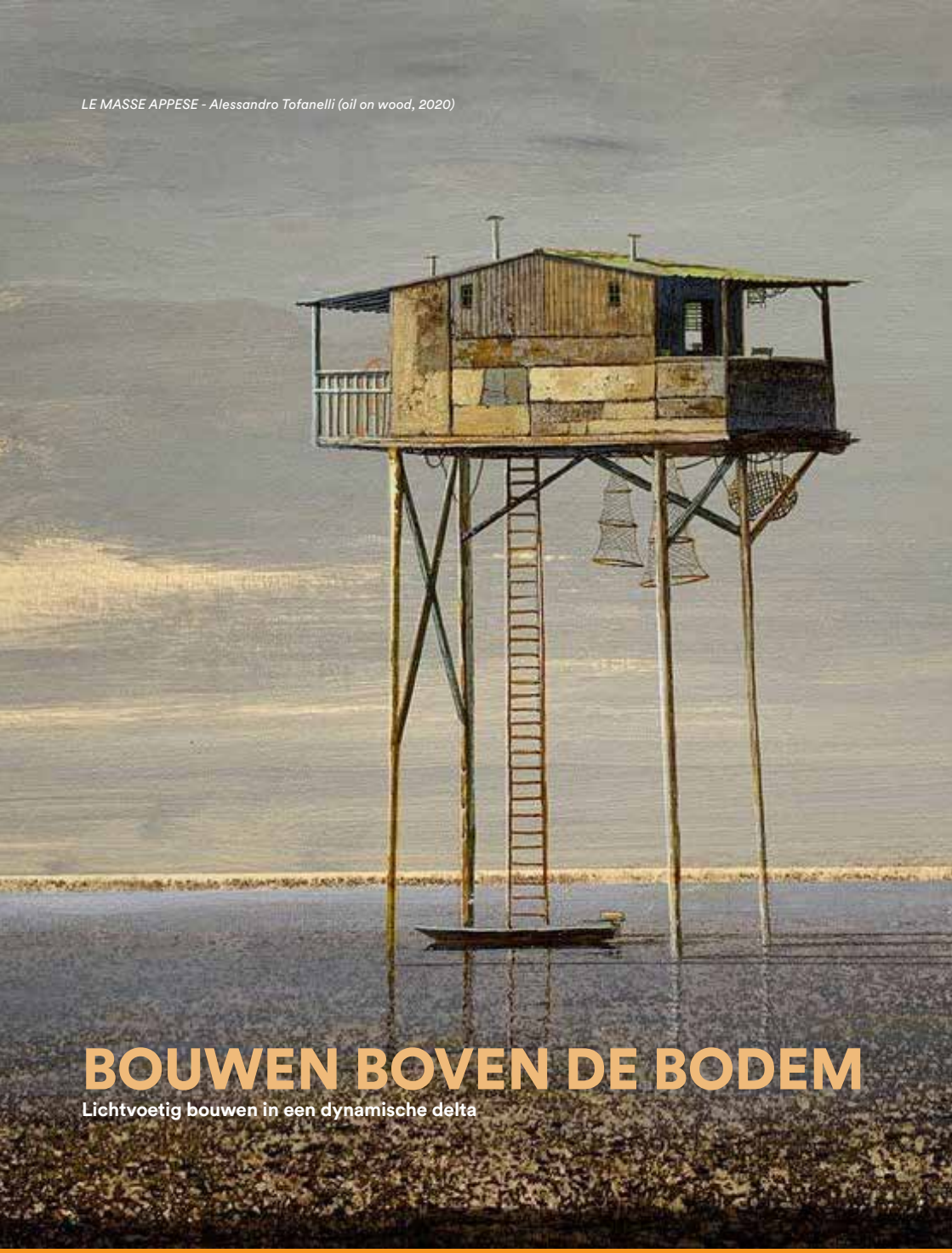


LE MASSE APPESE - Alessandro Tofanelli (oil on wood, 2020)

BOUWEN BOVEN DE BODEM

Lichtvoetig bouwen in een dynamische delta

SMV | studiomarcovermeulen
architectuur stedenbouw landschap onderzoek

stimuleringsfonds
creatieve industrie

Het doel van de Europese Commissie om netto geen extra land te bebouwen (NNLT; no net land take) gaat de puzzel van woningnood, landbouwtransitie en klimaatadaptatie nog ingewikkelder maken. Per 2050 moet Nederland de netto verstedelijking naar nul hebben teruggebracht, op veel kortere termijn moeten er al voorbereidingen worden gemaakt. Nederland is momenteel Europees koploper buitenstedelijke bebouwing en er liggen nog een heleboel uitbreidingsplannen. Naast de veranderingen die nodig zijn om de stikstofuitstoot te beperken en de doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water (KRW) te behalen, stelt de Net Zero Land Take (NNLT) een extra eis aan de fysieke en planmatige ruimte in Nederland.

Daarnaast is er in Nederland sprake van heftige funderingsproblematiek. Bodemdaling en fluctuaties in de grondwaterstand hebben verschillende effecten op bestaande houten funderingen. De huidige funderingsproblemen komen met name voor in delen van Nederland waar is gebouwd op de zachte bodems van de delta; klei en veen. Deze gebieden zijn gevoelig voor verzakking en uitdroging. Wanneer de bodem hier zakt en het waterpeil fluctueert raken de funderingen van de gebouwen beschadigd, wat kan leiden tot scheuren, verzakkingen en andere schade. De verwachting is dat de bodemdaling in deze gebieden alleen maar meer zal worden. Ook zal, door klimaatverandering, het waterpeil meer gaan fluctueren.

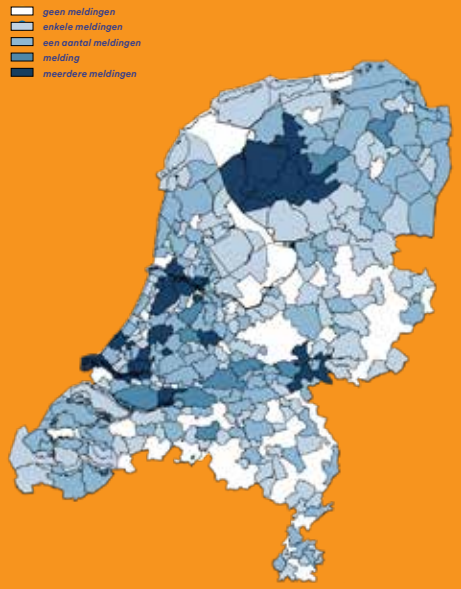
Om aan de grote woningbouwopgave in Nederland te voldoen zijn er binnen de NOVEX grote woningbouwlocaties aangewezen, maar ook buiten deze aangewezen gebieden wordt grootschalig ontwikkeld. Met een bouwopgave van enkele honderdduizenden woningen in de komende decennia is het van belang om te bepalen waar veilig en toekomstbestendig ontwikkeld kan worden. Om hier richting aan te geven is een sturingskaart ontwikkeld door de rijksoverheid. Deze sturingskaart toont welke delen van Nederland geschikt zijn om veilig en redelijk zonder 'gevaar' te ontwikkelen. Hiermee wordt bedoeld dat er in deze gebieden vanuit het water- en bodemsysteem een laag risico bestaat bij ontwikkeling/verstedelijking.

Opvallend is dat een groot deel van de grote woningbouwlocaties gepland is in gebieden waar er bij ontwikkeling veel maatregelen genomen moeten worden om veilig en toekomstbestendig te wonen in relatie tot het water- en bodemsysteem. Het is begrijpelijk dat in deze regio veel gebouwd wordt. Het betreft stedelijke gebieden in en buiten de Randstad waar ook de werkgelegenheid geconcentreerd is. Het is dan ook goed denkbaar dat hier gebouwd wordt en bij het bouwen gehoor wordt gegeven aan de gevraagde aanvullende inspanningen.

