



Hyperloop

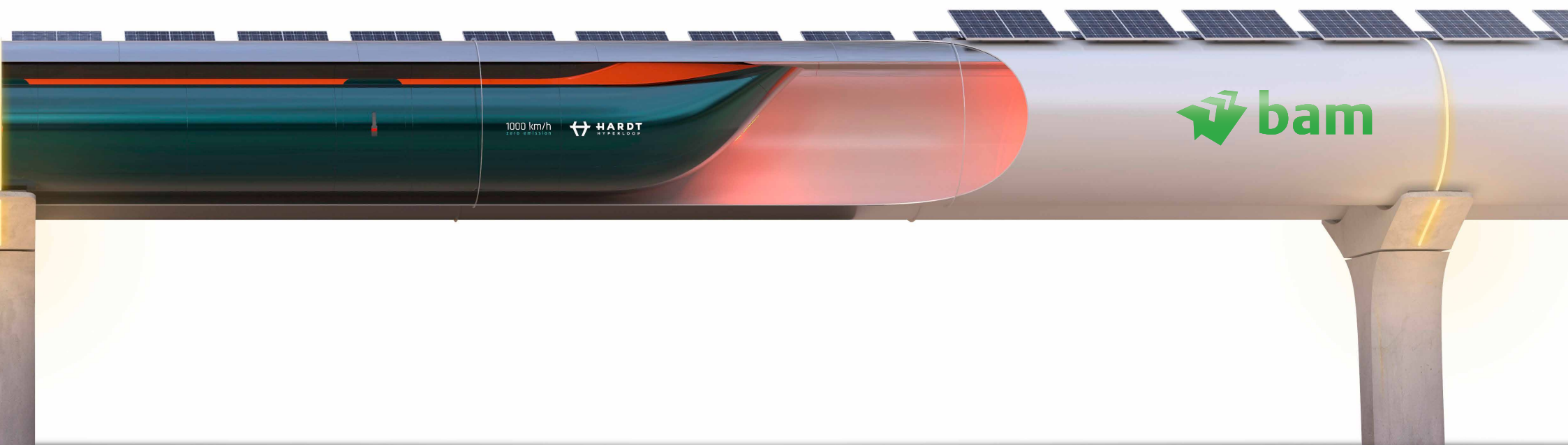
Let's join this ride together





UNSTUDIO

TATA STEEL



The Invesis logo consists of a red curved line above the word 'invesis' in a dark blue, lowercase, sans-serif font.

**dutch
boosting
group** | **vernieuw
verbeter
versnel**

Voorwoord



Als iets tot de verbeelding spreekt, is het de wereldwijde ontwikkeling van de hyperloop. Futuristisch, innovatief, baanbrekend volgens *believers*. Overbodig, onhaalbaar en surreëel volgens *non-believers*. Het zijn verschillende signalen die horen bij de ontwikkeling van een totaal nieuwe vorm van transport. Omdat de vraag naar transport in de komende jaren enorm zal toenemen en duurzaamheid een must is, geloven wij dat deze duurzame, circulaire vorm van transport de toekomst heeft. Om die reden stapten wij aan boord van de ontwikkeling van de hyperloop. Om mee te denken, mee te kijken en mee te leren.

In deze brochure delen wij onze visie op de bouw en de ontwikkeling van een nieuw transportsysteem. Wat komt er volgens ons kijken bij het ontwerp, de aanleg en veiligheid? Hoe duurzaam is het systeem? En wat is de maatschappelijke opinie over de hyperloop?

Deze brochure schrijven we voor onze hyperloop partners, onze partners in het Hyperloop Development Program, onze key accounts, onze klanten, onze vakgenoten, onze

collega's en toekomstige collega's en voor iedereen die geïnteresseerd is in de ontwikkeling van de hyperloop.

Wij ontwierpen en bouwden samen met Hardt de eerste low speed hyperloop-testfaciliteit van Europa. Tata Steel/Posco leverde de stalen buis. We hebben op deze hyperloop journey veel geleerd en delen dit graag. Want onze meest waardevolle *lesson learned* is dat openheid en samenwerking ons steeds verder brachten, zoals in het gezegde *'If you want to travel fast, go alone. If you want to travel far, go together'*.

We bedanken onze collega's van Hardt, Tata Steel/Posco, UNStudio en Dutch Boosting Group voor de medewerking aan onze brochure. En niet alleen hiervoor, maar voor alle inzichten die zij ons leerden op onze innovatieve tocht. We stellen onze hyperloop kennis graag beschikbaar voor het beantwoorden van al uw vragen.

Sander den Blanken

Director Commercial Business Development BAM Infra Nederland

Let's join this ride together

Inhoud



Voorwoord

2

Deel 1

Een nieuwe transportvorm

6

Hyperloop: alle provincies in

30 minuten bereikbaar

8

Op zoek naar een duurzame oplossing

10

Deel 2

Hoe bouw je een hyperloop? 14

Design

16

Constructie

18

Tunneling

20

Bruggen

22



Deel 3

Wat en wie heb je nodig? 24

UNStudio: Integratie	26
Omgeving	27
Safety	28
Systems Engineering	29
Contractvorming & financiering	30
Project Management	31
Partners	32

Deel 4

De toekomst 36

Dankwoord 38

Deel 1

Een nieuwe transportvorm





Hoe verplaatsen we ons in 2050? Hoe druk is het op wegen, spoor en in de lucht? En welke transportvormen zijn er? Het is moeilijk te voorspellen wat het verkeersvolume op deze lange termijn zal zijn, maar dat het volume toe zal nemen, is een feit. Meer diversiteit in verschillende transportvormen is een mogelijk antwoord op de groeiende vraag. Daarbij staat klimaatneutraal reizen centraal. Hierdoor bestaat *nu* de noodzaak om te zoeken naar een alternatief systeem naast bestaande transportvormen. In lijn met deze ontwikkeling werken we samen met onze partners aan een nieuwe transportvorm: de hyperloop.

Hyperloop: alle provincies in 30 minuten bereikbaar



Stedenbouwkundige inpassing hyperloop – Schiphol (2020). Hardt en Schiphol in samenwerking met BAM, UNStudio, CE Delft, Stibbe, AirportCreators & Dutch Boosting Group en SEO Amsterdam Economics (advies rol)

Snel, veilig, duurzaam en betrouwbaar. Dat zijn de kenmerken van een hyperloop. Op dit moment is de hyperloop, een totaal nieuwe manier van reizen, volop in ontwikkeling.

Zonder luchtweerstand efficiënter reizen

Een hyperloop – een eeuwenoud idee dat recent nieuw leven is ingeblazen door Elon Musk – is een nieuwe manier van transport naast de bestaande ‘famous four’: de auto, de trein, het vliegtuig en de boot. Hyperloop is gebaseerd op het idee dat je zonder luchtweerstand veel efficiënter kunt reizen. Door een zeer lage luchtdruk in een netwerk van buizen, kunnen zeer hoge snelheden gehaald worden. Dat maakt het vervoer energiezuiniger en efficiënter dan vervoer met bijvoorbeeld het vliegtuig en de trein. Met de hyperloop reis je in 60 minuten van Amsterdam naar Parijs.

In 2017 zetten we de eerste stap in het meedenken over dit nieuwe vervoersconcept. Samen met Hardt bouwden we op het terrein van The Green Village op TU Delft de eerste low speed hyperloop-testfaciliteit van Europa. Deze testfaciliteit bestaat onder meer uit een buis van dertig meter met een diameter van meer dan drie meter, gefabriceerd door Tata Steel/Posco.



Foto van de buis voor de low speed hyperloop-testfaciliteit op de campus van TU Delft

Op zoek naar een duurzame oplossing



Dit is écht een nieuwe, innovatieve manier van reizen.

Om op een duurzame manier aan de groeiende vraag naar transport te voldoen, zetten wij ons in voor de ontwikkeling van de hyperloop. Voor korte trips naar bijvoorbeeld Berlijn en Parijs is de hyperloop een duurzaam, snel en betaalbaar alternatief voor het vliegtuig. Uitbereidingen van luchthavens voorkomen we hiermee.

Lage CO₂-impact op gebruik van hyperloop

De CO₂-uitstoot van de hyperloop is in gebruik ten opzichte van de bestaande transportmiddelen lager. Daarmee wordt de hyperloop een reëel alternatief voor vliegtuigen en (vracht)verkeer.

