, gedeelte boven Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket	Strand en vooroever
NUNAWAZU	1048	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren, Zuiderzee Laag	Brakke tot zoute binnen-zee en kust

Code	Nummer in voxel-model	Omschrijving	Afzettings-milieu
NUNAWAAL	1049	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren, Almere Laag	Brakwater-lagune
NUNAWA2	1050	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren, gedeelte onder Laagpakket van Zandvoort	Getijden
NUEC1	1070	Formatie van Echteld, gedeelte boven Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket	Fluviatiel, Rijn
NUNAWOBE	1080	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer, Laag van Bergen	Getijden
NUKK1	1085	Kreekrak Formatie, gedeelte boven Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket	Fluviatiel, Schelde
NUNIFL	1089	Formatie van Nieuwkoop, Flevomeer Laag	Moeras
NUNIHO	1090	Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket	Moeras
NUNAZA2	1095	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Zandvoort, gedeelte onder Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket	Strand en vooroever
NUNAWO	1100	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer	Getijden
NUNAWOVE	1120	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer, Laag van Velsen	Lagune
NUKK2	1125	Kreekrak Formatie, gedeelte onder Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket	Fluviatiel, Schelde
NUNIBA	1130	Formatie van Nieuwkoop, Basisveen Laag	Moeras
NUNA	2000	Formatie van Naaldwijk	Getijden
NUEC2	2010	Formatie van Echteld, gedeelte onder Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket	Fluviatiel, Rijn
NUBXS1	3010	Formatie van Boxtel, Laagpakket van Singraven	Beekdal
NUBXS11	3011	Formatie van Boxtel Laagpakket van Singraven (bovenste deel)	Beekdal
BEOM	4055	Formatie van Beegden, Laagpakket van Oost-Maarland	Fluviatiel, Maas
BEWY	4060	Formatie van Beegden, Laag van Wijchen	Fluviatiel, Maas
KRWY	4000	Formatie van Kreftenheye, Laag van Wijchen	Fluviatiel, Rijn
KW1	4090	Formatie van Koewacht, kleiige top	Fluviatiel, Schelde

Code	Nummer in voxel-model	Omschrijving	Afzettingsmilieu
Geulafzettingen			
NUECga	6000	Formatie van Echteld (geulafzettingen generatie A)	Fluviatiel, Rijn
NUBEOmga	6005	Formatie van Beegden, Laagpakket van Oost-Maarland (geulafzettingen generatie A)	Fluviatiel, Maas
NUNAWAga	6010	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren (geulafzettingen generatie A)	Getijdengeul
NUECgb	6100	Formatie van Echteld (geulafzettingen generatie B)	Fluviatiel, Rijn
NUNAWAgb	6110	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren (geulafzettingen generatie B)	Getijdengeul
NUECgc	6200	Formatie van Echteld (geulafzettingen generatie C)	Fluviatiel, Rijn
NUECgd	6300	Formatie van Echteld (geulafzettingen generatie D)	Fluviatiel, Rijn
NUNAWOgd	6320	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer (geulafzettingen generatie D)	Getijdengeul
NUECge	6400	Formatie van Echteld (geulafzettingen generatie E)	Fluviatiel, Rijn
NUNAWOge	6420	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer (geulafzettingen generatie E)	Getijdengeul

2.2 K_{eff} -waarden

2.2.1 Initiële K_{eff} -waarden

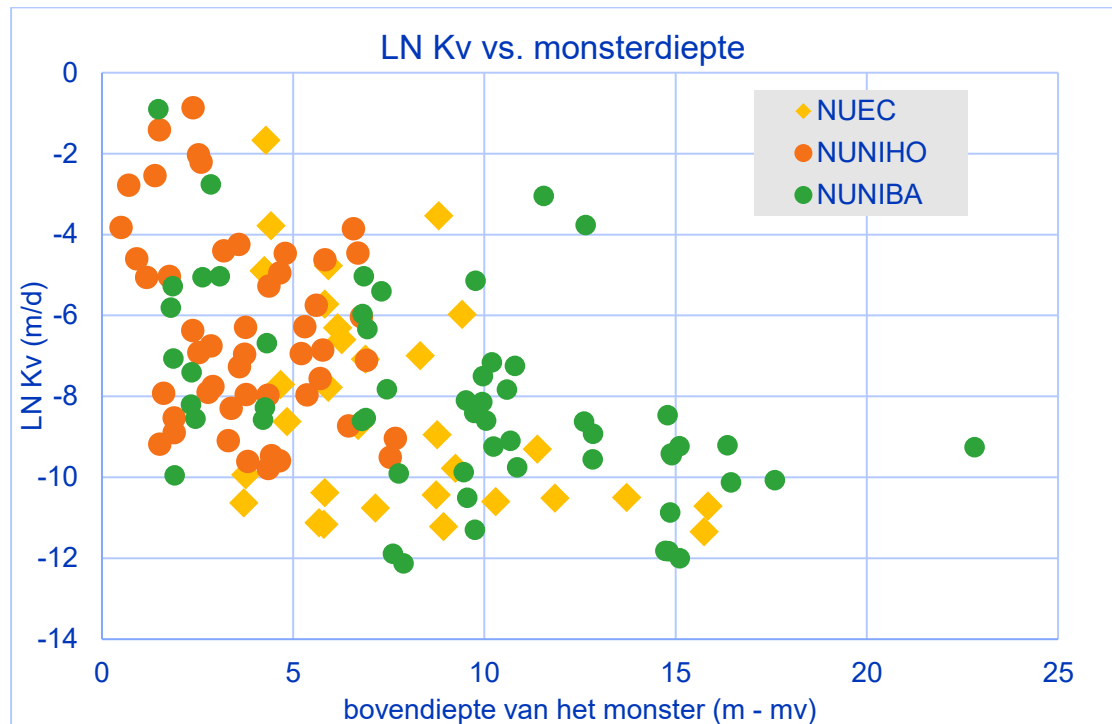
Voor de hydraulische weerstand van de Holocene deklaag is de verticale doorlatendheid belangrijker dan de horizontale. De hierna besproken aanpassingen van de initiële K_{eff} -waarden richtten zich dan ook alleen op de verticale doorlatendheid (K_v), maar de horizontale doorlatendheid (K_h) wordt wel meegenomen in de complexe opschaling. Deze speelt een rol bij kortsluitstroming die de weerstand aanzienlijk kan verminderen.

De tabel met K_{eff} -waarden van de betrokken eenheden die vanuit het Brabant-Limburg model als uitgangspunt zijn genomen, is opgenomen in bijlage A. Korteitshalve zijn de zandige lithoklassen, die nauwelijks bijdragen aan de hydraulische weerstand, weggelaten uit de tabel.

2.2.2 Aanpassingen

Op de initiële K_{eff} -waarden is een aantal aanpassingen gedaan, te weten:

