

De grond onder onze voeten

De Basis Registratie
Ondergrond als de
hoeksteen voor de
Digitale Tweeling

Inhoudsopgave

Inleiding
Basisregistratie
Ondergrond

- 1 De energietransitie
- 2 Lekdijk
- 3 Kabels en leidingen
- 4 Had de BRO verschil kunnen maken?
- 5 Klimaat
- 6 De BRO en Digital Twins
- 7 Zuidasdok

Slot

Voorwoord

De Basisregistratie Ondergrond (BRO) is tot stand gekomen. Het is geen wensgedachte of abstracte theorie. Wat begon als één enkele praktijkproef, is inmiddels uitgegroeid tot een kaart van Nederland vol treffende voorbeelden. Partijen trokken samen op om hun ingewikkelde vraagstukken op te lossen met behulp van data uit de ondergrond. En inmiddels beschikken we over de BRO als een centrale registratie met publieke gegevens over de Nederlandse ondergrond.



In deze uitgave laten we zien hoe we dankzij onze kennis van de ondergrond betere beslissingen nemen. Het gaat hier om de grote thema's: klimaatadaptatie, de energietransitie, bouw en infrastructuur en kabels en leidingen in Nederland. Er ligt nu een nieuwe basisregistratie waar we mee aan de slag kunnen.

Natuurlijk maken we al langer kaarten. Dat doen we al eeuwenlang! Kijken we sec naar de geschiedenis van digitale kaartontwikkelingen, dan is het goed om terug te blikken. De Nieuwe Kaart van Nederland werd in 1997 gelanceerd. Dat was een website van het toenmalige NIROV en het Ministerie van VROM. Deze site toonde lokale en kleinschalige plannen van verschillende overheden die vooral gericht waren op de woningbouw. Voor het eerst was het mogelijk om vanuit een landelijk kaartbeeld in te zoomen op regionale uitsneden. In 2010 werd dit initiatief door het toenmalige ministerie wegens geldgebrek stopgezet. Er zijn diverse pogingen om deze basiskaart een nieuw leven in te blazen.

De wereld stond erna niet stil. De 3D-revolutie zorgde ervoor dat de kaart het uiterlijk kreeg van een model van de werkelijkheid. Noem het de Digital Twin. Een digitale weergave van de fysieke werkelijkheid die is gebaseerd op heel veel data, op modellen die de processen beschrijven en visualisaties die ons nog dichter bij de werkelijkheid brengen. De Digital Twin als de nieuwe digitale infrastructuur van ons land. De ontwikkelingen om data te delen zowel binnen als tussen organisaties is geen makkelijke stap, maar wel een noodzakelijke. Het Digitaal Stelsel Omgevingswet sluit hier naadloos op aan.

In de aanloop van de BRO is er geweldig pionierswerk verricht. Door samenwerking tussen ingenieursbureaus, TNO/ Geologische Dienst, het Kadaster en talloze overheidsinitiatieven die samen leidden tot deze nieuwe basisregistratie. Met de Basisregistratie Ondergrond is het mogelijk geworden om vanuit een eenduidig landelijk beeld in te zoomen op de vele gegevens over onze ondergrond. De Digital Twin van Nederland krijgt hiermee een volledig vernieuwd fundament.

Prof. dr. Henk Scholten

Inleiding Basisregistratie Ondergrond

Dankzij de Wet Basisregistratie Ondergrond zijn alle publieke gegevens van de Nederlandse ondergrond toegankelijk via een loket, het BRO-loket. Of het nu gaat om de grondsoort of de grondwaterstand, alle gegevens over de Nederlandse ondergrond staan op één plek bij elkaar. Via het digitale loket kan iedereen erbij. De gegevens in de BRO zijn afkomstig van bronhouders, zoals gemeenten, provincies, waterschappen, het ministerie van Economische Zaken (EZ) en Rijkswaterstaat. Het vullen van de BR begon in 2017.

NEDERLANDSE ONDERGROND DATA: EEN GOUDMIJN

Met de Wet Opsporing Delfstoffen uit 1967 kregen opsporingsorganisaties de verplichting hun gegevens over de Nederlandse ondergrond en de bereikte resultaten aan te leveren de overheidsdiensten Staatstoezicht op de Mijnen en de toenmalige Rijks Geologische Dienst. Die verplichting bleek een vooruitziend blik van de toenmalige wetgevers. Nu, ruim vijftig jaar later, plukt Nederland hier de vruchten van. Er is een enorme hoeveelheid ondergrondgegevens verzameld onder de Mijnbouwwet.

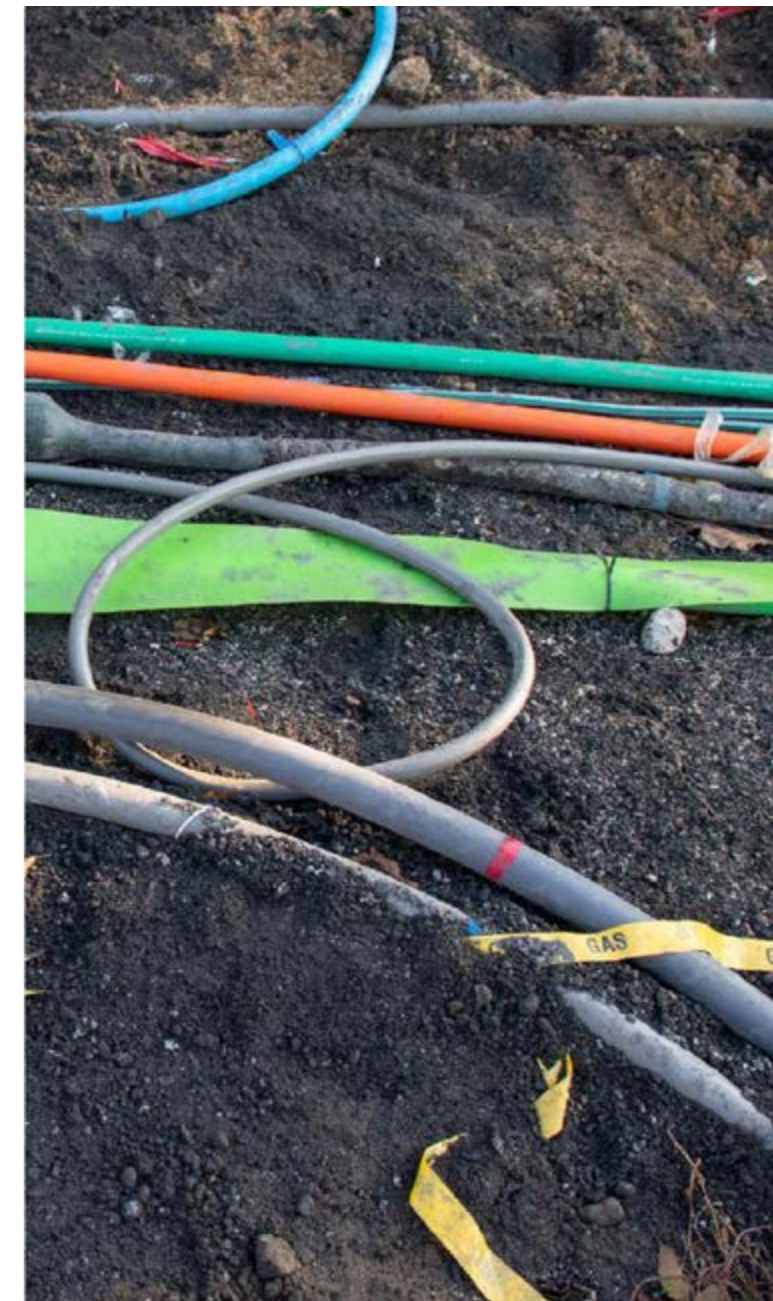


BASISREGISTRATIEONDERGROND

Vandaag de dag wordt nog veel omvangrijkere data over de ondergrond verzameld. Dit gebeurt sinds 1 januari 2018 onder de Wet Basisregistratie Ondergrond. Omdat het steeds drukker wordt in onze bodem en ondergrond is goed beleid en beheer belangrijk. Nederland is het eerste land ter wereld waar het in kaart brengen van de ondergrond wettelijk geregeld is. Er is onder meer vastgelegd dat bestuursorganen de wettelijke taak hebben om gegevens over de ondergrond aan te leveren en te gebruiken.

Openbare authentieke gegevens van de ondergrond worden opgeslagen en beschikbaar gesteld in de Basisregistratie Ondergrond (BRO). Daarmee wil de overheid de informatievoorziening over de ondergrond sterk verbeteren. Alle gegevens die publieke instellingen over de ondergrond genereren worden in de BRO opgenomen. Iedereen die in opdracht van de overheid werkt, moet verplicht gebruikmaken van de BRO. Er zullen steeds meer meetgegevens aan de BRO worden toegevoegd: de hoeveelheid data groeit continu.

De Basisregistratie Ondergrond (BRO) is een publieke centrale registratie met eenduidige, betrouwbare data en informatie over de Nederlandse ondergrond. Overheden leggen voor deze objecten dezelfde, betrouwbare, algemene gegevens vast. Vanuit één centrale digitale plek, de landelijke voorziening, kunnen gebruikers gegevens opvragen voor informatie over bodem en ondergrond.



WELKE ONDERGRONDGEGEVENS ZIJN NU OPENBAAR BESCHIKBAAR?

Als 'voorloper' van de BRO is DINO een belangrijke inspiratie geweest. DINO staat voor Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond van de Geologische Dienst Nederland (GDN), onderdeel van TNO. Via de website DINOloket kan iedereen alle gegevens die zijn opgeslagen in de DINO database gratis bekijken en aanvragen. Het gaat om gegevens uit boringen, sonderingen en grondwaterputten. In Nederland wordt op tal van plaatsen de stand en/of samenstelling van het grondwater gemeten. Deze dataset laat zien waar en wat er wordt gemeten. Het verschil tussen de BRO en het DINOloket is dat voor DINO per gegevenstype, samen met stakeholders het formaat en de inhoud van deze data zijn bepaald. Sommige DINO-data worden als XML-bestand geleverd; BROdata wordt standaard als XML-bestand geleverd.

SONDERINGEN

Het aantal sonderingen waarover we beschikken is vele malen groter dan het aantal boringen. Sonderingen geven informatie over de fysische eigenschappen van de ondergrond, zoals de draagkracht en samendrukbaarheid. Dat geeft indirect een beeld van de sedimenten waaruit de ondergrond bestaat. Om deze gegevens goed te kunnen interpreteren, zijn gegevens over de waterspiegel nodig.

BORINGEN

De BRO geeft toegang tot de gegevens van meer dan 425.000 boringen. De oudste boring dateert uit 1834, dagelijks komen er nieuwe bij. Bij iedere boring zit een beschrijving van de sedimenten waar doorheen geboord is, de zogenaamde boormonsterprofielen. De diepte van de boringen loopt uiteen van enkele meters (vaak 5 tot 7 meter), tot uitschieters met een diepte van tientallen tot zelfs honderden meters.

GEOTOP

Op basis van vele boringen heeft de Geologische Dienst Nederland het GeoTOP model ontwikkeld, een geologisch model van de ondergrond tot 50 meter onder NAP. Daarin wordt de ondergrond verdeeld in blokjes (zogenaamde voxels) van 100 bij 100 meter met een dikte van een halve meter. Aan elk blokje zijn geologische parameters gekoppeld, zoals de grondsoort (de lithologie), de stratigrafische eenheid en de modelonzekerheid. Voor heel Nederland gaat dat om honderden miljoenen blokjes. GeoTOP is voor iedereen beschikbaar. Het is belangrijk te realiseren dat GeoTOP een model is en geen absolute waarheid vertegenwoordigt. De voxels in GeoTOP geven de meest waarschijnlijke samenstelling van de ondergrond weer, op basis van de beschikbare gegevens en geologische kennis. Er moet dus altijd rekening worden gehouden met een bepaalde mate van onzekerheid bij gebruik van dit model.

DE OMGEVINGSWET EN DE BRO

In 2024 is de Omgevingswet in werking getreden. Hiermee wil de overheid niet alleen de regels voor ruimtelijke ontwikkeling vereenvoudigen, maar ook bewerkstelligen dat de verschillende aspecten van de fysieke leefomgeving in onderlinge samenhang worden ontwikkeld. Het Digitaal Stelsel Omgevingswet (DSO) is de 'informatiemotor' die de uitvoering van de Omgevingswet mogelijk maakt. Het DSO omvat o.a. tien zogeheten informatiehuizen die vanuit de verschillende beleidsvelden bruikbare data beschikbaar stellen. De BRO vormt het fundament van het Informatiehuis Bodem en Ondergrond. Integratie van boven- en ondergrondgegevens maakt een samenhangende benadering van de leefomgeving mogelijk: geen bovengrond zonder ondergrond...

SLAPPE BODEM

Een grotere hoeveelheid gegevens in een bepaald gebied leidt tot een zekerder beeld van de ondergrond. Voor elk GeoTOP blokje is berekend wat de kans is op klei, zand, veen, etcetera.



**Geen
bovengrond
zonder
ondergrond**

DATAROOM

Rijkswaterstaat doet bij verschillende projecten ervaring op met Digital Twins door het inrichten van datarooms. Deze vormen het startpunt voor de informatie-uitwisseling tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. Al voordat een opdrachtnemer het project uitvoert krijgt deze toegang tot de gegevens van de projectlocatie. Ook informatie over de toekomstige situatie wordt gedeeld, bijvoorbeeld de projectbegrenzing en de geometrische ontwerpen van de bouwwerken.

Met de dataroom worden de gegevens die Rijkswaterstaat uitwisselt met de opdrachtnemer gestandaardiseerd. Zo behoren communicatiefouten tot het verleden. Tot voor kort was de dataroom in feite enkel een digitale map gevuld met documenten. Sinds kort maakt Rijkswaterstaat gebruik van de BIM-modellen. De Dataroom is een webportaal waarbij projectdocumenten direct op de kaart gevisualiseerd kunnen worden.

Een dataroom bestaat uit drie onderdelen:

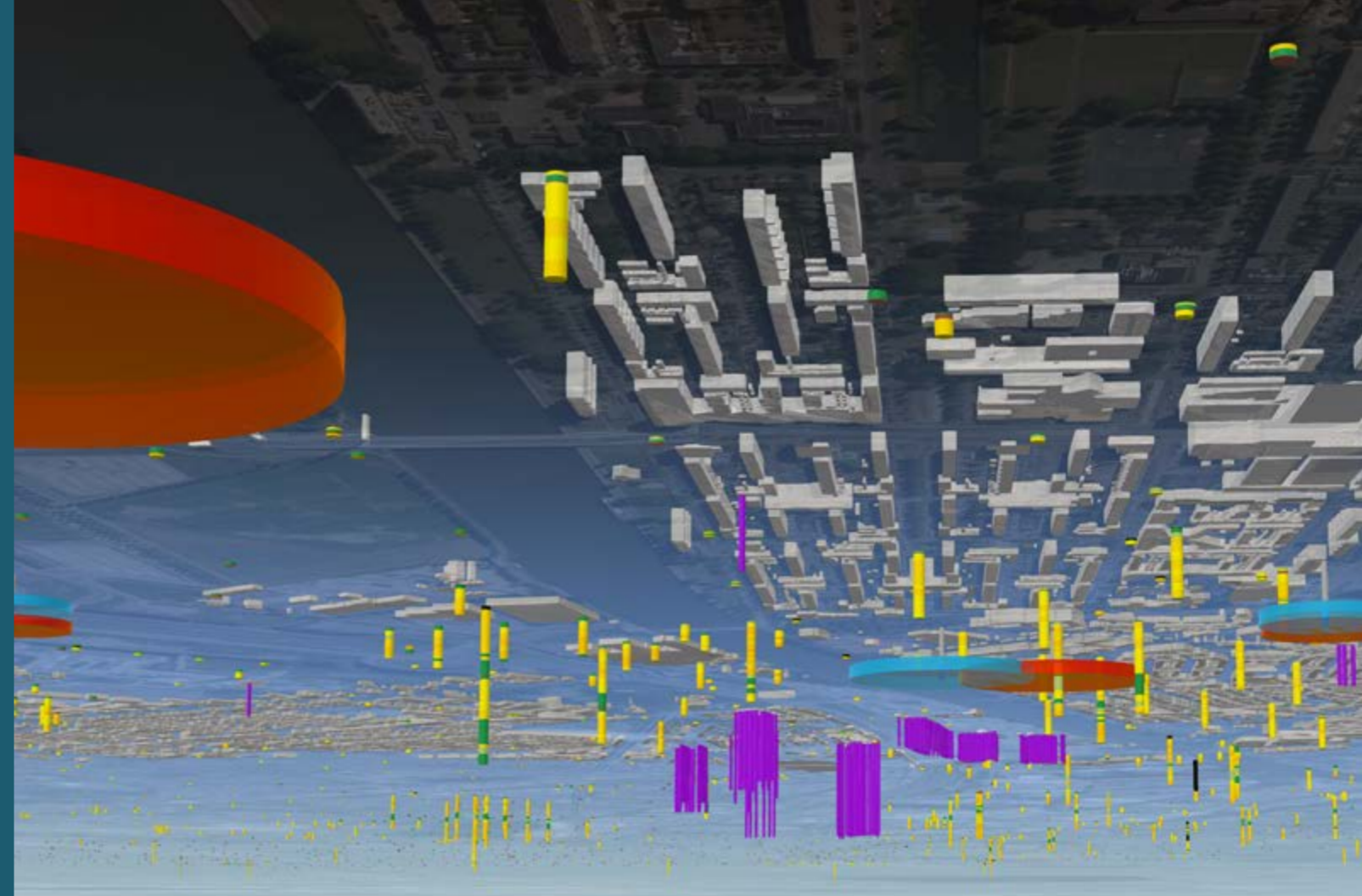
- 1** Een documenten-database, met documenten als rapporten, contracten en nota's.
- 2** Een BIM-database, met gestructureerde bouwwerkinformatie.
- 3** Een GIS-database, met basiskaarten en onderzoeksgegevens.



DYNAMISCHE DATA EN 3D

In een virtuele weergave van de werkelijkheid kunnen real-time dynamische data worden getoond. Zoals bijvoorbeeld meetgegevens over de luchtkwaliteit, de mate van geluidsoverlast, de verkeersintensiteit, grondwaterspiegels, verzakkingen, enzovoort. In een 3D-model van de ondergrond wordt het zicht belemmerd door andere ondergrond: de ondergrond bestaat uit aaneengesloten materialen. Met behulp van dwarsdoorsneden en virtuele boringen probeerde men de opbouw ervan te tonen. Dat zijn 2D-representaties waarvan de kijker zelf een 3D-beeld moest zien te maken. De huidige 3D-visualisatietechnieken brengen daar verandering in.

De Energietransitie



De energietransitie is één van de grote ruimtelijke ontwikkelingsvragen. Nederland gaat gestaag van het gas af. De warmtevoorziening in huidige en toekomstige woningen verschuift van gas naar warmtenetten en WKO's (Warmte-Koude Opslag) met warmtepompen. Koeling wordt in een opwarmend klimaat steeds belangrijker. In beide gevallen wordt hiervoor de ondergrond aangesproken. Zo vormt ook de Basisregistratie Ondergrond een belangrijke factor in de ontwikkelingen.

WKO's dragen bij aan de besparing van fossiele brandstoffen en minder uitstoot van CO₂. Met behulp van dit soort bodemenergiesystemen kunnen onder meer gebouwen, woningen, kassen en fabrieken op een duurzame manier worden verwarmd en gekoeld. Grondwater kan worden benut voor het opslaan van warmte of kou. Grondwater heeft van nature een temperatuur van ongeveer 11 tot 13 °C.

ENERGIE OPSLAAN IN DE BODEM

WKO's slaan 's zomers warmte op in de ondergrond en halen die 's winters omhoog om woningen te verwarmen. Andersom wordt de koelte 's winters in de ondergrond opgeslagen en in de zomer benut om woningen te koelen. Hiervoor bevinden zich in de ondergrond twee reservoirs/volumes: één met warm water en één met koud water. De vorming van deze reservoirs kan niet in elke ondergrond. Er mag niet te veel achtergrondstroming van grondwater zijn en de verschillende volumes mogen niet met elkaar interfereren. Bij de aanleg van warmtenetten moet er van de bron - met veelal restwarmte - en infrastructuur worden gerealiseerd die het warmteaanbod naar de vraag in woningen transporteert. De samenstelling van de ondergrond ter plekke (is er veen, klei of zand?) en de hoogte van de grondwaterspiegels zijn factoren om rekening mee te houden. Daarnaast bevinden zich al veel kabels en leidingen in de ondergrond. De aanleg van een warmtenet moet secuur worden ingepast.