Hoge CO₂-impact op bouw van hyperloop

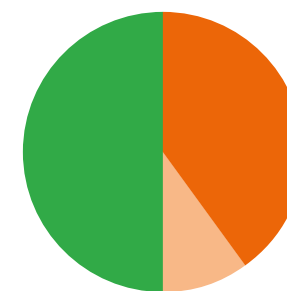
Voordat we duurzaam kunnen reizen met een hyperloop, staan we voor een enorme uitdaging: de bouw. Uit onze quickscan impactanalyse blijkt namelijk dat de CO₂ (eq) impact van het materiaalgebruik voor een bovengronds hyperlooptracé nu nog hoger is als de CO₂-materiaalimpact van bijvoorbeeld een regulier dubbel treinspoor. In *figuur 1* zijn de percentages uitstoot samengevat op hoofdcategorieën. De uitgangspunten en aannames van deze berekening zijn bij ons op te vragen.

CO₂ break-even point

Wanneer de hyperloop in gebruik is, verwachten we dat de CO₂-uitstoot van de hyperloop aanzienlijk gunstiger is dan de uitstoot van treinen op regulier dubbel treinspoor. Het CO₂ break-even point wordt sterk beïnvloed door innovaties in de boven- en onderbouwconstructie. We verwachten op de onderbouw een flinke CO₂-reductie te kunnen leveren door duurzame oplossingen toe te passen. Zo hebben we bijvoorbeeld onze golfbrekerelementen XblocPlus® duurzaam ontwikkeld.

Figuur 1

CO₂-materiaalimpact per hoofdcategorie



- Onderbouw 50%
- Bovenbouw 40%
- Aandrijving 10%

Je kunt het vergelijken met de ontwikkeling van treinen en vliegtuigen.

Wij kunnen dit, dus dat doen we gewoon.

We zijn een groot bedrijf waar continue duurzame innovaties plaatsvinden om CO₂ te reduceren en klimaatneutraal te bouwen. Die kennis zetten we in op het hyperloop traject.

XblocPlus®

Onze gepatenteerde, duurzame innovatie is het duurzame golfbrekerelement XblocPlus®. Deze leveren op de Afsluitdijk een CO₂-besparing van 56%, omdat er minder beton nodig is dan voor vergelijkbaar dijkversterkingsmateriaal.

Benutten van meekoppelkansen

We onderzoeken welke mogelijkheden we kunnen gebruiken als meekoppelkansen. Zo ging BAM Infra bijvoorbeeld succesvol aan de slag met Wattway van het Franse bedrijf Colas. Samen kwamen we met de oplossing om door ons aangelegde wegen te voorzien van Wattway-zonnepanelen in het wegdek voor het opwekken van duurzame energie. Plaatsting van zonnepanelen op of om de hyperloop zien wij daardoor als reële optie.



*De fabriek voor Xbloc's in Harlingen is circulair gebouwd
Na afronding hebben we de onderdelen gedemonteerd om elders
in te kunnen zetten*



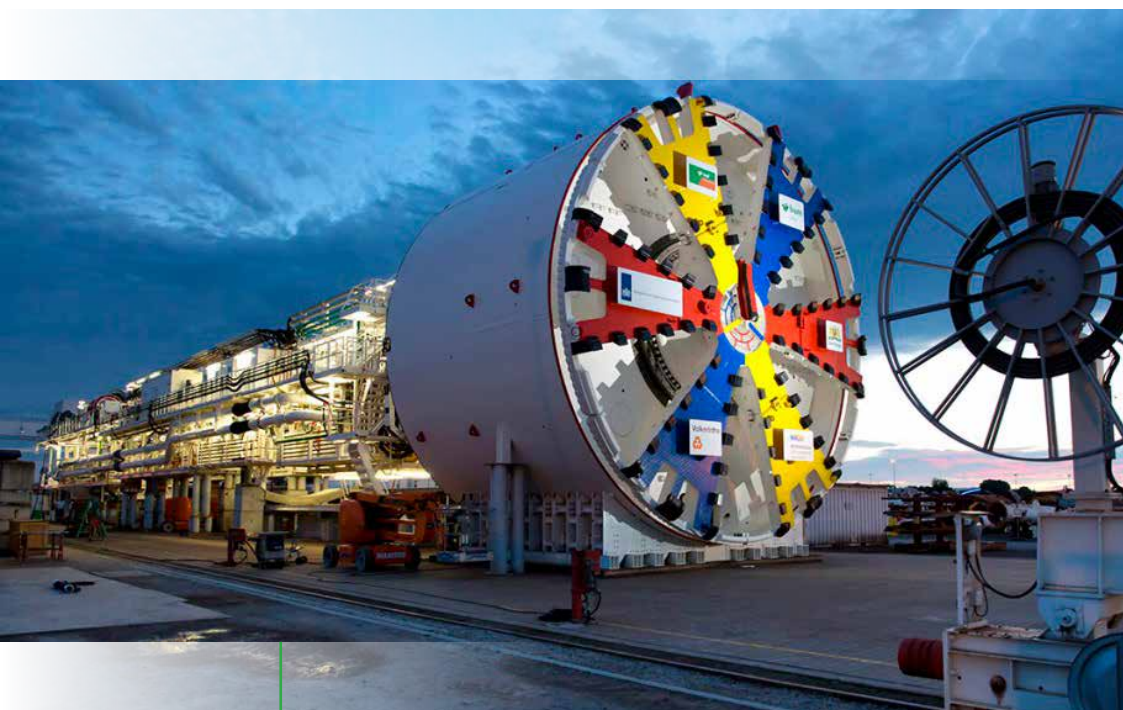
Testlocatie van de Wattway in de N401 bij Kockkengen

Duurzaamste tunnel van Nederland

Ook de meest duurzame tunnel van Europa, de Rotterdamsebaan in Den Haag, hebben wij gebouwd.

Deze tunnel kent tal van duurzame toepassingen.

'Het feit dat we in staat zijn een duurzame tunnel duurzaam te bouwen, geeft blijkt van onze dedicated attitude wat duurzaamheid betreft.'



In opdracht van de gemeente Den Haag bouwde BAM e.a. de meest duurzame tunnel van Europa

Meest duurzame bouwer

Onze innovaties en onze aandacht voor duurzaamheid blijven niet onopgemerkt. In 2021 wonnen we de onderscheiding 'meest duurzame bouwbedrijf van Nederland', ingesteld door Cobouw en PWC.

goinGDutch

Met interactieve snelfietsroutes, een speciaal ontwikkelde bike assistant en de bike academy biedt goinGDutch de ultieme woon-werkverkeer fietservaring in stedelijke gebieden. Als initiatiefnemer van goinGDutch, een samenwerkingsverband tussen Microsoft, Schiphol Group, OrangeNXT en BAM, zien wij voor steden met hyperloop stations een kans om dit verder te ontwikkelen en te gebruiken.



's Werelds eerste elektrische wals door BAM Infra


Emissieloze bouwplaats

Een aantal van onze bouwplaatsen richten we inmiddels geheel emissieloos in. We hebben een aantal wereldprimeurs met het elektrificeren van ons materieel. In 2020 introduceerden we de elektrische wals en in 2022 namen we 's werelds eerste hybride sondeertruck en asfaltspreidmachine in gebruik.

Deel 2

Hoe bouw je een hyperloop?





Dat een hyperloop na de eerste, succesvolle testen in een testfaciliteit van 30 meter niet meteen gebouwd kan worden, ligt voor de hand. Wat komt er kijken bij het ontwerp? Waar moeten we rekening mee houden bij de constructie en wat zijn de belangrijkste randvoorwaarden?

De belangrijkste randvoorwaarde in de ontwikkeling van de hyperloop is veiligheid, zowel tijdens de bouw als het gebruik. Daarvan zijn we ons bij BAM volledig bewust en zien dit als de eerste prioriteit. Daarnaast zijn voorspelbare kosten en bouwtijd belangrijke factoren. Hier spelen de bouwmethoden en de oplossing voor de onderbouw een rol als grote variabelen voor kosten, risico's en benodigde bouwtijd.

Design

Bij het ontwerpen van de hyperloop kijken we welke bestaande concepten het meest geschikt zijn als hyperloopconstructie. LNG-steigers bestaan bijvoorbeeld veelal uit een stalen bovenbouw en een betonnen onderbouw. Ze hebben hierdoor vergelijkbare uitdagingen als de hyperloop. Wij beschikken over ruime ervaring met de engineering en bouw van deze hybride constructies in Panama, Sierra Leone, Jordanië, Papua New Guinea, Qatar en Australië. Deze wereldwijde praktijkervaring in combinatie met onze recente bijdrage aan het conceptdesign van het Hyperloop Development Program, geeft ons inzicht in de mogelijkheden van een ontwerp met minimale omgevingshinder, een korte bouwtijd en hoge prijszekerheid.