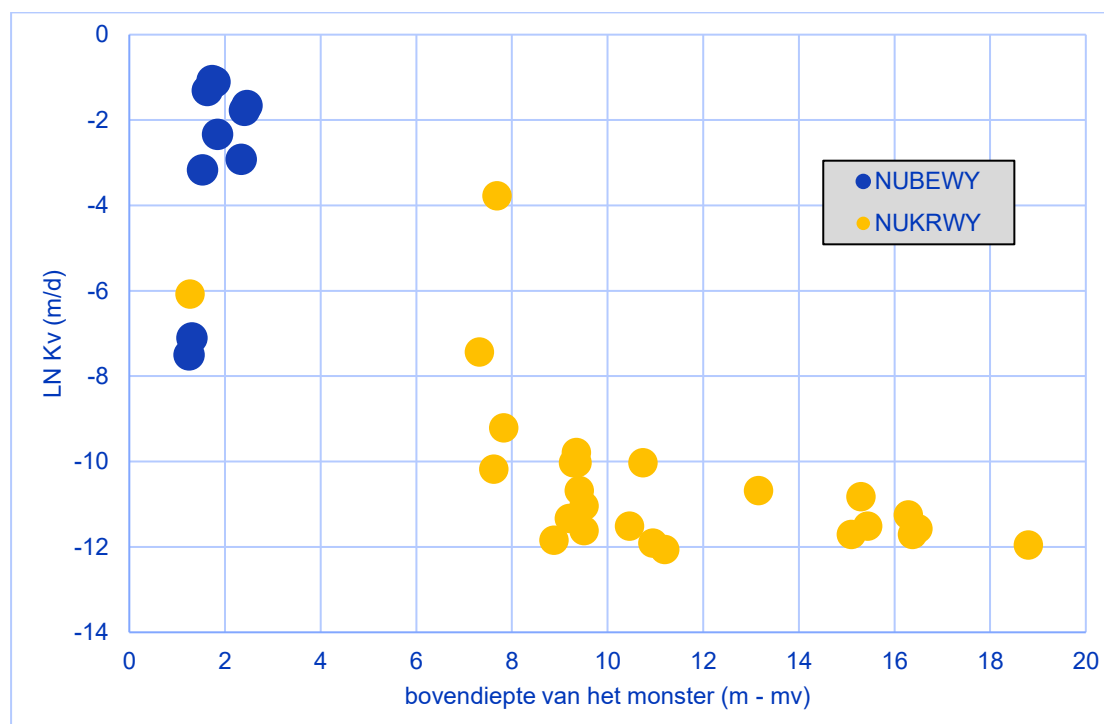
- Recent beschikbaar gekomen TopIntegraal-doorlatendheidsgegevens van veenmonsters behorende tot de eenheid Hollandveen (NUNIHO) laten aanzienlijk hogere doorlatendheden zien dan tot dan toe was verzameld, en waren daarom aanleiding voor een hernieuwde complexe opschaling voor deze stratigrafie-lithoklasse-combinatie. Als resultaat daarvan is de K_{eff} -waarde aangepast van 0,00042 m/d naar 0,00057 m/d;
- In het Zeeland-model wordt aan het Hollandveen de doorlatendheid van Basisveen (NUNIBA) toegekend bij een begravingsdiepte van meer dan 10 meter (Stafleu en Gunnink, 2016). Deze regel is uitgebreid naar alle eenheden met uitzondering van NUBEWY, NUKRWY, NUKW1 en NUBXSI, en is bovendien ook in omgekeerde richting toegepast: Basisveenvoxels ondieper dan 10 m krijgen de K_{eff} -waarde van Hollandveen. Dit betekent dat alle veenvoxels dieper dan 10 m de K_{eff} -waarde van Basisveen krijgen en ondieper dan 10 m de waarde van Hollandveen, ongeacht de stratigrafische eenheid. De reden voor deze aanpassing is dat de initiële K_{eff} -waarde van veel venige eenheden lager is dan de Basisveen-waarde, zonder dat dit gestaafd wordt door meetgegevens. Het is daarbij realistisch om te veronderstellen dat de doorlatendheid van alle venen beïnvloed wordt door de begravingsdiepte, en dat bijvoorbeeld ondiep Basisveen in Noord-Nederland een hogere doorlatendheid heeft dan het dieper begraven Hollandveen in Midden- en West-Nederland.
- Behalve van Hollandveen ($n=49$, allen ondieper dan 10 m) en Basisveen ($n=56$ waarvan 32 ondieper dan 10 m) is alleen van de Formatie van Echteld een behoorlijk aantal TopIntegraal-veenmonsters op doorlatendheid bemeten ($n=32$ waarvan 26 ondieper dan 10 m). In het dieptebereik tot 10 meter is de doorlatendheid van Echteld-veenmonsters gemiddeld iets lager dan van Hollandveenmonsters (Mann-Whitney U-test, $p=0.11$), en komen de Echteld-monsters ook van grotere diepte (Mann-Whitney U-test, $p<0.01$). Dit wordt ook geïllustreerd in Figuur 2.1. Mogelijk is de verdeling in diepteklassen ondieper en dieper dan 10 meter nog te grof, en zou als alternatief bijvoorbeeld een exponentiële relatie tussen monsterdiepte en $\text{LN } K_v$ afgeleid kunnen worden. Om de invloed van diepte op doorlatendheid van venen optimaal mee te nemen in de parametrisering is een gedetailleerdere analyse nodig en mogelijk ook aanvullende gegevens. Ook zal de stratigrafische interpretatie van een aantal monsters nog kunnen veranderen bij toekomstige hermodelleringen waarbij aaneengesloten gebieden met Echteld-veen mogelijk worden omgelabeld naar Hollandveen, zoals ook gebeurd is in het project Regiodeal Bodemdaling Groene Hart (Reindersma e.a., 2024). Vooralsnog wordt de genoemde '10m-diepte-regel' daarom ook op Echteldveen toegepast. Overigens zijn alle TopIntegraal-metwaarden van de doorlatendheid (en ook geochemische en lithologische eigenschappen) te downloaden via [Grondwatertools](#), het online grondwaterportaal van TNO-GDN.



Figuur 2.1: Verticale doorlatendheden gemeten aan ToplIntegraal-veenmonsters.

- Aan kleiige voxels in de Formatie van Echteld is initieel een opgeschaalde K_v van $9,48 \times 10^{-5}$ m/d toegekend, gebaseerd op een zand-klei verhouding van 16-84% (zie voor toelichting paragraaf 1.3). Dit is realistisch voor komgebieden met relatief continue verbreidingen van kleiige afzettingen die ook overwegend massief (homogeen) zijn. In kleiige oever- en crevasse-afzettingen is echter een groter aandeel zand te verwachten. In de geulgeneraties A t/m E van de Formatie van Echteld zijn eerder oever- dan komafzettingen te verwachten. Daarom is in klei- en kleig zand voxels in deze eenheden, inclusief een buffer van 100 meter daaromheen¹, de initiële K_{eff} -waarde vervangen door een waarde behorend bij een zand-klei verhouding van 40-60%. Deze verhouding is afgeleid uit alle intervallen in ToplIntegraal-boringen die zijn geïnterpreteerd als oever- en crevasse-afzettingen in de Formatie van Echteld. De K_{eff} -waarde neemt daardoor toe van $9,48 \times 10^{-5}$ m/d naar 0.01 m/d.
- De initiële opgeschaalde K_v -waarde van de Laag van Wijchen van de Formatie van Beegden (NUBEWY) is $3,16 \times 10^{-5}$ m/d, gelijk aan de waarde van de Laag van Wijchen van de Formatie van Kreftenheye (NUKRWY). De beschikbare ToplIntegraal-gegevens laten echter een beduidend hogere doorlatendheid van NUBEWY zien dan van NUKRWY, bij een geringere monsterdiepte (Figuur 2.2). De inschatting is dat deze verschillen representatief zijn, omdat NUKRWY tot veel verder westwaarts en dus dieper voorkomt (het meest westelijk in de ToplIntegraal-boringen Oudendijk / Goudswaard en Vlaardingen) dan NUBEWY, die tot nu toe alleen is geïnterpreteerd in boringen uit Noord-Limburg (Heijen en Lottum). Daarom is voor NUBEWY teruggevallen op een K_{eff} -waarde van 0,0046 m/d die oorspronkelijk voor regionale (niet openbaar uitgegeven) toepassingen van REGIS II is gebruikt (Vernes e.a., 2010) en meer in lijn is met de beschikbare meetgegevens.

¹ Als alternatief voor deze buffer zou gebruik gemaakt kunnen worden van de kans op klei en kleig zand, attributen die standaard worden meegegeven aan voxels in de GeoTOP-modellen.



Figuur 2.2: Verticale doorlatendheden gemeten aan kleiige TopIntegraal-monsters.

De opgeschaalde Kh- en Kv-waarden na aanpassing zijn opgenomen bijlage B.