RESTRICTIES EN GESCHIKTHEID VOOR DE AANLEG VAN WKO

Niet overal mag zomaar een WKO worden aangelegd. In de ondergrond bevinden zich strategische belangen, zoals onze drinkwatervoorraad. Die wordt beschermd met boringsvrije zones, waar niet dieper dan 50 meter geboord mag worden. Dat is vaak een diepte die aangesproken wordt voor een WKO. Naast bescherming van belangen moet de ondergrond zelf ook geschikt zijn, dat wil zeggen over potentie beschikken, WKO's te kunnen aanleggen. Hierbij spelen de doorlaatbaarheid, de porositeit en de achtergrondstroming van grondwater een rol.

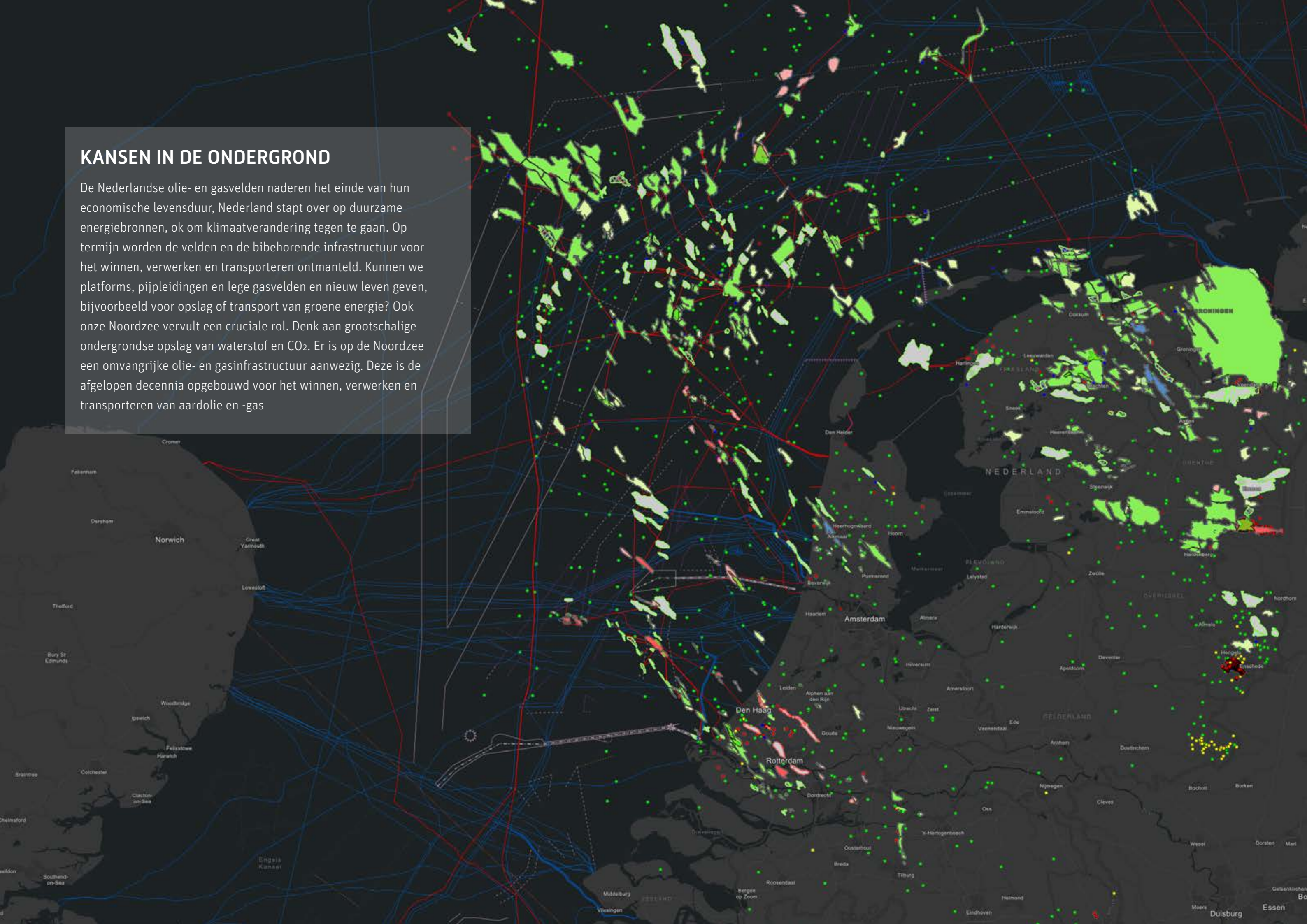
GEOOTHERMIE EN SEISMISCH ONDERZOEK

Geothermie of aardwarmte is in potentie een duurzame en rijke bron van warmte. De Geologische dienst Nederland van TNO heeft in de kaart hiernaast aangegeven waar zich in potentie winbare aardwarmte bevindt. Aanwezigheid en winning van geothermie stelt specifieke eisen aan de diepe ondergrond. Een consortium met daarin EBN, TNO en het ministerie van Economische Zaken voert momenteel onderzoek uit naar deze specifieke eisen. Dat gebeurt in seismisch onderzoek langs lijnen door het hele land. Bij seismisch onderzoek worden geluidsgolven de grond ingestuurd. De onderliggende structuren en aardlagen kaatsen de golven terug, waarna geofoons (grondmicrofoons) de signalen aan het aardoppervlak opvangen. Op grond van deze signalen kan de structuur van de ondergrond in kaart worden gebracht.



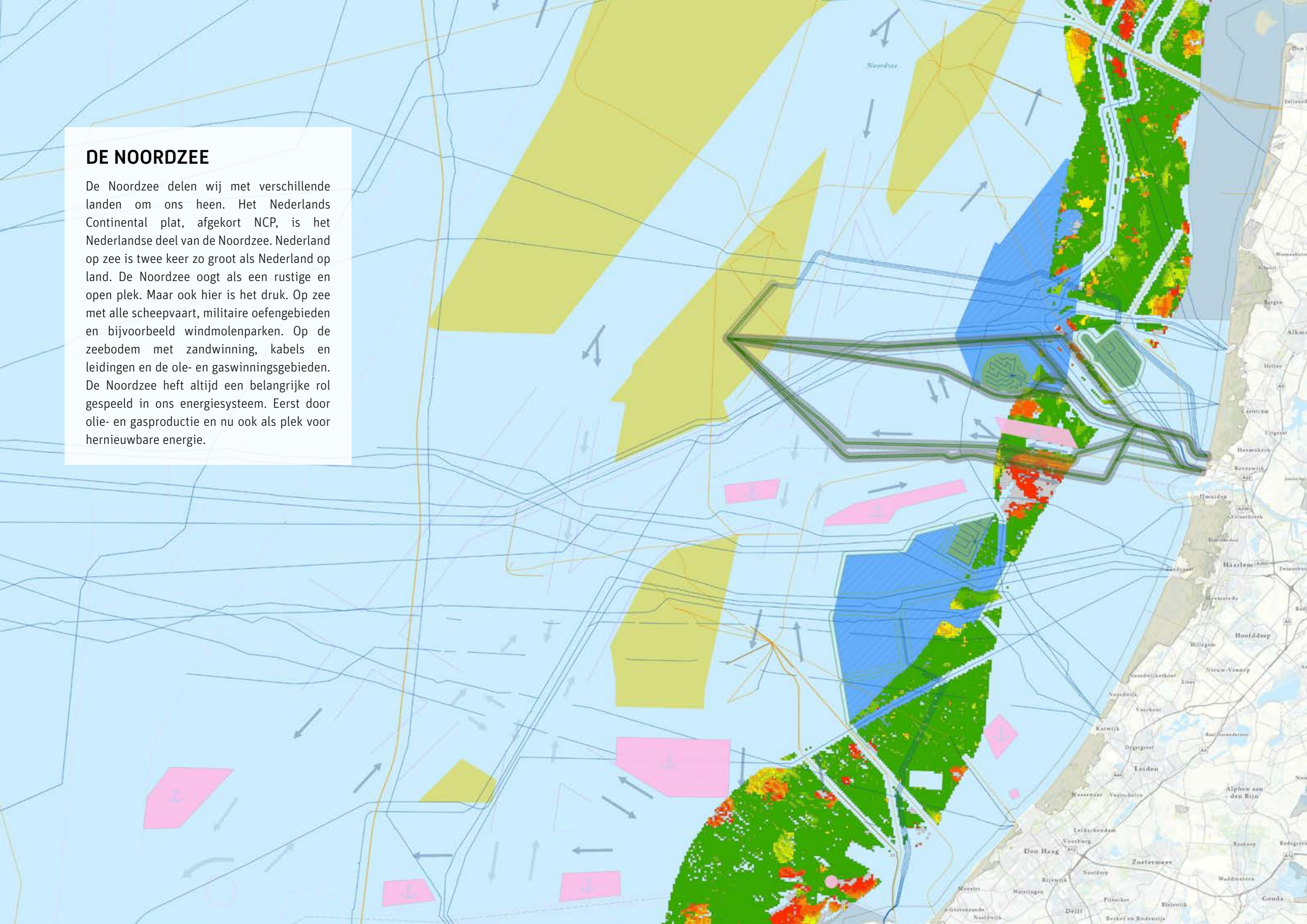
KANSEN IN DE ONDERGROND

De Nederlandse olie- en gasvelden naderen het einde van hun economische levensduur, Nederland stapt over op duurzame energiebronnen, om klimaatverandering tegen te gaan. Op termijn worden de velden en de bijbehorende infrastructuur voor het winnen, verwerken en transporteren ontmanteld. Kunnen we platforms, pijpleidingen en lege gasvelden een nieuw leven geven, bijvoorbeeld voor opslag of transport van groene energie? Ook onze Noordzee vervult een cruciale rol. Denk aan grootschalige ondergrondse opslag van waterstof en CO₂. Er is op de Noordzee een omvangrijke olie- en gasinfrastructuur aanwezig. Deze is de afgelopen decennia opgebouwd voor het winnen, verwerken en transporteren van aardolie en -gas



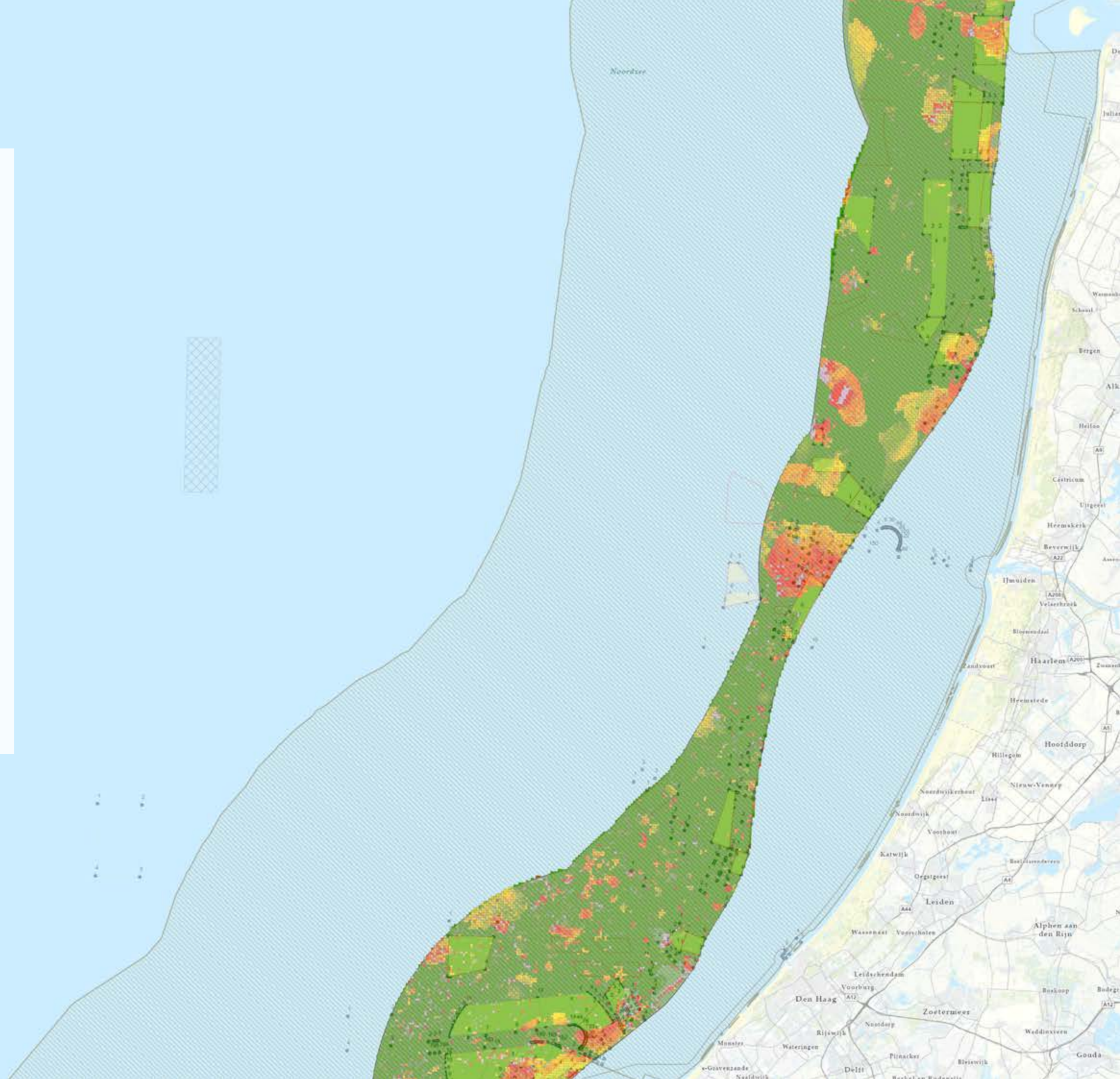
DE NOORDZEE

De Noordzee delen wij met verschillende landen om ons heen. Het Nederlands Continental plat, afgekort NCP, is het Nederlandse deel van de Noordzee. Nederland op zee is twee keer zo groot als Nederland op land. De Noordzee oogt als een rustige en open plek. Maar ook hier is het druk. Op zee met alle scheepvaart, militaire oefengebieden en bijvoorbeeld windmolenparken. Op de zeebodem met zandwinning, kabels en leidingen en de olie- en gaswinningsgebieden. De Noordzee heft altijd een belangrijke rol gespeeld in ons energiesysteem. Eerst door olie- en gasproductie en nu ook als plek voor hernieuwbare energie.



NOORDZEE IN DE TOEKOMST

Met alle ontwikkelingen, nu en in de toekomst, krijgt de Noordzee er steeds meer gebruiksfuncties bij. Die gaan niet altijd met elkaar samen. Dus moeten de verschillende belangen goed tegen elkaar worden afgewogen. De Noordzee Gebiedsagenda 2050 legt verbinding tussen toekomstige kansen van de Noordzee en de bestaande ontwikkelingen en opgaven. Denk daarbij aan zandwinning, de grootschalige productie van windenergie, waterstof en ondergrondse opslag van CO₂ waarbij slim gebruik wordt gemaakt van de bestaande olie- en gasinfrastructuur. Het eigenaarschap op de Noordzee wordt steeds belangrijker nu het er steeds drukker wordt. Om dit te borgen zijn tussen het Rijk en alle betrokken partijen afspraken gemaakt. Deze zijn vastgelegd in het Noordzee Akkoord. Dit akkoord omvat de afspraken tussen het Rijk en betrokken partijen over keuzes en beleid gericht op de balans in activiteiten op de Noordzee tot en met 2030 en daarna. Het programma BRO onderzoekt dit samen met Rijkswaterstaat Zee en Delta en betrok daarbij experts van Arcadis, Geodan en GEOCAP.



MIJNBOUWGEGEVENS IN DE BRO

In de BRO worden ook de basisgegevens opgenomen die onder de verplichting vallen van de Mijnbouwwet. Hieronder vallen onze bestaansbronnen die dieper liggen dan 500 meter onder het oppervlak. Denk aan olie, gas, zout, steenkool en aardwarmte. Van dat laatste, ok wel geothermie genoemd, gaan we steeds meer gebruik maken. Op 1000-4000 meter onder de grond ligt de temperatuur tussen de 100-120 graden °C. Hiermee zouden we grote woonwijken kunnen verwarmen. Ok benutten we de ondergrond steeds meer voor opslag van materialen, zoals CO₂-opslag in lege gasvelden onder de Noordzee. De BRO registreert aan mijnbouwgegevens alleen de Mijnbouwvergunningen en de Mijnbouwconstructie.

De essentie is dat de Basisregistratie Ondergrond en antwoord geeft op de vraag 'wat ligt waar', aangevuld met gegevens die voldoende duiding geven aan de vergunning of aan de mijnbouwconstructie. Meer details kunnen gehaald worden uit de bestaande informatiesystemen, zoals NOG. Mijnbouwactiviteiten kunnen gevolgen hebben voor werken in de ondergrond (veiligheid en bodembeweging), andere vergunningen en verkenningen en planstudies. Het belang van actuele mijnbouwgegevens wordt nu weer extra benadrukt. Bestaande mijnbouwwerken worden namelijk in de toekomst ontmanteld of hergebruikt voor andere toepassingen. Hoe weten we zonder actuele en betrouwbare gegevens straks nog waar ontmantelde putten zich bevinden?

KOSTEN ONTMANTELEN

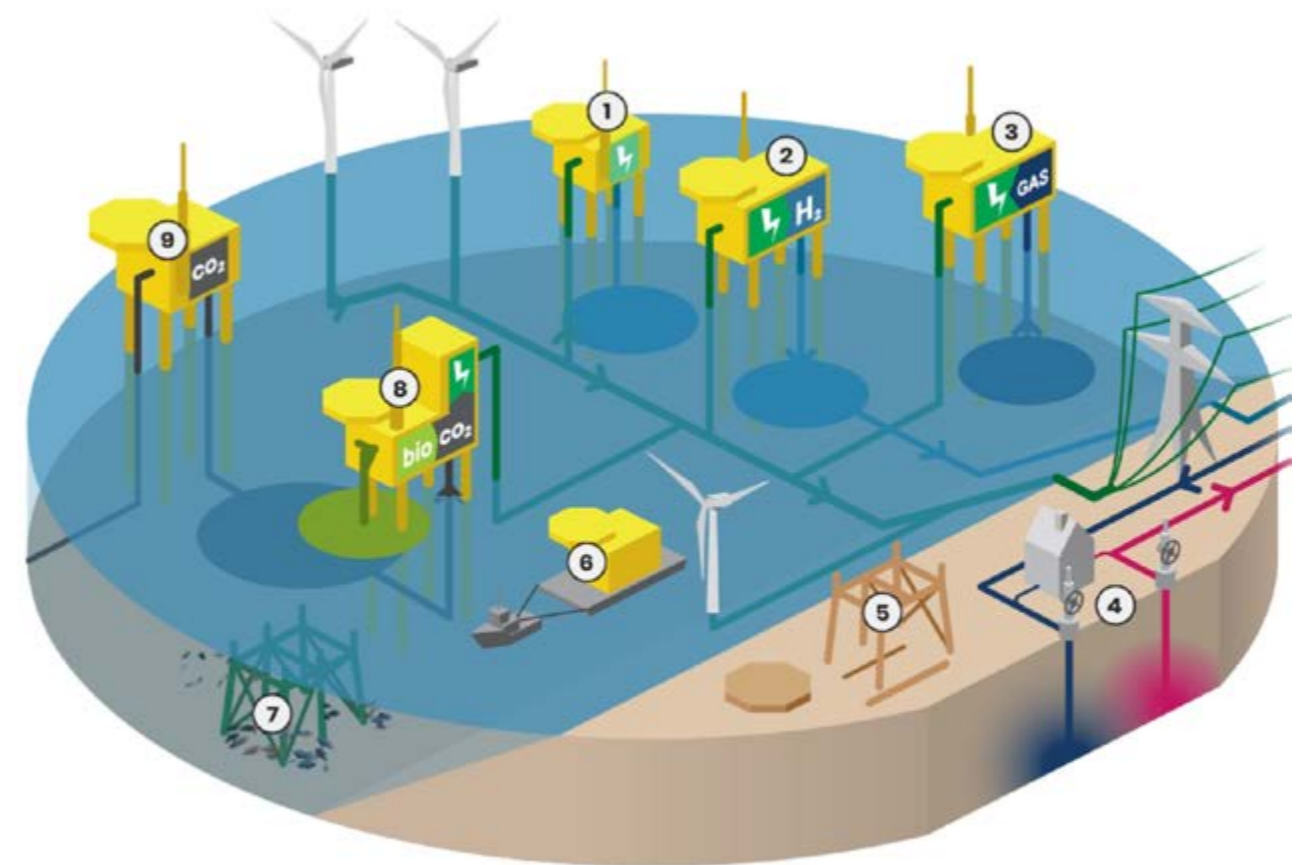
Het opruimen van installaties op zee is een wettelijke verplichting. Voor installaties op land is dit niet wettelijk verplicht, maar het opruimen van de installatie wordt vrijwel altijd opgenomen in het contract tussen de grondeigenaar en de vergunninghouder. Het opruimen van een installatie is kostbaar en levert financieel niets op. Ongeveer 73% van deze kosten komt terecht bij de overheid. Dit komt enerzijds door de directe deelname van 40% van Energiebeheer Nederland (EBN), dat voor 100% eigendom is van de Nederlandse staat, en anderzijds door verminderde belastinginkomsten van de overheid. De totale kosten voor het opruimen van alle Nederlandse installaties werd in 2017 geschat op 7 miljard euro. Extra belangrijk dus om de komende jaren te kijken wat de mogelijkheden voor hergebruik zijn, voordat al deze installaties worden opgeruimd. Het uitgebreide en olie- en gasnetwerk dat in de afgelopen decennia is opgebouwd, kan namelijk uitstekend voor andere toepassingen worden ingezet die en bijdrage leveren aan de energietransitie. Om de toepassing van hergebruik en samenwerking in ontmanteling van de olie- en gasinfrastructuur te stimuleren is de organisatie Nexstep opgericht. Dit is het national platform voor hergebruik en ontmanteling en is een gezamenlijk initiatief van EBN en de Nederlandse Olie en Gas Exploratie en Productie Associatie (NOGEPA).

