



Ministerie van Binnenlandse Zaken en
Koninkrijksrelaties

Gegevens van de ondergrond: Fundament voor de delta-opgaven van nu en morgen

Sterke Lekdijk



HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE
RIJNLANDEN



Ministerie van Binnenlandse Zaken en
Koninkrijksrelaties



Basisregistratie
Ondergrond



TNO innovation
for life

Omslagbeeld: Blik langs de noordelijke Lekdijk
naar Amerongen (bron: HDSR)

1. Ondergrond scherp in beeld

Eén centrale basisregistratie voor de ondergrond

In Nederland hebben we sinds 2018 de Basisregistratie Ondergrond (BRO): één centrale registratie met publieke gegevens over de Nederlandse ondergrond. Overheden leggen nu voor dezelfde objecten dezelfde, betrouwbare, algemene gegevens vast. Denk aan gegevens over de samenstelling van de ondergrond of van grondwater. Tot voor kort waren ondergrondgegevens nog in beheer bij verschillende organisaties. Dus waren die gegevens voorheen niet op dezelfde manier gedigitaliseerd en geharmoniseerd. Bovendien waren ze maar gedeeltelijk publiek beschikbaar.

Met de BRO zijn deze gegevens voor iedereen toegankelijk, transparant en overzichtelijk. Ze vormen het fundament voor een goed beleid en beheer. De data zijn essentieel voor een ruimtelijk en integraal inzicht te krijgen in de ondergrond - in combinatie met de bovengrond. Dat is onder meer nodig om de huidige maatschappelijke opgaven het hoofd te kunnen bieden. Oplossingen voor woningbouw, energietransitie, klimaatadaptatie, landbouw, mobiliteit en economie worden in toenemende mate gezocht in de ondergrond. Maar daar is het al erg druk. Inzicht in de ondergrond wordt dus steeds belangrijker.

Ondergrond en het Hoogwaterbeschermingsprogramma

Ook bij het versterken van waterkeringen is kennis van de opbouw van de ondergrond essentieel. Dijkversterking is een belangrijke opgave in het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Beheerders van primaire waterkeringen moeten iedere twaalf jaar beoordelen of hun keringen voldoen aan de wettelijke veiligheidseisen. Per 1 januari 2017 zijn de normen veranderd. Bij de oude normen moest een waterkering een bepaalde waterstand veilig kunnen keren. In de nieuwe normen wordt uitgegaan van een maximaal toelaatbare overstromingskans. De ondergrond van de dijk is een van de doorslaggevende factoren bij verschillende processen die ertoe kunnen leiden dat een dijk breekt.

“Bij dijkversterking zit het grootste risico in de ondergrond.”

*Luc Kohsiek, Dijkgraaf Hoogheemraadschap
Hollands Noorderkwartier*

GeoTOP: een gedetailleerd driedimensionaal model van de ondergrond tot een diepte van 50 meter onder NAP

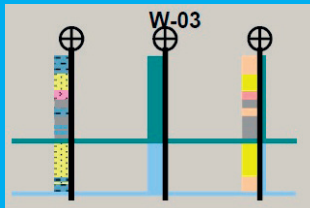
Op basis van alle beschikbare gegevens van de ondergrond, heeft de Geologische Dienst Nederland bij TNO-GDN het GeoTOP model ontwikkeld. Dit geologische model van de ondergrond tot 50 meter onder NAP is voor iedereen beschikbaar via DINOloket (straks onderdeel van de BRO). GeoTOP benut de gegevens van de meer dan 430.000 boringen uit de DINOdatabase.

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. Je kunt je het model voorstellen als vele stapels “pizzadozen” naast elkaar. Voor heel Nederland gaat dat om honderden miljoenen pizzadozen (voxels).

Aan elke voxel zijn gegevens gekoppeld, zoals de grondsoort (de lithologie), de stratigrafische eenheid en ook de modelonzekerheid. Op basis van de beschikbare gegevens en alle geologische kennis die over de vorming van de Nederlandse ondiepe ondergrond is verzameld, geven de voxels in GeoTOP *de meest waarschijnlijke lithoklasse* weer. Het is belangrijk te realiseren dat GeoTOP *een model* is en geen absolute waarheid vertegenwoordigt. Er moet dus altijd rekening worden gehouden met een bepaalde mate van onzekerheid bij gebruik van dit model. Hoe meer boorgegevens in een bepaald gebied beschikbaar zijn, hoe groter de zekerheid van het model. Veel boringen gaan niet zo diep. Daarom geldt in principe: des te dieper, des te groter de onzekerheid van de modellen.

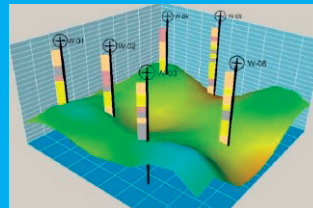
Hoe komt GeoTOP tot stand

boringen



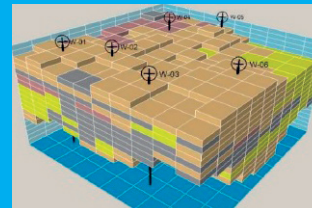
Geautomatiseerde lithostratigrafische interpretatie van DINO boringen

lagenmodel



2D interpolatie van stratigrafische grenzen

voxelmodel



3D interpolatie van lithologische klasse binnen elk stratigrafische eenheid
Onzekerheid gekwantificeerd door stochastische simulaties

Feiten en modellen

De Basisregistratie Ondergrond biedt gevalideerde gegevens die bijdragen aan een nauwkeurigere bepaling van de opgave en de mogelijke oplossingen voor de dijkversterking. Het gaat daarbij zowel om feitelijke gegevens als om modellen die de waarschijnlijke samenstelling en opbouw van de ondergrond weergeven. Het benutten van deze informatie maakt slimmere en slankere ontwerpen mogelijk en faciliteert beter risicomanagement: de BRO verschaft inzicht in de mogelijkheden en risico's van de ondergrond van planontwikkeling tot uitvoering.

Nieuwe mogelijkheden: Digital Twin

Door de digitale gegevens uit de verschillende basisregistraties met elkaar te combineren en in 3D te visualiseren, ontstaat de basis voor een digital twin: een virtuele kopie van de werkelijkheid. Des te meer gegevens je in de digital twin stopt, des te beter de digital twin de werkelijkheid benadert. Gegevens uit verschillende bronnen kunnen zo in onderlinge samenhang worden bekeken. Deze techniek is ook ingezet bij het kijken naar de versterkingsopgave van de Lekdijk.

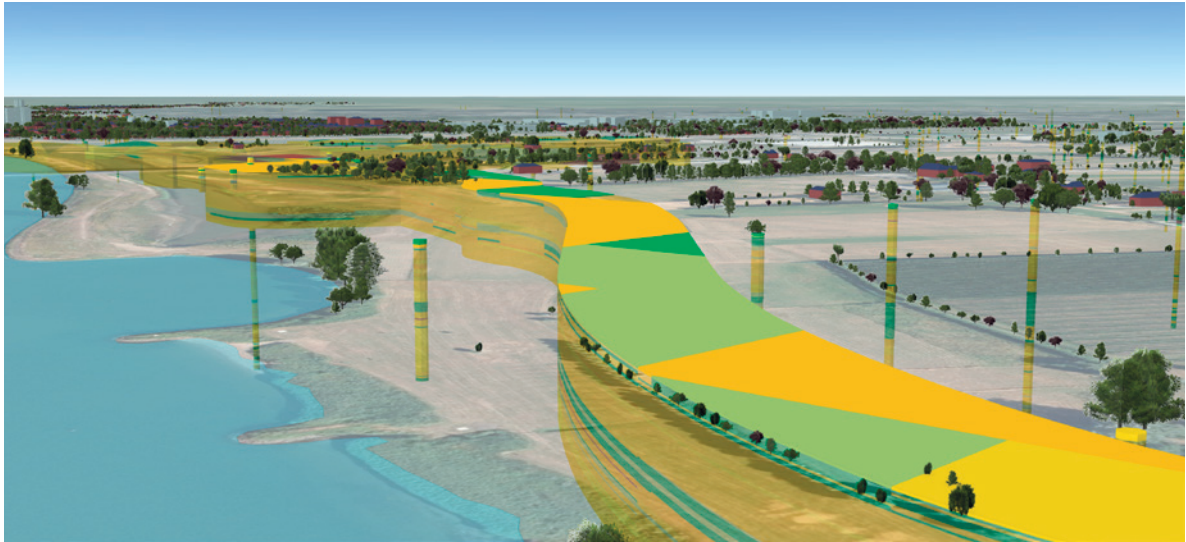
“Een 3D dataroom met geavanceerde integratie- en visualisatietools, gevoed door alle gegevens uit de Basisregistratie Ondergrond, faciliteert het nemen van de juiste beslissingen van plan- tot beheerfase.”