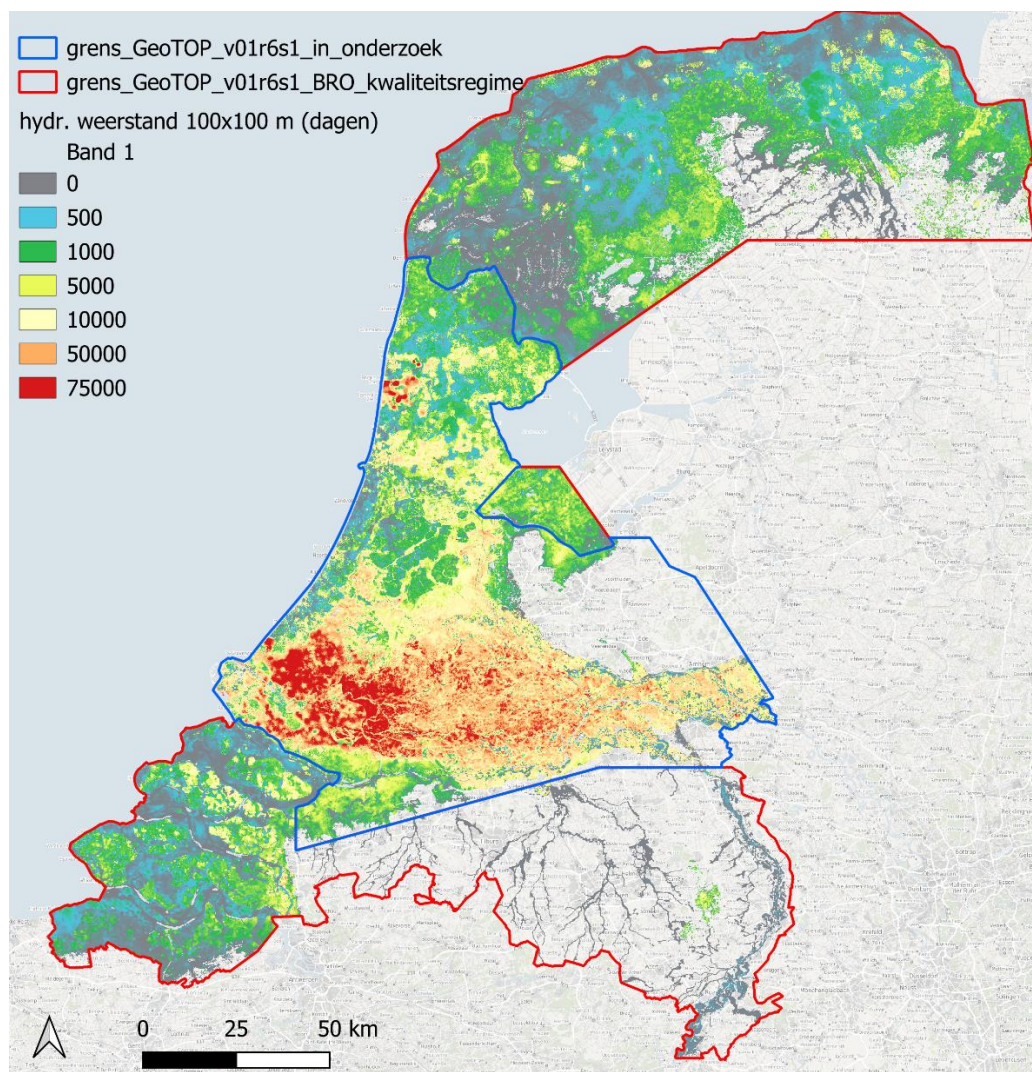
3 Resultaten

3.1 De hydraulische weerstandskarten

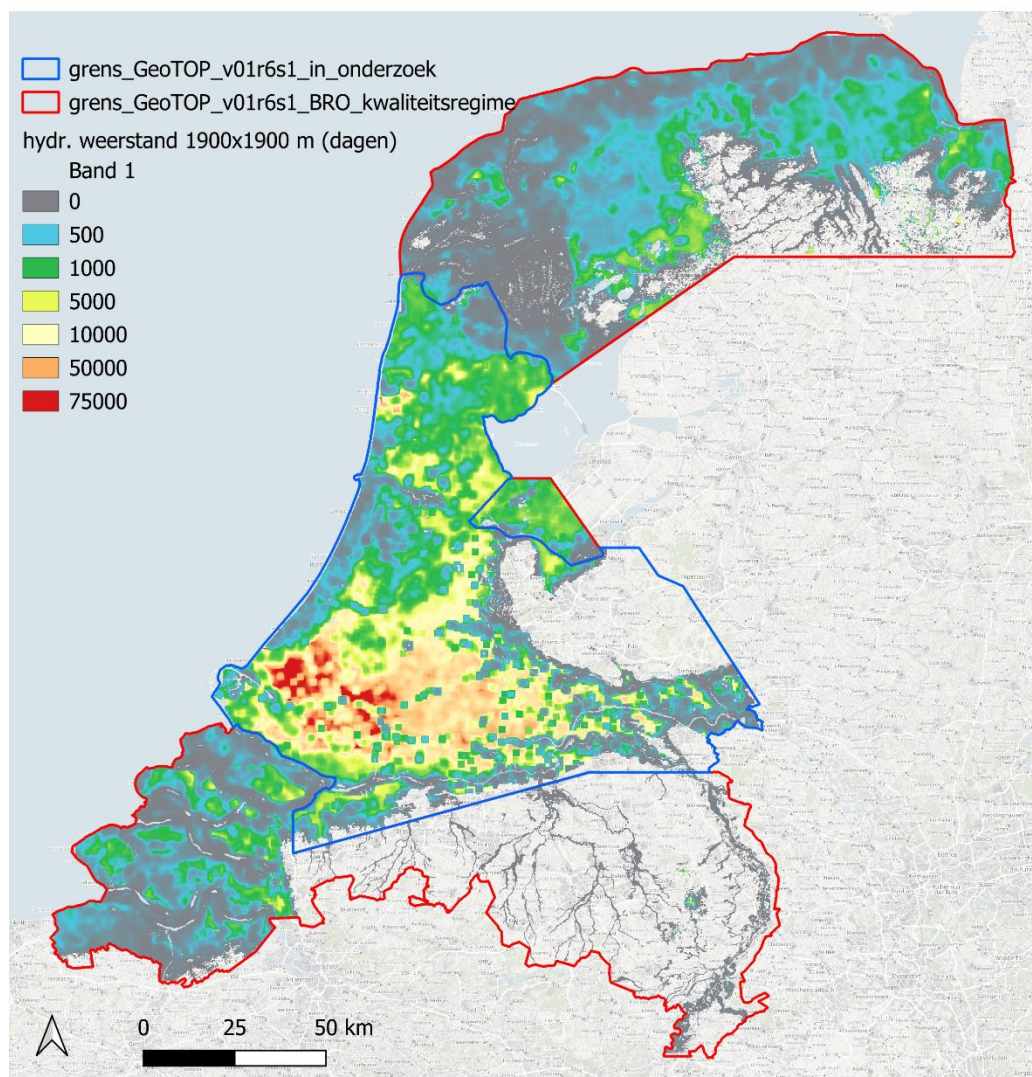
Zoals beschreven in de inleiding resulteert de opschaling van voxelschaal naar deklaagschaal in een verzameling kaarten van de hydraulische weerstand op een schaal variërend van 100x100 m (de enkelvoudige voxelstapel, 'voxel-stack') in stappen van 200x200m oplopend tot 1900 x 1900 m. De 100x100 en 1900x1900 m kaarten zijn onderstaand weergegeven in Figuur 3.1 en Figuur 3.2. De overige kaarten zijn opgenomen in het zip-bestand dat te downloaden is via Grondwatertools.

In beide kaarten zijn duidelijk regionale patronen te zien, waarbij de zeer hoge weerstanden (lokaal meer dan 100 000 dagen) in het westelijke rivierengebied en Rijnmondgebied opvallen. Deze worden veroorzaakt door een combinatie van komkleien van de Formatie van Echterneld, diep begraven Hollandveen en Basisveen, en de slecht doorlatende Laag van Wijchen, die alle drie zeer lage opgeschaalde Kv-waarden hebben zonder dat deze op grote schaal worden doorsneden door zandige geulen. Lage weerstanden zijn te zien in de kustgebieden van Noord- en Zuidwest-Nederland waar de Formatie van Naaldwijk dominant is, met meer invloed van getijdegeulen die kleiige afzettingen doorsnijden en die van zichzelf op voxelschaal ook al een zandiger karakter hebben. De weerstanden komen hier over het algemeen niet boven 5000 dagen uit, afnemend tot enkele tientallen of honderden dagen rond kreek-ruggen en kwelderwallen. Een tussenpositie wordt ingenomen door het midden en oosten van het Rivierengebied en delen van Noord-Holland, met enerzijds dezelfde slecht doorlatende komkleien als meer naar het westen, maar ook het ontbreken van grootschalig en diep begraven veen, en het voorkomen van zones met lagere weerstanden rond (voormalige) stroomruggen. De weerstanden variëren hier overwegend van 5000 dagen tot orde grootte tienduizenden dagen, maar zijn bijvoorbeeld rond de Linge lager dan 1000 dagen.

In de hier gepresenteerde hydraulische weerstanden is het effect van insnijdingen van (perceel)sloten en andere niet expliciet gemodelleerde watergangen in de deklaag niet verdisconteerd.