De onderbouwconstructie van een LNG-steiger in Port Moresby, Papua New Guinea

Betonnen onderbouw constructie met stalen bovenbouw in één ontwerp

De stalen bovenbouw en betonnen onderbouwconstructie ontwerpen we integraal in één berekeningsmodel. Hiermee voorkomen we sub-optimalisaties ('verbeteringen die nóg beter kunnen zijn') in het totaalconcept. In de ontwerpfase lopen we tegen een aantal technische uitdagingen aan waar we mogelijke oplossingen bij zoeken. Drie voorbeelden van technische uitdagingen met oplossingen die wij voorzien bij de hyperloop:

Uitdaging 1: De frontale druk bij de kopse zijden van de hyperloop is hoog.

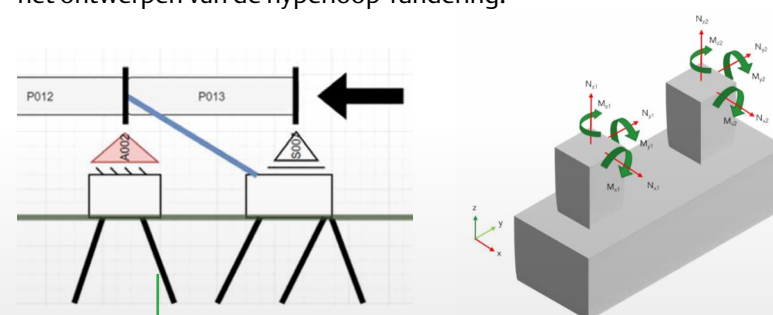
Oplossing: Een mogelijke oplossing is om deze krachtsafdracht integraal te ondervangen door de bovenbouw op een slimme manier te verbinden met de fundatie.

Uitdaging 2: Directe zonbeschijning van de stalen buis leidt tot grote temperatuurverschillen en daarmee tot ongelijke uitzetting van de buis met zeer grote vervormingen. Dit vraagt om een integraal constructief model waarin de boven- en onderbouw op elkaar zijn afgestemd.

Oplossing: Als oplossing denken we aan het toepassen van bijvoorbeeld flexibelere verbindingen tussen de buizen. Dit reduceert de thermische vervormingen en de daarbij behorende krachtsafdracht naar de fundering. Investerings in lichtere buizen leidt tot optimalisaties van de fundatie.

Uitdaging 3: Aardbevingen leiden tot dynamische belastingen en vermoeiingsschade.

Oplossing: We ondervangen dit door hier al in het concept design rekening mee te houden en voorkomen achteraf dure en tijdrovende aanpassingen. Onze ruime expertise met engineering in aardbevingsgebieden helpt ons bij het ontwerpen van de hyperloop-fundering.



Links: schets van de krachtsafdracht aan de kopse einde

Rechts: visualisatie belastingen uit de bovenbouw

Betonnen buizen

In 2019 hebben we samen met TU Delft een onderzoek uitgevoerd naar de haalbaarheid van betonnen hyperloopbuizen (*Braak, D.G., 2019, "A feasibility study on the application of concrete tubes in the Hyperloop Infrastructure"*). De uitkomsten van dit onderzoek zijn bij ons op te vragen.

Parametrisch model

Het hyperloop-ontwerp is nog volop in ontwikkeling. Hiervoor werken we met een parametrisch model. Met een parametrisch model rekent het systeem de gevolgen van deze veranderingen voor ons door. Het parametrisch model helpt om ons elke keer het ontwerp te verbeteren. Hierdoor maken we het ontwerp steeds robuuster, kostenefficiënt en duurzamer. Door in een 3D-model te werken zien we meteen wat de impact van onze oplossingen zijn en vertalen we dit naar kwaliteit, geld en kosten. We werken met alle partners samen in het 3D-model, zodat we alle kennis van de verschillende expertises bundelen en samen tot de beste oplossingen komen. In combinatie met de ontwikkeling van BIM 5D (3D + tijd + kosten) kunnen we steeds transparanter en betrouwbaarder ontwerpen.

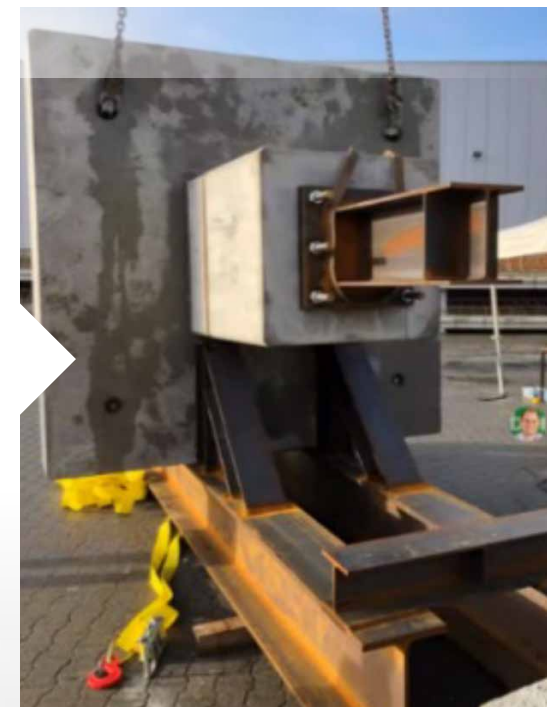
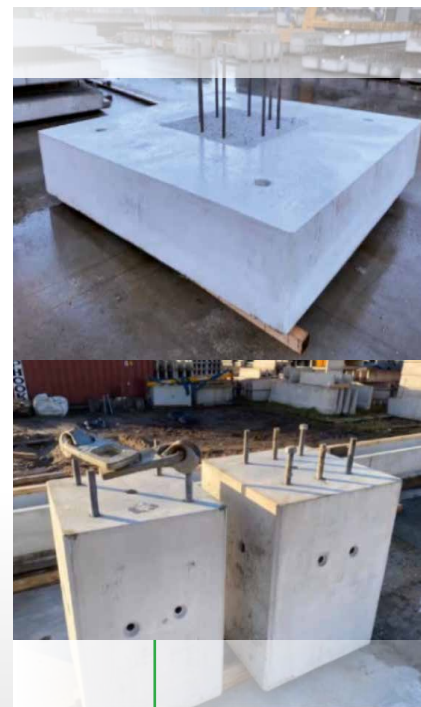


Visualisatie onderbouwconstructie

Modulair en circulair

Wij richten ons op een modulair en circulair ontwerp. Bij een circulair ontwerp denken we niet alleen na over de bouwmethode, maar denken we na over een lange termijn. Modulair en circulair bouwen betekent ook dat we herstelwerkzaamheden makkelijk kunnen uitvoeren en hiermee kosten verminderen. Dat is weer goed voor de beschikbaarheid, want defecte onderdelen zijn snel te vervangen voor nieuwe. Tenslotte denken we na hoe we het geheel kunnen demonteren en eventueel verplaatsen naar een andere locatie.

De essentie van modulair bouwen is een plug & play system, op basis van fabrieksmatig geproduceerde elementen. Wij pasten dit al toe bij de fundaties voor het landstation van Tennet voor het windpark Hollandse Kust (noord). Op de foto's is goed te zien hoe we losse elementen samenvoegen tot één fundatie.



Foto's van een modulaire fundatie voor een landstation van Tennet

Constructie

In de ontwikkeling van de hyperloop gebruiken we innovatieve werkmethoden. Met deze werkmethoden verbeteren we mogelijke bouwprocessen en met innovaties reduceren we omgevingshinder tijdens de uitvoering.



Hoge bouwsnelheid en hergebruik

Om een hoge bouwsnelheid te halen, gebruiken we prefab funderingselementen. Het bekisten en uitharden vindt plaats in de fabriek. Ook hier kijken we weer naar de circulariteit van het materiaal. Zowel de betonnen heipalen als de betonnen onderbouw gaan na de gebruikperiode weer terug naar de fabriek voor hergebruik.

LNG-steiger in Papua New Guinea, gebouwd door BAM e.a.



Met of zonder bouwweg

Bij de keuze voor de bouwmethode van de hyperloop gaan we uiteraard niet over één nacht ijs. Op hoofdlijnen hebben we de keuze uit twee opties:

1. Hyperlooptracés kunnen we voorzien van een onderhoudspad en/of calamiteitenweg. Deze weg gebruiken we tijdens de bouwperiode als bouwweg en opstelplaats voor heismachines en telescoopkranen. Na de gebruiksfase kan de weg gebruikt worden voor demontage in de toekomst.
2. De hyperloop kunnen we ook bouwen zonder bouwweg. Voor een 2,4 km lange LNG-steiger -met een stalen bovenbouw en een betonnen onderbouw- ontwikkelden we een uniek bouwproces met een lange draagconstructie, distributieplatform en laadplatform. Door kop-over-kop te werken is er geen bouwweg nodig. Over zowel land als water bouwen we met een smal werkspoor en miniem ruimtebeslag. Deze bouwmethode is een voorbeeld van een bouwmethode-optie in de ontwikkeling van een modulair hyperloopsysteem.