Water en bodem sturend geeft aan dat de bodem zo min mogelijk moet worden afgedekt. Een open bodem is essentieel voor het behouden van een gezonde en vitale bodem. Een open bodem laat water infiltreren, voorkomt overstromingen en ondersteunt biodiversiteit. Een open bodem is belangrijk voor het behoud van biodiversiteit, omdat planten, bomen en micro-organismen er hun essentiële functies kunnen vervullen.

Bij verstedelijking worden grote delen van de bodem afgedekt. Verstedelijking en een vitale bodem lijken dan ook moeilijk samen te gaan. Maar wat als we boven de bodem gaan bouwen? Op een hoogte waar we ook veilig zijn voor dynamische waterstanden? Waardoor de ruimte onder onze gebouwen nog een keer gebruikt kan worden, bijvoorbeeld door de natuur of piekwaterberging? In dit onderzoek verkennen we de potentie van 'lichtvoetige' en 'luchtgebonden' bebouwing.

GEMELDE FUNDERINGSPROBLEMATIEK



Beeld: gemelde funderingsproblematiek. https://esb.nu/gemelde-funderingsschade-leidt-tot-forse-prijskorting-bij-woningverkoop/Amsterdam

VERWACHTE BODEMDALING TOT 2050

Beeld: Verwachte bodemdaling zonder beperkende maatregelen. https://www.atlasleefomgeving.nl/nieuws/nieuwe-kaart-laat-bodemdaling-in-nederland-zien

GECOMBINEERDE STURINGSKAART

Beeld: Gecombineerde sturingskaart. https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2024/04/09/

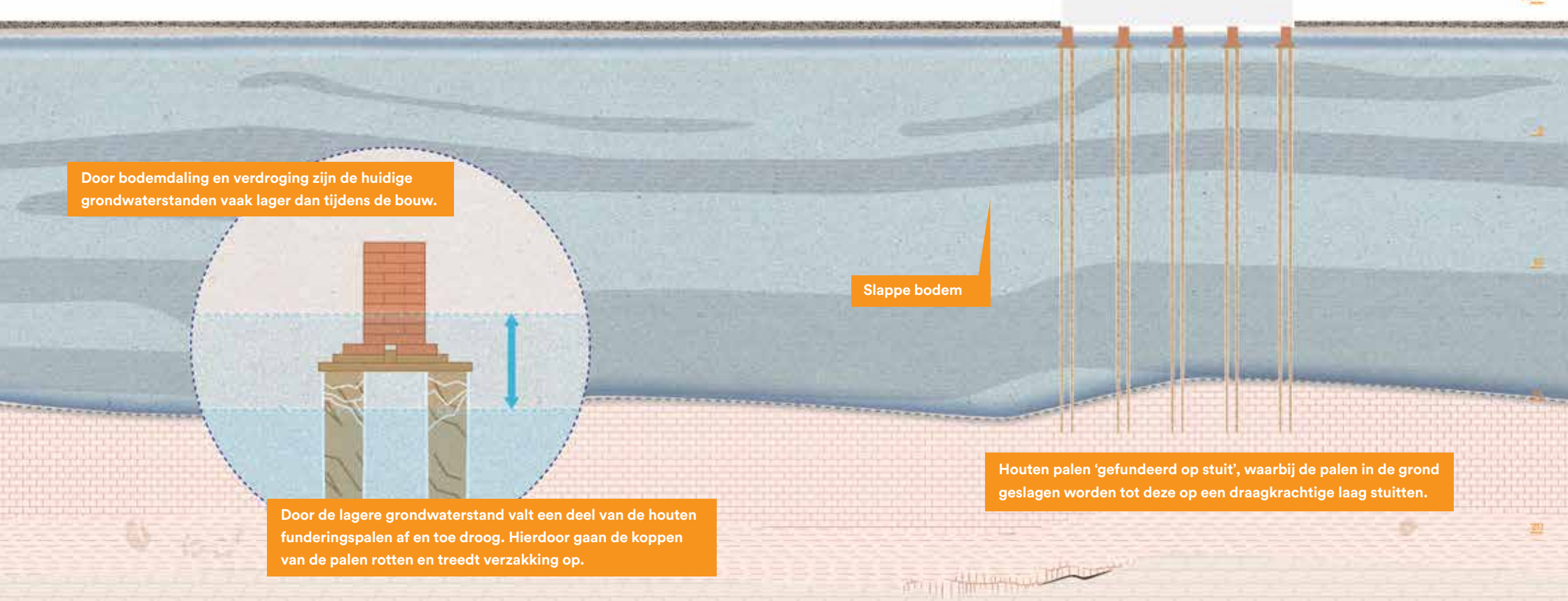
GROOTSCHALIGE WONINGBOUWLOCATIES

Beeld: Grootschalige woningbouwlocaties. https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2024/06/05/nieuwe-potentiele-grootschalige-woningbouwgebieden-nodig#

“ De huidige bebouwing is niet in staat zich aan te passen aan bodemdaling en fluctuaties in het waterpeil ”

Door bodemdaling en steeds vaker voorkomende droge periodes zakt het grondwater. Hierdoor komt er zuurstof bij de houten palen waardoor deze gaan rotten. Een ander probleem is negatieve kleef. Grond kleeft als het ware aan de funderingspalen. Als de grond te veel inklinkt, dan trekt die de palen mee naar beneden. Gebouwen verzakken hierdoor, dit kan onevenredig gebeuren waardoor er scheuren ontstaan in de woning. Daarnaast blijken grenen palen gevoelig voor bepaalde bacteriën, deze kunnen de palen ook onder water aantasten.

Dit is de zogeheten palenpest. In Nederland dreigen een miljoen woningen schade op te lopen door verzakking vanwege funderingsproblemen. Voor Nederlandse woningen met een funderingsproblemen kunnen de kosten voor herstel uiteenlopen van 50.000 tot wel 100.000 euro per woning. Het totale schadebedrag kan op termijn naar inschatting oplopen tot 60 miljard euro.