Martin Peersmann, Programmadirecteur Basisregistratie Ondergrond

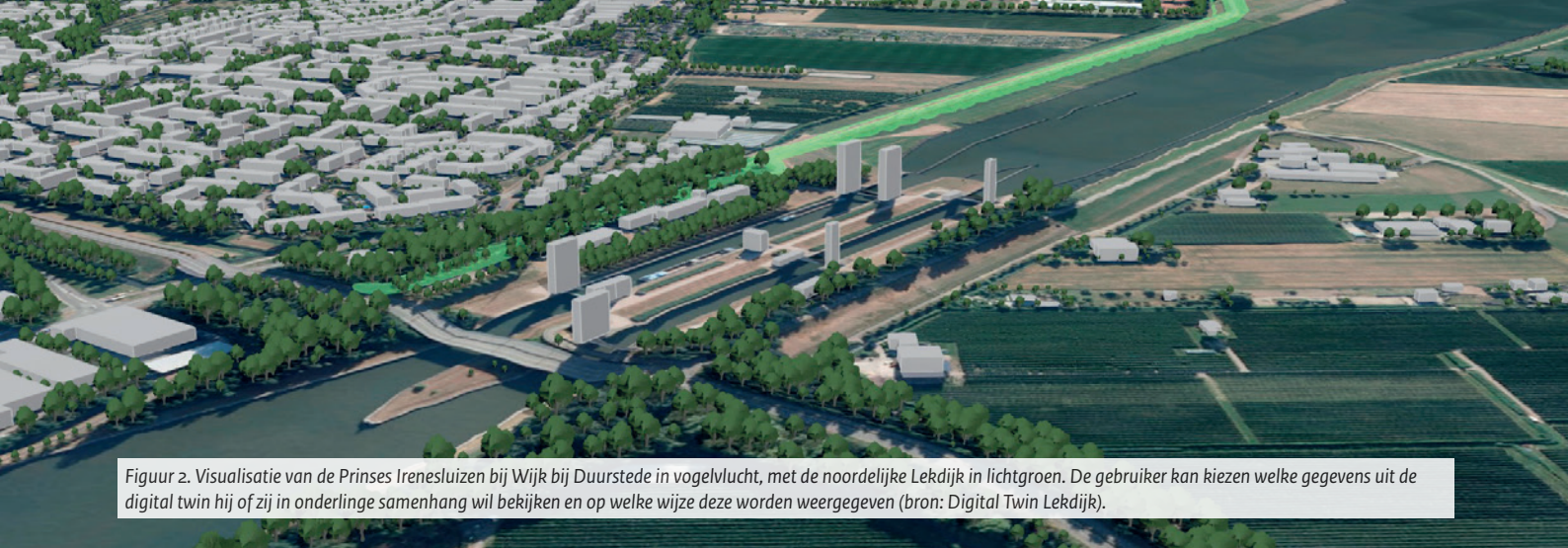
Deze virtuele omgeving maakt de boven- en ondergrond inzichtelijk voor bijvoorbeeld civieltechnische experts, beleidsmakers en omwonenden. De digital twin ondersteunt een integrale benadering en proactieve sturing op het benutten van de kansen en het beheersen van de risico's van plan- tot beheerfase.

“We kunnen veel makkelijker inzichtelijk maken waarom waar welke maatregelen voorgesteld worden.”

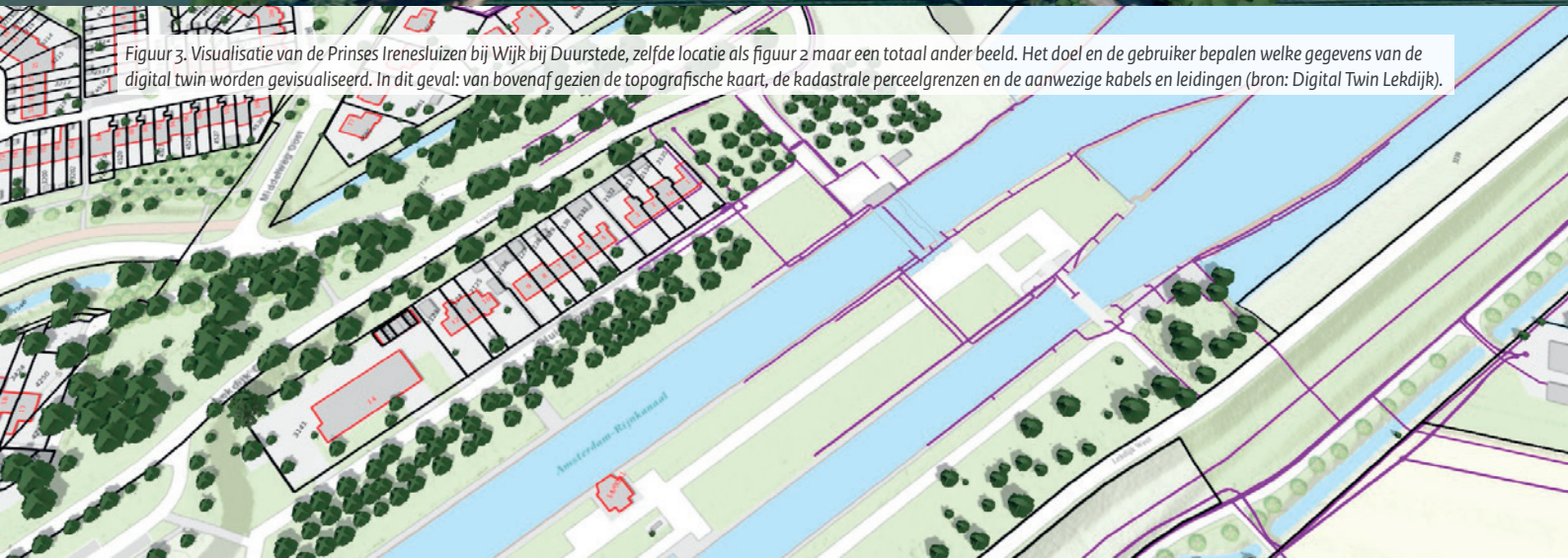
Jannes van Hove, Omgevingsmanager project Sterke Lekdijk, HDSR



Figuur 1. Visualisatie van de Lekdijk bij 'Tull en Het Waal'. De digital twin toont in dit geval gegevens uit de Basisregistratie Ondergrond (boorprofielen, lithoklasse onder het dijktracé volgens GeoTOP), gegevens van het Kadaster (3D kaart NL), het boomregister en een luchtfoto (bron: Digital Twin Lekdijk).



Figuur 2. Visualisatie van de Prinses Irenesluizen bij Wijk bij Duurstede in vogelvlucht, met de noordelijke Lekdijk in lichtgroen. De gebruiker kan kiezen welke gegevens uit de digital twin hij of zij in onderlinge samenhang wil bekijken en op welke wijze deze worden weergegeven (bron: Digital Twin Lekdijk).



Figuur 3. Visualisatie van de Prinses Irenesluizen bij Wijk bij Duurstede, zelfde locatie als figuur 2 maar een totaal ander beeld. Het doel is de gebruiker bepalen welke gegevens van de digital twin worden gevisualiseerd. In dit geval: van bovenaf gezien de topografische kaart, de kadastrale perceelgrenzen en de aanwezige kabels en leidingen (bron: Digital Twin Lekdijk).