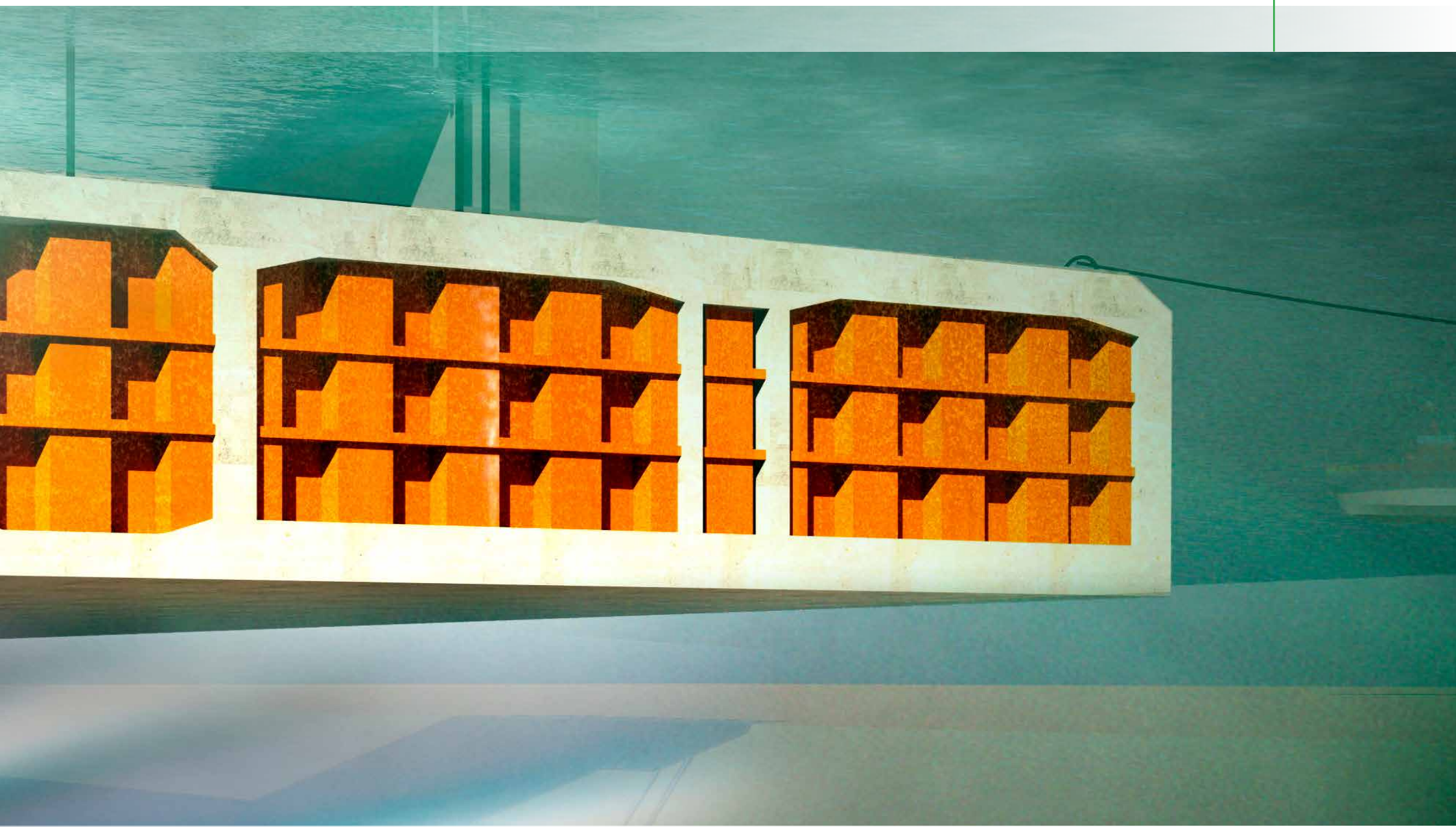
Tunneling

Komt de hyperloop bovengronds of ondergronds?

Door het experimentele karakter zullen de eerste (test) banen nog bovengronds liggen. Voor tracés in stedelijk gebied zijn tunnels juist een geschikte oplossing.

Wat de keuze ook wordt, wij bezitten een groot portfolio in het ontwerpen en bouwen van tunnels. Van ontwerpstudies tot bouw en inbedrijfstelling.





Afgezonken tunnels

Met de Femernbelt tunnel bouwen we in een internationaal consortium 's werelds langste afgezonken tunnel. Deze 18 km lange weg- en spoor-tunnel tussen Duitsland en Denemarken wordt 9 meter hoog en 43 meter breed. Met onze specialistische kennis van afzinktunnels behoren tot de wereldwijde top.

Geboorde tunnels

In 2021 hebben wij de geboorde tunnel Rotterdamsebaan in Den Haag opgeleverd, de meest duurzame tunnel van Europa.

Bruggen

Het aanleggen van een hyperloop over water is een reële optie en een alternatief voor een tunnel.





Specifieke brug voor een hyperloop

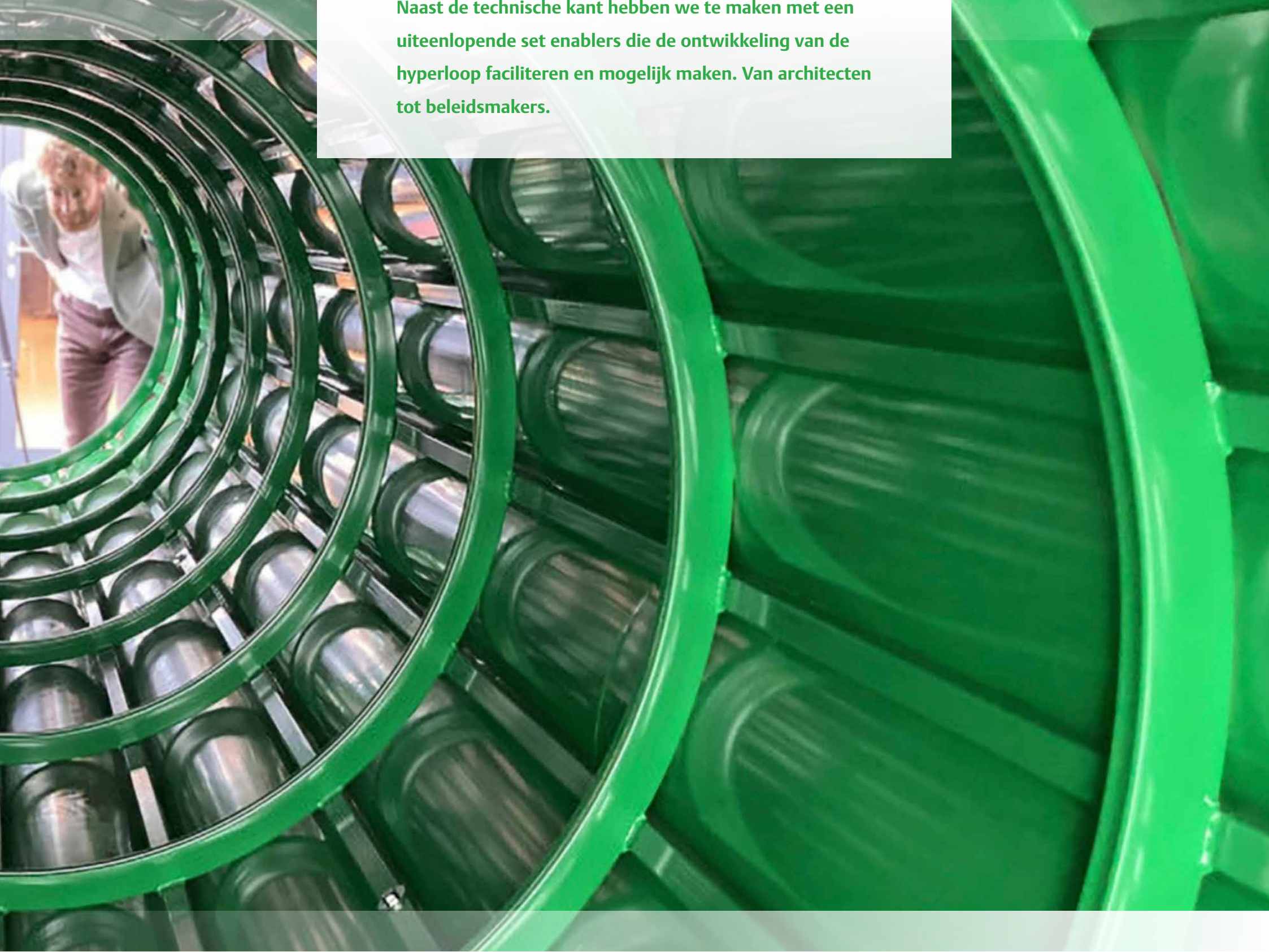
Het alignement van een hyperloop brug vergt een flauwe en daardoor lange hellingbaan. De kosten van het aanleggen van een brug komen daardoor fors hoger uit dan de hyperloop op 'maaiveld'. Toch zullen we in bepaalde toekomstige tracés niet ontkomen aan het aanleggen van bruggen. Hiervoor bezitten we bij BAM in ieder geval uitgebreide kennis en wereldwijde ervaring.