ONTMANTELING EN HERGEBRUIK

Op dit moment bestaat de Nederlandse infrastructuur in totaal uit ongeveer 500 productielocaties, meer dan 1.800 putten en circa 5.500 kilometer pijpleiding. Dit zijn alleen de pijpleidingen die in beheer zijn van de olie- en gasoperators op land en zee. Als we het netwerk van de Gasunie en de netbeheerders hierbij optellen dan ligt het aantal kilometers nog en aantal malen hoger. Als we dit totaal opsplitsen dan zijn er op land nog ongeveer 1.100 putten, 350 productielocaties en circa 2.000 kilometer pijpleiding in gebruik. In de Nederlandse offshore wateren zijn op dit moment circa 150 platforms en zo'n 700 putten in gebruik. Onder de zeebodem is ongeveer 3.500 kilometer aan pijpleidingen in bedrijf voor het transport van olie en gas tussen de platforms en naar de Nederlandse kust. In totaal produceren ongeveer 250 velden voornamelijk gasvelden - vandaag nog steeds en maken gebruik van deze beschikbare infrastructuur. Maar wat gaat hiermee in de toekomst gebeuren? Grofweg zijn er twee opties te onderscheiden: ontmantelen of hergebruiken.

MOGELIJKHEDEN VAN HERGEBRUIK

Niet alle mogelijkheden van hergebruik zijn realistisch in Nederland. Zo is de optie Rigs-to-Reef (het omzetten van ontmantelde offshore olie- en petroleumplatforms in kunstmatige riffen) niet mogelijk in Nederland, doordat dit niet is toegestaan vanwege SPAR. Van de bovenstaande mogelijkheden tot hergebruik hebben er vier de meeste potentie. Dit zijn: hergebruik onshore locaties (voor geothermie of new energy hubs), waterstofproductie, elektrificatie en opslag van CO₂.



1. offshore electrification
2. hydrogen production and storage
3. gas to wire
4. geothermal energy
5. recycling
6. relocation
7. rigs to reef
8. biomass production
9. carbon capture and storage

GEOOTHERMIE, WATERSTOFPRODUCTIE, ELEKTRIFICATIE EN OPSLAG VAN CO₂

Van de 500 olie- en gaslocaties op land zouden 120 locaties in aanmerking kunnen komen voor gebruik van geothermie. Geothermie is een van de mogelijke oplossingen voor duurzame verwarming van gebouwen en woningen door gebruik te maken van aardwarmte. Waterstof is een alternatief voor het gebruik van aardgas in industriële processen, die nu veel CO₂-uitstoot veroorzaken. Bij elektrificatie wekken windturbines op zee elektriciteit op die via elektrolyse van zeewater kan worden omgezet in waterstof en getransporteerd kan worden via bestaande gasleidingen. Transport van waterstofmoleculen is veel goedkoper dan dat van elektronen via zware elektriciteitskabels vanaf windparken in de Noordzee naar land.

Elektrificatie van platforms is noodzakelijk om CO₂-opslag en waterstofproductie mogelijk te maken. Een niet-geëlektrificeerd platform heeft geen eigen energievoorziening meer wanneer de gasproductie stopt. Bovendien leidt elektrificatie van de tien grootste platforms tot een onmiddellijke reductie van 0,5 tot 1 miljoen ton CO₂ per jaar.



WAAR IN NEDERLAND WORDT HERGEBRUIK ONDERZOCHT?

De CO₂ die wordt uitgestoten door de industrie langs de Nederlandse kust, kan worden opgeslagen in lege gasvelden onder de Noordzee. De Nederlandse gasvelden zijn potentieel geschikt om meer dan 1.600 miljoen ton CO₂ op te slaan. Ter vergelijking: dit is gelijk aan de totale CO₂-uitstoot van de Nederlandse industrie over een periode van 25-30 jaar, of de uitstoot van het hele land over een periode van tien jaar. Er zijn 30-50 platforms en reservoirs en een groot aantal pijpleidingen die hiervoor mogelijk geschikt zijn. Nederland is druk met het onderzoeken van kansen en mogelijkheden om de bestaande olie- en gasinfrastructuur te hergebruiken. In een aantal innovatieve projecten worden plannen gemaakt om de bestaande infrastructuur te hergebruiken.

POSHYDON

Op zo'n 13 kilometer uit de kust van Scheveningen ligt het platform Q13-A. Hier zal een wereldprimeur plaatsvinden op het vlak van energie-innovatie, wanneer er voor het eerst groene waterstof geproduceerd wordt op een productieplatform op de Noordzee. Deze pilot heft de naam PosHYdon gekregen. Dit productieplatform van Neptune Energy is het eerste volledige geëlektrificeerde platform op de Nederlandse Noordzee. Deze pilot is een initiatief van Nexstep, nationaal platform voor hergebruik en ontmanteling, en TNO in nauwe samenwerking met de industrie. Tot de consortiumpartners behoren naast TNO en Neptune Energy o.a. Gasunie, Eneco (Luchterduinen), DEME Offshore, NOGAT en Noordgastransport.

PORTHOS

Vlakbij Rotterdam, circa 20 km uit de kust ligt het platform P18-A. Het project Porthos werkt aan de voorbereiding waarbij CO₂ van de industrie in de Rotterdamse haven wordt getransporteerd en opgeslagen in lege gasvelden onder dit platform. De CO₂ die door Porthos wordt getransporteerd en opgeslagen, wordt afgevangen door verschillende bedrijven. De bedrijven leveren hun CO₂, aan een verzamelleiding die door het Rotterdamse havengebied zal lopen. Vervolgens wordt de CO₂ in een compressorstation op druk gebracht. De CO₂ gaat per onderzeese pijpleiding naar het P18-A platform in de Noordzee. Vanaf het platform wordt de CO₂ in een leeg gasveld opgeslagen. De lege gasvelden bevinden zich in een afgesloten reservoir van poreus zandgesteente, ruim 3 km onder de Noordzee. Naar verwachting wordt de eerste jaren van het project circa 2,5 miljoen ton CO₂ per jaar opgeslagen. Het project is een samenwerking tussen Havenbedrijf Rotterdam, Gasunie en EBN.

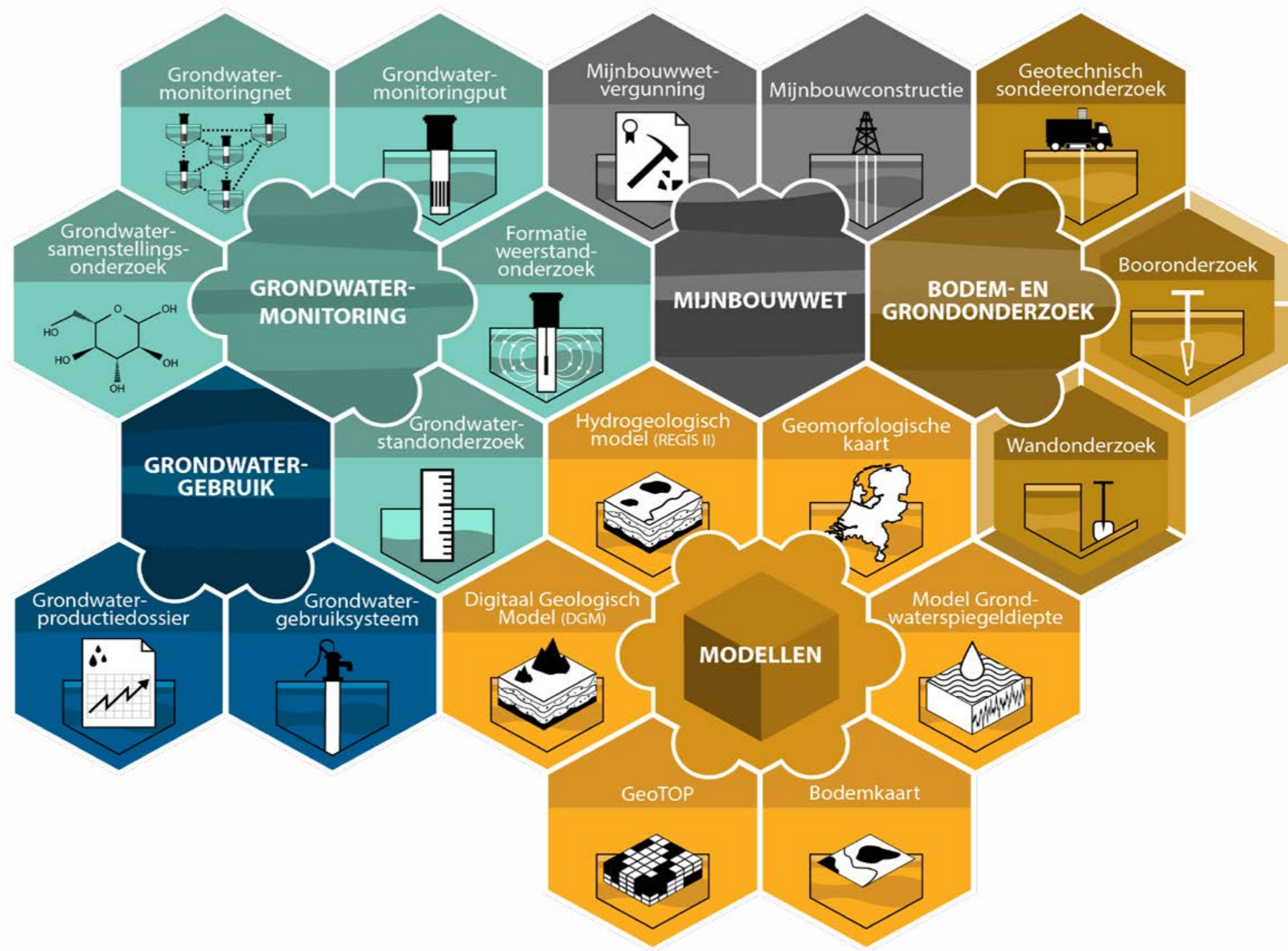
ENERGIEHUB: GZI NEXT

Energiebedrijven, overheden en kennisinstellingen werken in Emmen samen aan de energiemix van de toekomst. In de afgelopen periode is het gebied van de voormalige gaszuiveringsinstallatie van NAM klaargemaakt om de locatie om te vormen tot een energiehub. Het gebied in Emmen speelde in het verleden al een grote rol in de energievoorziening voor de regio. En nu zal dit gebied dat ook in de toekomst blijven doen met nieuwe energie waarbij de bestaande gasinfrastructuur wordt hergebruikt.



TOEKOMST

De omschakeling naar duurzame energie zal niet van vandaag op morgen kunnen worden gerealiseerd. Aardgas zal een belangrijke rol spelen in de overgangsfase naar een duurzaam energiesysteem. Zolang er geen alternatieven zijn, heeft Nederland aardgas nodig. De schadelijke effecten van de aardgaswinning in Groningen hebben tot het besluit geleid dat we deze gasreserves niet langer zullen inzetten. Het importeren van gas is daarmee een noodzaak geworden. De bestaande olie- en gasinfrastructuur biedt wel kansen om benut te worden in de zoektocht naar een CO₂-neutraal energiesysteem. Op dit moment onderzoekt Nederland volop de kansen en mogelijkheden van hergebruik. We zijn benieuwd wat deze innovatieve projecten ons in de toekomst gaan brengen.



De Lekdijk

MET DE BRO OP ZOEK NAAR HET 'RISICO-DNA' VAN DE LEKDIIJK

De Lekdijk beschermt een groot deel van Midden- en West-Nederland tegen overstroming. Het gebied achter de Lekdijk is een thuis voor meer dan een miljoen mensen. Als de Lekdijk doorbreekt, kan een groot deel van de Randstad tot Amsterdam aan toe overstromen. Bovendien is dit gebied het economische hart van Nederland en lopen er veel auto- en spoorwegen doorheen. Met behulp van de ondergrondgegevens is onderzocht hoe de Lekdijk kan worden versterkt. Met behulp van het 3D-model bleek dat er gefundeerde keuzes gemaakt kunnen worden: sterk waar het moet, slank waar het kan.

NIEUWE WATERVEILIGHEIDSNORMEN

Met ingang van januari 2017 kreeg Nederland nieuwe waterveiligheidsnormen voor de dijken, dammen en duinen. In de nieuwe benadering wordt niet alleen gekeken naar de kans op een overstroming, maar worden ook de gevolgen van en overstroming meegewogen. Dit heeft gelid tot scherpere normen, waaraan alle waterkeringen in Nederland anno 2050 moeten voldoen. Om die reden wordt de Lekdijk tussen Amerongen en Schoonhoven versterkt, zodat deze ok in de toekomst voldoende bescherming zal bieden. Met het project Sterke Lekdijk worden in totaal 53,7 kilometers dijk verbeterd. Om te weten wat hierbij komt kijken en welke maatregelen precies moeten worden genomen, is kennis over de ondergrond nodig.



DONKEN EN STROOMRUGGEN

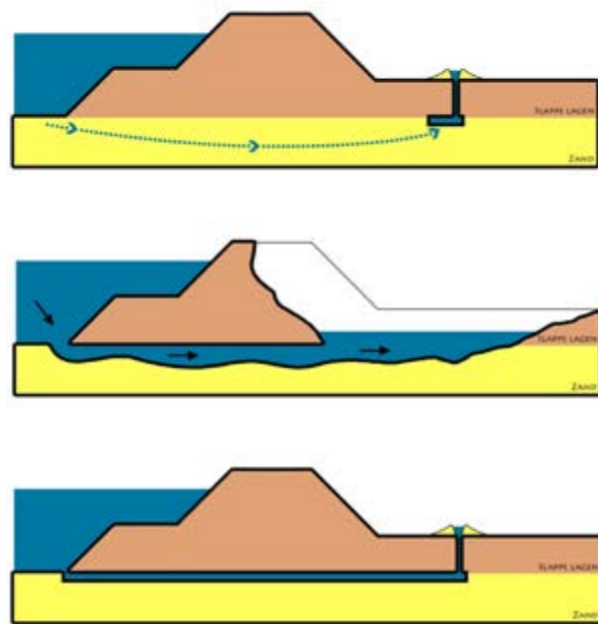
Het rivierengebied dankt zijn naam en ontstaan aan de grote rivieren die er doorheen stromen. Deze rivieren hebben zich gedurende de afgelopen millennia voortdurend verplaatst. Door het afzetten van klei en zand kwamen zij hoger dan de omgeving te liggen en vormden relatief hoge stroomruggen in het landschap. In de tijd dat de rivieren nog niet bedijkt waren, kon het gebeuren dat een hoog gelegen rivier haar bedding verliet om een nieuwe koers te volgen. In koude tijden werd het zand uit de drooggevallen bedding geblazen en ontstonden langs de rivieren duinen, de zogenaamde 'donken'. In warmere tijden groeide de oude bedding dicht, waarbij de overwallen als relatief hoge ruggen in het landschap achterbleven. De Lekdijk ligt op een waterdichte kleilaag. Wanneer het water in de rivier stijgt, zorgt de kleilaag voor een ideale waterkering. Dit wordt kritisch op het moment dat de rivier een zandbaan in de bodem kruist en de kleilaag lokaal afwezig is. Dus bijvoorbeeld wanneer een stroomgordel van een oude rivier wordt geraakt.

HISTORISCHE DIJKDOORBRAKEN

In de ondergrond is de geschiedenis van het rivierenlandschap met oude, meanderende rivierlopen terug te vinden. Je ziet de rivierlopen terug als ondergrondse zandbanen: grondwatervoerende elementen die pakketten klei en veen versnijden. De rivierlopen zijn ook mooi zichtbaar met het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), en kaart die de hoogte van heel Nederland tot op 5 centimeter nauwkeurig weergeeft. Als je naar de ligging van kolkaten ('wielen') kijkt, wordt snel duidelijk waarom het belangrijk is om te weten waar de zandbanen zich bevinden: de kolkaten, die ontstonden door dijkdoorbraken, blijken vaak voor te komen op plaatsen waar de dijk door zandbanen in de ondergrond wordt gekruist. Een andere oorzaak van dijkdoorbraken zijn historische activiteiten van de mens, die de oorspronkelijke structuur van de dijk verstoorden. Denk aan de locatie van een oude sluis, maar bijvoorbeeld ook een oude boomgaard vlak achter de dijk, wat piping kan veroorzaken. Het fenomeen piping, ook wel terugschrijdende erosie of onderloopsheid genoemd, zal hieronder verder worden toegelicht. Voor toekomstige ontwikkelingsmogelijkheden kan dit alles zeer bepalend zijn, omdat het bouwen op deze locaties risico's met zich mee kunnen brengen.

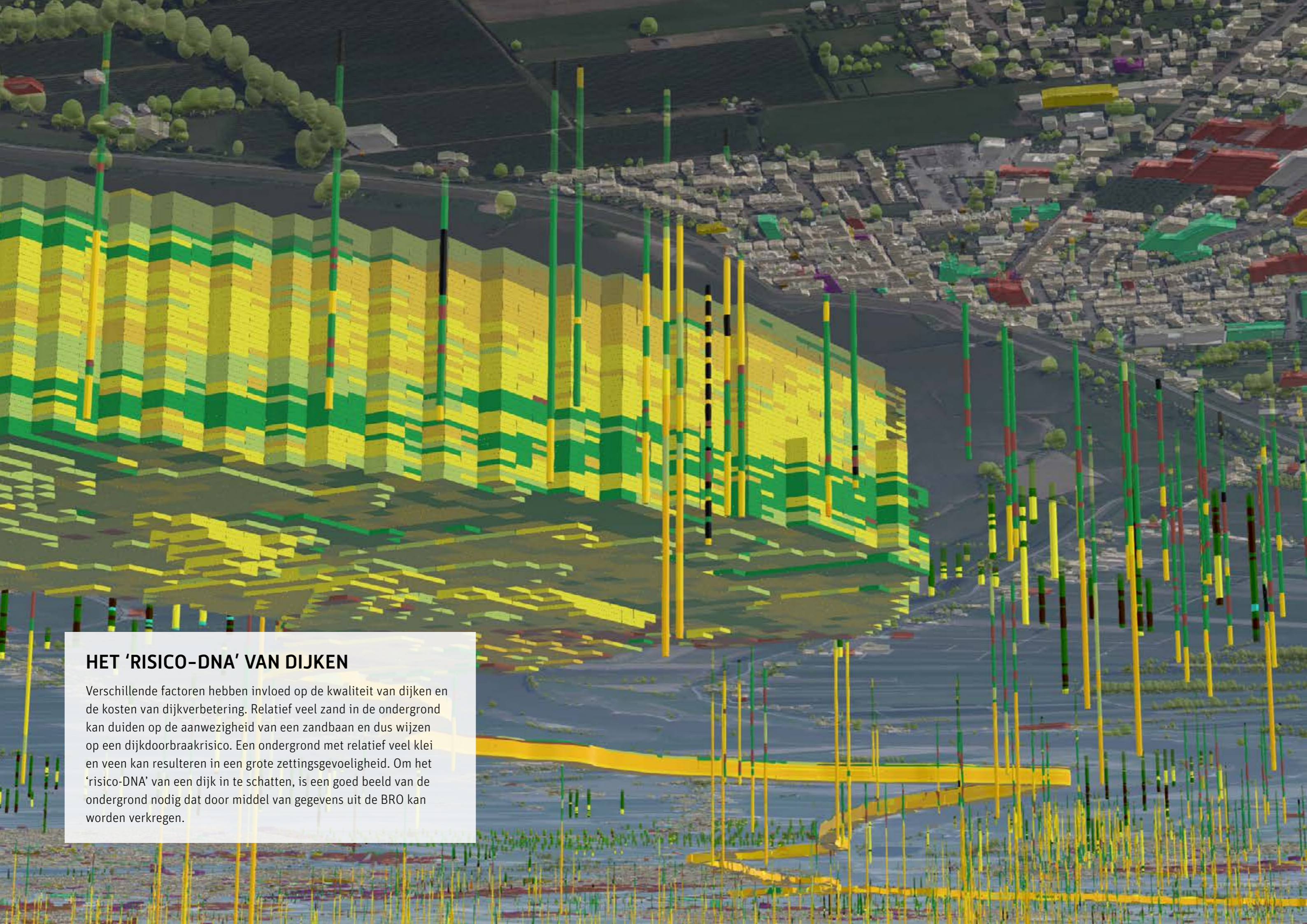
PIPING

Onderloopsheid, in het Engels 'piping' genoemd, bedreigt de stabiliteit van dijken. Het is een verzamelbegrip voor verschillende vormen van interne erosie. Je kunt dit in het achterland waarnemen in de vorm van wellen in sloten of op het maaiveld; plekken waar een geconcentreerde uitstroming van grondwater plaatsvindt. Piping kan plaatsvinden wanneer onder de dijk een cohesieve deklaag ligt met daaronder een watervoerend pakket. Cohesive gronden zijn bijvoorbeeld natte klei, leem of veen. Een watervoerend pakket bestaat meestal uit zand en grind. Door een verschil in waterdruk aan weerszijden van de dijk kan er een grondwaterstroming tussen deze lagen ontstaan. Deze stroming kan zo sterk worden dat gronddeeltjes worden meegenomen. Uiteindelijk kan dit leiden tot holle ruimten onder de dijk die zo groot zijn, dat de dijk erboven bezwijkt.