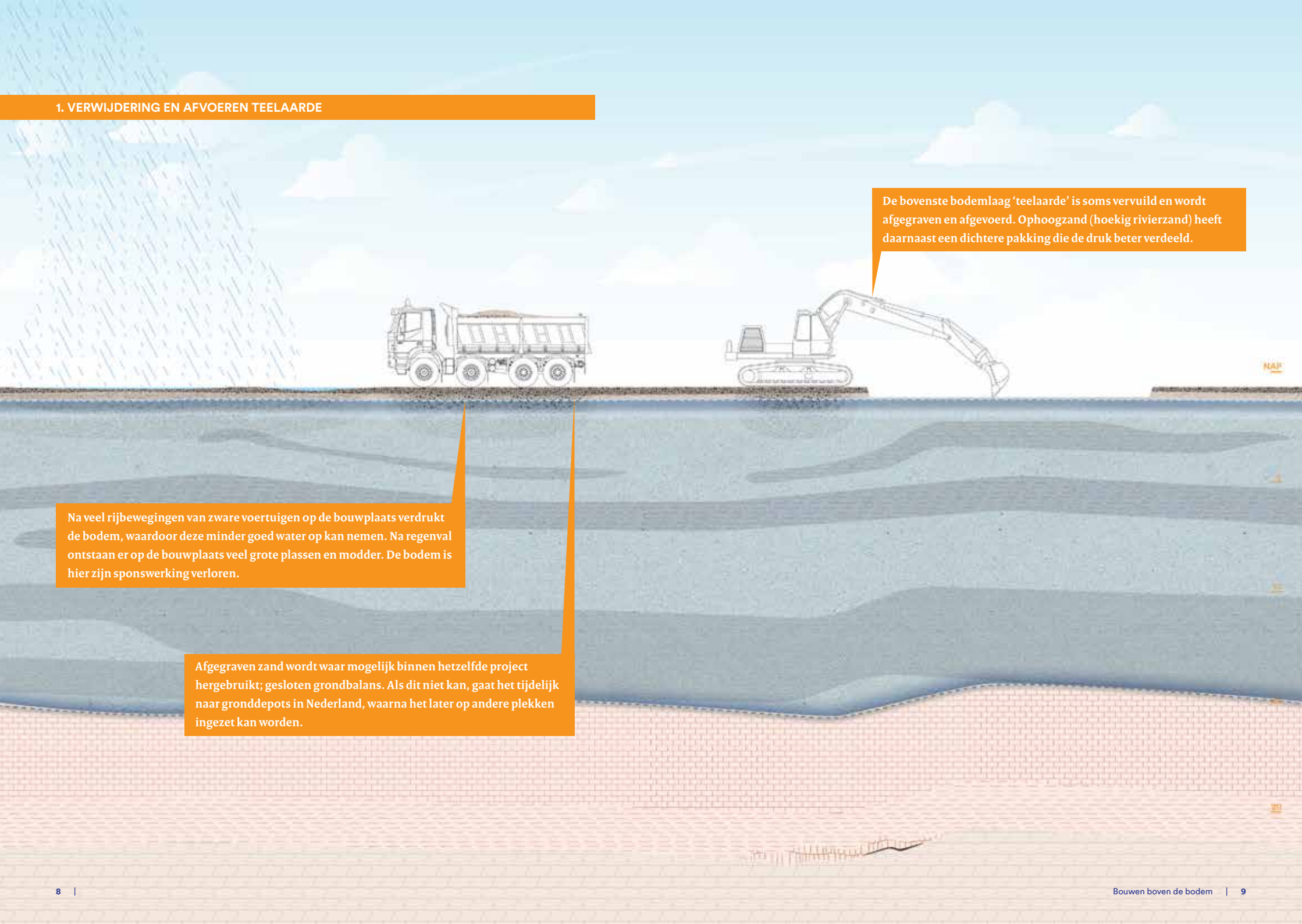


‘Hoe ziet conventionele verstedelijking/ontwikkeling er in Nederland uit? Welke stappen vinden er plaats op de bouwplaats en hoe verhoudt dit zich tot het bodem- en watersysteem?’

Op de volgende pagina’s wordt in een reeks foto’s en doorsneden een beeld gegeven van de huidige bouwplaats. We zien in verschillende stappen hoe het landschap wordt aangepast, hoe de bodem wordt verdrukt en hoe er met vrij veel geweld een draagkrachtige zandlaag wordt gezocht. We zien hoe in het bouwproces de natuurlijke lagen van de bodem worden afgedekt en genegeerd.

Beeld: bouwplaats in Bosselaar Zuid. https://bosselaarzuid.nl/nieuws/

1. VERWIJDERING EN AFVOEREN TEELAARDE



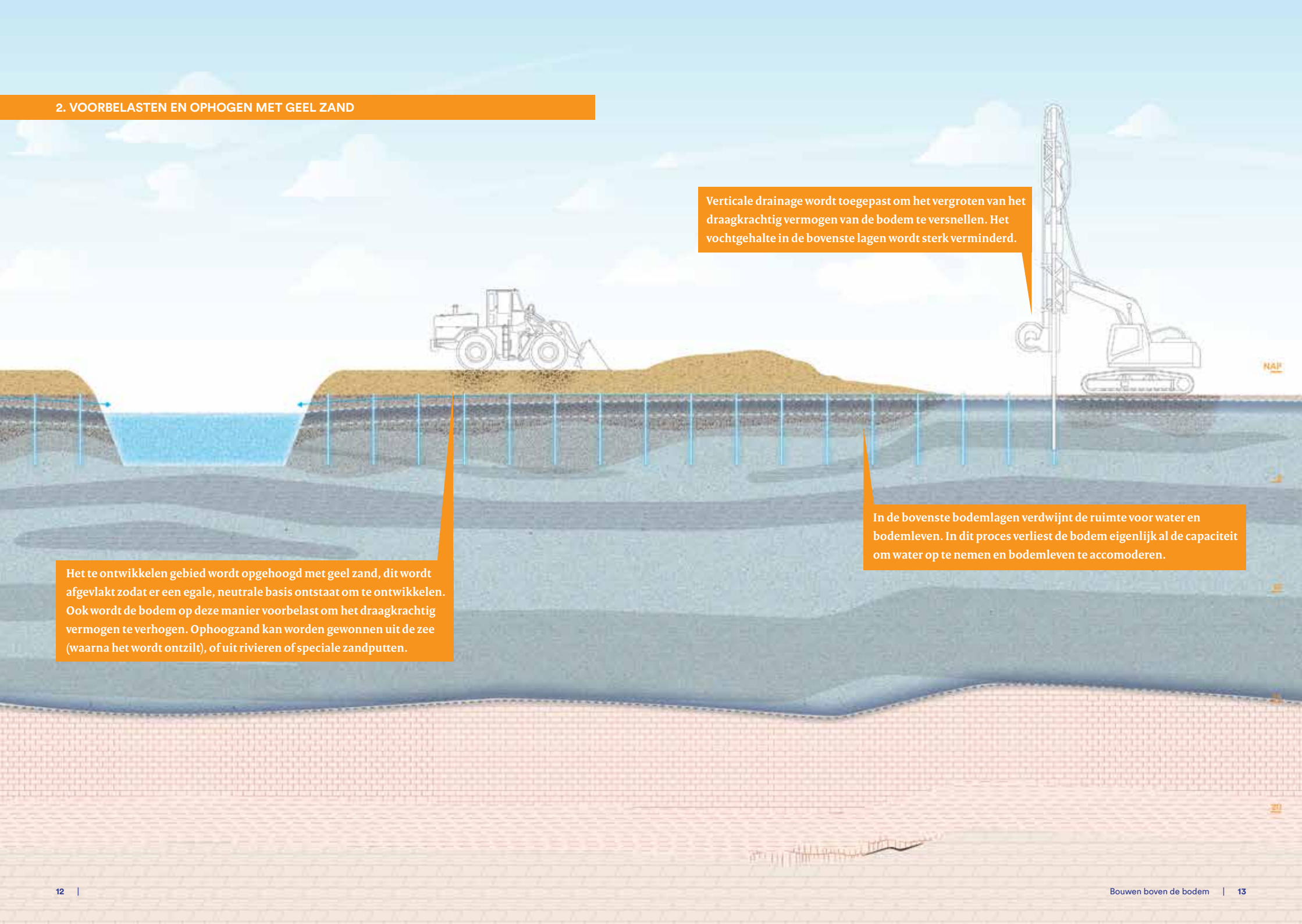
De bovenste bodemlaag 'teelaarde' is soms vervuild en wordt afgegraven en afgevoerd. Ophoogzand (hoekig rivierzand) heeft daarnaast een dichtere pakking die de druk beter verdeeld.

Na veel rijbewegingen van zware voertuigen op de bouwplaats verdrukt de bodem, waardoor deze minder goed water op kan nemen. Na regenval ontstaan er op de bouwplaats veel grote plassen en modder. De bodem is hier zijn sponswerking verloren.