Met Stadsbrug Nijmegen 'De oversteek' en Busbrug Zwolle bewezen we niet alleen goed te zijn in de bouw van een brug, maar ook in het ontwerpen van State of the art landmarks waar we inmiddels heel wat prijzen mee hebben gewonnen.

Deel 3

Wat en wie heb je nodig?





Naast de technische kant hebben we te maken met een uiteenlopende set enablers die de ontwikkeling van de hyperloop faciliteren en mogelijk maken. Van architecten tot beleidsmakers.

UNStudio: Integratie

Artist impression van UNStudio

De ontwikkeling en integratie van een nieuwe vervoersmodaliteit in steden en in het landschap heeft heel veel impact. Het is voor toekomstige reizigers moeilijk voor te stellen hoe het reizen met de hyperloop werkt. Wat is de impact van de realisatie van een nieuw transportnetwerk in bestaande steden en hoeveel ruimte neemt dit in? UNStudio deed een studie naar de integratie van hyperloop in steden.



Door middel van beeldvormend en ontwerpend onderzoek is er een eerste verkenning gedaan naar hoe dit er mogelijkwijs uit zou kunnen zien. UNStudio ontwierp voor Hardt een modulair-station concept en visualiseerde dit aan de hand van artist impressions van de stations en de pods (=treinstellen).

De hubs zijn ontworpen op basis van een modulair principe. Afhankelijk van de behoefte en de locatie kan de hub verschillende functies gaan vervullen en is het groter of kleiner afhankelijk van de context. Hoe groter het station, hoe meer functies modulair kunnen worden ingepast. UNStudio is een wereldwijd gerenommeerd architectenbureau dat samen met Hardt deze ideeën omzet in indrukwekkende schetsen zoals te zien zijn in deze brochure.

Voor het bouwen van de door de architect ontworpen hubs, hebben we bij BAM Bouw en Techniek de kennis en techniek in huis om dit te realiseren. Voor onder andere ProRail bouwen we stations en van Schiphol zijn we huisaannemer.

Omgeving

Door de groei en de dynamiek van onze samenleving worden projecten steeds complexer. Diezelfde samenleving raakt hierin steeds meer betrokken, kritischer en mondiger. Dat is in de ontwikkeling van de hyperloop niet anders. Iedereen zal er een mening over hebben. En wat als de hyperloop ook nog eens in de achtertuin komt te liggen?



Draagvlak creëren met omgevingsmanagement

De discussie zal gaan over nut en noodzaak van dit nieuwe transportsysteem en de gekozen locatie. Want 'niemand wil zo'n buis in zijn achtertuin'. Dit principe heeft zelfs een officiële naam: het 'Not In My BackYard' principe (NIMBY).

Het tracé, de locatie van de hubs en de uitstraling van de hyperloop zijn bepalende factoren voor de ontvangst door de omgeving. Met de komst van de Hogesnelheidslijn (HSL) bijvoorbeeld, waren de uitdagingen ten aanzien van stakeholders uitermate complex. Hier leerden we in de praktijk over het NIMBY principe en hoe omgevingsmanagement dit positief kan beïnvloeden. Met een gedegen omgeving- en stakeholderanalyse en mensgerichte aanpak krijgen we inzicht in de belangen, kansen en risico's. Hiermee kunnen we

de juiste voorwaarden scheppen voor en met de omgeving en stakeholders zowel voor, tijdens en na de bouw in stedelijk en landelijk gebied.

Bij de verbreding van de A12 over 30 km had deze aanpak als resultaat, dat omwonenden ons met een gemiddelde waarderingsscore van 8,6 hebben beloofd terwijl ons werk letterlijk in hun tuin plaatsvond. Hiervoor ontvingen we de Nederlandse Bouwpluim.

Vergunningen van A tot Z

Met grote projecten zoals Zeesluis IJmuiden, nieuwe sluiscomplex Terneuzen en de en Afsluitdijk hebben kennis en ervaring in eigen huis om het complete en complexe vergunningenproces van grote projecten te begeleiden.

Safety

Tunnel Groene Hart HSL

Bij de ontwikkeling van de hyperloop staat één aspect centraal: veiligheid. In Hyperloop Test Centers worden alle mogelijke scenario's getest en berekend die de veiligheid van de hyperloop garanderen.



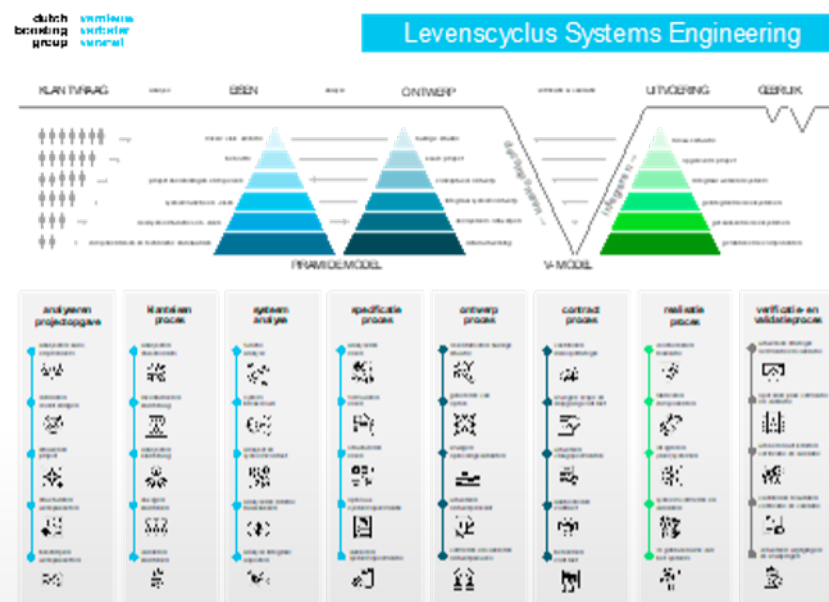
Hyperloop Test Centers worden gebruikt voor het testen van het functioneren van de hyperloop op grotere schaal en op hoge snelheid. Daarvoor is het nodig dat we een goede system safety analyse uitvoeren, zodat we later niet op ontwerpkeuzes hoeven terug te komen en een gedeelte van het testprogramma moet worden herhaald. Het testen in deze centra speelt een belangrijke rol om gelijk met de functie ook de veiligheid van het ontwerp te valideren, zodat we het beste en veiligste hyperloop ontwerp realiseren. De vastlegging van dat ontwerp vindt zoveel mogelijk na het testen plaats. Vooraf stellen we een safety plan op waarin we stellen op welke manier safety wordt geborgd. Bijvoorbeeld hoe een Safety Case moet worden uitgevoerd. Denk voor safety aan afstanden tussen vluchtdeuren, welke vluchtroutes, rookontwikkeling en ventilatie, elektrocutie, vastgelopen voertuigen, botsingsgevaar, toestaan

van onderhoudswerkzaamheden en inspecties, communicatie hulpdiensten en noodverlichting. Het is wenselijk dat de safety case wordt goedgekeurd door een certificerende instantie. Door de bouw van hogesnelheidslijnen, tunnels, stations en zeesluizen ontwikkelden we brede ervaring met het opstellen en faciliteren van RAMS-plannen, HAZOP-sessies, kwantitatieve en kwalitatieve safety analyses, maintenance safety analyses, uitvoeren safety testing en validatie en het verkrijgen van ISA/AsBo-certificeringen.

Met de Hogesnelheidslijn (HSL) hebben we bewezen succesvol te zijn in het bouwen en onderhouden van een systeem dat aan de hoogste veiligheidseisen voldoet bij een snelheid van 300 km/u. De hyperloop is een uitgelezen mogelijkheid om deze kennis uit te breiden naar hogere snelheden.