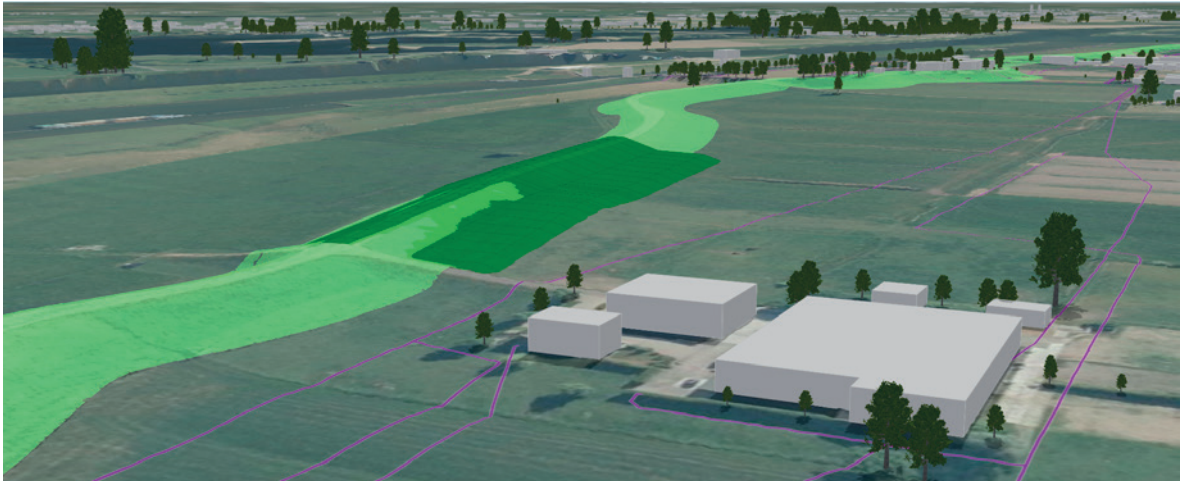
De toekomst in beeld

Vooral in de verkenning- en planfase is de beschikbaarheid en koppeling van gegevens over de boven- en ondergrond van belang om inzicht te krijgen in de kansen en onzekerheden. Het inzetten van deze informatie zorgt voor versnelling van het bouwproces, effectiever risicomanagement en een breder draagvlak bij direct betrokken omwonenden.

De digital twin kan ook toekomstscenario's tonen. Bijvoorbeeld de ontwerpen van geplande veranderingen

in de openbare ruimte. Geometrieën van toekomstige bouwwerken kunnen naadloos vanuit een BIMmodel worden geïmporteerd en in de virtuele leefomgeving worden geplaatst. Zo kunnen we van tevoren een beeld krijgen van geplande maatregelen.

Belevingstechnologie maakt het mogelijk de digital twin virtueel binnen te stappen om de consequenties van gekozen maatregelen van tevoren te verkennen en ervaren. Denk bijvoorbeeld aan zichtlijnen die veranderen door



Figuur 4. Geometrie van het nieuwe dijkontwerp (donkergroen) geïntegreerd en gevisualiseerd in de digital twin van de Lekdijk. We zien de Lekdijk (lichtgroen) tussen Wijk bij Duurstede en Amerongen, met op de achtergrond de uiterwaarden en de rivier. In paars is aangegeven waar zich onder de grond kabels en leidingen bevinden (bron: Digital Twin Lekdijk).

dijkverhoging, of toekomstige schaduwwerking. Dat helpt bij het informeren van belanghebbenden en het creëren van draagvlak. Toekomstscenario's kunnen zo al tijdens de ontwerpfase in 3D worden geëvalueerd en zo nodig aangepast.

Pilots: proofs of concept

Het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, Rijkswaterstaat, Deltares, Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN), Kadaster, Geodan, Future Insight en Arcadis bundelen sinds medio 2017 hun kennis en expertise

in diverse pilots met de Basisregistratie Ondergrond (BRO) binnen lopende ruimtelijke projecten. Deze Proofs of Concept maken voor uiteenlopende projecten de meerwaarde van tijdig en gecombineerd gebruik van ondergrondgegevens uit de BRO inzichtelijk. Duidelijk is dat datagedreven werken zorgt voor een hogere kwaliteit, transparantie, doelgerichter beleid en slimmere beslissingen.

Meer informatie over Proofs of Concept:
basisregistratieondergrond.nl/pocs



“3D visualisaties zijn geschikt voor een breed publiek. Dan gaan de plannen meer leven.”

Jan-Willem Vrolijk, Omgevingsmanager project Sterke Lekdijk, HDSR

Figuur 5. Met behulp van belevingstechnologie kan de digital twin in 3D worden bekeken en ervaren. De gebruiker bepaalt het perspectief. Een 'helicopterview' verschaft vanzelfsprekend andere inzichten dan een 'first person view'.



De Lekdijk ter hoogte van Buurtschap Honswijk (bron: Geodan)

2. BRO in de praktijk: Sterke Lekdijk

Voormalig dijkgraaf van HDSR Patrick Poelmann:

“Bij de versterking van de Lekdijk speelt de Basisregistratie Ondergrond een voorname rol. Ooit liep de Rijn via Wijk bij Duurstede, Utrecht en Bodegraven bij Katwijk de zee in. In 1122 is er bij Wijk bij Duurstede een afdamming geweest die ervoor zorgde dat de Lek de hoofdstroom van de Rijn werd. Het werd een soort van meander. Dat zie je ook terug in de verschillende ondergronden. Zand, klei, grind, veen. Een en ander heeft gevolgen voor het werken aan de dijk. Op het moment dat je iets gaat doen aan die dijk, zul je elk stuk van die dijk op zichzelf moeten beschouwen. Het makkelijkst is om 55 kilometer damwand aan te leggen, maar dat is duur en niet nodig.”

Door onder andere klimaatverandering kan de wateraanvoer door de rivieren de komende decennia op piekmomenten sterk toenemen. Een groot deel van de Lekdijk tussen Amerongen en Schoonhoven is daar niet op berekend en voldoet niet meer aan de veiligheids-eisen. Bij een doorbraak van de noordelijke Lekdijk is de economische en ook de menselijke schade enorm. Een groot deel van de Randstad, zelfs tot aan Amsterdam, zou onder water komen te staan. Dus moet de Lekdijk over een afstand van ruim 50 kilometer worden versterkt.

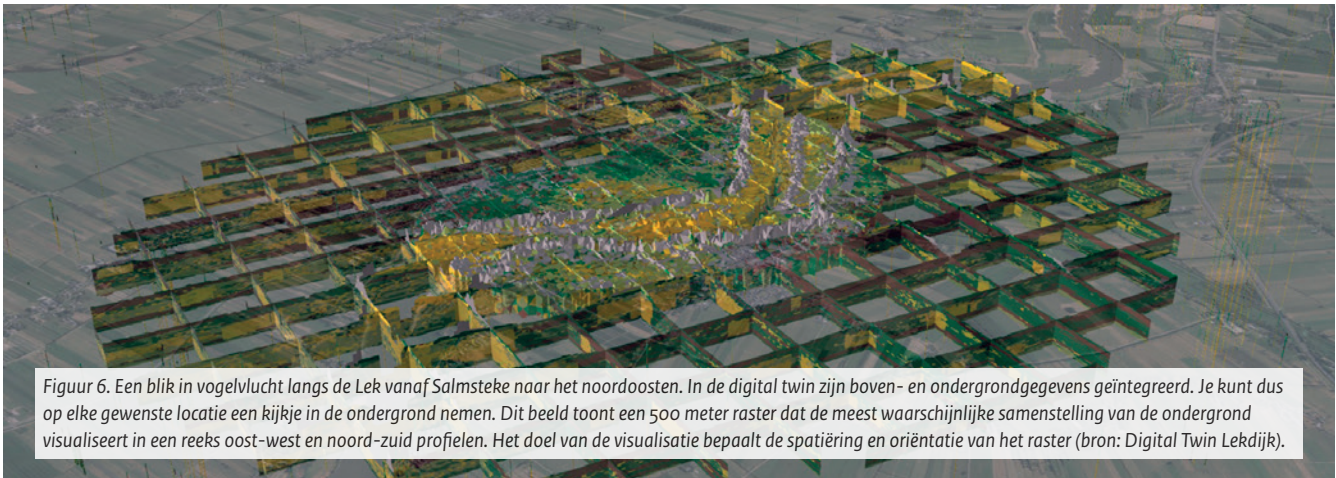
Het Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HDSR) wil gebruik maken van alle mogelijke informatie en innovaties om de Lekdijk optimaal te versterken: sterk waar het moet en slank waar het kan. Daarvoor is meer inzicht in de opbouw van de ondergrond essentieel, omdat dit een belangrijke bijdrage levert aan de aanscherping van de omvang van de opgave. In de proof of concept werd duidelijk dat het vroegtijdig benutten van informatie uit de BRO hierbij van meerwaarde is.