Afgegraven zand wordt waar mogelijk binnen hetzelfde project hergebruikt; gesloten grondbalans. Als dit niet kan, gaat het tijdelijk naar gronddepots in Nederland, waarna het later op andere plekken ingezet kan worden.

beeld: gondverzet. https://www.woutersodiliapeel.nl/dienst/grondverzet/

2. VOORBELASTEN EN OPHOGEN MET GEEL ZAND



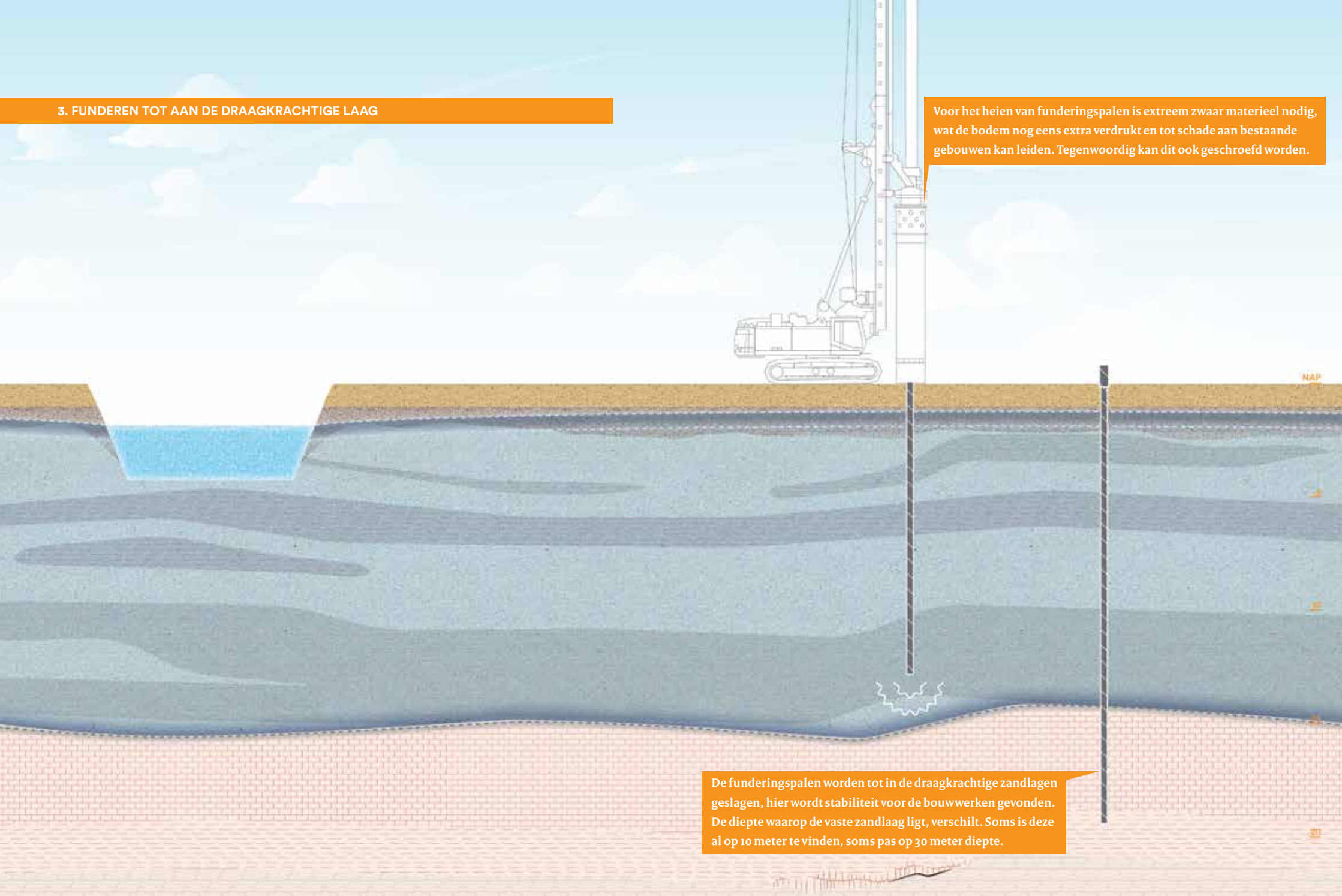
Verticale drainage wordt toegepast om het vergroten van het draagkrachtig vermogen van de bodem te versnellen. Het vochtgehalte in de bovenste lagen wordt sterk verminderd.

In de bovenste bodemlagen verdwijnt de ruimte voor water en bodemleven. In dit proces verliest de bodem eigenlijk al de capaciteit om water op te nemen en bodemleven te accomoderen.

Het te ontwikkelen gebied wordt opgehoogd met geel zand, dit wordt afgevlakt zodat er een egale, neutrale basis ontstaat om te ontwikkelen. Ook wordt de bodem op deze manier voorbelast om het draagkrachtig vermogen te verhogen. Ophoogzand kan worden gewonnen uit de zee (waarna het wordt ontzilt), of uit rivieren of speciale zandputten.

beeld: ophogen. https://www.heijmans.nl/nl/producten-diensten/infra/bodem-ondergrond/bouwrijp/

3. FUNDEREN TOT AAN DE DRAAGKRACHTIGE LAAG



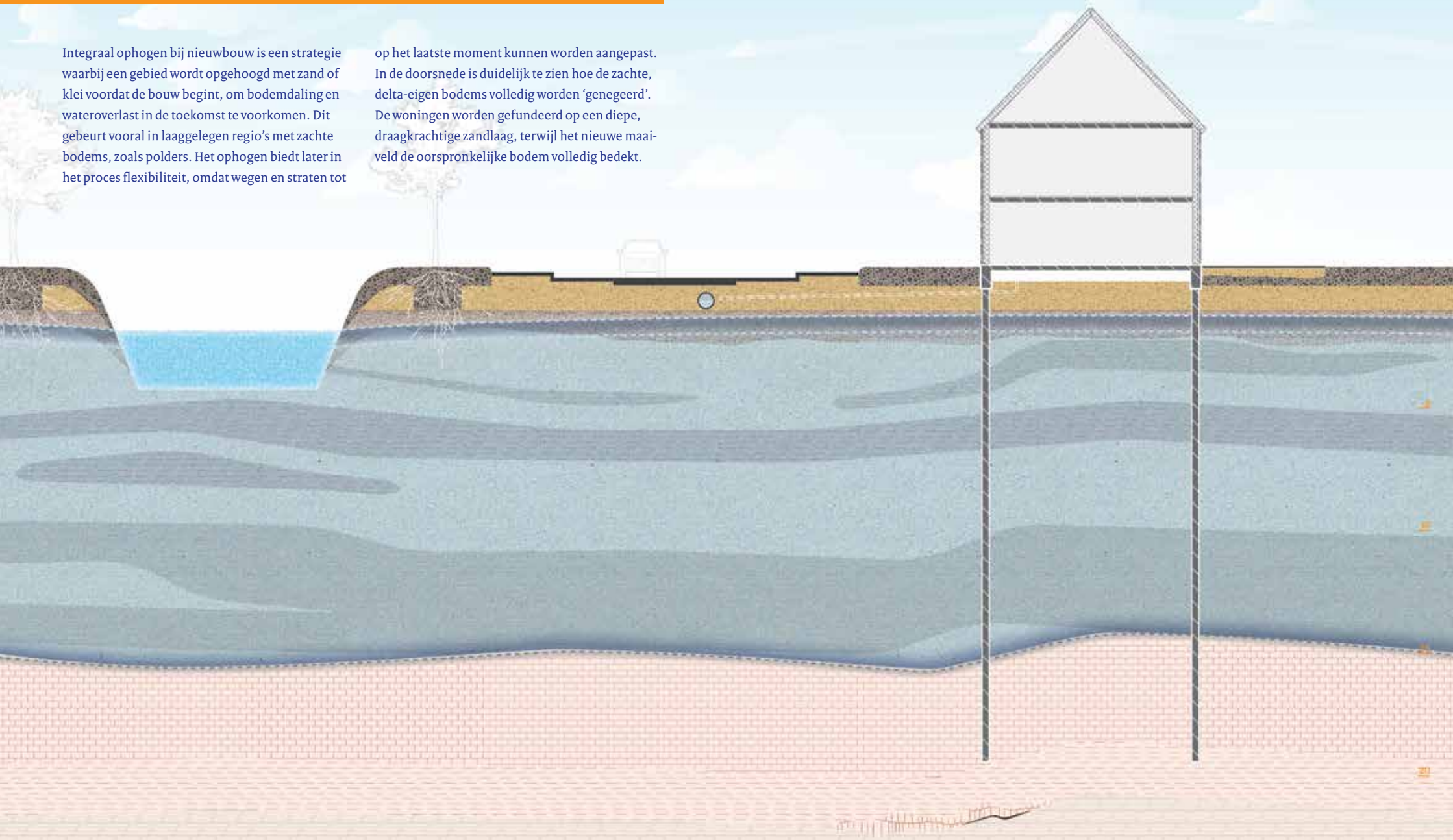
Voor het heien van funderingspalen is extreem zwaar materieel nodig, wat de bodem nog eens extra verdrukt en tot schade aan bestaande gebouwen kan leiden. Tegenwoordig kan dit ook geschroefd worden.