De problematiek rond piping wordt landelijk onderzocht. Binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma is in 2014 gestart met de Projectoverstijgende Verkenning (POV) Piping. Hier zijn overheden, marktpartijen en kennisinstellingen samen op zoek naar relevante kennis en innovatieve maatregelen met betrekking tot het faalmechanisme piping. Kennis over de bodem en de eigenschappen van de verschillende grondlagen zijn hierbij het belangrijkste aspect. Betere kennis van de ondergrond kan ervoor zorgen dat de onzekerheidsmarges die in berekeningen worden meegenomen kleiner kunnen worden gemaakt.





HET 'RISICO-DNA' VAN DIJKEN

Verschillende factoren hebben invloed op de kwaliteit van dijken en de kosten van dijkverbetering. Relatief veel zand in de ondergrond kan duiden op de aanwezigheid van een zandbaan en dus wijzen op een dijkdoorbraakrisico. Een ondergrond met relatief veel klei en veen kan resulteren in een grote zettingsgevoeligheid. Om het 'risico-DNA' van een dijk in te schatten, is een goed beeld van de ondergrond nodig dat door middel van gegevens uit de BRO kan worden verkregen.




BODEMRISICO'S: ZETTINGSGEVOELIGHEID

Bij het ophogen van dijken moet rekening worden gehouden met de draagkracht van de ondergrond. Draagkracht wordt gedefinieerd als de mate waarin een bodem ongevoelig is voor zetting, het zakken van het maaiveldniveau als gevolg van en toegenomen bovenbelasting. Daarbij wordt de grond door blasting van bovenaf samengedrukt.

Het bouwen op zettingsgevoelige grond kan resulteren in faalkosten, denk bijvoorbeeld aan:

- hogere kosten voor de aanleg
- langere bouwtijd doordat draagkrachtbevorderende maatregelen noodzakelijk zijn (bijvoorbeeld voorbelasting van de bodem)
- problemen met de uitvoering van de bouwwerkzaamheden (bijvoorbeeld verzakkingen van bouwkranen en ander zwaar materieel)
- hogere kosten aan beheer omdat verhardingen een kortere levensduur hebben (bijvoorbeeld scheuren van wegdek)
- hogere kosten aan onderhoud van kabels en leidingen (lekkages van rioleringen door verzakkingen)

Kabels en leidingen



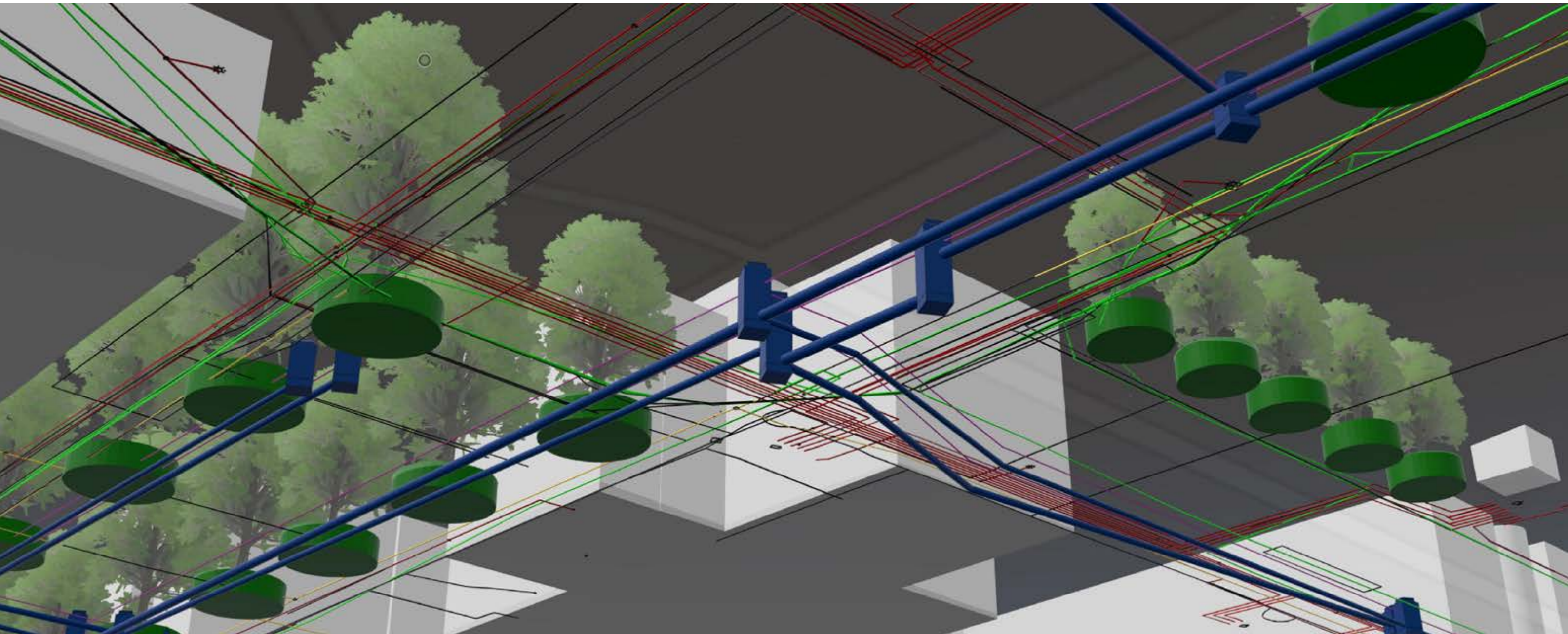
Het is druk in de bovenste paar meter van de ondergrond. Soms zo druk dat er nu al geen ruimte meer is voor andere kabels en leidingen. Niet alleen in stedelijk gebied, maar ook in lange stroken langs wegen, spoorwegen en in heuse buisleidingenstraten tussen grootschalige industriegebieden. De locaties van bovengrondse hoogspanningsmasten en hoogspanningsleidingen staan in nauw verband met de kabels onder de grond. Op enig moment 'verdwijnt' de elektriciteit onder de grond. Het aanleggen van nieuwe ondergrondse infrastructuur zal fysiek onmogelijk zijn als we onze aanpak niet veranderen. Denk aan infrastructuur voor de energietransitie (alternatieven voor aardgas), klimaatadaptatie (bijvoorbeeld maatregelen voor regenwateropvang en volwassen bomen in de straat om hitte-stress te bestrijden) en de circulaire economie (afvoersystemen voor gescheiden afvalstromen). Straatprofielen moeten dus anders worden georganiseerd en ingericht; regie op de ondiepe ondergrond is noodzakelijk.

DRUKTE IN DE ONDIEPE ONDERGROND

De meeste kabels, leidingen en riolering bevinden zich in de bovenste twee meter. Volwassen bomen strekken hun wortels in de bovenste 2,5 meter uit (de grootte en vorm van de wortelzone hangt af van de soort en vooral de ouderdom van de boom). Daarnaast zijn er ook nog afvalcontainers, kelders, tunnels, parkeergarages, heipalen en funderingen. Deze bevinden zich voor het grootste deel in de bovenste vijf à tien meter van de ondergrond (heipalen uitgezonderd; die kunnen meer dan zestig meter diep gaan).

DRUK IN DE STAD

Een grote stad zoals Amsterdam maakt de schaa sprong naar een miljoen inwoners. Dat brengt een bijbehorende stedenbouwkundige opgave met zich mee. Met het bouwen in hogere dichtheden neemt het aantal benodigde leidingen voor water, verwarming en elektriciteit per oppervlakte eenheid toe. Tegelijkertijd krijgt de ondiepe ondergrond er steeds meer gebruiksfuncties bij, waarvan de leidingen en technische installaties ieder hun eigen ruimtebeslag met zich meebrengen. Regenwaterafvoer en hittestress vragen om betere oplossingen, de energievoorziening wordt ingewikkelder, en de 'spaghetti' van kabels en leidingen wordt onbeheersbaar. In 2040 wil Amsterdam van het aardgas af zijn. In de bestaande stad ligt een stadswarmtenet (hoge en midden temperatuur), gevoed met restwarmte van de elektriciteitscentrale (Diemen) en van verbranding van slib en afval (AEB). Dit wordt geleidelijk uitgebreid waarbij ook de restwarmte van datacenters benut gaat worden.



DRUK OP DE NOORDZEE

Op het Nederlandse deel van de Noordzee is het een drukte van belang. Nederland herbergt de grootste haven van Europa en ook voor de kust van IJmuiden varen schepen af en aan. Daarnaast liggen steeds meer schepen voor de kust voor anker. Ook onder water wordt het steeds drukker. De zeebodem is niet alleen het domein van de biologische onderwaterwereld (denk bijvoorbeeld aan schelpenbanken) maar ook van wrakken en munitie uit de Tweede Wereldoorlog. Daarbij wordt het onder de grond steeds drukker met allerlei kabels en leidingen en de nodige olie- en gasinfrastructuur. In het kader van de energietransitie worden windmolenparken aangelegd terwijl ook rekening moet worden gehouden met bijvoorbeeld zandwinning en visserij. Kortom: op de Noordzee moeten allerlei verschillende belangen worden afgewogen. Voor de kabel die in de toekomst van Windmolenpark 'Hollandse Kust West' naar de kust gaat lopen, zijn vier mogelijke tracés op de kaart gezet. Aan iedere kant van de kabel wordt uit veiligheidsoverwegingen een strook van 500 meter gereserveerd waarin geen bodemberoerende activiteiten mogen plaatsvinden.



RIVIERBODEMS EN DE ONDIEPE ONDERGROND

Ook bij bodemdaling in rivieren speelt de beschikbaarheid van goede gegevens een rol bij het bedenken van maatregelen om hier mee om te gaan. Bodemerosie en aanzanden zijn twee morfologische processen die bepalend zijn voor de bodemligging. Het beheersen van deze bodemligging is belangrijk voor het goed functioneren van het riviersysteem. Dat geldt met name voor de scheepvaart, maar ook voor de hoogwaterveiligheid, de stabiliteit van kunstwerken en voor de grondbedekking van rivierkruisende kabels en leidingen.



OUDE EN NIEUWE ONDERGRONDSE INFRASTRUCTUUR NAAST ELKAAR

Woonwijken mogen pas van het aardgas worden afgesloten als iedereen de beschikking heeft over andere, duurzame energie. Dit betekent dat de komende jaren de oude en nieuwe duurzame infrastructuur naast elkaar bestaan. Dat maakt het vraagstuk van de ondergrondse infrastructuur nog complexer. De huidige leidingen liggen met name in wegbermen, meestal niet meer dan twee meter diep. Ook boomwortels nemen op die diepte ruimte in beslag, wat soms op gespannen voet staat met aan te leggen leidingen. Op dit moment worden de taluds van hoger gelegen wegen bij voorkeur niet benut, vanwege de hogere kosten van de graafwerkzaamheden bij aanleg en aanpassingen van kabels en leidingen. In principe geldt: hoe dieper je in de ondergrond komt, hoe meer ruimte er beschikbaar is, maar des te hoger de aanleg- en onderhoudskosten zijn.

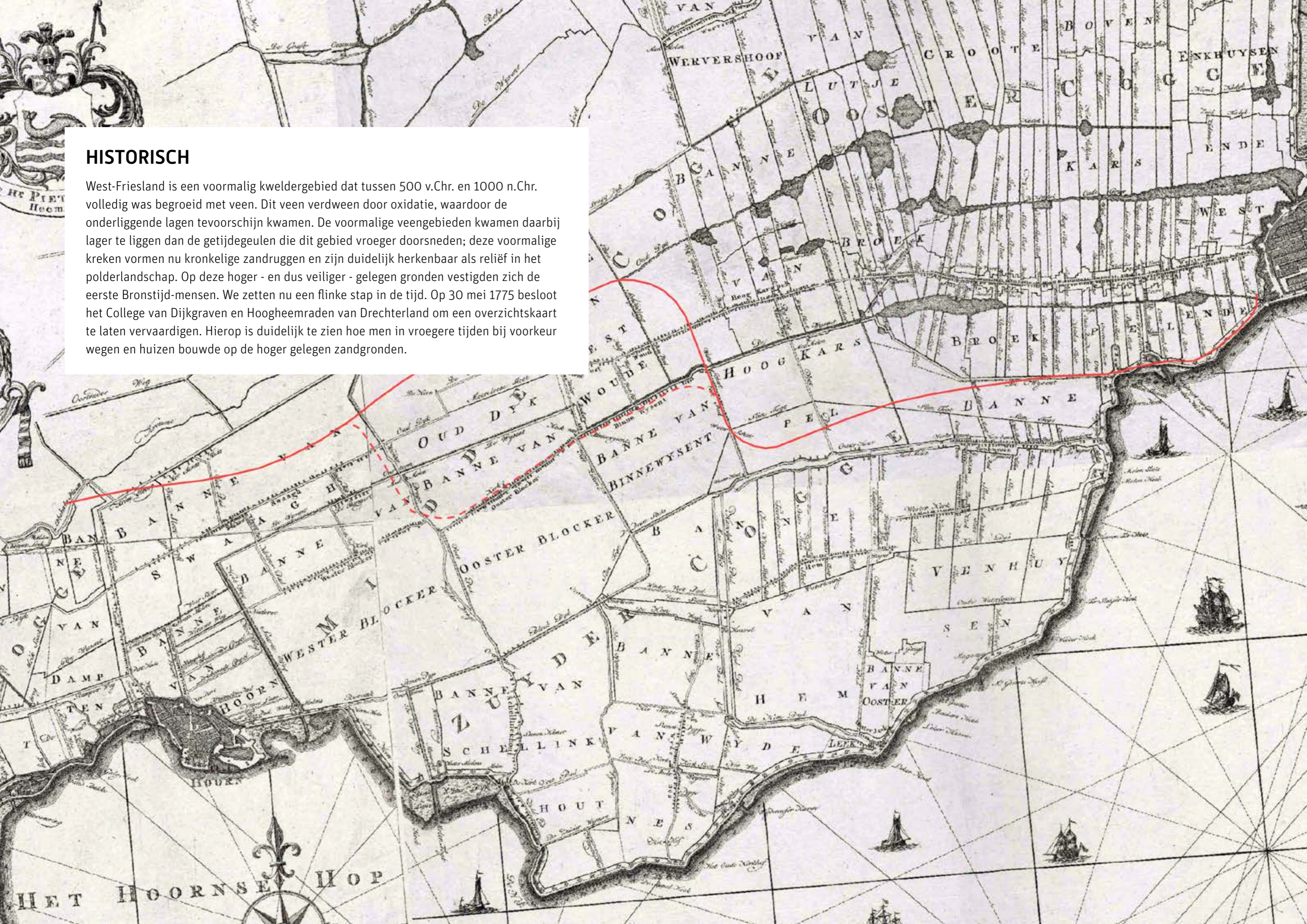
Hoe dieper je in de ondergrond komt, hoe meer ruimte er beschikbaar is, maar des te hoger de aanleg- en onderhoudskosten zijn.

Had de BRO verschil kunnen maken?

Het werk aan de Westfrisiaweg lag maandenlang stil. De ondergrond van de N23, het nieuwe tracé dat de N302 met de N506 gaat verbinden, had veel meer tijd nodig om in te klinken dan vooraf werd ingeschat. De klus van 200 miljoen euro liep veel vertraging op. Dat kost geld. Wie draait daarvoor op? Na een slepend conflict kwamen het bouwbedrijf en het provinciebestuur tot overeenstemming. Eind maart 2017 werden de werkzaamheden stap voor stap hervat. De vertraging leidt tot uitstel van andere grote infrastructurele projecten, zoals de ontwikkeling van het stationsgebied in Hoorn. Bij de inwoners van West-Friesland is voor dit alles weinig begrip. (Bron: NRC - 2 november 2016. Carola Houtekamer)

HISTORISCH

West-Friesland is een voormalig kweldergebied dat tussen 500 v.Chr. en 1000 n.Chr. volledig was begroeid met veen. Dit veen verdween door oxidatie, waardoor de onderliggende lagen tevoorschijn kwamen. De voormalige veengebieden kwamen daarbij lager te liggen dan de getijdegeulen die dit gebied vroeger doorsneden; deze voormalige krekens vormen nu kronkelige zandruggen en zijn duidelijk herkenbaar als reliëf in het polderlandschap. Op deze hoger - en dus veiliger - gelegen gronden vestigden zich de eerste Bronstijd-mensen. We zetten nu een flinke stap in de tijd. Op 30 mei 1775 besloot het College van Dijkgraven en Hoogheemraden van Drechterland om een overzichtskaart te laten vervaardigen. Hierop is duidelijk te zien hoe men in vroegere tijden bij voorkeur wegen en huizen bouwde op de hoger gelegen zandgronden.