“Het combineren en in onderlinge samenhang visualiseren van datasets zet gegevens om in informatie en genereert inzicht over de grenzen van vakgebieden heen.”

Henk Scholten, Prof. Spatial Informatics en CEO Geodan

Een samenhangend beeld van boven- en ondergrond

De Lekdijk kan op verschillende manieren worden versterkt. Dat is behalve van de ondergrond ook afhankelijk van de lokale situatie en verschillende omgevingsfactoren. Om de juiste aanpak te ontwikkelen, is één samenhangend beeld van boven- en ondergrond nodig. Gegevens uit allerlei verschillende bronnen moeten met elkaar worden gecombineerd. Bovendien zijn bij de plan- en besluitvorming veel verschillende stakeholders betrokken. Hoe geef je die op toegankelijke wijze inzicht in de problematiek en de verschillende oplossingsrichtingen?



Figuur 6. Een blik in vogelvlucht langs de Lek vanaf Salmsteke naar het noordoosten. In de digital twin zijn boven- en ondergrondgegevens geïntegreerd. Je kunt dus op elke gewenste locatie een kijkje in de ondergrond nemen. Dit beeld toont een 500 meter raster dat de meest waarschijnlijke samenstelling van de ondergrond visualiseert in een reeks oost-west en noord-zuid profielen. Het doel van de visualisatie bepaalt de spatiëring en oriëntatie van het raster (bron: Digital Twin Lekdijk).

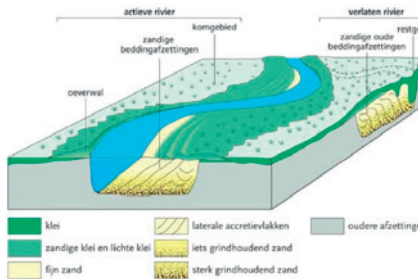
Een operationele digital twin

Voor de Lekdijk zijn zoveel mogelijk gegevens bijeengebracht en gevisualiseerd in een digital twin van boven- en ondergrond. De inzichten die het 3D model van de ondergrond verschaft bleken zo waardevol dat het HWBP naar aanleiding van deze PoC besloot om de Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN) te vragen om voor de ondergrond van de Lekdijk een nieuw ondergrondmodel te maken met een hogere resolutie dan GeoTOP. Dat is mogelijk omdat van dit gebied veel ondergrondgegevens (boringen en sonderingen) beschikbaar zijn. Tegelijkertijd zette Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden samen met Geodan de stap naar de realisatie van een operationele digital twin. Alle beschikbare locatiegebonden gegevens werden in een GIS-omgeving in 2D en 3D verzameld, geïntegreerd, ontsloten en gevisualiseerd.

Gegevens	Bron
Sonderingen	BRO-tranche 1
Historische sonderingen	Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden
Boringen	BRO-tranche 2, thans nog DINOloket
Boringen	Universiteit Utrecht
Bodemdaling	Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden
Geofysisch onderzoek	Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden
Bodemkaart	BRO-tranche 2, thans nog DINOloket
Geomorfologische kaart	BRO-tranche 2, thans nog DINOloket
GeoTOP	BRO-tranche 2, thans nog DINOloket
Hoog resolutie ondergrond model (25m x 25m x 0.25m)	TNO-GDN
Zandbanenkaart	Universiteit Utrecht
Einddatering rivieractiviteit	Universiteit Utrecht

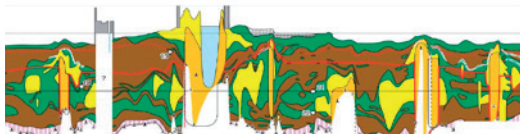
2.1. De ondergrond in beeld

De samenstelling van de ondergrond van het Rivierengebied is als gevolg van de onstaans-geschiedenis zowel horizontaal als verticaal gezien zeer variabel. De grote rivieren hebben zich gedurende de afgelopen millennia voortdurend verplaatst.



Figuur 7. Diagram van een meanderende rivier, die toont wat voor sediment (klei, zand of grind) de rivier waar afzet. Zolang ze niet bedijkt zijn, verleggen meanderende rivieren hun bedding voortdurend.

(bron: Pierik en Geurts 2013, zie colofon)



Figuur 8. Uitsnede uit een profiel door de Bergse Maas (zuid) tot het Amsterdam Rijnkanaal (noord). Dit profiel toont de grote mate van zowel horizontale als verticale variatie in de samenstelling van de ondergrond van het rivierengebied. De verticale schaal is overdreven tov de horizontale schaal; de horizontaal doorgetrokken zwarte lijnen hebben een lengte van 7 km, de verticale spatiëring is 5 meter. Geel = zand, groen = klei, bruin = veen (bron: Erkens 2009, zie colofon)

“De ondergrond is complex in drie dimensies. Het is geen homogene proefopstelling, maar een combinatie van verschillende grondsoorten, lokaal sterk variërend in dikte, verspreiding en eigenschappen. Grondig en gedetailleerd inzicht in de ligging en ontstaanswijze van de grond onder onze voeten helpt ons verstandigere ontwerpkeuzes te maken voor een veilige dijk die past in haar omgeving.”

Koen Volleberg, technisch manager en trekker
ontwikkeling 3D dataroom HDSR

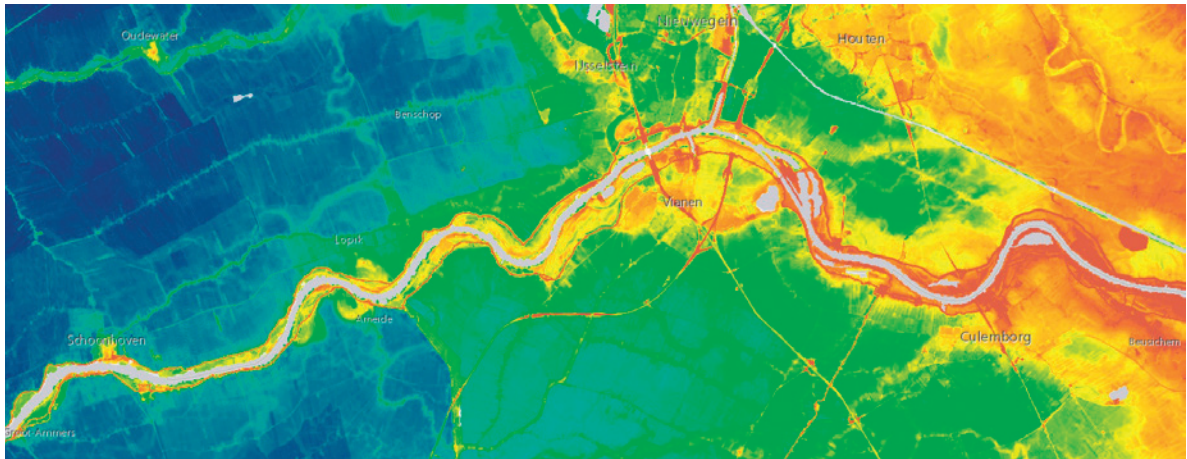
De voormalige rivierlopen liggen nu als verhoogde zandbanen (stroomruggen) in het landschap, doordat in de loop der tijd bodemdaling plaatsvond buiten de rivierlopen, waar een dik pakket klei en veen in de ondergrond aanwezig is. In de tijd dat de rivieren nog niet bedijkt waren, konden opeenvolgende overstromingen en oeverwaldoorbraken leiden tot de verlegging van de loop van de rivier. Bij overstromingen werd in de aangrenzende gebieden klei afgezet, terwijl in omliggende moerasgebieden veen groeide. Ook in de verlaten rivierbeddingen werd veen gevormd.