De funderingspalen worden tot in de draagkrachtige zandlagen geslagen, hier wordt stabiliteit voor de bouwwerken gevonden. De diepte waarop de vaste zandlaag ligt, verschilt. Soms is deze al op 10 meter te vinden, soms pas op 30 meter diepte.

beeld: heien. https://cdn-kiosk-api.telegraaf.nl_6993b14e-9002-11ec-8eb4-02c309bc01c1

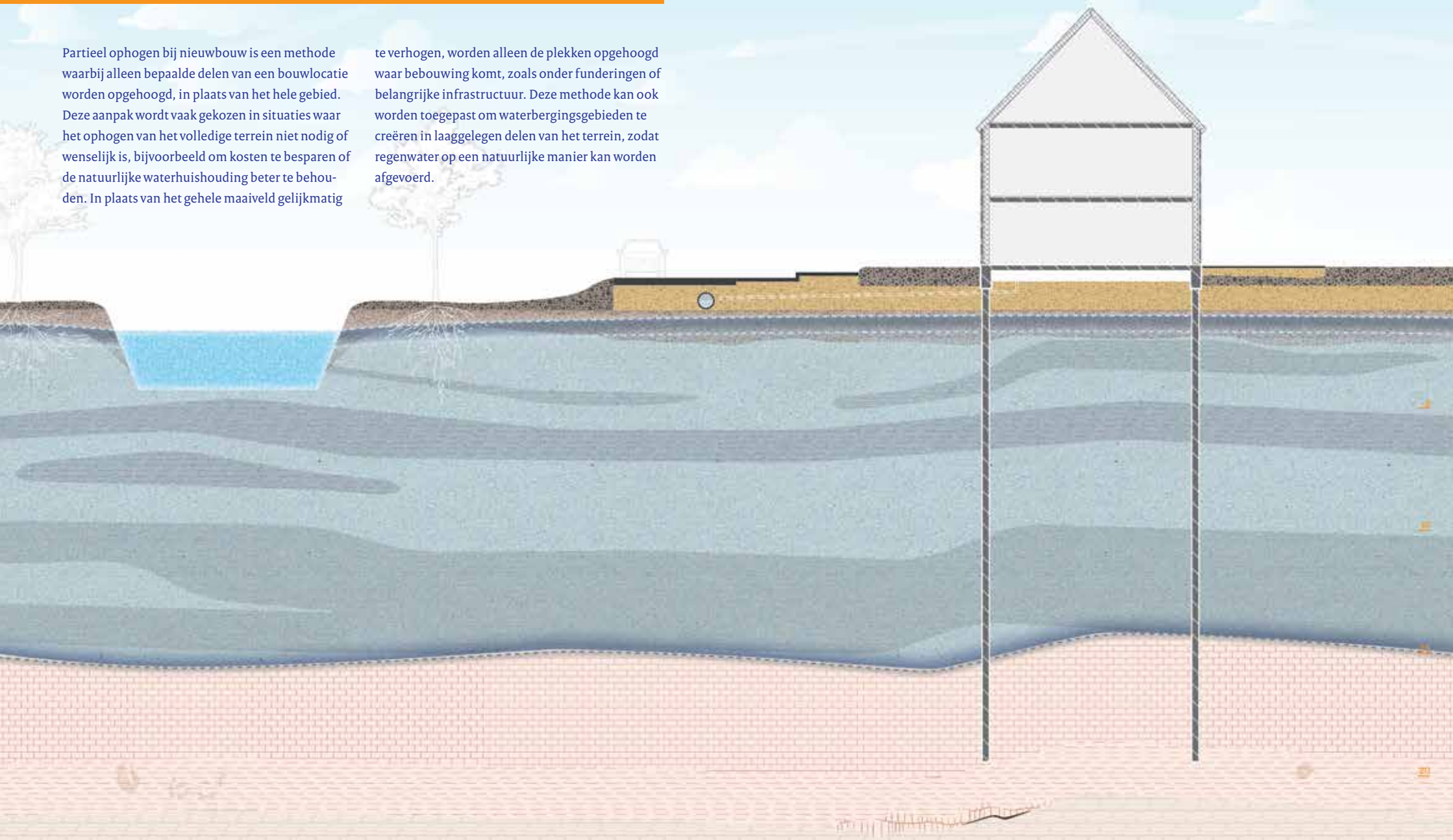
INTEGRAAL OPHOGEN

Integraal ophogen bij nieuwbouw is een strategie waarbij een gebied wordt opgehoogd met zand of klei voordat de bouw begint, om bodemdaling en wateroverlast in de toekomst te voorkomen. Dit gebeurt vooral in laaggelegen regio's met zachte bodems, zoals polders. Het ophogen biedt later in het proces flexibiliteit, omdat wegen en straten tot op het laatste moment kunnen worden aangepast. In de doorsnede is duidelijk te zien hoe de zachte, delta-eigen bodems volledig worden 'genegeerd'. De woningen worden gefundeerd op een diepe, draagkrachtige zandlaag, terwijl het nieuwe maaiveld de oorspronkelijke bodem volledig bedekt.



PARTIEEL OPHOGEN

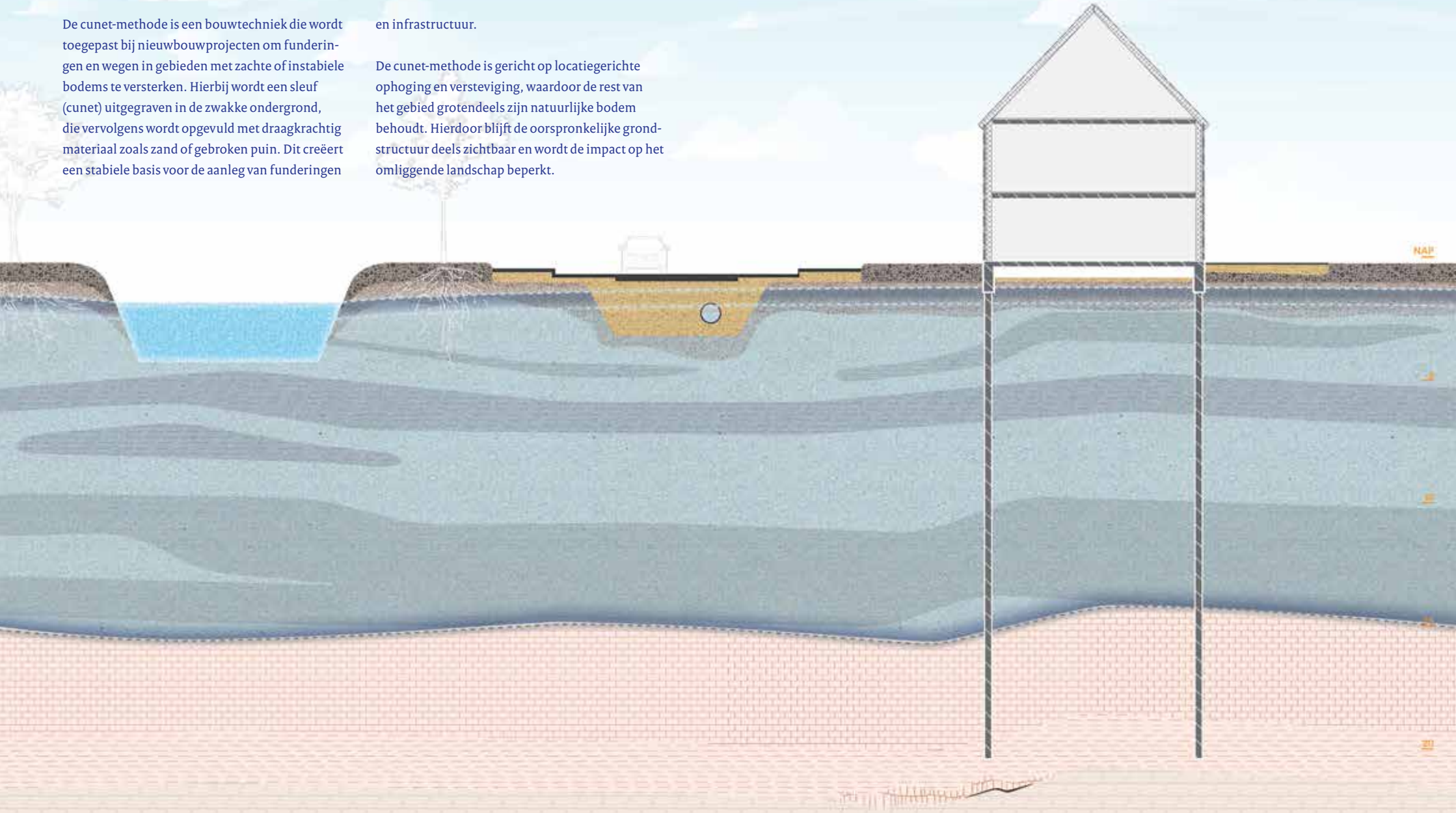
Partieel ophogen bij nieuwbouw is een methode waarbij alleen bepaalde delen van een bouwlocatie worden opgehoogd, in plaats van het hele gebied. Deze aanpak wordt vaak gekozen in situaties waar het ophogen van het volledige terrein niet nodig of wenselijk is, bijvoorbeeld om kosten te besparen of de natuurlijke waterhuishouding beter te behouden. In plaats van het gehele maaiveld gelijkmatig te verhogen, worden alleen de plekken opgehoogd waar bebouwing komt, zoals onder funderingen of belangrijke infrastructuur. Deze methode kan ook worden toegepast om waterbergingsgebieden te creëren in laaggelegen delen van het terrein, zodat regenwater op een natuurlijke manier kan worden afgevoerd.