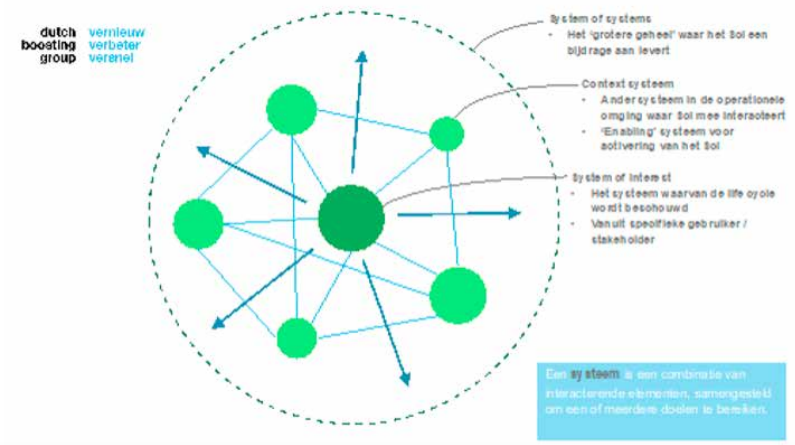
Systems Engineering

De hyperloop is een geheel nieuw en zeer complex systeem. Toepassing van Systems Engineering bij de ontwikkeling, bouw, beheer en onderhoud van de hyperloop is een must vanwege de complexiteit van de verschillende (sub)systemen die samen als één functionerend geheel moeten werken en aantoonbaar aan alle hoge (veiligheids-) eisen moeten voldoen.



Figuur 2 - Systematische benadering en managing

Dutch Boosting Group, experts op het gebied van Systemdenken en SE, zet hun jarenlange ervaring en expertise in om de complexiteit van de hyperloop systematisch te benaderen en te managen (figuur 2). Daarbij wordt er altijd gewerkt volgens de principes van Systemdenken: het grote geheel, de samenhang en de relaties (figuur 3).



Figuur 3 - Systemdenken: het grote geheel, de samenhang en de relaties

Ook bij BAM hebben we ruime ervaring met Systems Engineering. Bij het ontwerpen, bouwen en onderhouden van de Hogesnelheidslijn (HSL) hebben wij deze manier van systeembenadering toegepast. Hiervan ondervonden we zoveel profijt, dat we Systems Engineering op al onze integrale projecten standaard toepassen.

Contractvorming & financiering

Wie gaan de eerste commerciële hyperloop trajecten straks ontwerpen, bouwen en onderhouden? Wie worden de beheerders van de infrastructuur, en wie gaat de passagiers vervoeren? En wie gaat het allemaal betalen en financieren? De toekomst zal uitwijzen wat de antwoorden op deze vragen zullen zijn, maar het is van belang dat we nu nadenken over de wijze waarop we deze projecten in de toekomst het beste vorm kunnen geven.

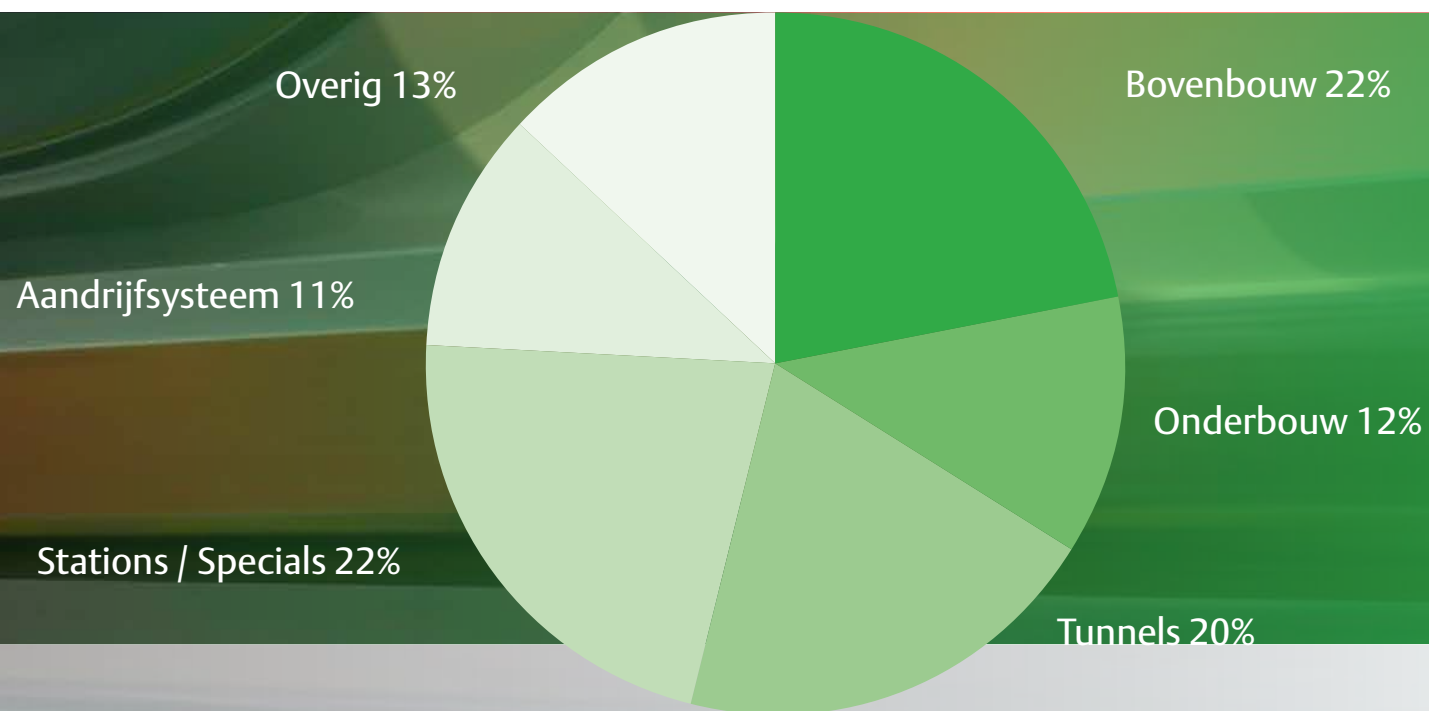
Het zal gaan om grensoverschrijdende investeringen, waarbij de omvang van de projecten voor de meeste bouwpartijen te groot is. Bovendien zal lokale kennis en ervaring net zo belangrijk zijn als de ervaring met de realisatie van grote, complexe projecten. Ook kunnen basale, technische keuzes die we nu maken van invloed zijn op de vraag of de projecten straks succesvol worden aanbesteed en vervolgens uitvoerbaar en financierbaar zijn.

Naast een maatschappelijke kosten/batenanalyse is zekerheid over de vraag of we de infrastructuur binnen de afgesproken tijd en binnen het budget kunnen bouwen bepalend voor het verkrijgen van politieke goedkeuring. Ook de kans op slagen van de aanbesteding en het verkrijgen van een scherpe private financiering hangen hiermee samen.

Zekerheid over kosten en bouwtijd worden weer voor een groot deel bepaald door het ontwerp van de onderbouw en de bouwmethode. Beide aspecten zijn de grootste variabelen voor de uiteindelijke prijs en bouwtijd van een traject. Daarom richten wij ons specifiek op deze onderwerpen.

Een ander voorbeeld betreft de hoge mate van complexiteit van de technologie, die bovendien grotendeels nieuw is. De publieke opdrachtgever zal (nog) niet over de kennis en ervaring beschikken om de infrastructuur zelf te beheren. Het ligt daarom voor de hand dat de opdrachtgever die verantwoordelijkheid bij private partijen neerlegt, en dat de opdrachtgever niet betaalt voor de infrastructuur zelf, maar voor de mate van beschikbaarheid voor reizigers. Een dergelijke structuur zorgt ervoor, dat de partij die de infrastructuur ontwerpt, bouwt en onderhoud maximaal inzet op de bedrijfszekerheid en veiligheid van het systeem.

Via onze 50% deelname in Invesis hebben wij directe toegang tot alle kennis en ervaring die samenhangt met het structureren en financieren van grote, complexe infrastructuur projecten. Hierbij betaalt de opdrachtgever (meestal de overheid) voor de daadwerkelijke beschikbaarheid van bijvoorbeeld een weg, tunnel of hogesnelheidslijn. Invesis heeft een portefeuille met meer dan 50 projecten die op deze leest geschoeid zijn, met een totaal geïnvesteerd kapitaal van 12 miljard euro. Invesis weet hierdoor als geen ander de koppeling te maken tussen de financiering en structurering van het project enerzijds, en de technische mogelijkheden, keuzes en uitdagingen anderzijds.