De Rijn en de Maas hebben zich de afgelopen 8000 jaar meer dan tachtig keer drastisch verlegd. De restanten van

de oude rivierlopen zijn in de ondergrond terug te vinden als zogenaamde zandbanen.

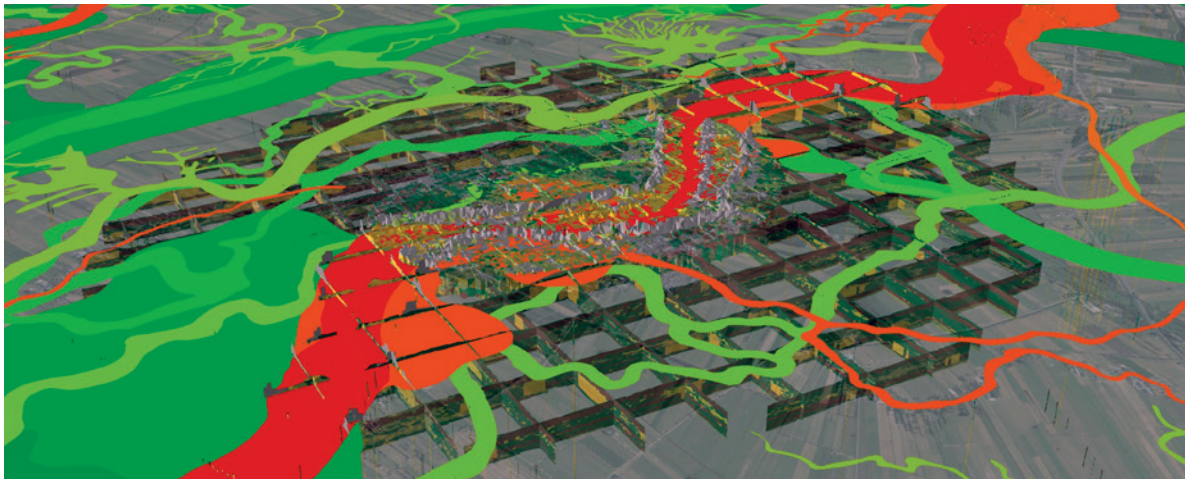
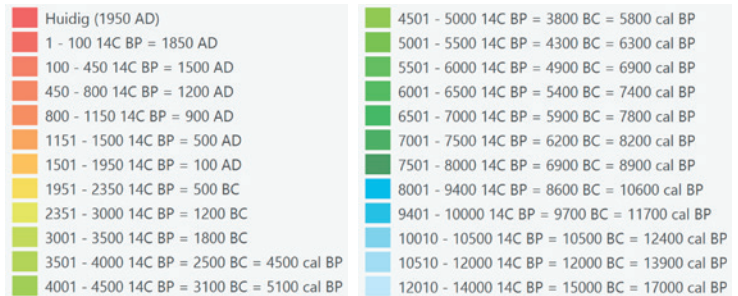
De Universiteit Utrecht heeft deze gekarteerd en gedateerd. De zandbanen vormen grondwatervoerende elementen in de ondergrond die pakketten klei en veen versnijden.

Figuur 9. Dit kaartbeeld van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) toont dat de rivier zijn bedding vaak heeft verlegd: de ondiep liggende zandbanen zijn duidelijk te zien doordat gebieden met zand in de ondergrond minder last hebben van bodemdaling. Het AHN geeft voor elke vierkante meter tot op 10 cm nauwkeurig de hoogte weer. De hoogte van dit gebied varieert tussen -2m en +50m NAP, van blauw (laag) via groen naar geel naar rood (hoog). Alles > +5m NAP, dus ook de bebouwing, wordt rood weergegeven. (bron: AHN).



Figuur 10. Vogelvlucht beeld uit de digital twin van de Lekdijk, in rood de huidige ligging van de Lek. Dit is hetzelfde beeld als figuur 6, maar dan met de zandbanenkaart van de Universiteit Utrecht op het maaveld geprojecteerd. In het raster van ondergrondprofielen is goed te zien dat de voormalige rivierlopen zandbanen (geel) in de ondergrond hebben achter gelaten.

Legenda bij zandbanenkaart: de kleuren van de zandbanen geven de ouderdom daarvan weer.



2.2. Het 'risico-DNA' van de dijk

Als je de zandbanenkaart en de topografische kaart over elkaar heen legt, wordt snel duidelijk waarom het belangrijk is om te weten waar zich in de ondergrond zandbanen bevinden. Kolkgaten ('wielen'), die ontstonden door dijkdoorbraken, blijken vaak voor te komen op plaatsen waar zandbanen de dijk kruisen. Dat kan piping veroorzaken. Piping is een van de belangrijkste faalmechanismen waardoor een dijk kan bezwijken.

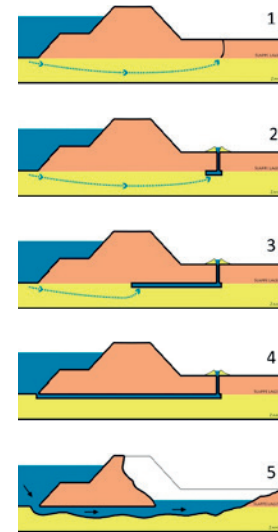
Piping

Piping, ook wel terugschrijdende erosie of onderloopsheid genoemd, is een verzamelbegrip voor verschillende vormen van interne erosie. Bij hoog water kan door een verschil in waterdruk aan weerszijden van de dijk een grondwaterstroming tussen de rivier en het achterland ontstaan, onder de dijk door. 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.

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. Uitstroming van grondwater alleen is niet erg, maar als dat water zanddeeltjes met zich meevoert moet dat scherp in de gaten gehouden worden.

Piping in stripvorm

- 1 Het water in de rivier staat hoger dan in het achterland. Als gevolg van het verschil in waterdruk komt een grondwaterstroming op gang die onder de dijk door gaat.
- 2 De waterstand in de rivier bereikt een kritiek verval. De grondwaterstroming neemt toe en als gevolg daarvan ontstaan pipes.
- 3 Achter de dijk verschijnen zandvoerende wellen.
- 4 De waterhoogte in de rivier blijft constant of stijgt. Als gevolg van terugschrijdende erosie groeien de pipes richting het intredepunt.
- 4 Het terugschrijdende proces wordt voltooid: de pipe bereikt het intredepunt. Door de 'open pipes' kan het water sneller stromen en krijgt meer erosieve kracht. De pipes worden steeds groter.
- 5 De holtes onder de dijk zijn zo groot dat de dijk inzakt.



■ Poreus materiaal (zand, grind)
■ Cohesief materiaal (klei, veen)

Deltares 2013, Het pipingproces in stripvorm

3D schematisatie essentieel

“Het denken in dwarsprofielen en 2 dimensionale schematisering van de ondergrond is niet altijd terecht, we moeten toe naar 3D schematisatie en naar het denken in kaartbladen. Dit sluit ook goed aan op de manier waarin we de regionale geohydrologie in kaart brengen. Het combineren van 3D beelden en kaartbladen en het betrekken van de geohydrologie in de pipinganalyse levert heel veel op. Bij de Noordelijke Randmeerdijk is de pipingopgave bijvoorbeeld verkleint van 12 naar 1 kilometer.”