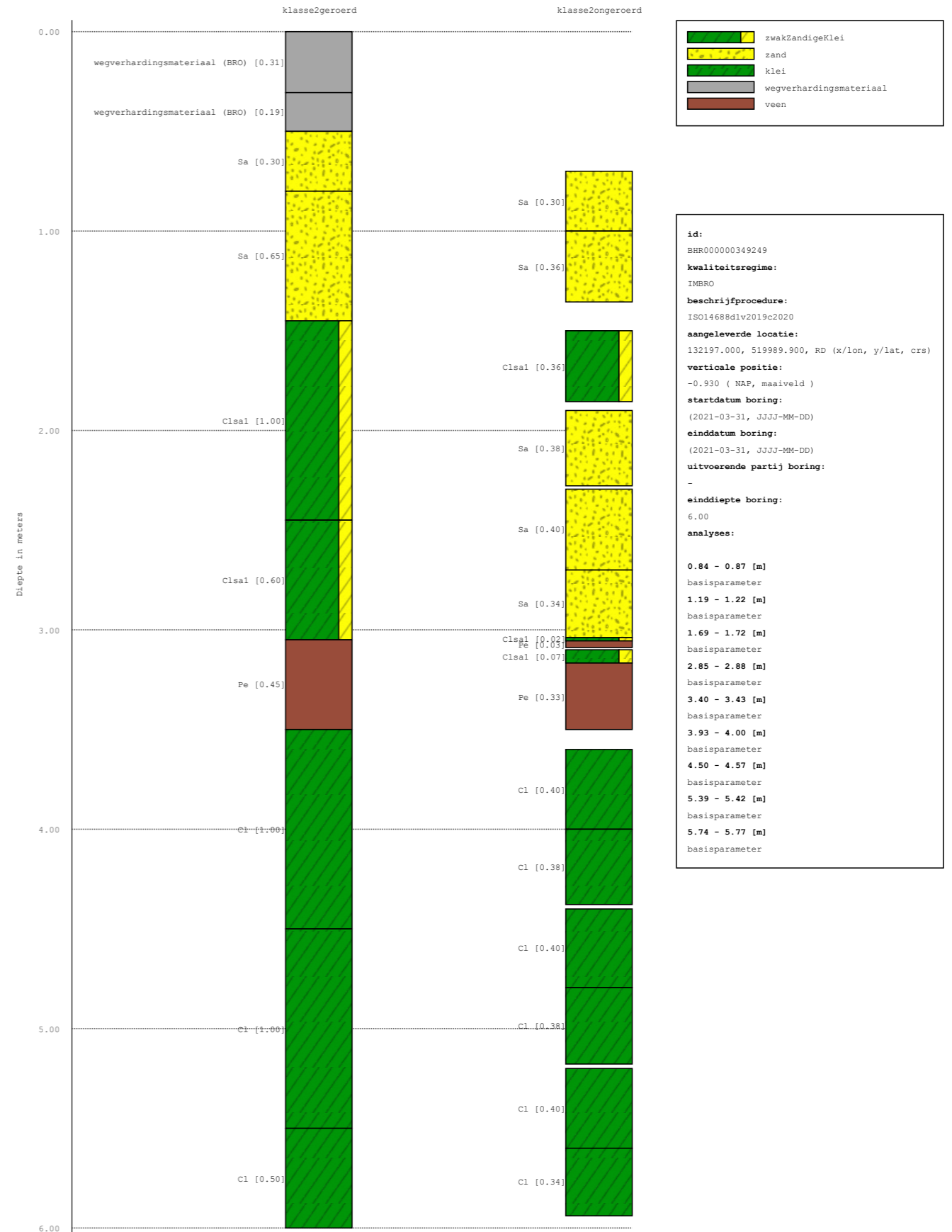


BHR000000349249

BESCHIKBARE DATASETS

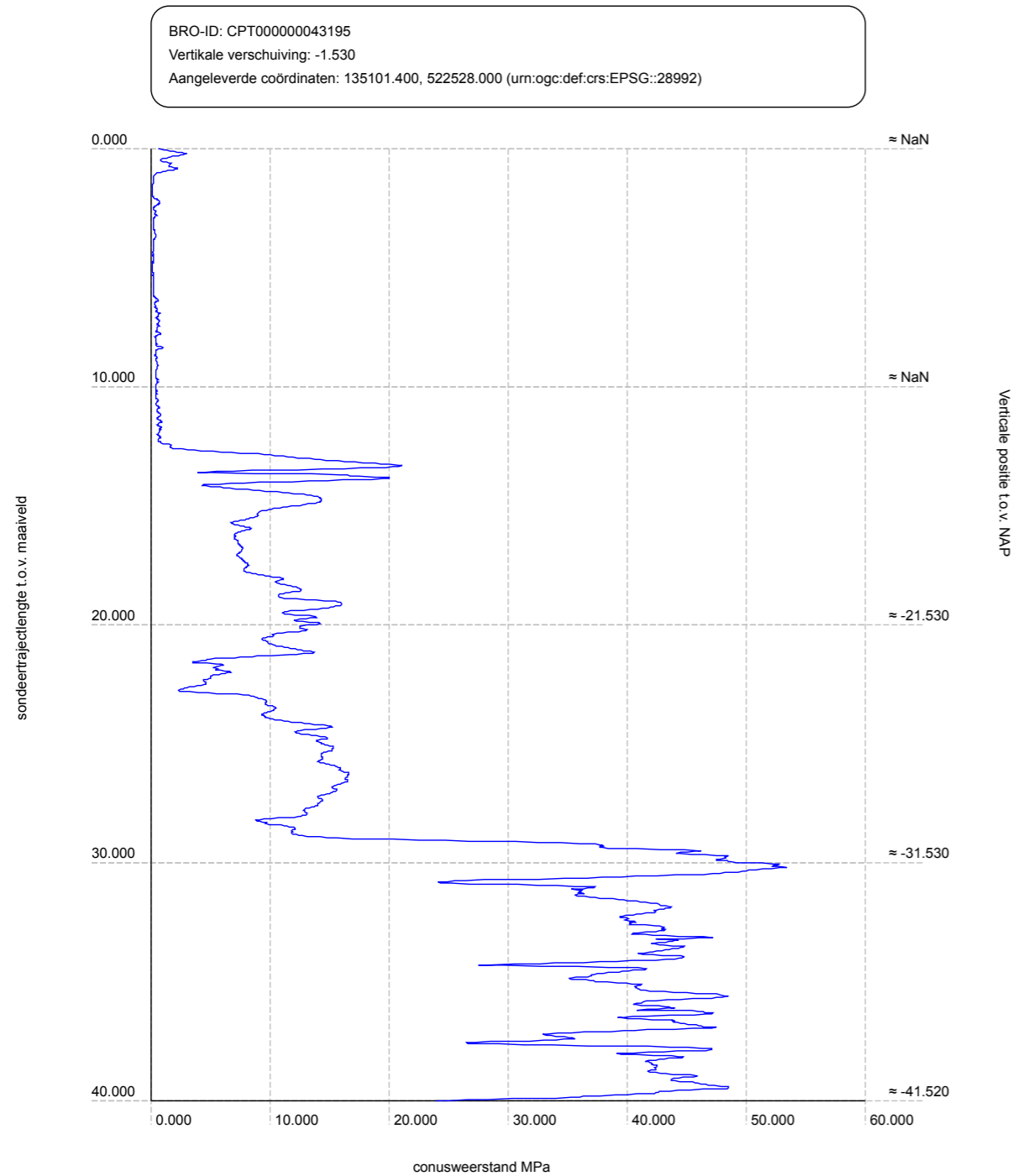
BORINGEN

De BRO geeft toegang tot de gegevens van meer dan 425.000 boringen. De oudste boring dateert uit 1834, dagelijks komen er nieuwe bij. Van iedere boring zit in BRO een beschrijving van de sedimenten waar doorheen geboord is, de zogenaamde boormonsterprofielen.



SONDERINGEN

Sonderingen geven informatie over de fysische eigenschappen van de ondergrond, zoals de draagkracht en samendrukbaarheid. Dat geeft indirect een beeld van de sedimenten waaruit de ondergrond bestaat.



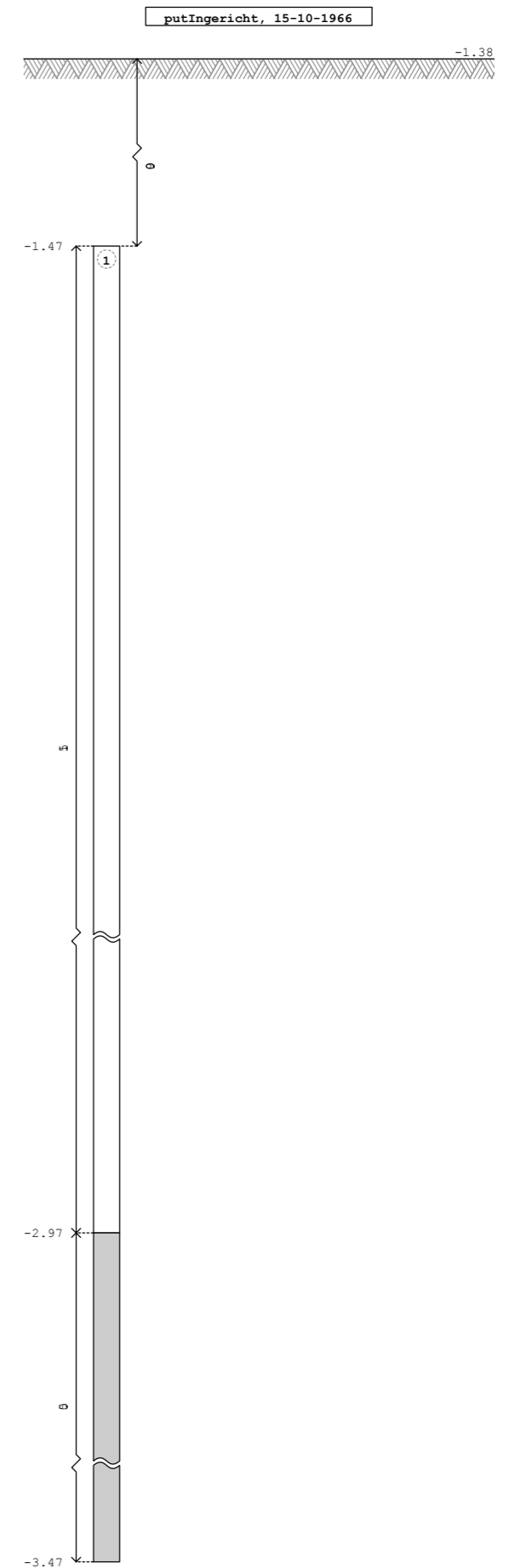
GRONDWATERPUTTEN

In Nederland wordt op tal van plaatsen de stand en/of samenstelling van het grondwater gemeten. Deze dataset laat zien waar en wat er wordt gemeten.

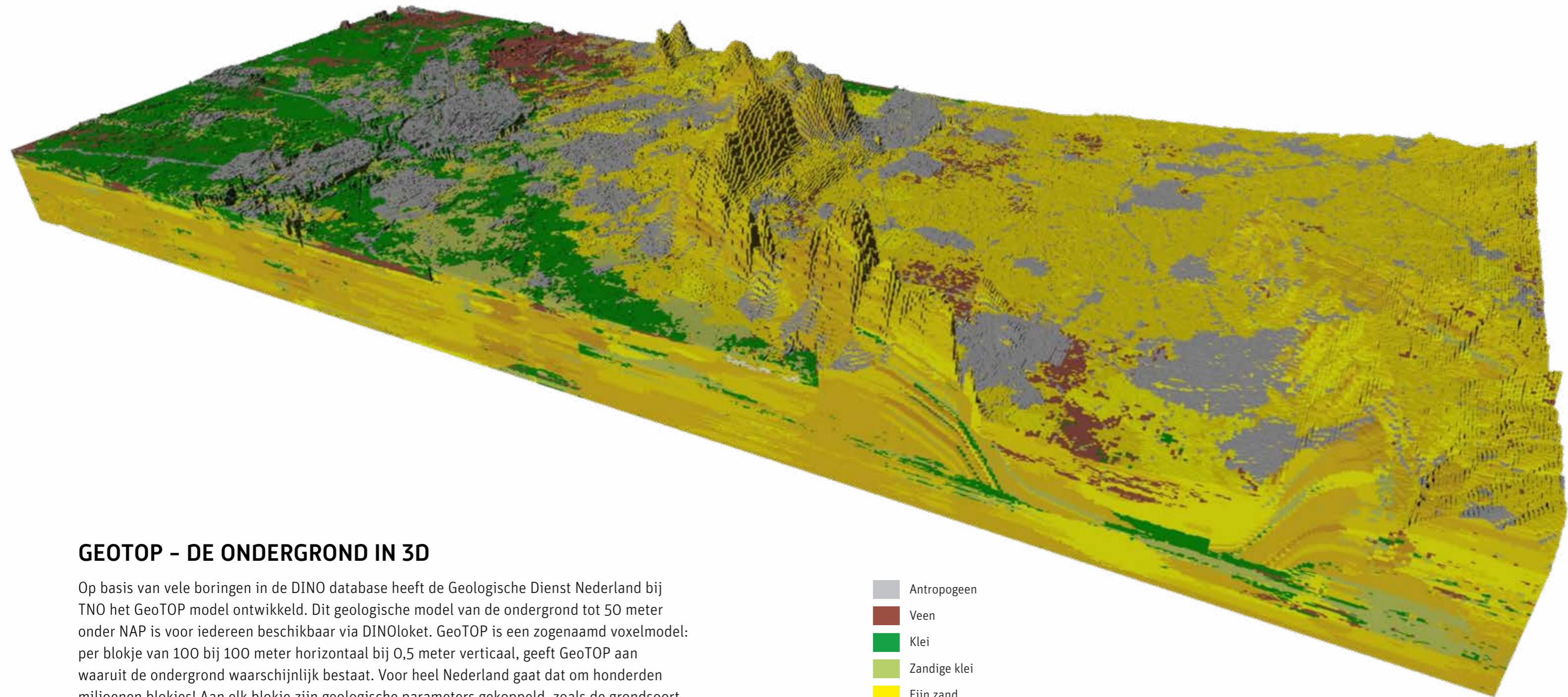
Type gebeurtenis	Waarde
toegevoegd	
verwijderd	
vervangen	
conflict	

Buis / Elektrode status	Waarde
onbruikbaar	
gebruiksklaar	
nietGebruiksklaar	
onbekend	

Sym	Betekenis
?	onbekend
*	ongespecificeerd



eigenaar	onderhdr	meth	posbep	maaiveld	bescherminstructie			
27376655			?		geen			
nr	diam	var	methd	positiebep	top	buis	materiaal	lijm
1	36	nee		?		pvc		?



GEOTOP - DE ONDERGROND IN 3D

Op basis van vele boringen in de DINO database heeft de Geologische Dienst Nederland bij TNO het GeoTOP model ontwikkeld. Dit geologische model van de ondergrond tot 50 meter onder NAP is voor iedereen beschikbaar via DINOloket. GeoTOP is een zogenaamd voxelmodel: per blokje van 100 bij 100 meter horizontaal bij 0,5 meter verticaal, geeft GeoTOP aan waaruit de ondergrond waarschijnlijk bestaat. Voor heel Nederland gaat dat om honderden miljoenen blokjes! Aan elk blokje zijn geologische parameters gekoppeld, zoals de grondsoort (de lithologie), de stratigrafische eenheid en de modelonzekerheid. Het is belangrijk weten dat GeoTOP een statistisch model is en geen absolute waarheid vertegenwoordigt. De voxels in GeoTOP geven dus een waarschijnlijkheidsdistributie weer, op basis van de beschikbare gegevens en geologische kennis. Er moet dus altijd rekening worden gehouden met een bepaalde mate van onzekerheid bij gebruik van dit model.

- Antropogeen
- Veen
- Klei
- Zandige klei
- Fijn zand
- Matig grof zand
- Grof zand
- Grind

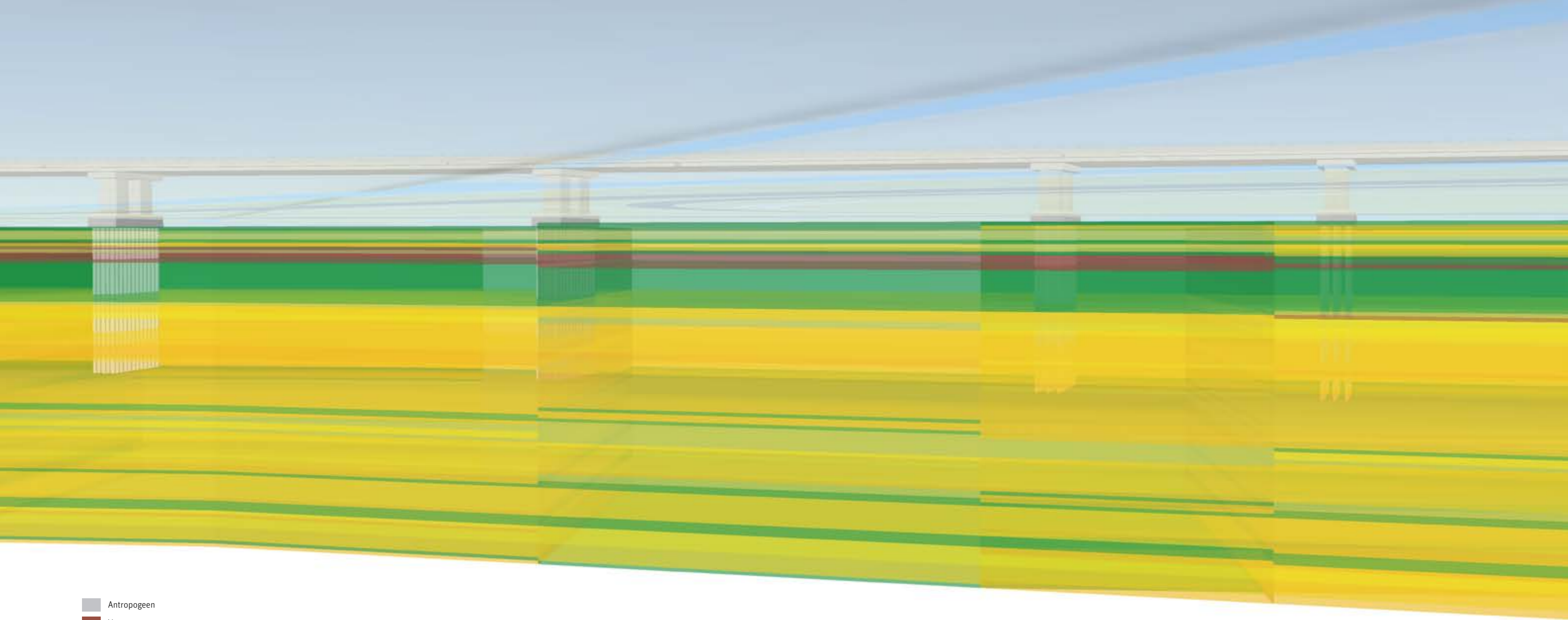
KABELS EN LEIDINGEN

De beschikbaarheid van de gegevens over kabels en leidingen is geregeld in de WIBON. Dat staat voor Wet informatie-uitwisseling bovengrondse en ondergrondse netten en netwerken. De wet schrijft de wijze van informatie-uitwisseling tussen netbeheerders en grondroerders voor. Deze blijft naast de BRO bestaan, onder meer vanwege de verschillen in het openbaarheidsregime van de WIBON en de BRO. Informatie uit beide bronnen kan wel worden gecombineerd.

3D EN GEOBIM: ALLE BESCHIKBARE GEGEVENS INZICHTELIJK

GeoBIM integreert Bouw Informatie Modellen (BIM) met kaartlagen die de boven- en ondergrond in 3D weergeven. Zo kunnen we gegevens uit de bouwwereld met alle beschikbare gegevens van de ondergrond integreren om de samenwerking rond infrastructurele projecten te verbeteren. Deze visualisaties zijn interactief en kunnen online worden bekeken vanuit iedere wensbare invalshoek.





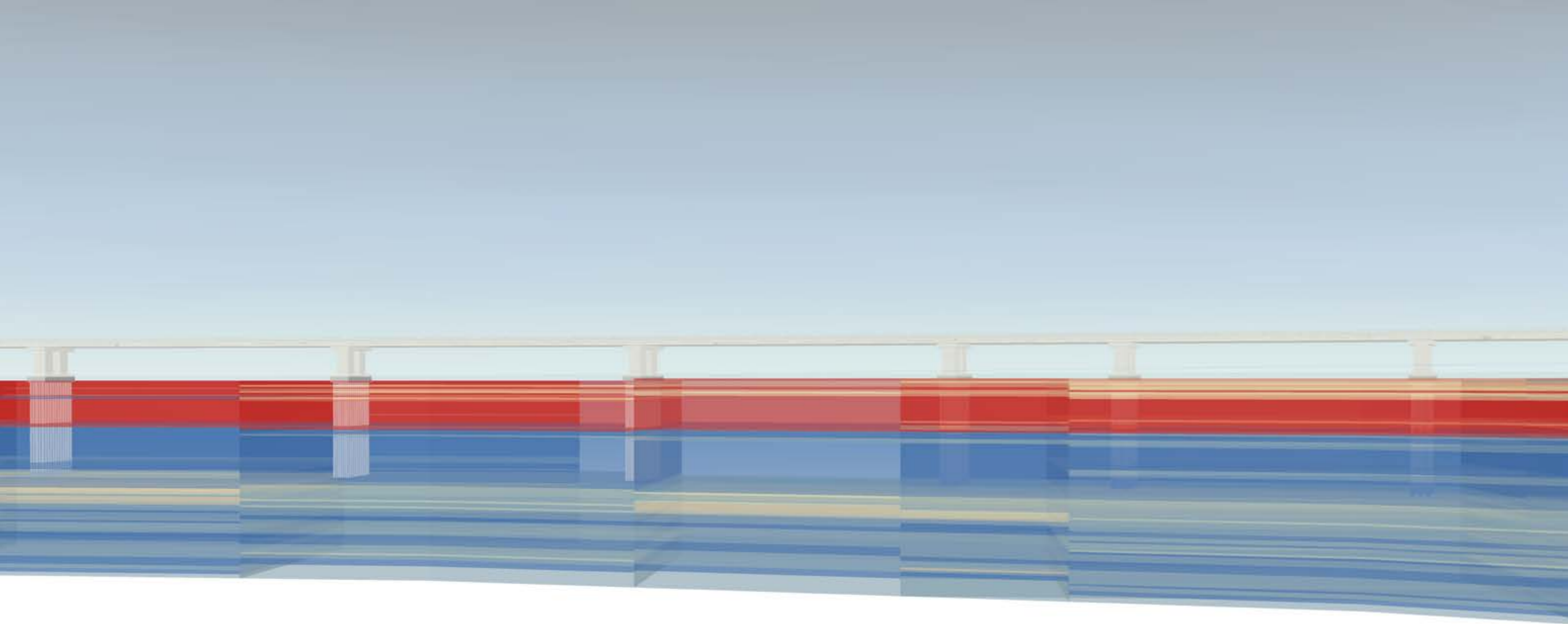
- Antropogeen
- Veen
- Klei
- Zandige klei
- Fijn zand
- Matig grof zand
- Grof zand
- Grind

WAAR GING HET MIS?