CUNET - METHODE

De cunet-methode is een bouwtechniek die wordt toegepast bij nieuwbouwprojecten om funderingen en wegen in gebieden met zachte of instabiele bodems te versterken. Hierbij wordt een sleuf (cunet) uitgegraven in de zwakke ondergrond, die vervolgens wordt opgevuld met draagkrachtig materiaal zoals zand of gebroken puin. Dit creëert een stabiele basis voor de aanleg van funderingen en infrastructuur.

De cunet-methode is gericht op locatiegerichte ophoging en versteviging, waardoor de rest van het gebied grotendeels zijn natuurlijke bodem behoudt. Hierdoor blijft de oorspronkelijke grondstructuur deels zichtbaar en wordt de impact op het omliggende landschap beperkt.



‘Is het mogelijk om lichter te bouwen door natuurlijke bouwmaterialen toe te passen? Zodat de aanraking met de grond voor een opgetilde woning geminimaliseerd kan worden?’

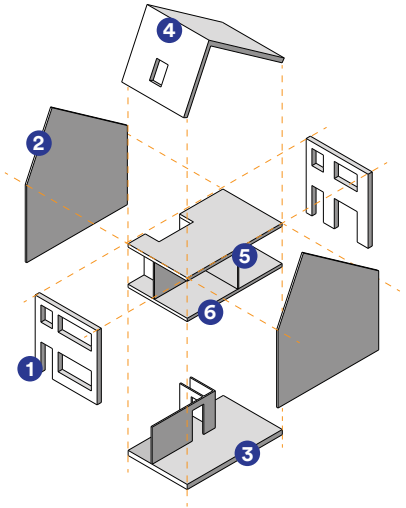
Wanneer er lichter wordt gebouwd door het gebruik van natuurlijke bouwmaterialen, kan het gewicht van de constructie tot wel zeven keer lager zijn dan bij traditionele bouwmethoden. Dit maakt het mogelijk om minder ingrijpende funderingen toe te passen. Op de volgende pagina’s zien we hoe het gewicht van een woning drastisch verminderd als er meer natuurlijke bouwmaterialen gebruikt worden. Ook zien we dat er nieuwe manieren van funderen, die minder impact maken op de bodem, een realistische mogelijkheid worden wanneer een woning veel lichter wordt.

HUIDIGE standaard WONING - 0 OP DE METER

begane grond	kanaalplaat en zandcementen dekvloer
verdieping	kanaalplaat en zandcementen dekvloer
gevels	hsb met minerale wol en metselwerk
dak	dakelement (gordingkap) (met PV)
woningscheidende wand	massief beton
binnenwanden	ytong separatiewanden

90.5 ton

100%



PERMANENTE BELASTING TOTAAL

90.575 kg

VERANDERLIJKE BELASTING

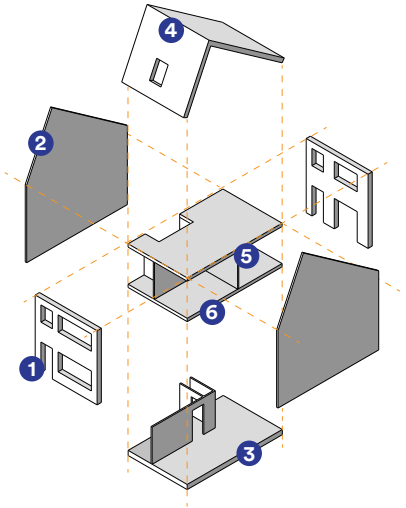
14.148 kg

CLT - houtvezelisolatie met betonnen begane grond

begane grond	kanaalplaatvloer met zandcementen dekvloer
verdieping	CLT met houtvezelplaat
gevels	CLT met houtvezelplaat en houten gevelafwerking
dak	CLT met houtvezelplaat en houten dakafwerking (of PV)
woningscheidende wand	dubbel CLT met houtvezelisolatie
tussenwanden	CLT

40.8 ton

45%



PERMANENTE BELASTING TOTAAL

40.839 kg

VERANDERLIJKE BELASTING

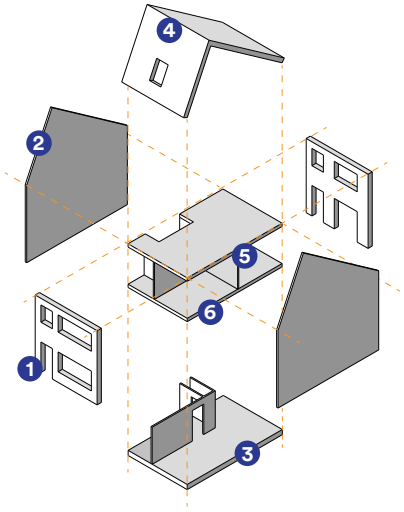
14.148 kg

CLT - houtvezelisolatie (inclusief begane grond)

begane grond	CLT met houtvezelplaat
verdieping	CLT met houtvezelplaat
gevels	CLT met houtvezelplaat en houten gevelafwerking
dak	CLT met houtvezelplaat en houten gevelafwerking (of PV)
woningscheidende wand	dubbel CLT met houtvezelisolatie
tussenwanden	CLT

25.5 ton

28%



PERMANENTE BELASTING TOTAAL

25.518 kg

VERANDERLIJKE BELASTING

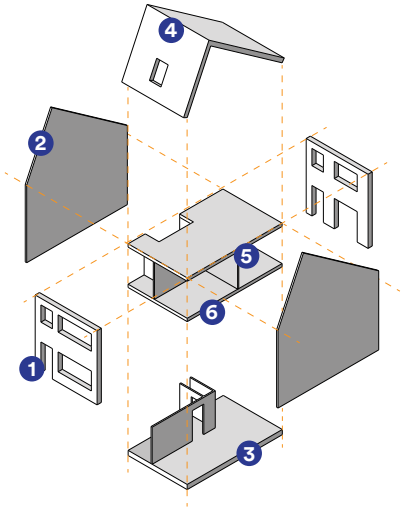
14.148 kg

hsb + biobased isolatie (inclusief begane grond)

begane grond	hsb met hout-, vlas- of schapenwolisolatie (zwevend parket)
verdieping	hsb met “ isolatie (zwevend parket)
gevels	hsb met “ isolatie (houten gevelafwerking)
dak	hsb met “ isolatie (houten dakafwerking of PV)
woningscheidende wand	hsb met “ isolatie
tussenwanden	hsb met “ isolatie

13.8 ton

15%



“Een woning volledig gemaakt van natuurlijke bouwmaterialen kan tot bijna 7 keer zo licht zijn.”