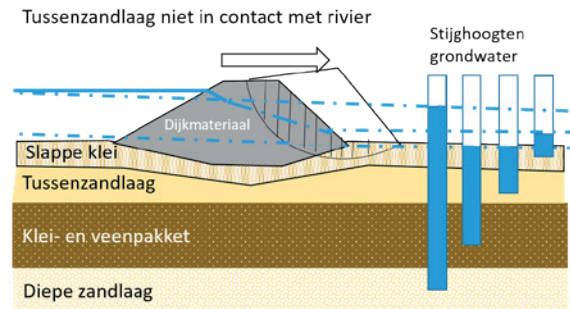
Albert Wiggers, Royal Haskoning DHV, Technisch manager voor de Projectoverstijgende Verkenning (POV) Piping

Historische activiteiten

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 ook de locatie van een oude boomgaard vlak achter de dijk kan van belang zijn: de wortels van de bomen kunnen een kleilaag hebben doorboord en tot in een zandbaan reiken en zodoende piping veroorzaken. Daarom bevatten historische kaarten belangrijke gegevens over het ‘risico-DNA’ van de dijk.

Faalmechanisme macro-instabiliteit

Als gevolg van een hoge (of juist lage) waterstand voor de waterkering kan – in combinatie met andere belastingen – de sterkte van de grond en de dijk afnemen. In het talud en/of de ondergrond van de dijk kan een glijvlak ontstaan op het moment dat de schuifweerstand van de grond onvoldoende weerstand kan bieden tegen de verhoogde waterdruk. Langs zo’n glijvlak kunnen grote delen van het grondlichaam afschuiven, waarna de dijk zijn waterkerende functie verliest. Ook op dit faalmechanisme heeft de samenstelling van de ondergrond van de dijk dus een doorslaggevende invloed.



$$F_d = 1,14$$

Figuur 11. Schematisering van de opbouw van een dijk en de ondergrond voor de controle op macro-instabiliteit. Dit beeld illustreert hoe belangrijk de samenstelling van de dijk en diens ondergrond is voor het bepalen van het risico op dijkdoorbraken als gevolg van macro-instabiliteit (naar: ENW 2012, zie colofon).

2.3. Alle gegevens bij elkaar: Digital Twin

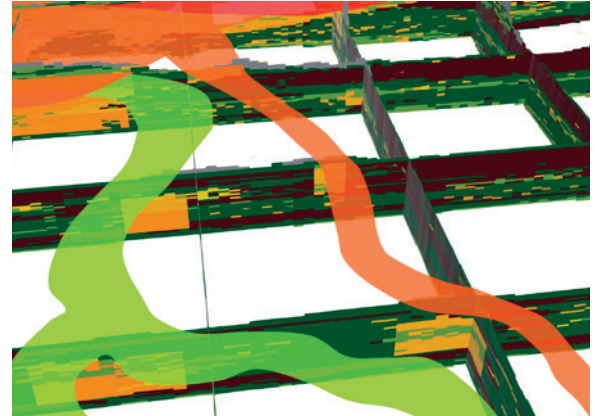
De BRO gaat steeds meer gegevens bevatten

De Laaglandgenese dataset van de Universiteit Utrecht bevat de gegevens van meer dan 200.000 boringen. Vaak werd door klei- en veenlagen heen 'tot op het zand' geboord. Zo is dus op veel plaatsen de dikte van de deklaag bekend. En juist die dikte is van groot belang voor het risico op piping. Ten tijde van de dijkvakindeling van de Lekdijk en de parametrisering daarvan waren deze gegevens nog niet beschikbaar. Inmiddels kan HDSR over deze gegevens beschikken en ook deze gegevens gaan deel uitmaken van de BRO.



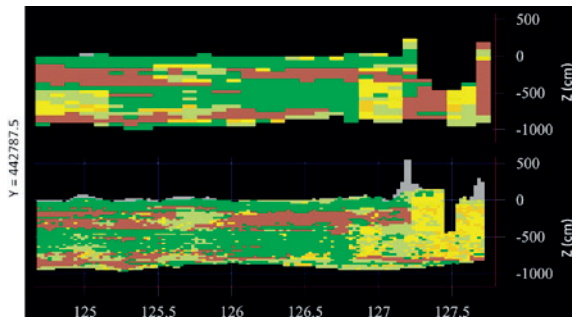
Figuur 12. Vogelvlucht beeld ten zuiden van de Lek bij Tienhoven. Dit beeld is een detail van figuur (figuur 10). We zien een zandbaan (in groen) die de dijk (helemaal bovenaan in beeld) snijdt en in het verleden een dijkdoorbraak veroorzaakt heeft (bron: Digital twin Lekdijk).

Figuur 13. Zelfde beeld als figuur 12, maar nu nemen we een kijkje onder het maaiveld: de bovengrond is onzichtbaar gemaakt en we zien we het raster met noord-zuid en oost-west profielen in de ondergrond. De profielen zijn opgebouwd uit blokjes (voxels) van 25 bij 25 meter horizontaal en 25 centimeter verticaal. De verticale overdrijving in dit beeld is 8x; de totale hoogte van het profiel is ongeveer 20 meter. De zandbanen (geel) in de ondergrond zijn goed zichtbaar (bron: Digital Twin Lekdijk).



Juist van de bovenste tientallen meters van de ondergrond is al heel veel bekend

TNO-GDN benutte de Laaglandgenese dataset en aanvullende boringen van HDSR om voor het gebied rond drie dijktrajecten langs de Lek een hoge resolutie ondergrondmodel te genereren. Daarin zijn daarnaast voor het eerst ook sondeergegevens gebruikt, die rondom de dijk volop beschikbaar zijn. De voxels van het nieuwe ondergrondmodel zijn 25 bij 25 meter breed en 25 cm hoog. De resolutie is daarmee 32 x zo hoog als die van GeoTOP. Het model omvat alleen de Holocene afzettingen, omdat



Figuur 14. Dwarsdoorsnede van de ondergrond bij de Lekdijk. Verticale overdrijving: 10 keer. Het bovenste profiel toont de meest waarschijnlijke lithoklasse in blokjes (voxels) van 100 meter breed en 50 centimeter hoog (GeoTOP). Daaronder hetzelfde profiel in het hoge resolutie model, met voxels van 25 meter breed en 25 centimeter hoog. Groen = klei, bruin = veen, zand = geel (bron: TNO-GDN)

daarvan de meeste gegevens bekend zijn. Die afzettingen kunnen rondom de Lekdijk voorkomen tot enkele tientallen meters onder het oppervlak.

“Hiermee kunnen we nog beter op moeilijke locaties maatwerk in het ontwerp toepassen.”

Paul Neijenhuis, Technisch Manager project Sterke Lekdijk, HDSR

Toepassing

Of de nieuwe inzichten daadwerkelijk leiden tot andere versterkingsoplossingen, hangt niet alleen af van de gedetailleerde gegevens die nu ter beschikking zijn. Het hangt ook af van bestuurlijke besluitvorming: mag worden afgeweken van de huidige rekenregels en de daarin gebruikte voorschriften hoe de ondergrond geschematiseerd en geparametriseerd moet worden? De huidige rekenregels gaan uit van één maatgevend profiel per dijkvak, terwijl het hoge resolutie model nu voor iedere 25 meter een profiel toont. De variabele samenstelling van de ondergrond van de dijk is beter in beeld dan ooit.

Geotechnische berekeningen in 3D – toekomstmuziek?

We hebben niet alleen meer inzicht in de samenstelling van de ondergrond gekregen, maar ook in de eigenschappen daarvan. In het hoge resolutiemodel heeft TNO-GDN aan iedere voxel eigenschappen toegekend. Die komen niet zomaar uit de lucht vallen.

Op basis van veel gegevens en geologisch inzicht is bepaald tot welke laag (stratigrafische eenheid) een voxel behoort. Per laag zijn aan elke grondsoort (type zand, klei of veen) eigenschappen (parameters) toegekend, waaronder de mate van doorlatendheid (K-waarde) die in verschillende richtingen kan verschillen (K-waarde horizontaal en K-waarde verticaal). Ook wordt een indicatie gegeven van het volumegewicht, dat afhankelijk is van de grondwaterspiegel. Als de grond nat is, is die immers zwaarder dan als die droog is.

We hebben meer inzicht in de ruimtelijke variatie in de eigenschappen van de ondergrond dan ooit. En die is nog in cijfers uitgedrukt ook. Het wachten is nu op nieuwe tooling om dit te gaan toepassen en gebruiken. Wie weet zal zich dit in de toekomst gaan vertalen in nieuwe rekenregels.