West- en Noord-Nederland bestaat voor een groot deel uit vroegere kweldergebieden, met in de ondergrond naast zandlichamen voornamelijk slappe veen- en kleilagen. De gevolgen hiervan zijn verzakkende wegen, pleinen, stoepen en rioleringen. De maatschappelijke kosten daarvan zijn hoog: de extra onderhoudskosten aan de infrastructuur ten gevolge van de slappe bodem schat men op 250 miljoen euro per jaar (Platform Slappe bodem 2014). Uiteindelijk gaat het om een slappe bodem in de bovenste 10 meter. Dat komt neer op een bodem van veen, klei, zandige klei) in plaats van een zandige bodem.

WAT ZEGGEN DE BOORMONSTERPROFIELEN?

Alle boorgegevens zijn online beschikbaar in de BRO. De boormonsterprofielen geven per boring de aangetroffen sedimentlagen weer: veen, klei, zand, grind etc. Boormonsterprofielen tonen sedimenten die met elkaar een slappe bodem vormen. Er blijkt met name veel klei in de bodem te zitten. Ook de aanwezigheid van veen betekent dat men rekening moet houden met inklinking. Op plekken waar de ondergrond relatief veel zand, minder klei en veen bevat, verwacht men in principe een stevigere ondergrond en een kortere inklinktijd.



KANS OP KLEI

Hoe meer gegevens er van een bepaald gebied beschikbaar zijn, des te zekerder weten we wat daar in de ondergrond zit. In de BRO is voor elk GeoTOP blokje berekend wat de kans is op klei, zand, veen etc. We haalden hieruit de gegevens voor de bovenste 10 meter en berekenden de kans op klei in de bovenste tien meter. Dat resulteert in de 'Slappe bodem kaart' hier links. De kans op klei is weergegeven met een kleurverloop, waarbij blauw een kleine kans aangeeft en rood een grote kans op klei. Het is niet verrassend dat deze kaart hetzelfde beeld toont als de AHN: waar vroeger kreken liepen zit veel zand in de ondergrond. In de naastgelegen gebieden juist niet, daar is de kans op klei groot.

Het klimaat



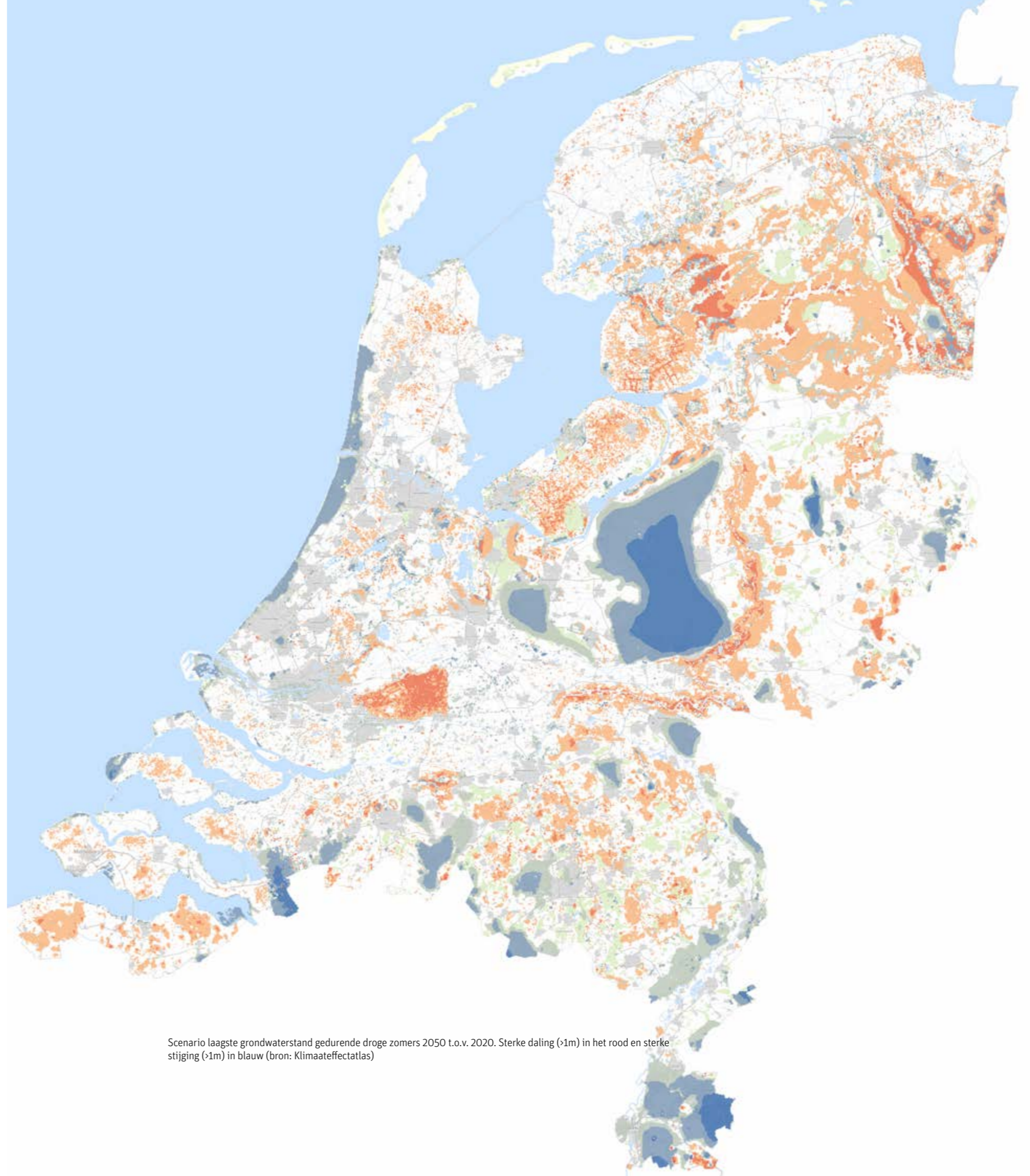
Het klimaat verandert. Weerextremen komen ook nu al steeds vaker voor. Meteorologische condities en de samenstelling van de ondergrond beïnvloeden elkaar en bepalen samen welke effecten klimaatverandering heeft. Sommige plaatsen zijn betrekkelijk ongevoelig voor klimaateffecten, andere plaatsen zijn juist zeer gevoelig.

GRONDWATEROVERLAST

In de KNMI klimaatscenario's neemt de neerslag in de winter toe, terwijl de verdamping ongeveer gelijk blijft. Een gevolg daarvan is dat de aanvulling van het grondwater toeneemt, de grondwaterstand stijgt, kwel in de vorm van uittredend grondwater toeneemt en daarmee de kans op overlast vergroot. Grondwateroverlast manifesteert zich vooral door vochtproblemen in woningen. Deze kunnen op hun beurt voor gezondheidsproblemen zorgen. Ook kan er overlast ontstaan door vochtminnende insecten zoals bijvoorbeeld muggen. Op sommige plekken is het risico als gevolg van kwel van hoger gelegen gebieden reëel. (Bron: Klimateffect Atlas)

LAGE GRONDWATERSTANDEN EN NATUURBRANDEN

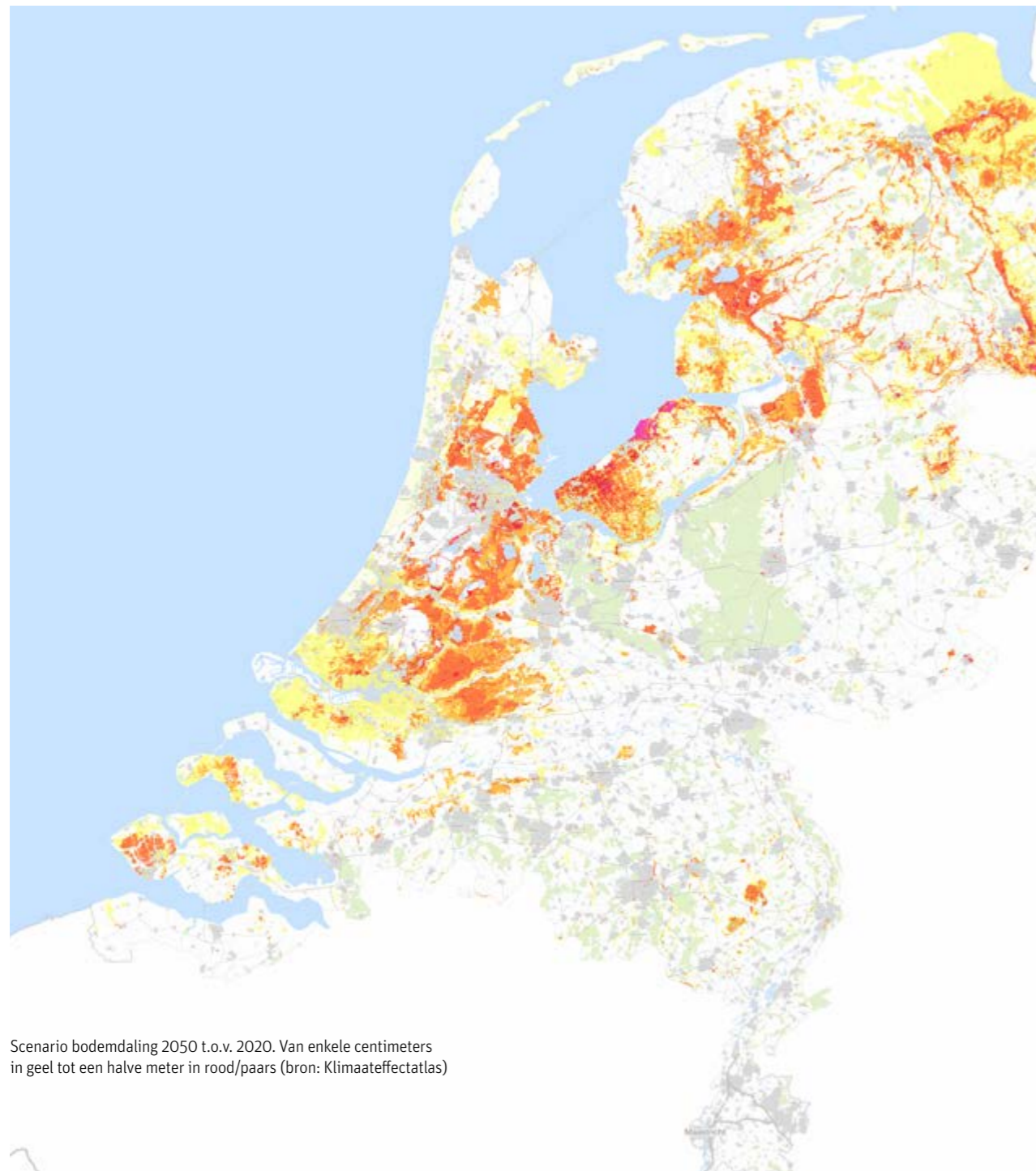
Te lage grondwaterstanden vormen voor veel functies een bedreiging. Voor natuur bestaat het gevaar op onomkeerbare schade, waarbij nattere doelsoorten verdwijnen en drogere doelsoorten het gebied niet kunnen bereiken. Een doelsoort is een biologische soort, waar natuurbeleid zich op richt. Er kan droogteschade voor de landbouw ontstaan. Door te lage grondwaterstanden in het groeiseizoen kunnen landbouwgewassen hun eigen watervoorziening niet verzorgen. De vraag naar water voor beregening uit het oppervlaktewater en het grondwater neemt dan sterk toe. Als dit water niet beschikbaar is kan droogteschade voor de landbouw optreden. (Bron: Klimateffect Atlas) Een ander effect van te lage grondwaterstanden is een verhoogd risico op natuurbranden.



Scenario laagste grondwaterstand gedurende droge zomers 2050 t.o.v. 2020. Sterke daling (>1m) in het rood en sterke stijging (>1m) in blauw (bron: Klimateffectatlas)

BODEMDALING

Grondwaterproblematiek speelt in grote delen van laag Nederland door toenemende bodemdaling. Het ontwateren van slappe grond zoals veen en klei, gebeurt om de grond geschikt te maken voor landbouw of woningen. Dit is al circa 500 jaar geleden begonnen en vindt nog steeds plaats. Het zorgt voor bodemdaling. Bodemdaling brengt schade toe aan wegen, huizen, bruggen, riolering, kabels en leidingen. Schade wordt vooral veroorzaakt doordat de bodem niet overal even snel daalt. De ernst van de schade hangt af van de bodemdalingssnelheid, de snelheidsverschillen en de staat en aard van de fundering. Het plannen van woningen op deze locaties heeft hier sterk rekening mee te houden. Mogelijk zijn de locaties onder veranderende klimaatomstandigheden niet duurzaam te bewonen.



Scenario bodemdaling 2050 t.o.v. 2020. Van enkele centimeters in geel tot een halve meter in rood/paars (bron: Klimateffectatlas)

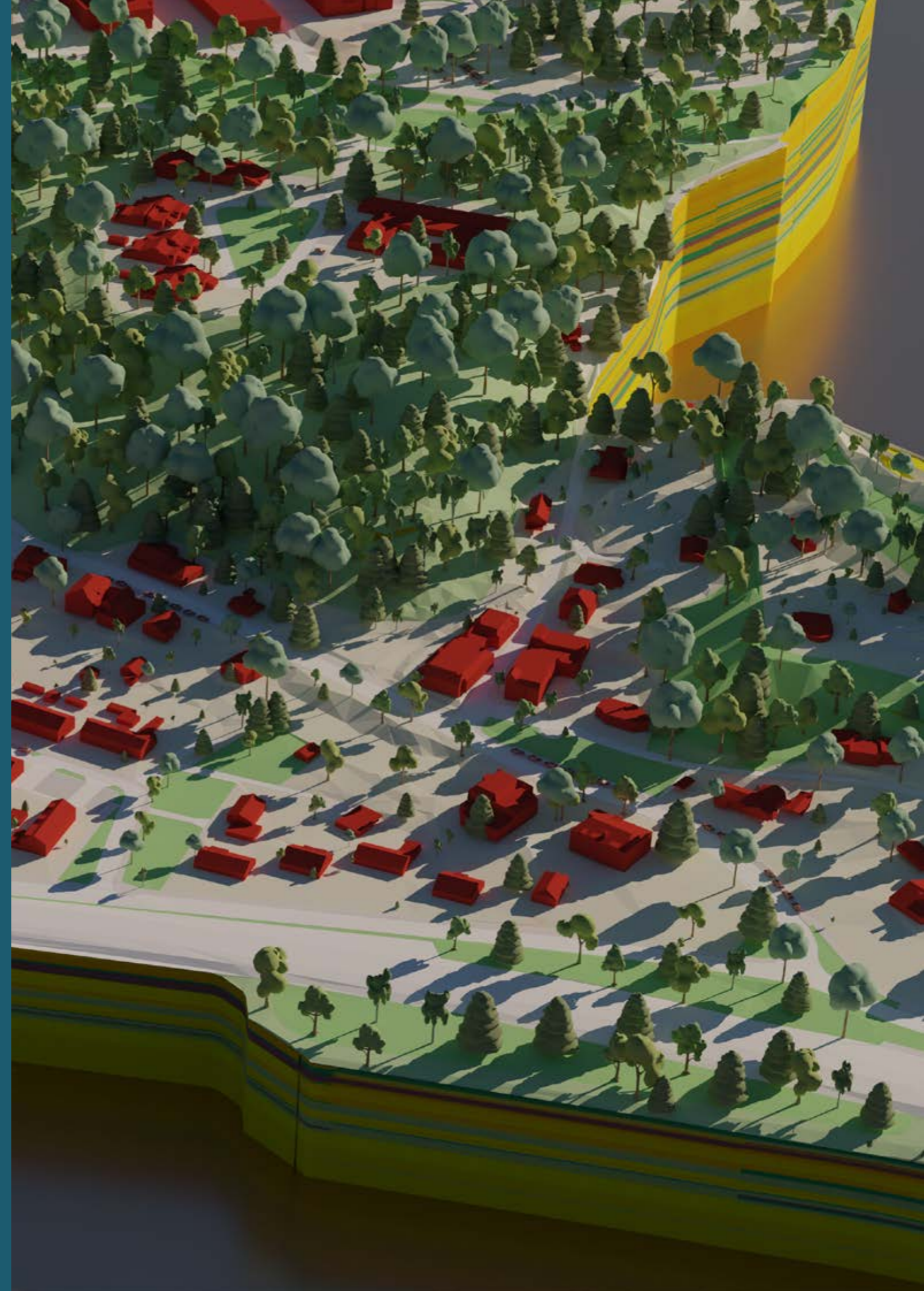


Risico op ondergrondverdichting. Van beperkt in oranje (veen) en groen tot zeer groot in paars (bron: Klimateffectatlas)

VERDICHTING VAN DE ONDERGROND

Door ondergrondverdichting neemt het infiltratievermogen, de doorlatendheid en het vochtbergend vermogen van de bodem af. In landbouwgebieden worden grote machines gebruikt om het land te bewerken. Door hun gewicht drukken ze de bodem samen. Ondergrondverdichting kan leiden tot wateroverlast door plasvorming. Omdat water versneld wordt afgevoerd ontstaat piekbelasting bij poldergemalen en kunnen laaggelegen gronden onderlopen. Er is meer kans op afspoeling van nutriënten en bestrijdingsmiddelen naar het oppervlaktewater. En op een verdichte bodem kunnen gewassen alleen oppervlakkig wortelen, waardoor ze water en stikstof in de bodem minder goed bereiken. (Bron: WENR) Het zijn vooral de zandgronden waar de bodemomstandigheden voor verdichting gunstig zijn. Verdichting speelt vooral de landbouw parten. Een sterk verdichte ondergrond in woongebieden kan bij onvoldoende alternatieve afwateringsmogelijkheden lokaal leiden tot wateroverlast.