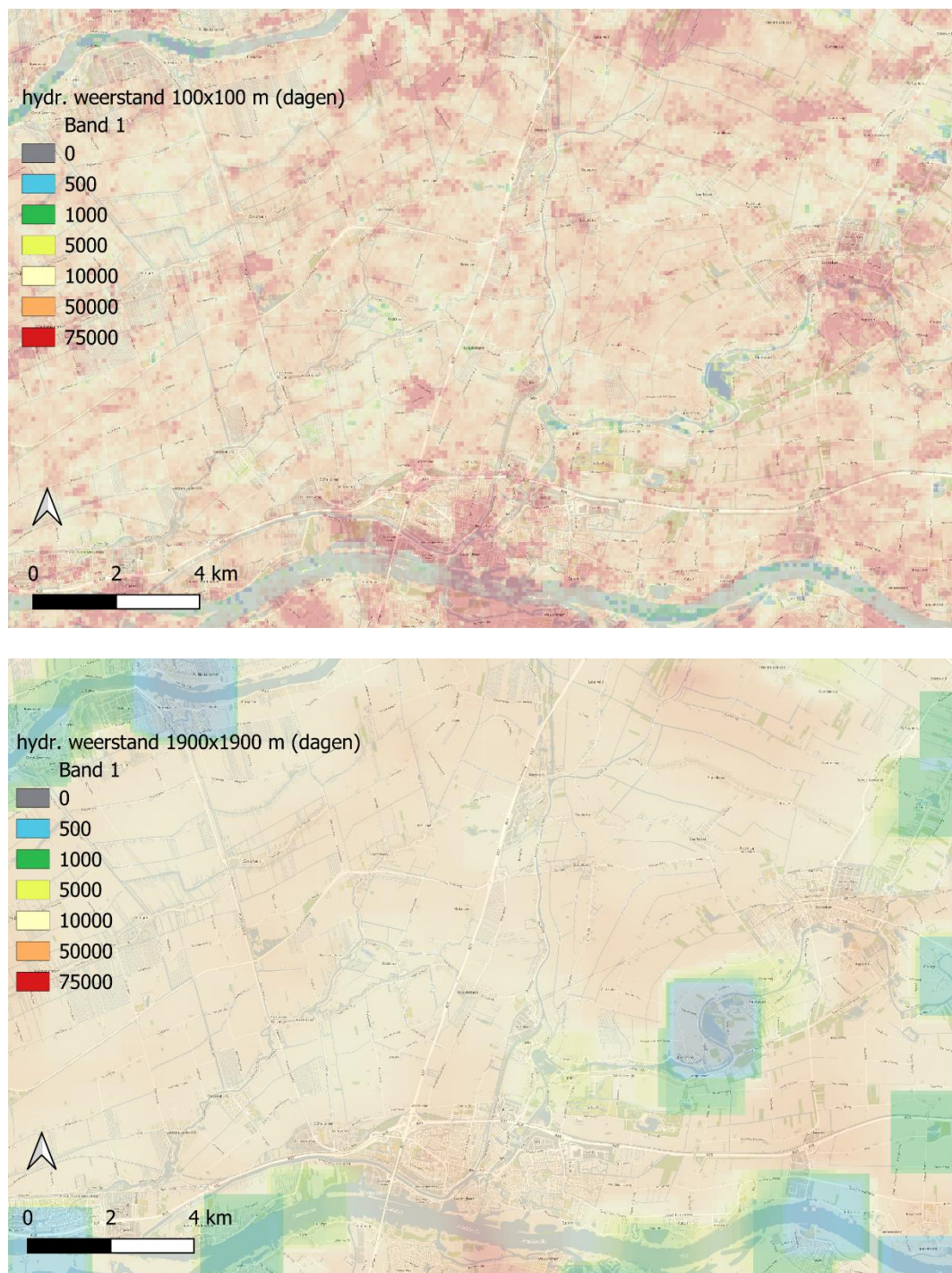


Figuur 3.1: Opgeschaalde hydraulische weerstand van de Holocene deklaag, 100x100 m.



Figuur 3.2: Opgeschaalde hydraulische weerstand van de Holocene deklaag, 1900x1900 m.

In Figuur 3.3 zijn detailkaarten opgenomen van een deel van het Rivierengebied, ten noorden van de Waal en Merwede. Bij het beschouwen van de bovenste kaart (100 x 100 m) vallen de kleinschalige patronen op. Deze worden veroorzaakt doordat maar één stapel voxels wordt beschouwd in de opschaling (een voxel meet immers 100 x 100 m). Daardoor blijven variaties in de hydraulische weerstand op korte afstand zichtbaar. Met oplopende gebiedsgrootte tijdens het opschalen wordt de invloed van voxels in de omgeving groter, waardoor een meer uitgesmeerd beeld ontstaat zoals te zien in de onderste kaart (1900 x 1900 m). In het algemeen geldt: hoe groter het beschouwde gebied, hoe meer kans op het voorkomen van zandige kortsluitingen door de deklaag, en hoe lager de resulterende opgeschaalde deklaagweerstand.



Figuur 3.3: Opgeschaalde hydraulische weerstand van de Holocene deklaag, detail van het Rivierengebied ten noorden van de Waal en Merwede bij Gorinchem. Boven: 100x100 m, onder: 1900 x 1900 m.

3.2 Vergelijking met LHM 4.2

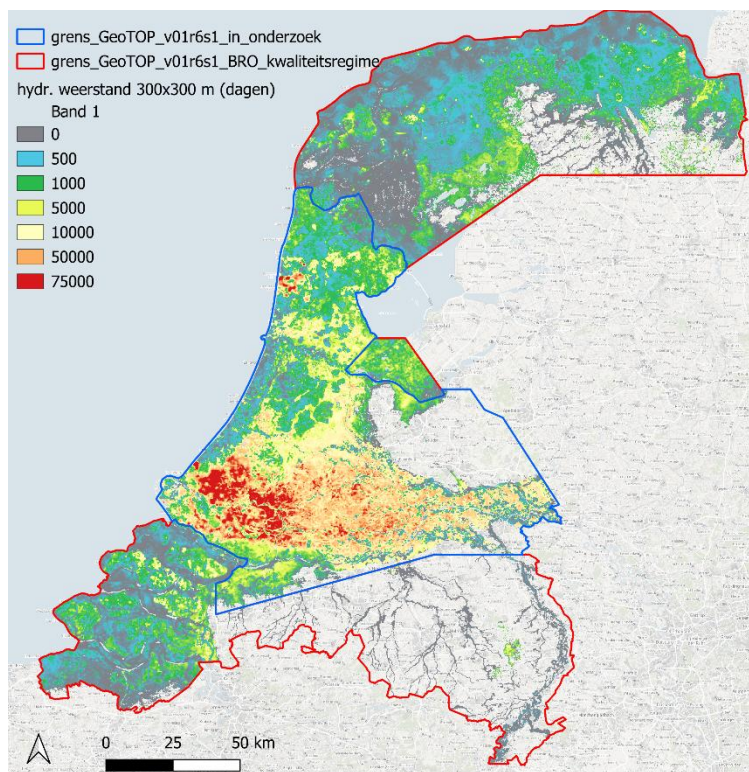
De Holocene deklaag is onderdeel van modellaag 1 in het Landelijk Hydrologisch Model van het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI). Een invoerbestand van versie 4.2 van dit model (Janssen et al., 2022), met de hydraulische weerstand van deze modellaag is in het kader van het project Nationale Grondwater Reserves aan TNO ter beschikking gesteld.

De celgrootte in LHM is 250 x 250 m, zodat de weerstand van LHM modellaag 1 het beste te vergelijken is met de in deze studie opgeschaalde weerstand voor een gebiedsgrootte van 300x300 m. Beide kaarten zijn weergegeven in Figuur 3.4 (de 300x300 m kaart uit deze studie) en Figuur 3.5 (de LHM v4.2 kaart). LHM modellaag 1 kan overigens ook andere (oudere) eenheden bevatten dan die in deze studie zijn gebruikt en zijn benoemd in paragraaf 2.1. Daarom is het ingekleurde gebied (waarvoor een weerstand is gekarteerd) in Figuur 3.5 groter dan in Figuur 3.4.

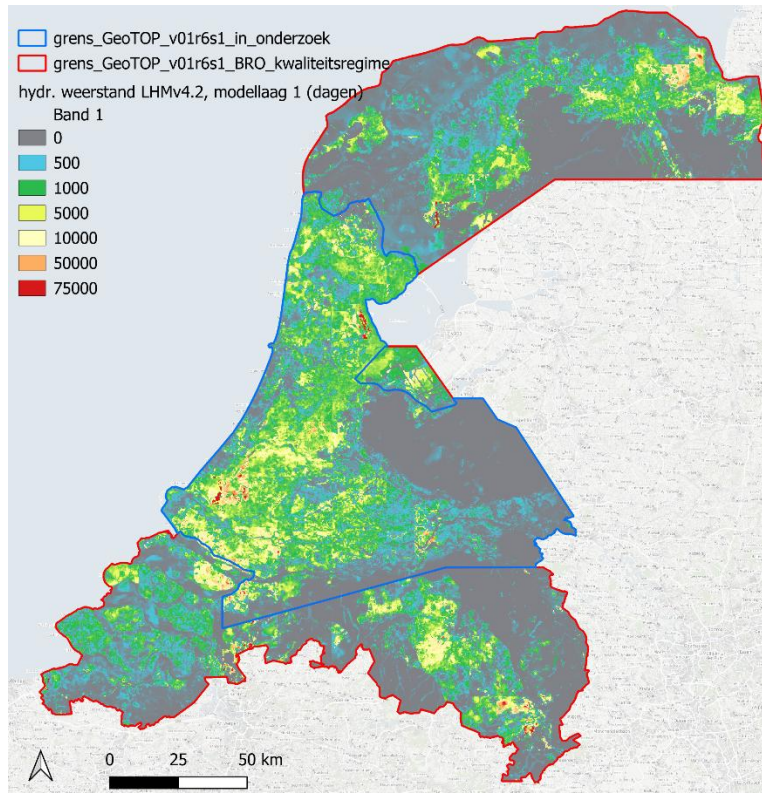
Over het geheel genomen zijn de LHM-weerstanden duidelijk lager, waarbij de verschillen in Noord- en Zuidwest-Nederland nog relatief beperkt zijn maar in het Rivierengebied kunnen oplopen tot één of lokaal twee orden van grootte. Verder is in Noord-Brabant buiten de beekdalen weerstand in de LHM-kaart te zien, die moet worden toegeschreven aan Pleistocene leemlagen die in deze studie niet zijn meegenomen.