3. De conclusie: 2D is niet meer genoeg, 3D verschaft inzicht

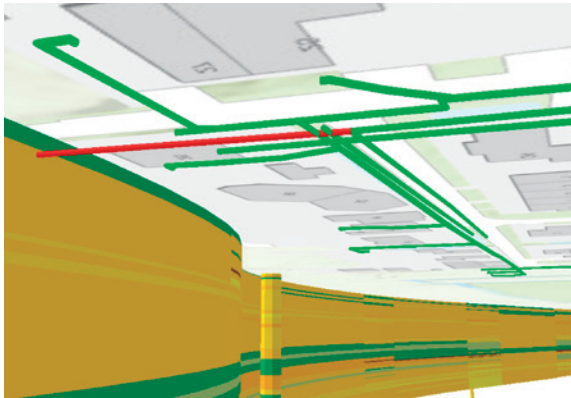
Erik Wagener, Directeur Hoogwaterbeschermingsprogramma:

“Als we heel precies weten hoe de ondergrond in elkaar zit, hoe het is gevormd, dan zijn we stap verder dan de bevinding ‘het is heel complex’. 2D is niet meer genoeg. Het 3D model staat symbool voor waar je naartoe wilt met elkaar: bij elkaar brengen van mensen en disciplines. En ook de tijdsdimensie in ogenschouw nemen. Dat resulteert in goed inzicht in waar je met elkaar mee bezig bent. Door kennis en informatie te combineren kom je tot een scherp 3D beeld van de dijk en de versterkingsopgave.”

Aarde aanvoeren en de dijk simpelweg over de hele lengte hoger en breder maken, zoals het eeuwenlang ging, is niet meer van deze tijd. Zo'n zware ingreep is duur, het draagvlak is beperkt en het Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HDSR) wil het zelf ook niet. Het tracé van de 55 kilometer lange Lekdijk kronkelt vanaf kasteel Amerongen in de uiterwaarden langs de historische binnenstad van Wijk bij Duurstede via de oude kern van Vreeswijk naar het polderlandschap van Lopik en Schoonhoven. Het waterschap kiest liever voor een

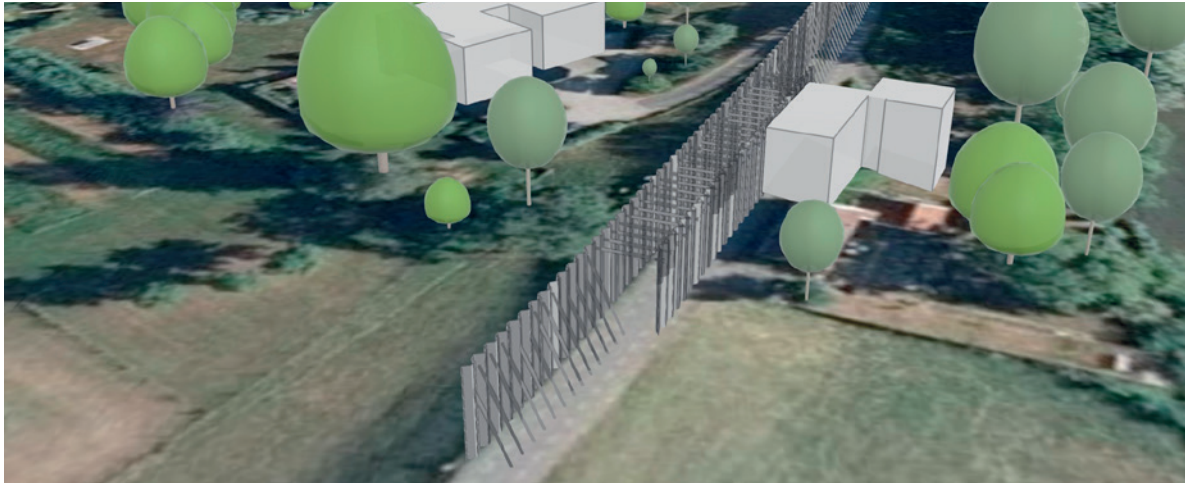
versterking van de oude dijk die past in het landschap en is afgestemd met de omgeving.

Met behulp van de digital twin is onder meer een integrale ruimtelijke analyse gemaakt. Duidelijk werd dat het in de analysefase van het project grote meerwaarde had om de ondergrond in 3D te visualiseren. Zowel horizontaal als verticaal gezien is sprake van een zeer afwisselende samenstelling van de ondergrond. De gegevens en 3D modellen verschaffen inzicht in hoe de ondergrond is ontstaan en we begrijpen steeds beter hoe de verschillende systemen zich tot elkaar verhouden – hoe ze zijn gekoppeld aan elkaar. Daarmee komt ook de sprong van 2D geotechnische berekingen naar 3D geotechnische analyses een stap dichterbij.



Een visualisatie waarbij ook de bovengrond betrokken is in 3D, geeft de mogelijkheid om in scenario's te denken. Dit maakt het maken van adviezen ook weer gemakkelijker. Bovendien zorgt de 3D-visualisatie ervoor dat bestuurders, omwonenden en belanghebbenden heel goed meegenomen kunnen worden in scenario's en oplossingsrichtingen. Dat kan verschillende bestuurlijke processen niet alleen vergemakkelijken maar ook aanzienlijk versnellen. Het letterlijk in beeld brengen van problematiek is vaak de start van creatieve en effectieve oplossingen.

Figuur 15. We kijken vanuit de ondergrond omhoog naar het maaiveld, waarop de topografie en de kadastrale percelen zijn aangegeven. In de ondergrond is een uitsnede uit GeoTOP onder de Lekdijk gevisualiseerd alsook de boorprofielen en de aanwezige kabels en leidingen (bron: Digital Twin Lekdijk).



Figuur 16. De digital twin van de Lekdijk toont een BIMmodel van dijkversterkingsmaatregelen (bron: Digital Twin Lekdijk). NB: de weergave van de digital twin wordt afgestemd op het doel en de gebruiker. Dit beeld oogt totaal anders dan bijvoorbeeld de beelden hiervoor en hierna. Toch zijn het allemaal beelden van dezelfde digital twin (bron: Digital Twin Lekdijk).