Figuur 4 *Indicatie directe bouwkosten per hoofdcategorie*

Wat kost dat nou, zo'n hyperloop?

Bouwkosten

In 2019 voerden we samen met HARDT een kostenstudie uit voor het tracé Schiphol – Keulen. Uit deze studie blijkt dat de engineering- en bouwkosten voor een hyperlooptracé circa € 50 miljoen per kilometer (prijspeil 2022) bedragen. In deze studie hebben we ook de kosten voor een High Speed Train geraamd. Uit de onderlinge vergelijking blijkt dat de bouwkosten van de hyperloop concurrerend zijn met een High Speed Train. Uit deze kostenstudie blijkt ook dat de bouwkosten in hoge mate worden bepaald door de omgeving. Bij een ander tracé, met bijvoorbeeld minder of meer stedelijk gebied kunnen de bouw-kosten, door extra tunnels en hinderbeperkende maatregelen, significant (20% of meer) lager of hoger uitvallen. Dit geldt uiteraard ook voor de High Speed Train.

De kostenstudie Schiphol-Keulen omvat een tracélengte van 300 kilometer en is inclusief de bouwkosten van vier stations en exclusief kosten opdrachtgever, planfase, grondverwerving en BTW. De overige uitgangspunten en aannamen zijn bij ons opvraagbaar.

In figuur 4 zijn de bouwkosten onderverdeeld in hoofdcategorieën. De bouwkosten voor de hyperloop-infrastructuur (bovenbouw, onderbouw, tunnels en stations) blijken ruim 75% van de totale bouwkosten te bevatten.

Project Management

Met onze jarenlange ervaring in het bouwen van grote, toonaangevende en innovatieve projecten hebben we een prestigieuze portofolio opgebouwd.



Zeesluis IJmuiden in aanbouw

Zeesluis IJmuiden, momenteel de grootste zeesluis ter wereld, de Maeslantkering, de Afsluitdijk, de aanleg van de Hogesnelheidslijn, talloze steigers, bruggen en tientallen tunnels wereldwijd. We hebben de kennis, kunde en ervaring om dit soort complexe, innovatieve projecten uit te voeren. Daarom hebben wij de ambitie om in de hyperloop-ontwikkeling mee te gaan.

We zijn ons ervan bewust dat we nooit alleen een hyperloop kunnen bouwen. Er is een totaaloplossing nodig, die alleen met een goede, open samenwerking met partners zoals Hardt, Tata Steel, UNStudio en Dutch Boosting Group tot stand kan komen. Naast de technische uitdagingen, moeten we in staat zijn om het totale projectproces in alle fasen te managen, inclusief onderhoud en de financiering zoals bij Public Private Partnership (PPP) projecten. Dat we dát kunnen, hebben we gelukkig al bewezen.

'De reden waarom wij in de ontwikkeling van de hyperloop willen bijdragen en meedenken, is omdat we de kennis in huis hebben om iets complex en innovatiefs als een modulaire, circulaire onderbouw voor een hyperloop te ontwikkelen, waarbij we over de grenzen van onze scope meedenken.'

Joris van Papenrecht – Invesis

Partners

Door onze deelname als partner in het Hyperloop Development Program (HDP) volgen we de ontwikkeling van de hyperloop op de voet en staan we in contact met de partijen die de hyperloop in de toekomst gaan realiseren.



Wat houdt het Hyperloop Development Program in?

'The Hyperloop Development Program is a public-private partnership, between the Dutch Ministries of Economics & Climate and Infrastructure & Water Management, the Dutch Province of Groningen and a group of industry parties and knowledge and research institutions, dedicated to develop hyperloop as a safe, sustainable and commercially viable mode of high-speed transportation and to bring the hyperloop to commercialization.' (Definitie van HDP)

HDP is ontwikkeld als een inclusief ecosysteem waarin meer dan twintig bedrijven en instituten uit alle relevante sectoren kunnen samenwerken om de ontwikkeling van de hyperloop te ondersteunen en te versnellen.

Kick-off van lowspeed hyperloop-testfaciliteit door Hardt, Tata Steel, Royal IHC en BAM in 2018

HARDT



Hardt is een Europese hyperloop technology provider die als eerste een uniek prototype van een wisselsysteem voor een hyperloop heeft weten te ontwikkelen. Naast deze unieke ontwikkeling ontwikkelt Hardt een unieke versie van pods in de vorm een 'hangend' railsysteem.

Samen met Hardt hebben we meerdere studies verricht, waaronder een kostenstudie voor een hyperlooptracé van Schiphol naar Keulen. Daarnaast adviseerden we Hardt bij de ontwikkeling van het European Hyperloop Center (EHC) in Groningen. De agile werkwijze van Hardt

is effectief voor een startup. De hoge mate van snelheid en flexibiliteit geven een andere dynamiek dan het Verificatie & Validatie proces en de Systems Engineering systematiek die wij gebruikelijk doorlopen bij complexe Design & Construct projecten. Over het vinden van een balans tussen dynamiek en beheersing zijn Hardt en wijzelf altijd open naar elkaar. Onze leermomenten en ervaringen die wij opdeden in de samenwerking met een succesvolle startup als Hardt, geeft ons nieuwe inzichten en nemen we mee in nieuwe agile-manieren van werken met Hardt als partner.

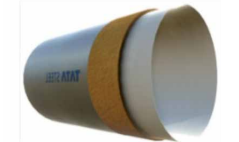
TATA Steel / POSCO



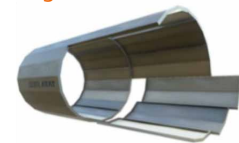
Polyhedral



Multi material



Segmented



Double wall



Skeletal



Samen met de staalbedrijven Tata Steel en POSCO, die op hun beurt in partnership samenwerken, ontwikkelen we de onderbouw en bovenbouw als een integraal systeem dat voor elk hyperloop model toepasbaar is, waar ook ter wereld.

Tata Steel: 'Wij benaderden de uitdagingen die het realiseren van een hyperloop systeem biedt vooral vanuit een materialen-perspectief. Doordat we met verschillende partners samenwerken, hebben we een completer beeld en worden de oplossingen die we vinden effectiever én unieker.'

Naast geoptimaliseerde staalkwaliteiten kijkt Tata Steel ook naar innovatieve aanpassingen aan het buisontwerp zelf. Tata Steel: 'Met deze ontwikkelingen hebben wij inmiddels prototypes vanaf de

tekentafel naar ware grootte gebracht. Binnenkort kunnen we, met de realisatie van het European Hyperloop Center, deze concepten valideren, om zo een belangrijke bijdrage te leveren aan de toekomst van hyperloop én een rol te spelen bij de realisatie daarvan.'

Onze samenwerking met Tata Steel kenmerkt zich door openheid en oprechte interesse in elkaars expertise. Alleen zo komen we tot nieuwe inzichten, zoals bij de integrale aanpak van onderbouw en bovenbouw van de hyperloop. Voeg daarbij de startup mentaliteit van Hardt en je krijgt een echt energiek project waarbij geen uitdaging te groot is voor de deelnemers. Het is de tijd om te verbinden en naar elkaar toe te groeien. Met overheden, universiteiten, kenniscentra en met ons.

Deel 4

De toekomst





[Def:] toe-komst (de, v) = de tijd die na het huidige moment komt

De toekomst is helemaal niet zo ver weg. En zo is het met de hyperloop ook. We staan aan het begin van een ontwikkeling die snel een vlucht neemt. De eerste testtracks liggen al op verschillende plaatsen in de wereld en de eerste testpersonen zijn vervoerd. Of de ontwikkeling zich zal richten op personenvervoer of cargo is niet eens zo heel relevant. Dát het er komt wel. En daarmee komen we in een fase waarbij de maatschappij betrokken raakt. Er zullen voorstanders zijn. En tegenstanders. Het gaat tijd kosten en geld. De discussie over nut en noodzaak zal er zeker gaan komen en die is ook terecht. Want: willen we wel iets nieuws ontwikkelen, terwijl we net begonnen zijn andere vervoerssystemen te verduurzamen? Moeten we de vraag naar transport niet veranderen in plaats van het blijven voorzien in die vraag? Kan dit transportmiddel de plaats innemen van de luchtvaart of is het aanvullend? We stellen onszelf dit soort vragen bewust en houden ons daarom op de hoogte van wat er in de maatschappij speelt. Maatschappelijke betrokkenheid is namelijk één van de belangrijkste factoren.