De weerstanden in LHM 4.2 zijn niet-stationair gekalibreerd, waarbij de gebruikte K-waarden voor de Holocene afzettingen voor een belangrijk deel ontleend zijn aan de al eerder genoemde regionale (niet openbaar uitgegeven) toepassingen van REGIS II (Hunink e.a., 2020). De voor de huidige studie gebruikte K_{eff} -waarden komen voor een aantal eenheden lager uit dan deze op REGIS II gebaseerde waarden. Dit is een belangrijke oorzaak van de verschillen tussen beide kaarten.

De kalibratie van LHM is vervolgens uitgevoerd in deelmodellen van 10 x 10 km². Aanpassingsfactoren verschillen tussen de deelmodellen, en daarom zijn in de LHM v4.2 kaart hier en daar scherpe grenzen (sprongen) zichtbaar tussen verschillende 10 x 10 km vakken.



Figuur 3.4: Opgeschaalde hydraulische weerstand van de Holocene deklaag, 300x300 m.



Figuur 3.5: Hydraulische weerstand van modellaag 1 in het Landelijk Hydrologisch Model versie 4.2 (Janssen e.a., 2022).

Onderstaande tabel geeft de verschillen tussen gebruikte K_v -waarden weer voor enkele voorbeelden. De verschillen zijn het grootst voor het Hollandveen (veen), de Formatie van Echteld (klei in komgebieden) en de Laag van Wijchen (klei), wat ook verklaart waarom de verschillen tussen beide kaarten in het Rivierengebied het grootst zijn. De verschillen tussen beide kaarten zijn dus voor een belangrijk deel terug te voeren op de K_v -waarden die als uitgangspunt zijn gehanteerd. Daarbij komen nog twee andere factoren, namelijk (1) de begravingstiepte-regel waardoor diep liggend Hollandveen als Basisveen wordt behandeld, en (2) het feit dat in deze studie het Basisveen standaard minimaal 0,5 m (één voxelhoogte) dik is, waar voor LHM v4.2 en het Zeeland model de dikte van het Basisveen is ontleend aan het niet in stappen van 0,5 m gediscrètiseerde geologische lagenmodel.

Tabel 3.1: Vergelijking tussen opgeschaalde K_v -waarden als uitgangspunt voor deze studie en LHM versie 4.2.

Strat-lithoklasse	Opgeschaalde K_v (m/d), deze studie	Opgeschaalde K_v (m/d), LHM versie 4.2
Basisveen, veen	0,00011	0,0004
Hollandveen, veen	0,00057	0,25
F v Echteld, klei/kleig zand (komgebieden)	$9,5 \times 10^{-5}$	0,0046 (klei) 0,04 (kleig zand)
F v Echteld, klei/kleig zand (oever- en crevasse)	0,01	0,0046 (klei) 0,04 (kleig zand)
F v Kreftenheye, Laag van Wijchen, klei	$3,16 \times 10^{-5}$	0,0046

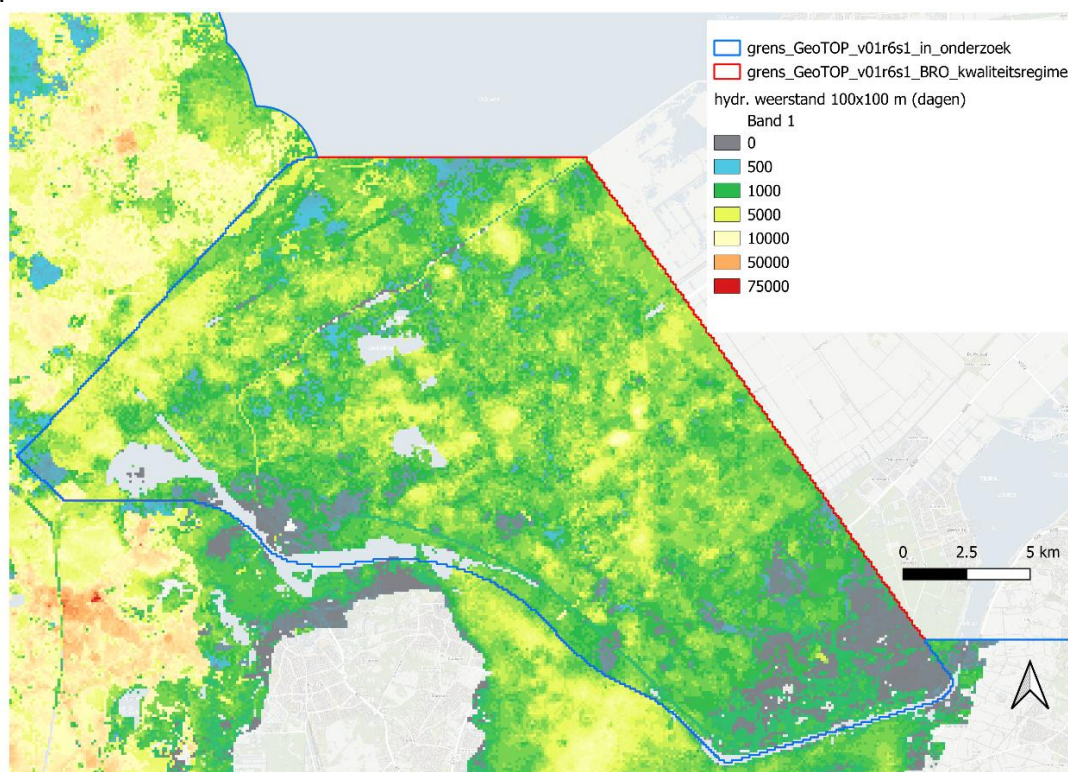
3.3 Vergelijking met deklaagweerstand Zuidelijk Flevoland

Inmiddels is een recentere versie van LHM gepubliceerd, versie 4.3.3 (Janssen e.a., 2025). Voor wat betreft de weerstand van de Holocene deklaag zijn in versie 4.3.3. ten opzichte van versie 4.2 wijzigingen doorgevoerd in het IJsselmeergebied. Het bronbestand daarvan is vervaardigd door TNO-GDN, met een resolutie van 100 x 100 m (Gunnink, 2021). Het gebied waarin deze wijzigingen zijn doorgevoerd overlapt voor een klein deel met het GeoTOP-gebied, namelijk in Zuidelijk Flevoland. Voor dit gebied is een aparte vergelijking gemaakt tussen de in deze studie opgeschaalde weerstand (100 x 100 m) en het genoemde bronbestand van de deklaagweerstand volgens Gunnink (2021).