De BRO en Digital Twins



DE DIGITAL TWIN INFRASTRUCTUUR EN DE BRO

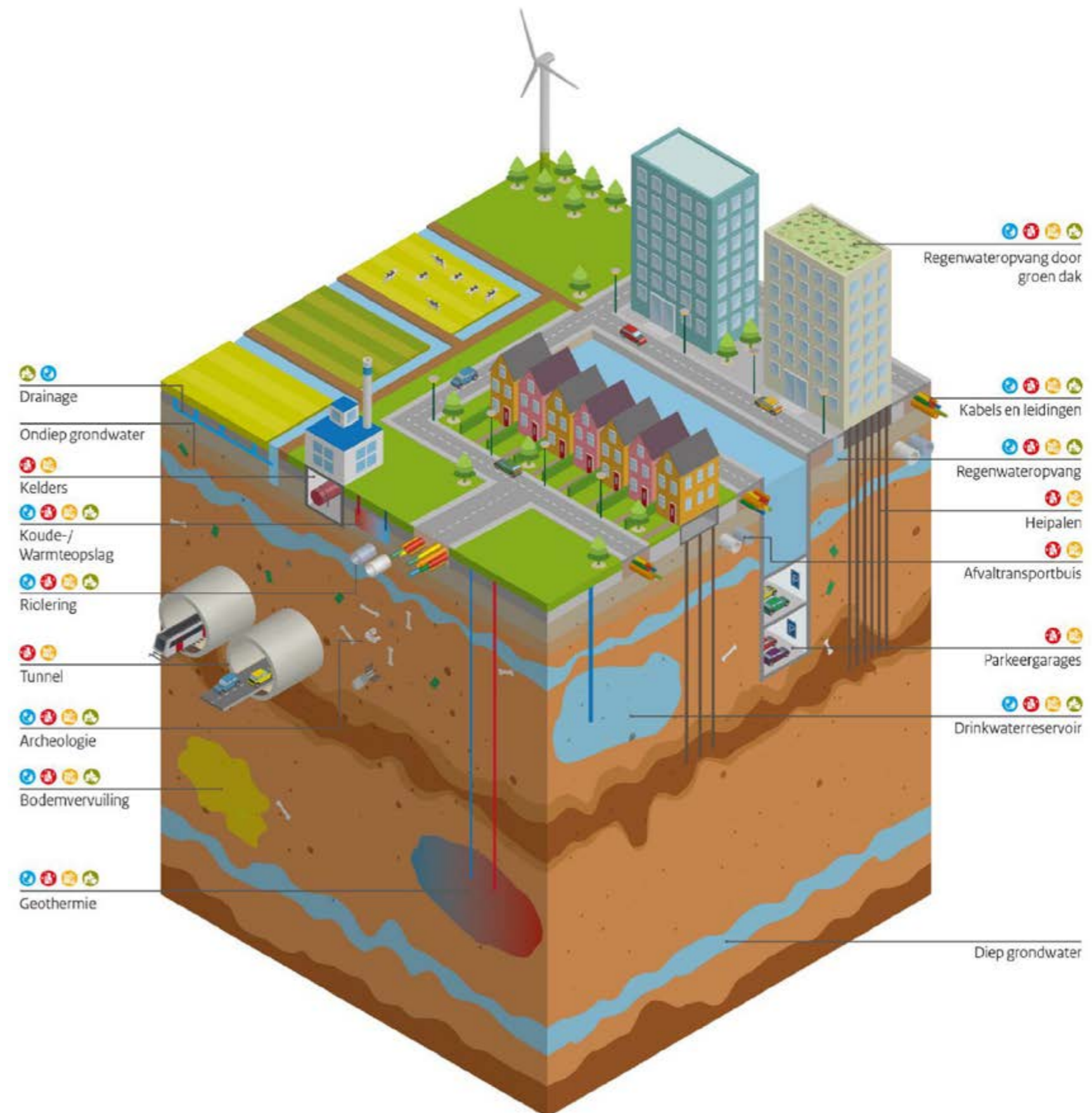
We zien het overal om ons heen. Nederland staat, zoals veel andere Europese landen, voor grote maatschappelijke opgaven die ingrijpende gevolgen hebben voor de inrichting van onze leefomgeving. Deze opgaven, die ook in dit overzicht terugkomen, zijn aan elkaar gerelateerd. Verduurzaming van ons energiesysteem, het dichtslibbende mobiliteitssysteem van snelwegen en vaarwegen, de landbouwtransitie en het veranderende klimaat. Het zijn complexe vraagstukken die een beroep doen op datgene wat in Nederland schaars is: de fysieke ruimte. Om deze in onderlinge samenhang en complexiteit aan te pakken zijn vele partijen aan zet: overheden, burgers, kennisinstellingen en het bedrijfsleven.

Bij de werkzaamheden aan de BRO-projecten zochten we naar een concept dat ons kon helpen met het aan de omgeving duidelijk maken dat we aan een nieuwe digitale infrastructuur werken. Een infrastructuur gebaseerd op heel veel data, maar nu dus ook met de dimensie ruimte en de dimensie tijd. Maar cruciaal daarbij ook de modellen die inzicht verschaffen in de processen. En zeker, de visualisatie is een belangrijke component. Zo komen we ook bij de technische infrastructuur, waar standaarden en de cloud componenten een belangrijke rol spelen.

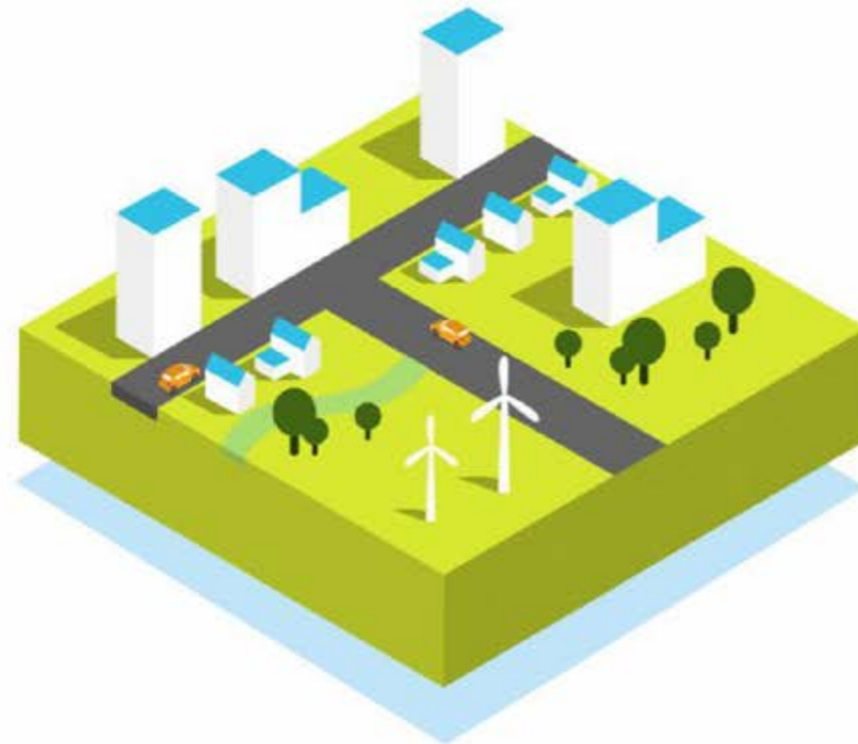
Alle BRO-projecten kunnen we dan inmiddels ook definiëren als POC's (Proof of Concept) van een Digital Twin. Zij laten een deel van de potentie van de Digital Twin zien, maar het zijn nog geen volledig operationele omgevingen. De BRO-projecten zien we dan ook in de Europese context terug als de eerste serieuze stappen in het verkennen van deze nieuwe en noodzakelijke infrastructuur.

Nederland werkt aan 4 grote opgaven:

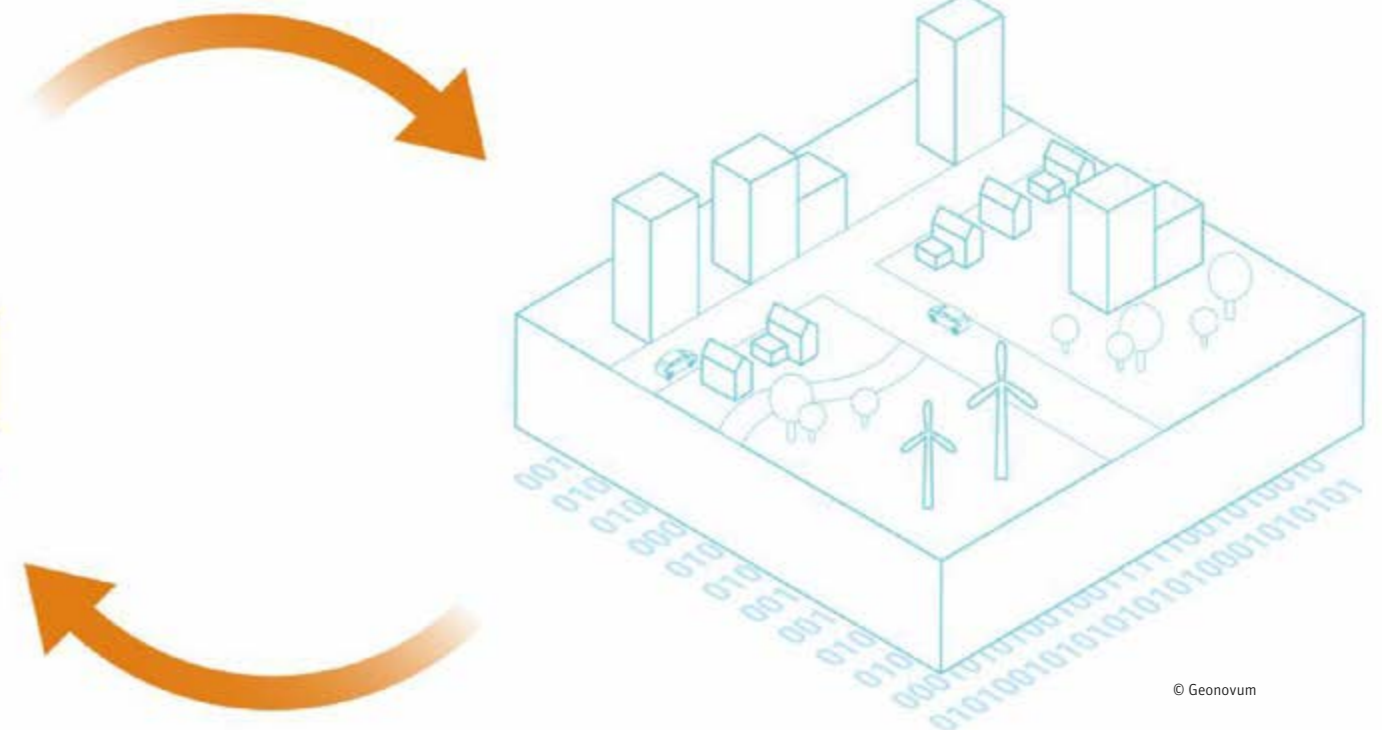
-  **Klimaatadaptatie en energietransitie**
-  **Duurzame economische groei**
-  **Sterke en klimaatbestendige steden en regio's**
-  **Toekomstbestendig landelijk gebied**



Fysieke leefomgeving



Digitale tweeling



© Geonovum

DIGITALE TWEELING VAN DE FYSIEKE LEEFOMGEVING

Overheden, bedrijven en kennisinstellingen werken nu al met een gemeenschappelijke informatiebasis om maatschappelijke opgaven het hoofd te bieden. Het PDOK (Publieke Dienstverlening op de Kaart) is op dit moment een goed functionerend Clearinghouse voor de Geo-Informatie In Nederland. Maar we willen een stap verder gaan. De digitale tweeling van de fysieke leefomgeving (DTFL) moet de digitale representatie van zowel stedelijke als landelijke omgeving op basis van data, modellen en visualisaties in Nederland worden. De DTFL verbindt betrokkenen, biedt inzichten en helpt de gewenste fysieke leefomgeving te verbeelden middels 3D-visualisaties. Het stelt betrokkenen in staat tot alternatieven te komen die bijdragen aan maatschappelijke opgaven en ondersteunt ten slotte beheerders bij een efficiënt beheer en onderhoud. Dit is een ambitieuze doelstelling waar de Nederlandse overheid onder de coördinatie van Geonovum met alle betrokkenen aan werkt.

Deze infrastructuur moet gaan zorgen voor het delen van data, modellen (reken en simulatie) en visualisaties op elke willekeurige schaal. We praten hier dus over een nieuwe infrastructuur in wording. Een droom die Al Gore in 1998 al met ons deelde, de Digital Earth op basis waarvan we tot een duurzame samenleving moeten komen. Nu, 25 jaar later, komt deze met de Digital Twin in zicht, en delen we de missie ook met veel partijen over de hele wereld.

DIGITAL TWIN ALS INSPIRATIE VOOR DE BURGER: BRAINPORT SMART DISTRICT

Naast de mooie grote infrastructurele projecten van de BRO is het ook goed een uitstapje te maken naar de burger. Is het mogelijk een Digital Twin te ontwerpen waar bewoners geïnspireerd raken en hun droomhuis beleven of vinden? Ze configureren en toetsen hun plannen aan de omgeving en regelgeving in het gebied. Op die manier maken we bijvoorbeeld inzichtelijk hoe je toekomstige huis zich verhoudt tot de leefomgeving en hoe dit passend kan worden gemaakt binnen de regelgeving. Het primaire doel: bewoners helpen bij het realiseren van hun woonwensen. In de Digital Twin kunnen bezoekers allerlei data zien over hun toekomstige wijk, zoals de beschikbare percelen en de voorzieningen. De Digital Twin moet een weerspiegeling van de werkelijkheid zijn, zodat bewoners en andere geïnteresseerden een betrouwbaar antwoord kunnen vinden op hun vragen. Ook zullen gebruikers van het platform zelf data genereren, bijvoorbeeld over hun toekomstige droomhuis. Maar ook de koppeling met het Kadaster is direct mogelijk, waardoor de rechtszekerheid in 3D kan worden getoetst.

TOEKOMST VOOR DE WONINGBOUW

Evenals in de BRO-projecten hebben we een POC (Proof of Concept) van een dergelijke Digital Twin ingericht. Met de Gemeente Helmond en vanuit de Brainport-samenwerking is het project Brainport Smart District tot stand gekomen. Ook hierbij geldt dat de POC een deel van de potentie laat zien, maar het is geen volledig operationele omgeving. De potentie is echter zodanig dat doorontwikkeling een interessante optie is, mits er een businessmodel kan ontstaan waardoor een investering in die ontwikkeling ook verantwoord is. Een commercieel verdienmodel is de meest toekomstbestendige optie, maar vanwege het innovatieve karakter van het product moeten daarvoor nog wel belangrijke randvoorwaarden worden ingevuld:

- uitzicht op commercieel draagvlak
- een winstgevend exploitatiemodel
- dekking van de ontwikkelkosten

De gerealiseerde proefomgeving laat goed zien dat de mogelijke toepassingen heel breed zijn: van een platform waar toekomstige bewoners hun huis kunnen vormgeven tot een tool voor ontwikkelaars en overheden om een volledige wijk te ontwerpen. We geven een aantal bevindingen.



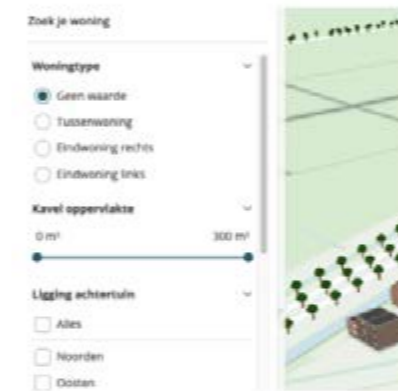
Als je de digital twin voor het eerst bezoekt, neemt een introductie je mee door alle functies.



Door kaartlagen uit- en aan te zetten kun je zelf relevante informatie toevoegen aan de digital twin.



Bekijk de bestaande situatie in 3D, informatie over de omgeving en de plannen voor de ontwikkeling van de wijk.



Met de filterfunctie stel je persoonlijke voorkeuren in en krijg je suggesties voor geschikte woningen.



Huis gevonden? Dan kun je erop klikken en het gaan aanpassen naar jouw wensen.



Pas je huis volledig aan naar jouw wensen. Wil je liever een plat dak en een uitbouw?



Tijdens het ontwerpen zie je direct of de veranderingen mogen binnen de huidige regels.



Ook krijg je inzicht in de kosten en je energieverbruik. Het stoplicht geeft aan of je aan alle eisen voldoet.



Ben je tevreden met je ontwerp? Plaats je huis in de digital twin en bekijk het resultaat!

Voordat toekomstige bewoners de keuze maken om in Brainport Smart District te wonen, willen ze allereerst zoveel mogelijk weten over de mogelijkheden, bouwplannen en voorzieningen in de wijk. Op basis van persoonlijke voorkeuren en budget kun je vervolgens op zoek naar een geschikte woning.

REALTIME REGELGEVING

Met de invoering van de Omgevingswet zal de manier waarop we werken met regels in ruimtelijke ordening veranderen. De Digital Twin geeft een doorkijkje naar die wereld en koppelt regelgeving met gebouw (BIM) en omgeving (GIS) informatie, waardoor het mogelijk is om continu te checken of het ontwerp van je droomhuis voldoet aan geldende regels. Het omgevingsrecht is een van de belangrijkste variabelen bij het oprichten van bouwwerken. Er wordt een afweging gemaakt tussen algemene belangen en het specifieke belang dat wordt gediend bij het oprichten van het bouwwerk. Te vaak wordt deze afweging pas na het ontwerpproces gemaakt. In dit project krijgt de gebruiker bij het ontwerpproces direct feedback over deze afweging.

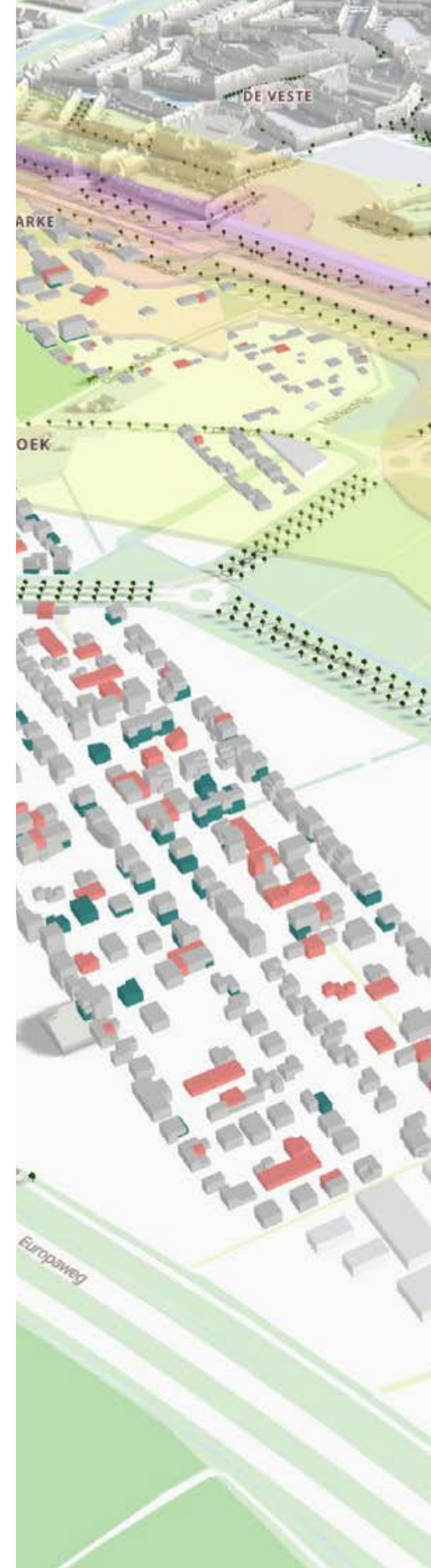


NOG ALTIJD VEEL 2D

Veel digitale gegevens bestaan nog steeds uit 2Dkaarten. Aansluiting naar kaartgegevens worden daarom nog steeds in standaarden aangeleverd. Kaartlagen met informatie van bijvoorbeeld wegen of bestemmingsplannen komen uit de standaard omgeving. In een dergelijke digital twin kunnen onbeperkte hoeveelheden 3D-data worden geladen en toegankelijk gemaakt via een standaard webbrowser. Ook bewegende objecten en schaduwwerking zijn mogelijk. Er kunnen allerlei 3D-objecten worden toegevoegd aan de digital twin, zoals straatmeubilair, gedetailleerde woningmodellen, en windmolens. Het is ook mogelijk om grote BIM-modellen te verwerken en in een standaardbrowser weer te geven. Gegevens worden weergegeven op basis van hun echte locatie in de basisregistraties. Platte kaarten worden zo omgezet in een virtuele 3D-omgeving.

DATA DELEN, PRIVACY EN EIGENAARSCHAP

Om toekomstige bewoners en ontwikkelaars antwoord te geven op hun vragen is behoefte aan veel en zo gedetailleerd mogelijke informatie over de toekomstige situatie: verkaveling, bebouwingsgrenzen, voorzieningen, winkels, sportfaciliteiten, openbaar vervoer, groen, waterpartijen, wegen en wandel- en fietsroutes, uitstoot van schadelijke stoffen, geluid, verkeersintensiteit, etc. In verschillende pilots en 'proofs of concept' was privacy en eigenaarschap van data nog niet aan de orde. Als de Digital Twin wordt doorontwikkeld tot een volwaardig bewonersplatform, moet goed worden nagedacht over welke informatie bewoners willen delen met andere partijen (en voor welke doeleinden). Met de DigiD infrastructuur zijn we al voorbereid op de discussie.