“Die maatschappelijke betrokkenheid is ontzettend belangrijk. We realiseren ons dat we bezig zijn een nieuw transportsysteem te ontwikkelen dat veel impact heeft op de gebouwde omgeving. Dat valt niet te onderschatten.”

Machteld Kors - UN Studio

Laten we de waaróm-vraag niet uit het oog verliezen: We werken aan een emissieloze manier van vervoer en reizen. We reizen van en naar het centrum van de ene stad naar de andere, waardoor we (korte) vluchten en (lange) auto- en vrachtwagenritten terugdringen. Dat is de kracht van de hyperloop. Het zal nog jaren duren voor iedereen zover is om in de komst van de hyperloop te geloven en deze nieuwe manier van vervoer te omarmen. Maar wij denken alvast na over die toekomst.

Want de toekomst van de hyperloop, is nu.

Uw feedback over onze ideeën over de hyperloop stellen wij zeer op prijs.

U kunt uw suggesties mailen naar: hyperloop@bam.com

Dankwoord

Voor het tot stand komen van deze brochure hebben we met veel plezier en wederzijdse interesse, informatie en ideeën verzameld en uitgewisseld. Hiervoor bedanken we de volgende personen voor hun professionele kennis, inspirerende inzichten en af en toe een persoonlijke visie op de hyperloop.

Tata Steel Nederland – Huib Simon – Head of Marketing

Tata Steel Nederland – Tim Hartzema – Technical Manager

Tata Steel Nederland – Marcel Cruijff – Researcher

Stichting Hyperloop Development Program – Coen de Ronde – Director

Hardt – Mars Geuze – Cofounder/Chief Commercial Officer

UNStudio – Machteld Kors – Director Strategic Development

Dutch Boosting Group – Rik de Meij – Managing Consultant

Invesis – Joris van Papenrecht – Commercial Director

BAM Infra Nederland – Sander den Blanken – Director Commercial Business Development BAM Infra Nederland

BAM Infra Nederland – Daniel Lobregt – Programma Manager Hyperloop

BAM Infra Nederland – Jos van Rijen – Manger Design Operations

BAM Infra Nederland – Marius Hendriks – Constructeur

BAM Infra Nederland – Martin Kuis – Regio Manager

BAM Infra Nederland – Arie de Jong – Ontwerp Manager

BAM Infra Nederland – Patrick Kemperman – Afdelingshoofd Omgevingsmanagement

BAM Infra Nederland – Françoise van Buijtenen – Coördinator Hyperloop Brochure

BAM Infra Nederland – Reinier Bosman – Adviseur RAMS

Graag bedanken we onze partners Hardt, Tata Steel, UNStudio in samenwerking met Plomp en Dutch Boosting Group voor het gebruiken van hun beeldmateriaal.



To Schied **Colofon** →

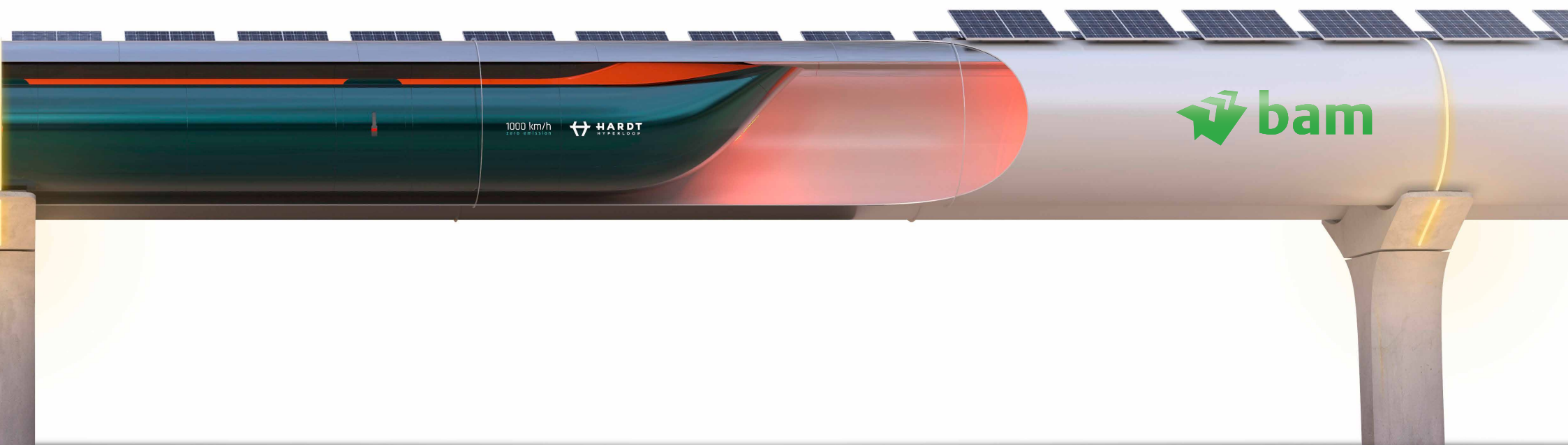
© Copyright	BAM Infra Nederland
Eerste druk	november 2022
Contactpersoon	Daniel Lobregt
Grafisch ontwerp	Esens Design
Beeldmateriaal	UNStudio i.s.m. Plomp Hardt Dutch Boosting Group BAM Nederland BAM Infra Nederland

Deze brochure is een speciale uitgave van BAM Infra Nederland



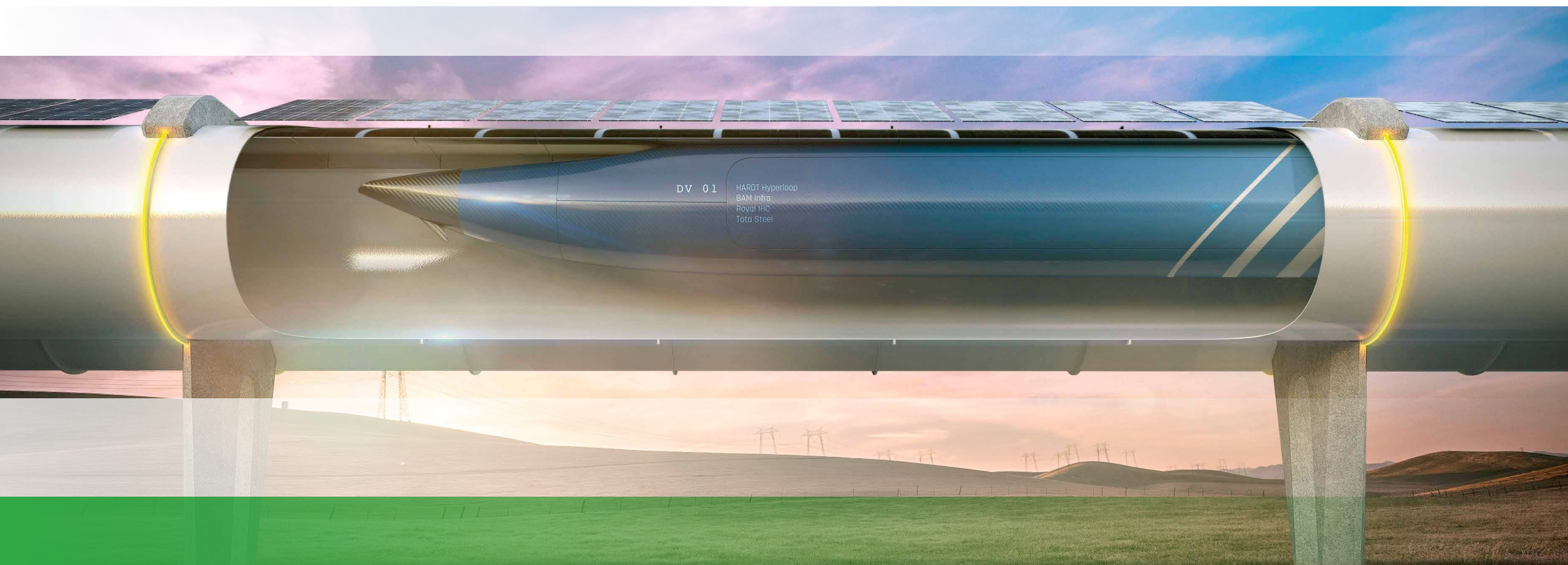
UNSTUDIO

TATA STEEL




invesis

**dutch
boosting
group** | **vernieuw
verbeter
versnel**



Let's join this ride together



BAM Infra Nederland

H.J. Nederhorststraat 1
2801 SC Gouda
Nederland

Postbus 63
2800 AB Gouda
Nederland

T +31 (0)182 59 06 00
info.infra@bam.com
baminfra.nl