PERMANENTE BELASTING TOTAAL

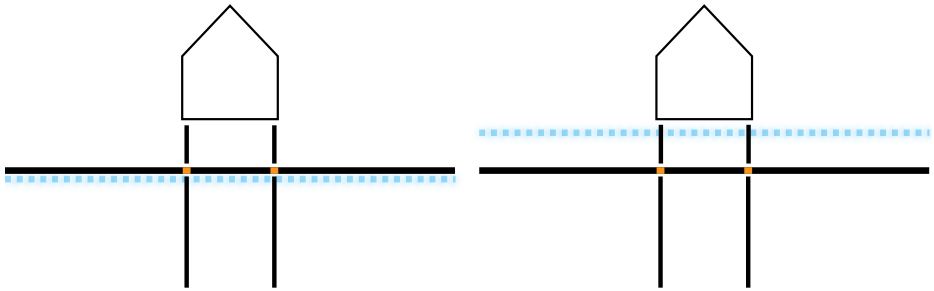
13.750 kg

VERANDERLIJKE BELASTING

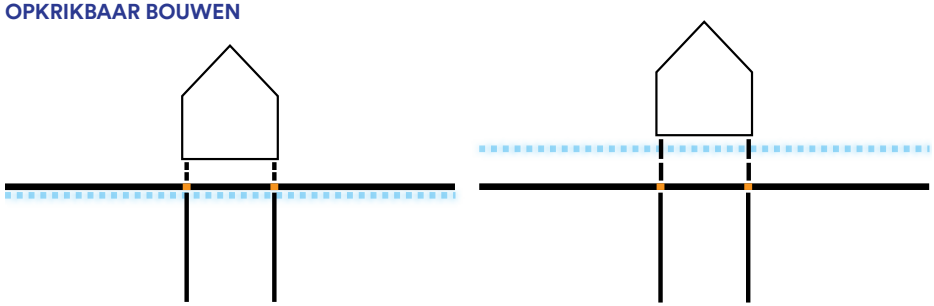
14.148 kg

LICHTVOETIG EN OPGETILD BOUWEN

OPGETILD BOUWEN



OPKRIKBAAR BOUWEN



Over de hele wereld worden in delta's en gebieden met een hoog risico op overstromingen woningen op palen gebouwd. In Nederland blijft deze typologie echter nog relatief onaangeraakt. Paalwoningen bieden een hoge mate van flexibiliteit ten opzichte van fluctuaties in het waterpeil; het water kan vrij onder de woningen doorstromen zonder schade te veroorzaken. Daarnaast bedekken paalwoningen de bodem niet. Na de aanleg en het plaatsen van de fundering blijft de bodem open. Dit betekent dat alle natuurlijke systemen, zoals de waterhuishouding en de beweging van bodemorganismen, vrij kunnen blijven functioneren onder de woning. De bodem kan haar rol behouden in wateropvang en biodiversiteit, zonder dat deze wordt verstoord door de aanwezigheid van zware bouwconstructies of bouwzand. Door de opgetilde woonvorm valt er ook licht op de bodem wat belangrijk is voor de levenskansen van begroeiing.

Paalwoningen maken ook meervoudig ruimtegebruik mogelijk. De ruimte onder de woningen kan functioneren als waterberging, natuurlijk landschap of er kan zelfs ruimte zijn voor voedselproductie. De dubbele functie die de ruimte kan hebben draagt bij aan een veerkrachtig en adaptief landschap waar woningen en de natuurlijke omgeving elkaar niet in de weg zitten, maar naast (en boven) elkaar bestaan.

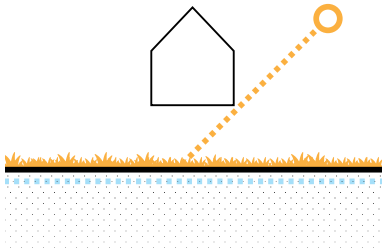
Wanneer de woningen van natuurlijke bouwmaterialen worden gemaakt kunnen deze tot zeven keer zo licht zijn. Dit biedt ook de mogelijkheid om te funderen op een manier die minder invasief is voor de bodem en het bodemleven. Zo kunnen er schroefpalen met kleine lichte machines de grond in worden gedraaid. Dit proces is stiller, maar veroorzaakt ook veel minder trillingen in de bodem. Doordat segmenten kunnen worden gekoppeld kunnen ze toch tot de draagkrachtige zandlaag worden doorgevoerd. Ook kan er bij veel lichtere woningen worden gedacht aan een funderingsprincipe dat lijkt op het gebruik van 'sneeuwschoenen'. Het gewicht wordt dan verspreid. De 'voeten' van de woning worden licht verankerd, gebaseerd op trek of kleef, zonder zware ingrepen in de bodem.

Beeld: plaatsen schoeffundering. https://schroeffunderingholland.nl/succesverhalen/

Beeld: Sneeuwschoen. https://www.cbc.ca/news/canada/north/awg2023-

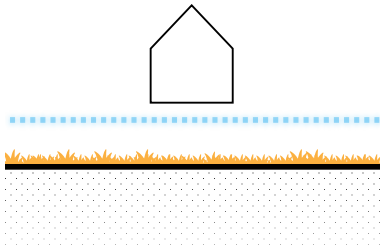
Beeld: Deltawind. RO&AD Architecten. https://architectenweb.nl/

OPGETILD BOUWEN



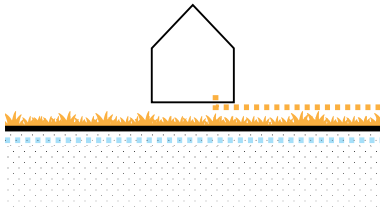
Behouden van een open bodem

Door de bodem niet te bedekken met bebouwing wordt het bodemleven zo min mogelijk verstoord. In plaats van dat de bestaande bovenste bodemlagen worden afgegraven en worden vervangen met geel zand, kan het bodemleven in deze bovenste bodemlagen blijven bestaan. Dit bodemleven is essentieel voor een vitale bodem.



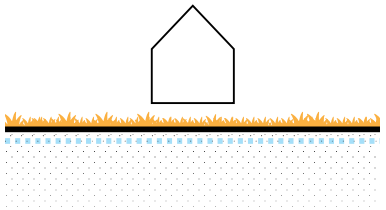
Toelaten van zonlicht op de bodem

Door de bebouwing op voldoende hoogte boven het maaiveld te plaatsen, kan zonlicht de bodem blijven bereiken. Dit zonlicht is essentieel voor de groei van planten, gewassen en andere vegetatie. Deze begroeiing ondersteunt belangrijke bodemsystemen en is van groot belang voor het behoud van een gezonde, vitale bodem.



Meerlaagse waterveiligheid

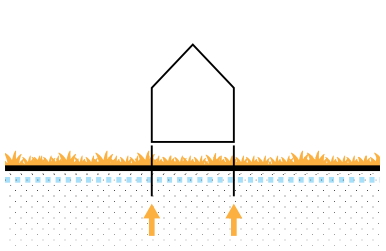
Door de bebouwing op hoogte boven het maaiveld te plaatsen, wordt het risico op wateroverlast weggenomen. Bij piekbelasting door water biedt de ruimte onder de gebouwen plaats voor waterberging. Zo kan de bebouwing effectief worden gecombineerd met waterberging.