4. Het vervolg: Ondergrond in beeld van planvorming tot en met uitvoering

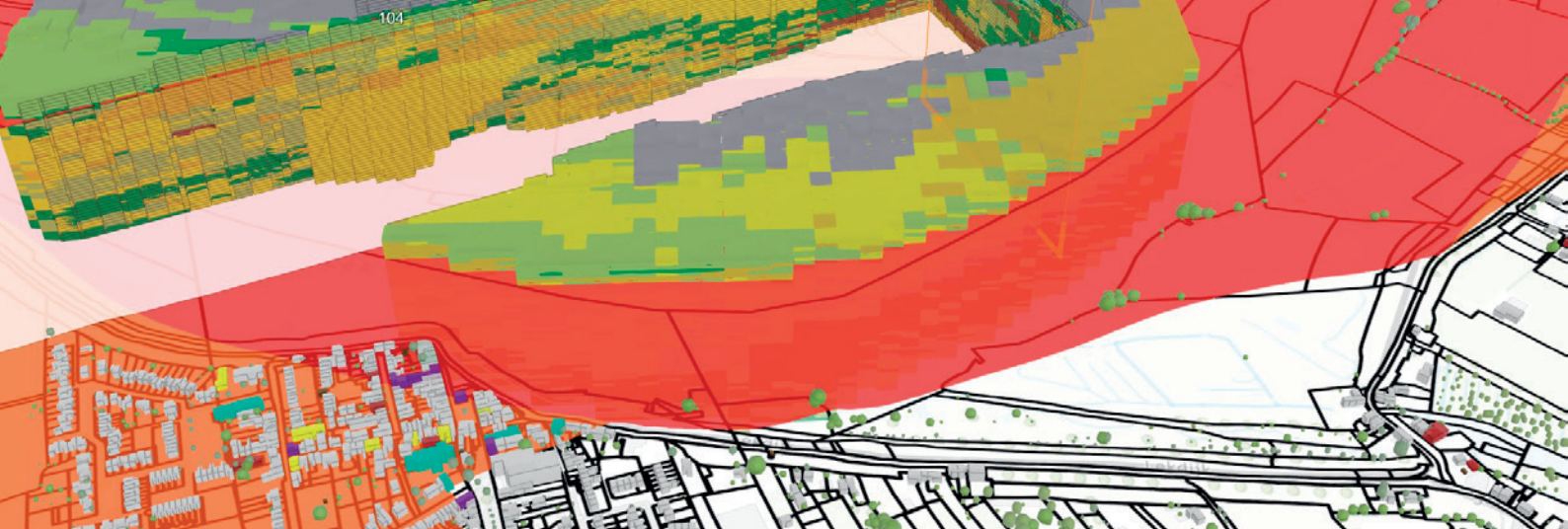
We kunnen tijd en geld besparen

“Het bespaart veel tijd en geld als je direct in het begin van een versterkingstraject alle reeds bestaande gegevens bij elkaar brengt en die voorlegt aan ‘de geodriehoek’: een geoloog, een geohydroloog en een geotechnicus. Er is echt al heel veel informatie beschikbaar. Een goed model maken moet je direct in het begin doen, anders ben je met een verkeerde schematisering bezig. Je moet vooral niet te snel beginnen met een indeling in dijkvakken en parametriseren. Eerst moet de samenstelling van de ondergrond en het bijbehorend geohydrologisch model duidelijk zijn. Een goed gekalibreerd model maken kost een aantal maanden, misschien zelfs een half jaar. Maar daarna kun je veel gerichter aan de slag.”

Albert Wiggers, Royal Haskoning DHV, Technisch manager voor de Projectoverstijgende Verkenning (POV) Piping

Inzicht in de variabele samenstelling van de ondergrond voorkomt dat je tijdens de realisatiefase voor verrassingen komt te staan. Soms vormt die variatie een risico, soms biedt die variatie juist kansen. Een mooi voorbeeld is een historisch huis dat door een waterschap op de nominatie stond om gesloopt te worden, maar behouden kon blijven omdat de bewoners konden aantonen dat de ondergrond anders in elkaar stak dan het waterschap in eerste instantie dacht. Een ander voorbeeld is dat kan blijken dat bepaalde versterkingsmaatregelen voor een kleiner deel van het dijktracé nodig is dan men bij de eerste inschatting dacht.

Uit de PoCs blijkt dat het vroegtijdig betrekken van ondergrondgegevens leidt tot betere en slimmere besluitvorming. En ook tot een versnelling van bestuurlijke processen. Bijvoorbeeld omdat de ondergrond doorslaggevend bleek bij een afweging tussen verschillende wegtracé's. Met behulp van 3D visualisaties van digital twins kunnen professionals van verschillende disciplines makkelijker met elkaar communiceren en komt inzicht en draagvlak bij bestuurders en omwonenden makkelijker tot stand.



Figuur 17. Vogelvlucht beeld van de Lekdijk bij Salmsteke. Andere beelden in dit boekje toonden een raster van de ondergrond bestaande uit noord-zuid en oost-west profielen. In dit beeld wordt het hoge resolutie model aaneengesloten weergegeven (antropogene afzettingen – c.q. de dijk – in grijs), en trekt de gebruiker daar met behulp van een slicingtool zelf een profiel doorheen. Zo kan de gebruiker de ondergrondgegevens op elke plek in elke gewenste richting bekijken. Op het maaiveld zijn weergegeven: de zandbanen (in rood de huidige rivier de Lek), de kadastrale percelen, de bebouwing en de bomen uit het boomregister (bron: Digital twin Lekdijk).

Wat levert een digital twin in de praktijk op?

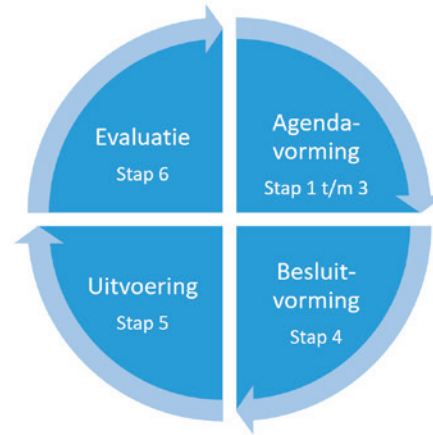
Doordat in de digital twin alle mogelijke plaatsgebonden gegevens van verschillende partijen digitaal, gestandaardiseerd en geharmoniseerd worden opgeslagen, gaat geen informatie verloren en wordt informatie ook niet dubbel gecreëerd. Zo bleek bijvoorbeeld dat in een bepaald gebied geen aanvullend booronderzoek nodig was, omdat reeds voldoende gegevens voor handen waren.

Door gedurende het project bij elke stap van plan tot realisatie tot beheer gegevens te verzamelen en aan elkaar te relateren, kun je tijdig bijsturen. Met de bijeengebrachte data en informatie kun je kennis ontwikkelen. De samenhang en wisselwerking tussen verschillende factoren komt in beeld. Die kennis kun je toepassen in scenario's. Zodoende genereer je wijsheid waarmee je betere beslissingen kunt nemen en de onzekerheden beter kunt managen. HDSR gaat verder op de ingeslagen weg en deelt

z'n bevindingen graag met andere waterschappen. HDSR gaat de dijk samen met bewoners en deskundigen vak voor vak aanpakken met alle kennis die hen nu ter beschikking staat. Het hoge resolutie model verschaft zoveel inzicht in de ondergrond, dat het waterschap de gedetailleerde ondergrondgegevens graag bij de aanbesteding ter beschikking wil stellen aan de aannemers. Zo vormen de gegevens van de ondergrond het fundament voor de delta-opgaven van nu en morgen.

Dijkversterking in stappen

- 1) Dijk voldoet niet meer aan waterveiligheidsnorm HWBP
- 2) Data en informatieanalyse (ruimtelijke GIS-analyse boven- en ondergrond, geologische en geotechnische schematisatie, geotechnische berekeningen)
- 3) Formuleren /ontwerpen van technische maatregelen dijkversterking en effecten (Digital Twin GIS/BIM/Modellen en MER)
- 4) Politieke besluitvorming en financiering (vanuit HWBP)
- 5) Uitvoering/realisatie van technische maatregelen dijkversterking
- 6) Evaluatie/monitoring van maatregelen en effecten (Observational Methods)



Meer informatie:

Basisregistratieondergrond.nl
hdsr.nl/beleid-plannen/sterke-lekdijk

Bronvermelding

Beeld pagina 2: Stafleu, J., Maljers, D., Gunnink, J.L., Menkovic, A. & Busschers, F.S. 2011: 3D modelling of the shallow subsurface of Zeeland, the Netherlands. In: Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw | 90 – 4 | 293 - 310 | 2011.

Figuur 7: Pierik, H.J. en Geurts, A.H. 2013: Tienduizend jaar rivierdynamiek in de Nederlandse delta ontrafeld, Geografie - september 2013.

Figuur 8: Erkens, G. 2009. Addendum 1: Geological sections across the Lower Rhine valley (Germany) and Rhine-Meuse delta (The Netherlands). Addendum to: Erkens G., 2009. Sediment dynamics in the Rhine catchment. Quantification of fluvial response to climate change and human impact. ISBN: 978-90-6809-431-2. Publisher: Utrecht University.

Beeld pagina 14: Gebaseerd op Deltares 2013: Het pipingproces in stripvorm.

Figuur 11: Gebaseerd op Expertisenetwerk Waterveiligheid (ENW) 2012: Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken, figuur 2.1, pagina 16.

Colofon

Deze uitgave is tot stand gekomen onder verantwoordelijkheid van het Programma Basisregistratie Ondergrond van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, in samenwerking met Geodan.
Contact | BRO Servicedesk 088 8664 999 of
via BRO@minbzk.nl

Aan deze uitgave kunnen geen rechten ontleend worden.

© 2019