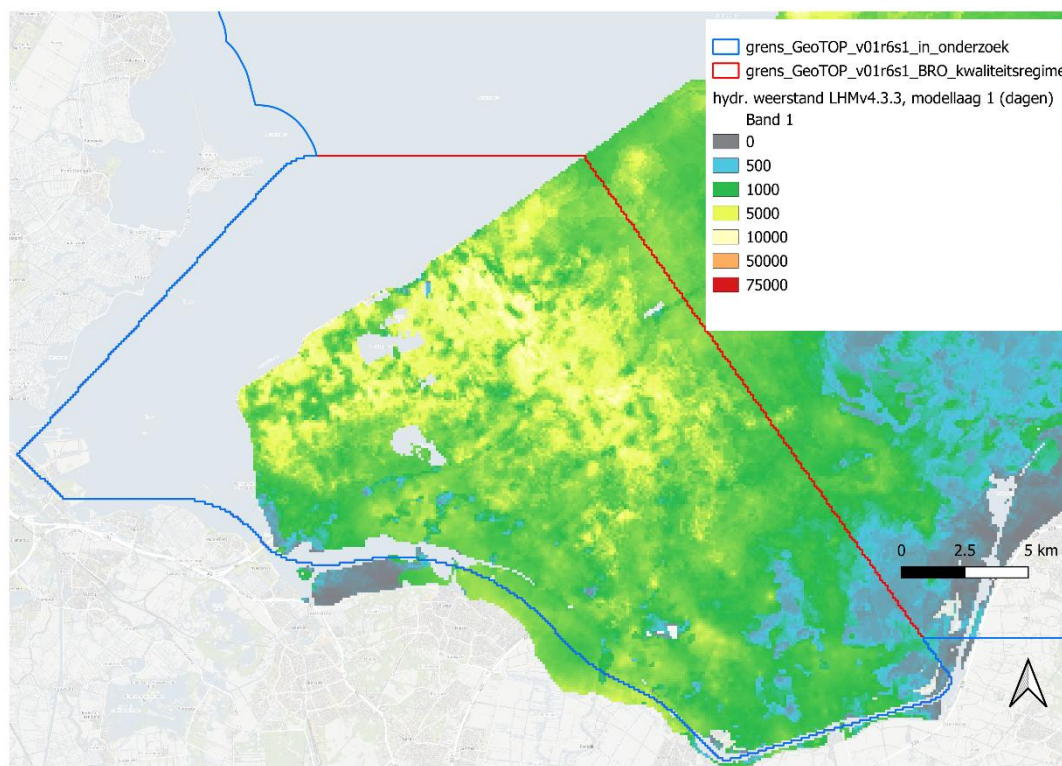
Beide kaarten zijn weergegeven in Figuur 3.6 (de 100x100 m kaart uit deze studie) en Figuur 3.7 Figuur 3.5 (de deklaagweerstand volgens Gunnink, 2021).

Gemiddeld genomen liggen beide deklaagweerstand in dezelfde orde van grootte (enkele duizenden dagen), met in beide kaarten ook zones met relatief lage weerstanden langs het Nijkerker- en Nuldernauw en tegenover Muiderberg. Wel geeft het gebied rond Almere Buiten structureel wat lagere deklaagweerstand in deze studie te zien dan in de deklaagweerstand volgens Gunnink (2021). De oorzaken van deze verschillen zijn niet expliciet onderzocht, maar kunnen waarschijnlijk worden toegeschreven aan het feit dat beide kaarten gebaseerd zijn op verschillende ondergrondmodellen. Bij het maken van de

deklaagweerstandskaat voor het IJsselmeergebied in 2020/21 bestond het GeoTOP-model voor Almere (Stafleu e.a., 2023) nog niet. Daarnaast hebben de in paragraaf 2.2.2 besproken aanpassingen in K_{eff} -waarden per strat-lithocombinatie mogelijk ook een aandeel in de verschillen.



Figuur 3.6: Opgeschaalde hydraulische weerstand van de Holocene deklaag, 100x100 m.



Figuur 3.7: Hydraulische weerstand Flevopolders (Gunnink, 2021), verwerkt in modellaag 1 van het Landelijk Hydrologisch Model versie 4.3.3 (Janssen e.a., 2025). Weergegeven is het originele grid met een resolutie van 100 x 100 m.

3.4 Discussie

In paragraaf 1.3.3 is uitgelegd dat voor alle strat-lithoklasse combinaties die in GeoTOP kunnen voorkomen één waarde voor K_{eff} wordt bepaald op basis van simulaties van 50 doorlatendheidsverdelingen met een grondwaterstromingsmodel. Daarbij kan het voorkomen dat in een deel van deze 50 realisaties een aaneengesloten opeenvolging van zandige subvoxels van de top naar de basis van de voxel ontstaat, leidend tot kortsluitstroming door een preferent stroompad, maar in een ander deel van de realisaties niet. Dit leidt dan tot een bimodale verdeling van de 50 $K_{eff,model}$ -waarden. Bij het bepalen van de gemiddelde K_{eff} voor alle voxels van dezelfde strat-lithoklasse, wordt dan de kans dat een voxel een hoge doorlatendheid krijgt onderschat. Dit kan leiden tot een overschatting van de deklaagweerstand.

Het bovenstaande kan in principe verholpen worden door niet één gemiddelde K_{eff} -waarde aan alle voxels van dezelfde strat-lithoklasse in GeoTOP toe te kennen, maar per voxel een trekking te doen uit de 50 (of meer indien nodig) gesimuleerde $K_{eff,model}$ -waarden. Tot dusver is dit nog niet toegepast vanwege het grote aantal GeoTOP-voxels (10.000 voxels per km² bij een einddiepte van 50 m) en de grote rekenlast die het tot gevolg zou hebben.

Een ander aandachtspunt betreft horizontale correlatielengten die groter zijn dan de voxel. Deze zullen altijd leiden tot horizontaal doorlopende zand- of kleilagen, waarbij dan geen verschil is te maken tussen een correlatielengte van 100 m of een oneindige correlatielengte.

In werkelijkheid zal een kleilaag altijd ergens onderbroken worden. De nu toegepaste los gegenereerde realisaties per 100 m kunnen daarmee leiden tot een onderschatting van de effectieve doorlatendheid en een overschatting van de deklaagweerstand. Momenteel wordt gewerkt aan een oplossing waarbij een veel groter gebied dan een voxel wordt gesimuleerd, die vervolgens wordt opgeknipt in voxels van 100 m.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

In het kader van deze studie is een verzameling kaarten van de hydraulische weerstand van de Holocene deklaag voor verschillende gebiedsgrootten geconstrueerd door middel van opschaling van de GeoTOP-voxelschaal naar de gebruiksschaal (de gehele deklaag).

De kaarten laten weerstanden zien variërend van 0 - 5000 dagen in de kustgebieden van Noord- en Zuidwest-Nederland tot tienduizenden en lokaal meer dan 100 000 dagen in het westen van het Rivierengebied en het Rijnmondgebied. Met name in de laatstgenoemde gebieden zijn de weerstanden ook veel hoger dan de weerstanden van modell laag 1 van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM versie 4.2). Deze verschillen zijn voor een belangrijk deel terug te voeren op verschillende uitgangspunten voor K_{eff} -waarden. Dit geldt vooral ook weer voor eenheden die veel voorkomen in het Rivierengebied, namelijk het Hollandveen waar dit diep begraven ligt, de Formatie van Echteld (klei in komgebieden) en de Laag van Wijchen (leem en klei).

De deklaagweerstanden in het IJsselmeergebied volgens Gunnink (2021), die zijn gebruikt in LHM versie 4.3.3., liggen wel in dezelfde orde van grootte als de voor deze studie afgeleide deklaagweerstanden in Zuidelijk Flevoland, het gebied waarvoor beide bestanden konden worden vergeleken.

De gebruikte K_{eff} -waarden zijn het resultaat van voortschrijdend inzicht, verkregen door complexe opschaling en daarbij gebruik makend van recente meetgegevens uit het boor- en meetprogramma TopIntegraal. De doorlatendheden op monsterschaal zijn voor de genoemde eenheden in het Rivierengebied over het algemeen zeer laag (lager dan 0,0001 m/d). Het is daarbij aannemelijk dat de afzettingen in deze eenheden een behoorlijk continue verbreiding hebben, en dat kortsluitstroming door de deklaag geen grote rol speelt op een ruimtelijke schaal van 100 x 100 m. De toename in doorlatendheid van monster- naar voxelschaal blijft daardoor beperkt.

In het algemeen geldt wel dat twee elementen in de nu toegepaste methode van complexe opschaling kunnen leiden tot een overschatting van de deklaagweerstand. Dit zijn (1) de toekenning van één gemiddelde K_{eff} aan alle voxels van dezelfde strat-lithoklasse, en (2) situaties waarbij de horizontale correlatielengte groter is dan de voxelschaal.

4.2 Gebruik van de opgeschaalde deklaagweerstand

De in deze studie geproduceerde kaarten van de hydraulische weerstand van de Holocene deklaag worden als beta-versie ter beschikking gesteld. De gebruiker van de kaarten wordt aangeraden om in alle gevallen ook andere informatiebronnen te gebruiken, zoals de genoemde LHM v4.2, en relevante regionale grondwatermodellen. Uiteraard nodigt TNO-GDN de gebruiker ook uit om de ervaringen met het gebruik van de kaarten terug te melden met het oog op toekomstige verbeteringen.