TOEPASSINGEN VOOR BEWONERS

SAMENWERKEN

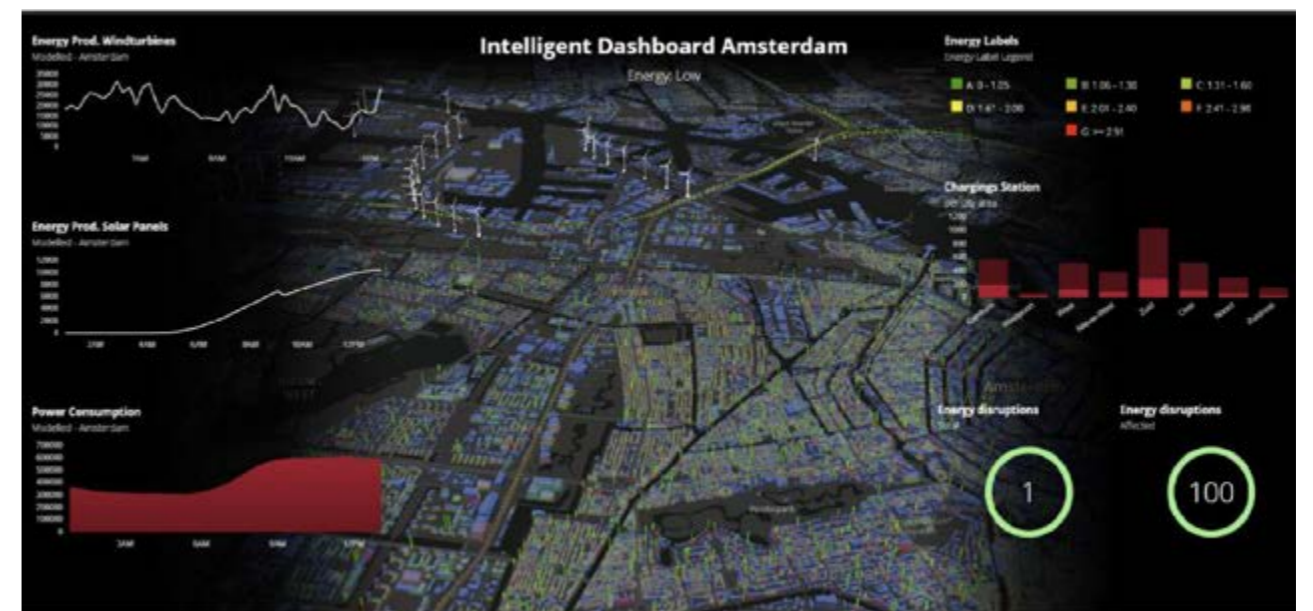
De digital twin kan een handig middel zijn om (online) samen te werken aan wijkplannen en inzicht te krijgen in de effecten daarvan. Aan het huidige platform kunnen daarvoor allerlei functionaliteiten worden toegevoegd voor bewoners. In gesprekken met bewoners kwamen veel vragen naar voren over de wijkdoelstellingen, bijvoorbeeld wat de effecten zijn van waterbesparende maatregelen. In de vervolgfase wordt met bewoners verder getest welke informatie in welke fase relevant is. In een later stadium, als er al woningen zijn gerealiseerd, kunnen bewoners ook allerlei extra diensten afnemen (app om met inrichting te spelen, bestaande woning verder aan te passen, live meetgegevens te zien, uitruil/inhuurmogelijkheden van faciliteiten, diensten en vervoer).

BELEVING

Uit de gebruikerssessies en gesprekken met stakeholders komt naar voren dat de beleving nog verder kan worden doorontwikkeld. Zodra er meer concrete plannen en data beschikbaar komen, kan de digital twin echt gaan functioneren als digitale kopie van de fysieke leefomgeving. Een volledige beleving is op verschillende manieren (technisch) in te vullen, waaronder een 'virtual tour' door de toekomstige wijk met behulp van augmented reality. De totaalbeleving van de wijk kan dus - met het toevoegen van meer gedetailleerde informatie - in een volgende fase verder worden ingevuld.

DASHBOARD

Als er voldoende data beschikbaar is (bijvoorbeeld als de wijk wordt bewoond) kan een digital twin ook dienen als 'dashboard' waarmee bewoners en andere stakeholders inzicht krijgen in de innovatieve doelstellingen van de wijk, bijvoorbeeld op het gebied van energie. Dit is met name relevant als er al is gebouwd, en er bijvoorbeeld real time data over de performance van de wijk kan worden gedeeld, maar het kan ook al in een eerder stadium worden ingezet om de ontwikkeling van de wijk te monitoren.



TOEPASSINGEN VANUIT DE OVERHEID

Daarnaast kan de digital twin ook voor gemeenten een nuttige tool zijn. Met de komst van de Omgevingswet moeten gemeenten anders gaan werken en hun juridische regels toepasbaar maken. Dat wil zeggen dat ze in begrijpelijke vragenbomen worden opgeschreven, zodat initiatiefnemers beter en sneller worden geholpen. Met behulp van een digital twin kunnen gemeenten daarin nog een stap verder gaan. Het huidige digital twin concept werkt niet met vragenbomen, maar vult automatisch de vragen in. Je plannen toetsen aan regels wordt daarmee nog eenvoudiger en automatiseerbaar. Een digital twin kan dus helpen om niet alleen de kwaliteit van regelgeving te verhogen en door te ontwikkelen, maar ook om de dienstverlening te verbeteren. Een andere belangrijke peiler van de omgevingswet, het mogelijk maken van initiatief, wordt daarmee ook ingevuld. Ontwikkelaars kunnen de digital twin gebruiken om binnen de regelgeving (met automatische toetsing) een serie van woningen met variatie te ontwikkelen. Hiervoor is de inzet vanuit de gemeente nodig om de actuele regelgeving te implementeren en digitaal beschikbaar te stellen. Ook de doelstellingen van Brainport Smart District worden in de digital twin zichtbaar en meetbaar. Dit zijn doelstellingen die lastiger vast te leggen zijn in een bestemmingsplan, maar wel het fundament van de wijk vormen. Ontwikkelaars kunnen dit als hulpmiddel gebruiken en efficiënter flexibele woningen aanbieden, binnen de wettelijke mogelijkheden.

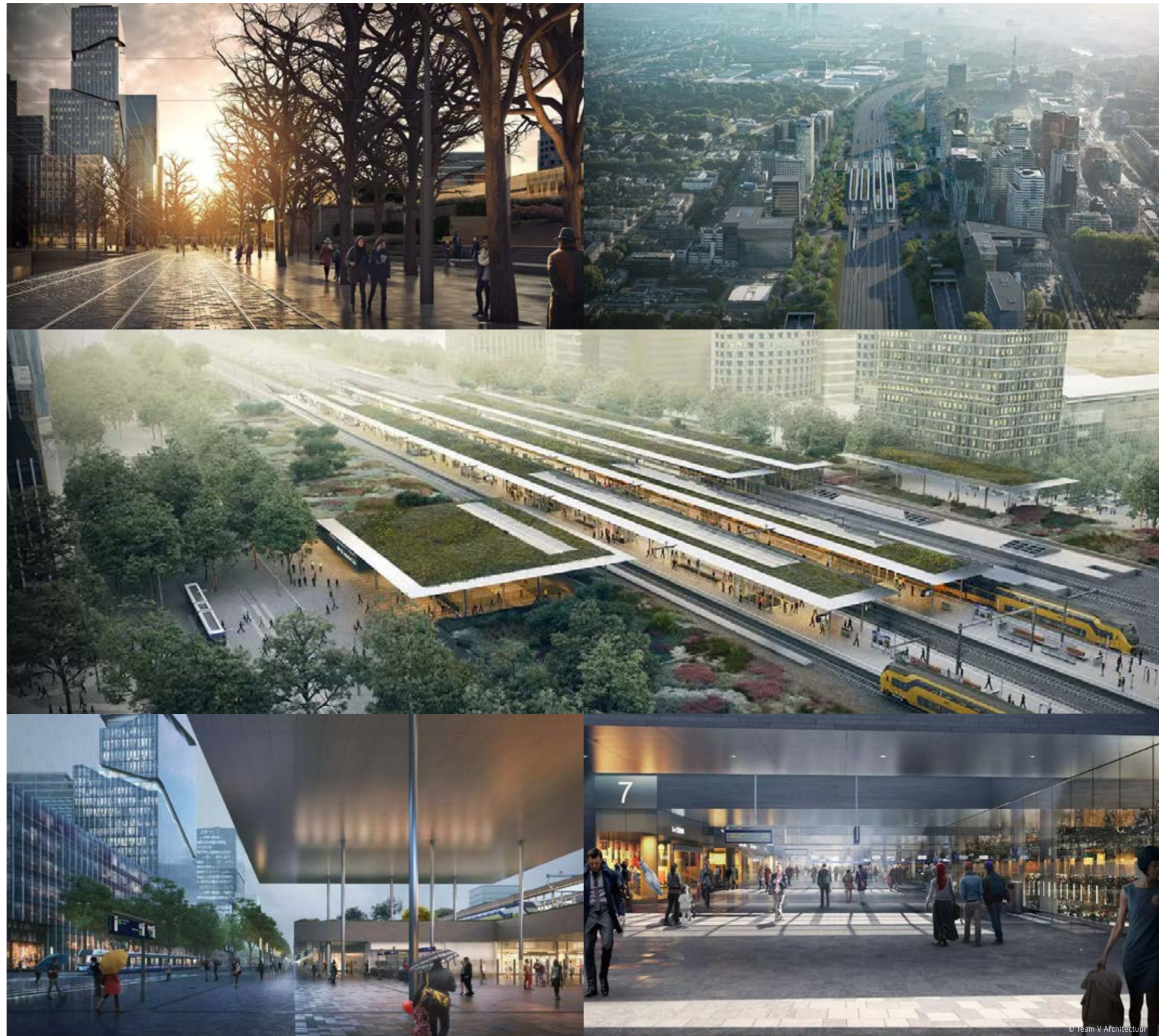


Zuidasdok



KAN DE BRO VERSCHIL MAKEN?

Zuidasdok vormt de komende jaren een van 's lands grootste bouwprojecten. Alle beschikbare ondergrondgegevens bij elkaar brengen en inzichtelijk in 3D visualiseren genereert waardevolle inzichten. Zeker als je daarin dynamische data kunt integreren. De invoering van de BRO vergroot het potentieel van dynamische 3D-datarooms. Zuidasdok omvat meerdere onderdelen, te weten de verbreding en deels ondergronds brengen van Rijksweg A10 Zuid, de uitbreiding en vernieuwing van station Amsterdam Zuid en het opnieuw inrichten knooppunten Amstel en De Nieuwe Meer. In 2028 moet dit alles zijn gerealiseerd. Op 21 februari 2017 kreeg aannemerscombinatie ZuidPlus definitief de opdracht om Zuidasdok te bouwen. Samen met ProRail en de gemeente Amsterdam is Rijkswaterstaat opdrachtgever.



HUIDIGE KNELPUNTEN

De capaciteit van station Amsterdam Zuid staat onder druk. Het aantal trein- en metroreizigers is de laatste jaren gegroeid, onder andere door toenemend gebruik van het openbaar vervoer en het gereedkomen van de Noord/Zuidlijn.

Door verdergaande groei van het autoverkeer is rond 2020 de doorstroming van het verkeer in beide richtingen van de A10 Zuid onder druk komen te staan.

Om de luchtkwaliteit te verbeteren en de geluidsoverlast te verminderen, wordt de infrastructuur ter hoogte van het centrum van de Zuidas deels in een tunnel van ongeveer één kilometer lang gebracht. Deze zone wordt de Dokzone genoemd en splitst de huidige Zuidas in tweeën.



REAL-TIME VERZAKKINGSGEGEVENS

In Amsterdam is een systeem gerealiseerd voor het monitoren van deformatie in de ondergrond (zakkingen). De oudere, vooroorlogse panden in Amsterdam zijn gebouwd op houten palen. De kwaliteit daarvan verschilt sterk. Een slechte fundering kan zakkingen tot gevolg hebben, wat uiteindelijk tot sloop kan leiden. Op grote schaal zijn meetbouten geplaatst, die inzicht geven in de grootte en snelheid van de zakkingen.



Zaknelheid in de gemeente Amsterdam. Van minder dan een millimeter in blauw tot vier millimeter in rood (bron: Gemeente Amsterdam)

Visualisatie van NDW data. Snelheid van normaal (groen) naar vertraagd (rood) en de intensiteit d.m.v. de dichtheid van de blokjes (bron: Geodan)

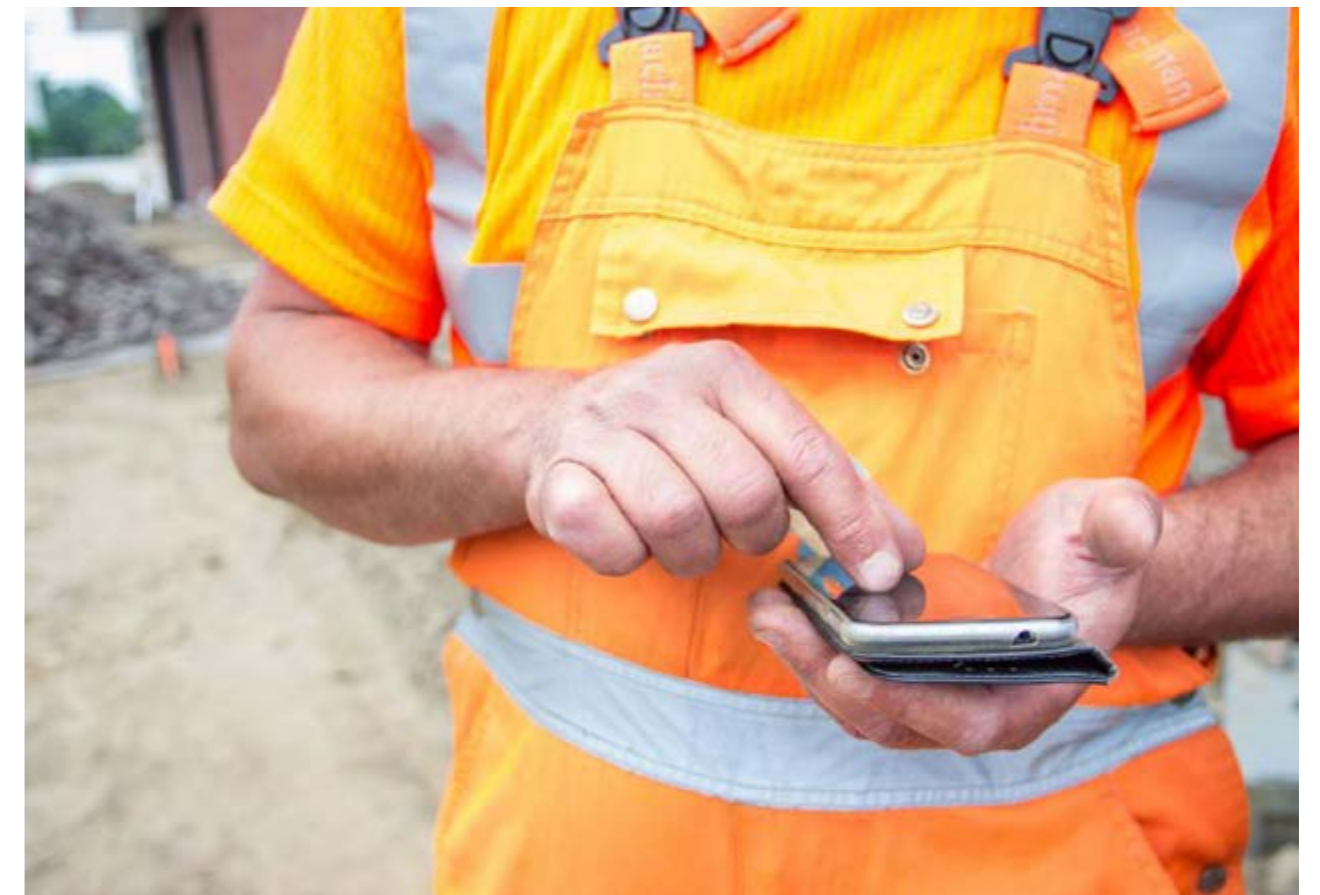


VERKEERSGEGEVENS

De Nationale Databank Wegverkeersgegevens (NDW) verzamelt data over het wegverkeer op de Nederlandse wegen. De inwinning vindt plaats via 27.000 meetpunten over ruim 7.100 km rijkswegen, provinciale wegen en doorgaande stedelijke wegen. Die registreren onder meer de gemiddelde snelheid, gemeten over een minuut, van alle voertuigen die een meetlus passeren.

MEER INZICHT, MINDER COMMUNICATIEMISVERSTANDEN

Door het beschikbaar komen van nieuwe technologieën én steeds meer data, zoals die in de BRO en in datarooms gestandaardiseerd bij elkaar worden gebracht, worden significante verbanden voor alle betrokkenen steeds inzichtelijker. Grote hoeveelheden gegevens kunnen in onderlinge samenhang steeds toegankelijker worden aangeboden op een manier waarop de gebruiker er direct iets mee kan.



Slot

We zijn aan het einde gekomen van dit e-book over de Basisregistratie Ondergrond. Er is nog zó veel te vertellen, echter... de belangrijkste verhalen liggen nog voor ons in het toekomstig gebruik van de BRO. Zoals gezegd ligt de Basisregistratie Ondergrond gereed, maar de toepassingsmogelijkheden zijn vooral voor ons allen om op te pakken.

We hebben niet teveel teruggekeken. We staan immers aan het begin van iets nieuws. We zitten midden in een digitaliserings- en modelleringslag die nog lang niet ten einde is. Een nieuwe manier van samenwerken tussen afdelingen, tussen organisaties en tussen kennisvelden. Maar wel met een gemeenschappelijke doelstelling. Met dit boekwerkje hebben we geprobeerd een visie te schetsen op basis van wat er nu feitelijk al mogelijk is; met behulp van huidige technologie, bestaande - en nieuwe wetgeving en een realistische inzet van menskracht en talent.

Wij kijken met veel plezier naar de visualisaties, de analyse mogelijkheden, de snelheid en het gemak waarmee tegenwoordig gegevens kunnen worden gedeeld. Er is natuurlijk nog genoeg werk te verrichten om deze vooruitgang in mogelijkheden in de praktijk te brengen. Zodat wij straks kunnen ervaren dat wij allemaal gebruik kunnen maken van de Digital Twin van Nederland en wij daarmee deze infrastructuur ook blijven vormgeven.

Het mooiste komt nog!

Bronnen

Bij de samenstelling van dit boekwerk is dankbaar gebruik gemaakt van een aantal openbare bronnen. De belangrijkste zijn de onderstaande praktijkvoorbeelden van de BRO zoals verzameld op Basisregistratieondergrond.nl:

Amsterdam Amstelstad/ 3D ruimtelijke ordening met het oog op de energietransitie
Amsterdam Zuidasdok/ Besluitvorming rondom infra en verbouwing station Amsterdam Zuid
BRO & MIRT Onderzoek Duurzame Bodemligging Rijntakken/ Rivier de Waal/ Nijmegen Lekdijk/ Met de BRO op zoek naar het 'risico-DNA' van de Lekdijk Hoorn - Enkhuizen/ Aanleg N23 Westfriisaweg: Had de BRO verschil kunnen maken?
Noordzee/ Hergebruik en ontmanteling van bestaande olie- en gasinstallaties Regio Zwolle/ Ruimtelijke opgaven in de NOVI regio Zwolle
Rivier de Waal, bij Nijmegen/ Inzet van BRO-gegevens bij MIRT-onderzoek Duurzame Bodemligging Rijntakken
Utrecht Ring A27-A12/ Kan de BRO verschil maken bij besluitvorming?

Voor de talloze definities, procesomschrijvingen en andere input danken de samenstellers: Arcadis, Bruinsma, H., & Burgerhart, N. (2015, Instructie BIM-dataroom), Deltares, DINoloket, Energie Beheer Nederland (EBN), Esri Nederland, Gemeente Amsterdam, Gemeente Zwolle, Geocap Norway, Hoogheemraadschap De Stichtse rijnlanden, het Kadaster, Gilbert Maas (geomorfoloog), Ministerie BZK, Ministerie EZK, Ministerie IenM, Nationale Databank Wegverkeersgegevens, Neptune Energy, Nexstep, NOGEPa, Provincie Overijssel, NOVI, RVO, Rijksvastgoedbedrijf, Rijkswaterstaat Zee en Delta, Shell, SodM, Stichting CAS, Stichting Climate Adaptation Services, TNO/ GDN, Waterschap Drents Overijsselse Delta.

Voor hoofdstuk 6, De BRO en Digital Twins, is gebruik gemaakt van het Kennisdocument Digital Twin Brainport Smart District; Proof of concept van een digitale klantreis door data en regels in de slimste wijk ter wereld. Dit document is opgesteld door WoonConnect en Geodan, met input van alle betrokken organisaties die een bijdrage hebben geleverd aan het resultaat van dit project: Brainport Smart District, Gemeente Helmond, Provincie Noord-Brabant en TU/e (Technische Universiteit Eindhoven).

De samenstellers van dit boek hebben hun uiterste best gedaan om de rechthebbenden van het gebruikte beeldmateriaal te achterhalen. Meent u rechthebbende te zijn van een of meer van de foto's die wij hebben gebruikt op deze website, dan vragen wij u vriendelijk contact met ons op te nemen via info@geodan.nl.

Colofon

Uitgever

Geodan B.V.

Redactie

Bas Heller
Remco Takken

Concept & creatie

Lisanne Lentink
Henk Scholten
Brian de Vogel
Simone Wismans

Uitgave

Maart 2022

Copyright

Geodan B.V.

Met dank aan

Het BRO team van BZK o.l.v. Martin Peersmann
Het BRO team van Geodan o.l.v. Jan Wiersma
Luc Kohsiek, dijkgraaf HHNK