Leidingwerk flexibel en toegankelijk aanleggen

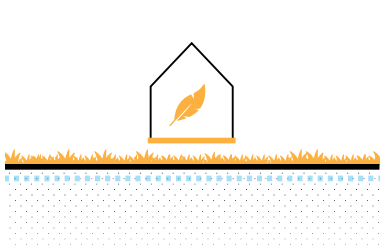
Door het leidingwerk bovengronds aan te leggen, blijft het flexibel en wordt voorkomen dat de bodem telkens verstoord moet worden voor kleine aanpassingen aan het leidingensysteem. Hetzelfde geldt voor de energie- en warmtevoorziening van de bebouwing.

PLANTAARDIG BOUWEN



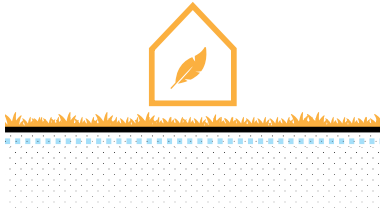
Maximaal beperken impact fundering

Om de bodem zoveel mogelijk intact te houden tijdens en na de bouw moet de impact van de fundering zo veel mogelijk worden ingeperkt. Een lichtere woning kan hierbij helpen, maar ook alternatieve vormen van fundering dragen hier aan bij. (schroefpaal of voet)



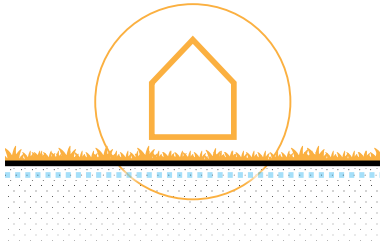
Begane grondvloer niet maken van beton

Door de bebouwing op te tillen ontstaat de mogelijkheid om de begane grondvloer op te bouwen uit plantaardige materialen. Dit scheelt significant in het totale gewicht van de bebouwing. Normaliter ligt de begane grond in 'de klei' en wordt deze van beton gemaakt om de woning te berschermen tegen optrekkend vocht.



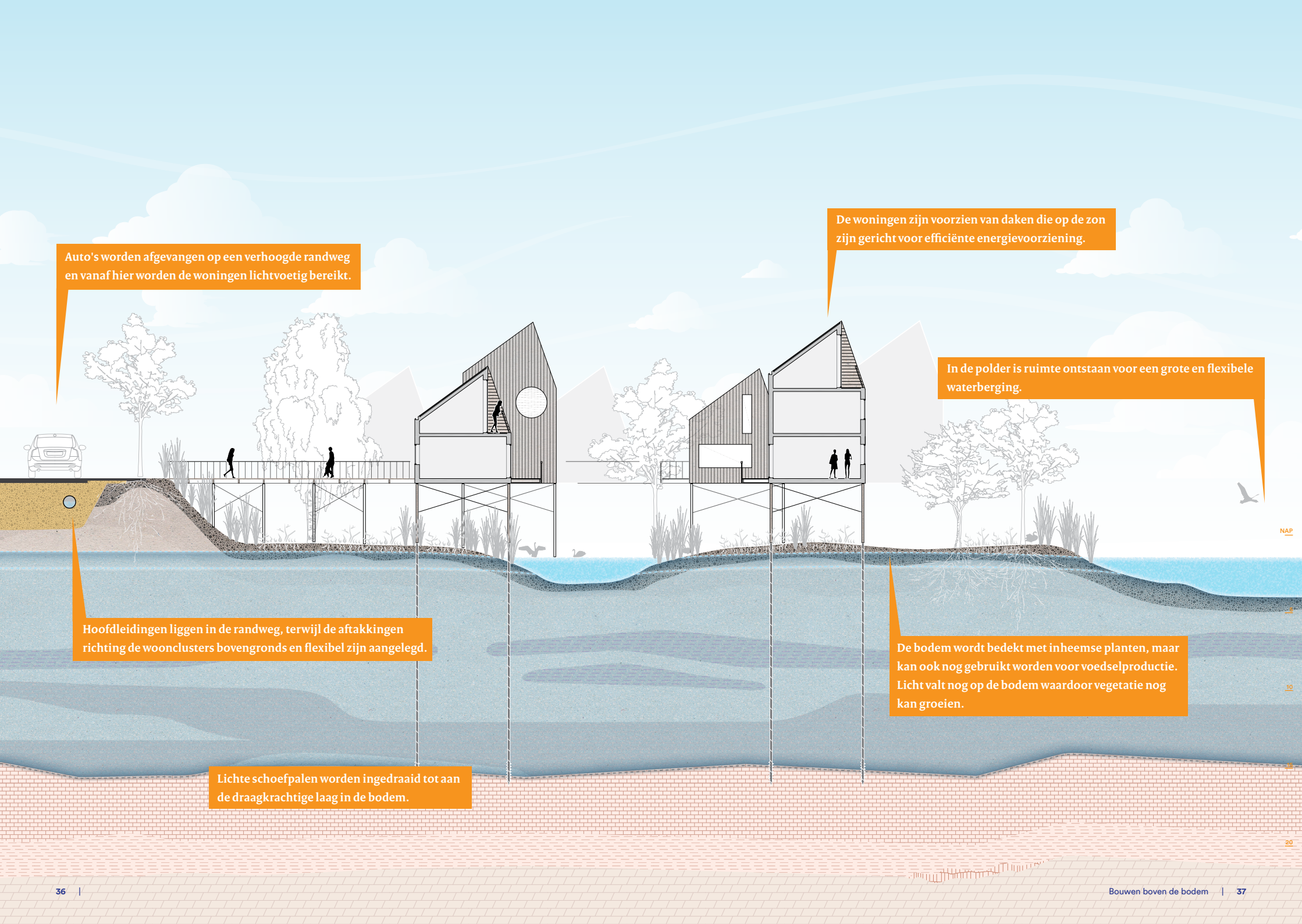
Licht bouwen met plantaardige materialen

Door te bouwen met plantaardige materialen kan bebouwing tot 7 keer zo licht blijven. Dit biedt de mogelijkheid om anders om te gaan met funderingen.



Gewortelde architectuur

Door te bouwen met lokale plantaardige materialen kan de bebouwing architecturaal geworteld zijn in het landschap. Materialen komen letterlijk uit het landschap waarin zijn zichtbaar zijn.


Auto's worden afgevangen op een verhoogde randweg en vanaf hier worden de woningen lichtvoetig bereikt.
De woningen zijn voorzien van daken die op de zon zijn gericht voor efficiënte energievoorziening.
In de polder is ruimte ontstaan voor een grote en flexibele waterberging.
Hoofdleidingen liggen in de randweg, terwijl de aftakkingen richting de wooncluster bovengronds en flexibel zijn aangelegd.
De bodem wordt bedekt met inheemse planten, maar kan ook nog gebruikt worden voor voedselproductie. Licht valt nog op de bodem waardoor vegetatie nog kan groeien.
Lichte schoefpalen worden ingedraaid tot aan de draagkrachtige laag in de bodem.
NAP
-5
10
-15
20

Colofon

Dit ontwerpend onderzoek werd mede mogelijk gemaakt door een financiele bijdrage van:

stimuleringsfonds
creatieve industrie

Uitvoering:

SMV | studiomarcovermeulen
architectuur stedenbouw landschap onderzoek

Studio Marco Vermeulen
Team: Marco Vermeulen
David Velu
Wessel Geysels

Met dank aan alle betrokkenen, waaronder:

Bas Hendrikx (Gemeente Moerdijk)
Marty Braat (Gemeente Moerdijk, senior adviseur water en klimaat)
Patrick de Rooij (senior beleidsmedewerker, Brabantse delta)
Dyanne Schrauwen (plaatselijke agrarier en grondbezitter)
Joost Frijters (directeur gebiedsontwikkeling Moerdijk)
Natasja Rijsdijk (Brabantse delta)
Irene van der Staak - Hulleman (programmaleider water bodem sturend, Provincie Noord-Brabant)

Beeldverantwoording:
Alle beelden zijn gemaakt door Studio Marco Vermeulen tenzij anders aangegeven. Afbeeldingen mogen gebruikt worden onder voorwaarde van naamsvermelding van de maker.

Aan deze publicatie kunnen geen rechten worden ontleend.

Datum: september 30, 2024 4:07 p.m.