4.3 Aanbevelingen voor nader onderzoek

In eerdere paragrafen zijn punten voor verfijning of verbetering van de opschaling van voxelschaal naar gebruiksschaal genoemd. Onderstaand worden deze nog eens benoemd:

- De relatie tussen begravingsdiepte en K_v van venen kan worden verbeterd, door bijvoorbeeld een exponentiële relatie tussen monsterdiepte en $\ln K_v$ af te leiden. Om deze relatie optimaal mee te nemen in de parametrisering is een gedetailleerdere analyse nodig en mogelijk ook aanvullende gegevens.
- In klei- en kleilig zand voxels in geulen behorende tot de Formatie van Echteld is de initiële K_{eff} -waarde verhoogd, inclusief een buffer van 100 meter daaromheen. Als alternatief voor deze buffer zou gebruik gemaakt kunnen worden van de kans op klei en kleilig zand, attributen die standaard worden meegegeven aan voxels in de GeoTOP-modellen.
- Voor het geparametriseerde GeoTOP-model van Zeeland (Stafleu & Gunnink, 2016) is voor de weerstand van de Basisveen Laag uitgegaan van de dikte van die eenheid in het geologische GeoTOP-lagenmodel. In deze studie is deze dikte om pragmatische redenen gediscrèteerd naar de voxelhoogte, waardoor de Basisveendikte altijd minimaal 0,5 m is. Bij een toekomstige aanpassing wordt aanbevolen om de dikte van de Basisveen Laag alsnog te baseren op het lagenmodel.
- Een praktisch werkbare methode ontwikkelen om in plaats van per strat-lithoklasse één gemiddelde K_{eff} -waarde te gebruiken, de informatie uit alle 50 $K_{eff,model}$ -waarden te benutten.
- Momenteel wordt gewerkt aan een oplossing waarbij een veel groter gebied dan een voxel wordt gesimuleerd, die vervolgens wordt opgeknipt in voxels van 100 m.
- Voor een vollediger beoordeling van de opgeschaalde deklaagweerstand zijn inzichten vanuit regionale grondwatermodellen nodig.

5 Referenties

Gunnink, J. (2021). Deklaagweerstand Flevopolders. TNO-rapport TNO 2021-R10844.

Hunink, J., van Walsum, P., Vermeulen, P., Pouwels, J., Bootsma, H., Janssen, G., Swierstra, W., Prinsen, G., Meshgi, A., Veldhuizen, A., de Lange, W., Hummelman, J., Bos – Burgering, L. & Kroon, T. (2020). Veranderingsrapportage LHM 4.0. Deltares rapport 11203718-000-BGS-0002, Utrecht.

Janssen, G., van Walsum, P., Vermeulen, P., Pouwels, J., van der Gaast, J., Meshgi, A., Amerika, I., Hunink, J., Prinsen, G. & Kroon, T. (2022). Veranderingsrapportage LHM 4.2. Deltares rapport 11206816-001-BGS-0002, Utrecht.

Janssen, G., Vermeulen, P., van Walsum, P., Prinsen, G., Horta Nogueira, E.G., Verkaik, J., Delsman, J., Kok, H., Leander, R., Klapwijk, E., Meeusen, R. & Kroon, T. (2025). Veranderingsrapportage LHM 4.3.3. De nieuwe release van het Landelijk Hydrologisch Model in het voorjaar van 2025. Deltares rapport 11211537-001-BGS-0002, Utrecht.

Stafleu, J. en J.L. Gunnink (2016). Hydraulische parameterisering van GeoTop Zeeland. TNO-rapport 2016 R11068, 74 pp.

Stafleu, J., Lourens, A., Gunnink, J.L., Hoving, A.L., Heer, E. de (2021). Hydraulische parameterisering GeoTOP Noord-Brabant en Noord- en Midden-Limburg, TNO-rapport TNO 2021 R12658, TNO Geologische Dienst Nederland, Utrecht, 23 december 2021.

Stafleu, J., Reindersma, R., Bruijn, R. de, Kars, R., Schokker, J., Menkovic, A., Ven, T. van der, Heerema, C. & Koster, K. (2023). Totstandkomingsrapport GeoTOP aanvullingen bij versie v1.6. TNO-rapport TNO 2023 R11636.

Tran, T.T. (1996). The missing scale and direct simulation of block effective properties. Journal of Hydrology 183, 37-56, DOI: 10.1016/S0022-1694(96)80033-3.

Vermeulen, P.T.M., Linden, W. van der en Minnema, B., 2014. iMOD Manual and Technical Documentation. Verkrijgbaar via <https://oss.deltares.nl/web/imod/>.

Vernes, R.W., Hummelman, H.J. en Menkovic, A. (2010). REGIS Zeeland, Deelrapport B: Hydrogeologische opbouw en hydraulische eigenschappen van Holocene afzettingen. TNO, Rapport 034-UT-2010-01647/A, 74 p. Op aanvraag verkrijgbaar via info@dinoloket.nl.

6 Ondertekening

Utrecht, april 2026

ValidSigned door Martijn van Leer
op 23-07-2026

M.D. van Leer MSc (TNO-GDN)
(Tweede lezer)

Autorisatie Vrijgave:

Utrecht, april 2026

ValidSigned door Jelle Buma
op 23-07-2026

J.T. Buma (TNO-GDN)
Auteur

Utrecht, april 2026

ValidSigned door annemiek asschert
op 23-07-2026

A. Asschert MSc (TNO-GDN)
Research Manager

Bijlage A

Initiële opgeschaalde Kv-waarden

Voor een toelichting op de naamgeving van de eenheden zie de [Stratigrafische Nomenclator](#) en de [Toelichting bij Naamgevingsreleases DGM, REGIS II en GeoTOP](#).

Eenheid	Lithoklasse	kh (m/d)	kv (m/d)	Bron_kh	Bron_kv
NUBEOM	veen	0,049	0,049	REGIS II	REGIS II
NUBEOMga	veen	0,049	0,049	Kopie NUBEOM	Kopie NUBEOM
NUBEWY	veen	0,049	0,049	Kopie NUKRWY	Kopie NUKRWY
NUBXS1	veen	0,049	0,049	REGIS II	REGIS II
NUEC1	veen	0,005530065	6,64E-05	Kopie NUEC2	Kopie NUEC2
NUEC2	veen	0,005530065	6,64E-05	Complex	Complex
NUECga	veen	0,005530065	6,64E-05	Kopie NUEC2	Kopie NUEC2
NUECgb	veen	0,005530065	6,64E-05	Kopie NUEC2	Kopie NUEC2
NUECgc	veen	0,005530065	6,64E-05	Kopie NUEC2	Kopie NUEC2
NUECgd	veen	0,005530065	6,64E-05	Kopie NUEC2	Kopie NUEC2
NUECge	veen	0,005530065	6,64E-05	Kopie NUEC2	Kopie NUEC2
NUKRWY	veen	0,049	0,049	REGIS II	REGIS II
NUNAWA2	veen	0,000313921	6,33E-05	Complex	Complex
NUNAWAga	veen	0,000313921	6,33E-05	Kopie NUNAWA2	Kopie NUNAWA2
NUNAWAgb	veen	0,000313921	6,33E-05	Kopie NUNAWA2	Kopie NUNAWA2

NUNAWO	veen	0,00011156	2,35E-05	Complex	Complex
NUNAWO en NUNAWA	veen			none	none
NUNIBA	veen	0,000872275	0,000109995	Complex	Complex
NUNIGR	veen	0,000978952	0,000247176	Complex	Complex
NUNIHO	veen	0,001777912	0,000423476	Complex	Complex
NUNWNZ	veen	0,00011156	2,35E-05	Kopie NUNAWO	Kopie NUNAWO
NUBEOM	klei	0,119350065	0,009418374	Complex	Complex
NUBEOMga	klei	0,119350065	0,009418374	Kopie NUBEOM	Kopie NUBEOM
NUBEWY	klei	0,010082063	3,16E-05	Kopie NUKRWY	Kopie NUKRWY
NUBXS1	klei	2,71972226	0,086644604	Complex	Complex
NUEC1	klei	0,252419402	9,48E-05	Kopie NUEC2	Kopie NUEC2
NUEC2	klei	0,252419402	9,48E-05	Complex	Complex
NUECga	klei	0,252419402	9,48E-05	Kopie NUEC2	Kopie NUEC2
NUECgb	klei	0,252419402	9,48E-05	Kopie NUEC2	Kopie NUEC2
NUECgc	klei	0,252419402	9,48E-05	Kopie NUEC2	Kopie NUEC2
NUECgd	klei	0,252419402	9,48E-05	Kopie NUEC2	Kopie NUEC2
NUECge	klei	0,252419402	9,48E-05	Kopie NUEC2	Kopie NUEC2
NUKRWY	klei	0,010082063	3,16E-05	Complex	Complex
NUNAWA2	klei	1,63693756	0,018171165	Kopie NUNAWO en NUNAWA	Kopie NUNAWO en NUNAWA
NUNAWAga	klei	1,63693756	0,018171165	Kopie NUNAWO en NUNAWA	Kopie NUNAWO en NUNAWA
NUNAWAgb	klei	1,63693756	0,018171165	Kopie NUNAWO en NUNAWA	Kopie NUNAWO en NUNAWA
NUNAWO	klei	1,63693756	0,018171165	Kopie NUNAWO en NUNAWA	Kopie NUNAWO en NUNAWA
NUNAWO en NUNAWA	klei	1,63693756	0,018171165	Complex	Complex
NUNIBA	klei	0,00291	0,00291	REGIS II	REGIS II
NUNIGR	klei			None	None

NUNIHO	klei	0,00349	0,00349	REGIS II	REGIS II
NUNWNZ	klei	1,63693756	0,018171165	Kopie NUNAWO en NUNAWA	Kopie NUNAWO en NUNAWA
NUBEOM	kleiig zand	0,119350065	0,02	REGIS II>Complex.k	REGIS II
NUBEOMga	kleiig zand	0,119350065	0,02	Kopie NUBEOM	Kopie NUBEOM
NUBEWY	kleiig zand	0,02	0,02	Kopie NUKRWY	Kopie NUKRWY
NUBXS1	kleiig zand	2,71972226	0,086644604	Complex	Complex
NUEC1	kleiig zand	0,252419402	9,48E-05	Kopie NUC2	Kopie NUC2
NUEC2	kleiig zand	0,252419402	9,48E-05	Complex	Complex
NUECga	kleiig zand	0,252419402	9,48E-05	Kopie NUC2	Kopie NUC2
NUECgb	kleiig zand	0,252419402	9,48E-05	Kopie NUC2	Kopie NUC2
NUECgc	kleiig zand	0,252419402	9,48E-05	Kopie NUC2	Kopie NUC2
NUECgd	kleiig zand	0,252419402	9,48E-05	Kopie NUC2	Kopie NUC2
NUECge	kleiig zand	0,252419402	9,48E-05	Kopie NUC2	Kopie NUC2
NUKRWY	kleiig zand	0,02	0,02	REGIS II	REGIS II
NUNAWA2	kleiig zand	1,63693756	0,018171165	Kopie NUNAWO en NUNAWA	Kopie NUNAWO en NUNAWA
NUNAWAga	kleiig zand	1,63693756	0,018171165	Kopie NUNAWO en NUNAWA	Kopie NUNAWO en NUNAWA
NUNAWAgb	kleiig zand	1,63693756	0,018171165	Kopie NUNAWO en NUNAWA	Kopie NUNAWO en NUNAWA
NUNAWO	kleiig zand	1,63693756	0,018171165	Kopie NUNAWO en NUNAWA	Kopie NUNAWO en NUNAWA
NUNAWO en NUNAWA	kleiig zand	1,63693756	0,018171165	Complex	Complex
NUNIBA	kleiig zand	0,0314	0,0314	REGIS II	REGIS II
NUNIGR	kleiig zand	0,04	0,04	REGIS II	REGIS II
NUNIHO	kleiig zand	0,0525	0,0525	REGIS II	REGIS II
NUNWNZ[1]	kleiig zand	1,63693756	0,018171165	Kopie NUNAWO en NUNAWA	Kopie NUNAWO en NUNAWA

[\[1\]](#)

NUNWNZ = combinatie van Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer en/of Laagpakket van Zandvoort

Bijlage B

Opgeschaalde Kv-waarden na aanpassing

Eenheid	lithoklasse	Kh (m/d)	Kv (m/d)	opm
NUBEOMga	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUECga	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWAga	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWOga	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUECgb	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUBEOM	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUBEWY	veen	0,049	0,049	
NUBHEC	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWAgb	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWOgb	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUBXSI	veen	0,049	0,049	
NUBXSI1	veen	0,049	0,049	
NUBXSI2	veen	0,049	0,049	
NUECgc	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWAgc	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWOgc	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUECgd	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWAgd	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWOgd	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUEC	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUECge	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWAge	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWOge	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUKK	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUKK1	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUKK2	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUKRWY	veen	0,049	0,049	
NUNA	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNASC	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWA	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWAAL	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0

NUNAWAZU	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWO	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWOBE	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWOVE	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAZA1	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAZA2	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNI	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNIBA	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNIFL	veen	0,005934	0,000571	indien diepte >10 m NIBA
NUNIGR	veen	0,000979	0,000247	
NUNIH0	veen	0,005934	0,000571	indien diepte >10 m NUNIBA
NUNINB	veen	0,005934	0,000571	indien diepte >10 m NUNIBA
NUNWNZ	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUEC1	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUNAWA1	veen	0,000872	0,00011	indien diepte <10m NUNIH0
NUBEOmga	klei	0,11935	0,009418	
NUECga	klei	0,252419	0,010863	
NUNAWAga	klei	1,636938	0,018171	
NUNAWOga	klei	1,636938	0,018171	
NUECgb	klei	0,252419	0,010863	
NUBEOm	klei	0,11935	0,009418	
NUBEWY	klei	0,0046	0,0046	
NUBHEC	klei	0,252419	0,010863	
NUNAWAga	klei	1,636938	0,018171	
NUNAWOga	klei	1,636938	0,018171	
NUBXSI	klei	2,719722	0,086645	
NUBXSI1	klei	2,719722	0,086645	
NUECgc	klei	0,252419	0,010863	
NUNAWAga	klei	1,636938	0,018171	
NUNAWOga	klei	1,636938	0,018171	
NUECgd	klei	0,252419	0,010863	
NUNAWAga	klei	1,636938	0,018171	
NUNAWOga	klei	1,636938	0,018171	
NUEC	klei	0,252419	9,48E-05	
NUECge	klei	0,252419	0,010863	
NUNAWAge	klei	1,636938	0,018171	
NUNAWOge	klei	1,636938	0,018171	
NUKK	klei	0,252419	9,48E-05	
NUKK1	klei	0,252419	9,48E-05	
NUKK2	klei	0,252419	9,48E-05	

NUKRWY	klei	0,010082	3,16E-05	
NUNA	klei	1,636938	0,018171	
NUNASC	klei	1,636938	0,018171	
NUNAWA	klei	1,636938	0,018171	
NUNAWAAL	klei	1,636938	0,018171	
NUNAWAZU	klei	1,636938	0,018171	
NUNAWO	klei	1,636938	0,018171	
NUNAWOBE	klei	1,636938	0,018171	
NUNAWOVE	klei	0,150545	0,000149	
NUNAZA1	klei	1,636938	0,018171	
NUNAZA2	klei	1,636938	0,018171	
NUNI	klei	0,00349	0,00349	
NUNIBA	klei	0,00291	0,00291	
NUNIFL	klei	0,00349	0,00349	
NUNIGR	klei	0,04	0,04	
NUNIHO	klei	0,00349	0,00349	
NUNINB	klei	0,00349	0,00349	
NUNWNZ	klei	1,636938	0,018171	
NUEC1	klei	0,252419	9,48E-05	
NUNAWA1	klei	1,636938	0,018171	
NUBEOMga	kleiig zand	0,11935	0,02	
NUECga	kleiig zand	0,252419	0,010863	
NUNAWAga	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUNAWOga	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUECgb	kleiig zand	0,252419	0,010863	
NUBEOM	kleiig zand	0,11935	0,02	
NUBEWY	kleiig zand	0,02	0,02	
NUBHEC	kleiig zand	0,252419	0,010863	
NUNAWAgb	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUNAWOgb	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUBXSI	kleiig zand	2,719722	0,086645	
NUBXSI1	kleiig zand	2,719722	0,086645	
NUECgc	kleiig zand	0,252419	0,010863	
NUNAWAgc	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUNAWOgc	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUECgd	kleiig zand	0,252419	0,010863	
NUNAWAgd	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUNAWOgd	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUEC	kleiig zand	0,252419	9,48E-05	
NUECge	kleiig zand	0,252419	0,010863	

NUNAWAge	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUNAWOge	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUKK	kleiig zand	0,252419	9,48E-05	
NUKK1	kleiig zand	0,252419	9,48E-05	
NUKK2	kleiig zand	0,252419	9,48E-05	
NUKRWY	kleiig zand	0,02	0,02	
NUNA	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUNASC	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUNAWA	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUNAWAAL	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUNAWAZU	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUNAWO	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUNAWOBE	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUNAWOVE	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUNAZA1	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUNAZA2	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUNI	kleiig zand	0,0525	0,0525	
NUNIBA	kleiig zand	0,0314	0,0314	
NUNIFL	kleiig zand	0,0525	0,0525	
NUNIGR	kleiig zand	0,04	0,04	
NUNIHO	kleiig zand	0,0525	0,0525	
NUNINB	kleiig zand	0,0525	0,0525	
NUNWNZ	kleiig zand	1,636938	0,018171	
NUEC1	kleiig zand	0,252419	9,48E-05	
NUNAWA1	kleiig zand	1,636938	0,018171	

Energy & Materials Transition

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl