

Quickscan innovatief internationaal treinvervoer

Rapportage - **DEFINITIEF**
Mei 2020



Disclaimer PwC

In de week van 16 maart 2020 is PwC door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) verzocht om een quickscan uit te voeren naar innovatief internationaal treinverkeer. In de periode van maart - mei 2020 heeft PwC deze QuickScan uitgevoerd.

Op verzoek van IenW (verwoord in de offerte met kenmerk 2020-0118-FK/jp/mvg) is door PwC in een rapport opgesteld, welke dateert op 18 mei 2020 (het rapport). Het rapport is geadresseerd aan IenW en is uitsluitend opgesteld voor gebruik door Cliënt. Dit rapport is (mede) gebaseerd op documenten en informatie zoals PwC die van verschillende partijen heeft ontvangen. PwC heeft zich bij het opstellen van het rapport (mede) gebaseerd op de aan PwC ter beschikking gestelde en reeds bestaande informatie, waarbij is aangenomen dat deze informatie juist, volledig en niet misleidend is. De betrouwbaarheid van de aan PwC ter beschikking gestelde documenten en informatie is door PwC niet geverifieerd of vastgesteld. PwC heeft zich ingespannen op basis van de aan PwC ter beschikking gestelde documenten en informatie om een zo gedegen mogelijk rapport op te stellen. Het rapport is louter bestemd voor informatieve doeleinden en is niet bedoeld voor enig ander gebruik of bestemd voor enig ander doel.

Hoewel PwC zich heeft ingespannen een zo gedegen mogelijk rapport op te stellen en zij bij het opstellen van het rapport de nodige zorg heeft betracht, verstrekt PwC geen enkele expliciete of impliciete verklaring noch biedt PwC enige garantie ten aanzien van de juistheid of volledigheid van de in het rapport vervatte informatie. Het rapport is niet opgesteld met het oog op, of bedoeld te dienen als basis voor, enige (investerings-) beslissing. U blijft te allen tijde zelf volledig verantwoordelijk voor eventuele op het rapport gebaseerde besluitvorming en/of beslissing(en). PwC geeft u niet het recht om op het rapport te mogen vertrouwen.

PwC aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid (ook niet voor nalatigheid) voor de gevolgen van enig handelen of nalaten door u en/of derden op basis van (de inhoud van) het rapport, en wijst iedere verantwoordelijkheid, zorgplicht en/of aansprakelijkheid - contractueel, op basis van onrechtmatige daad (inclusief nalatigheid) of anderszins - af voor enig besluit en/of enige beslissing waaraan (de inhoud van) het rapport ten grondslag ligt.

Het rapport alsmede enig geschil voortvloeiende uit of verband houdend met (de inhoud van) het rapport worden uitsluitend beheerst door Nederlands recht.



**PricewaterhouseCoopers
Advisory N.V.**
Thomas R. Malthusstraat 5,
1066 JR Amsterdam,
Postbus 9616,
1006 GC Amsterdam
T: + 088 792 00 20
F: + 088 792 96 40
www.pwc.nl

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
T.a.v. Directie OVS
Rijnstraat 8
2515 XP Den Haag

Amsterdam, 29 mei 2020

Geachte heer, mevrouw,

Met veel genoegen bieden wij u hierbij onze rapportage aan. In deze rapportage geven we de bevindingen weer van de door ons uitgevoerde quickscan 'Innovatief internationaal treinvervoer' conform de werkzaamheden uit onze offerte (kenmerk 2020-0118-FK/jp/mvg d.d. 19 februari 2020).

Dit document betreft de definitieve rapportage met de resultaten van onze quickscan naar de huidige inzichten over de mogelijkheden voor innovatieve internationale treinconcepten. Deze resultaten zijn gebaseerd op de geraadpleegde bronnen ([Bijlage A.1](#)) en gehouden interviews ([Bijlage A.2](#)).

Deze rapportage is uitsluitend opgesteld voor u als opdrachtgever in overeenstemming met de gegeven opdrachtbevestiging en kan slechts bij gebruik van de integrale rapportage tot een juiste oordeelsvorming leiden. Wij accepteren geen aansprakelijkheid (ook niet voor nalatigheid) richting enige andere partij dan u of voor enig ander gebruik van dit rapport dan waarvoor het bedoeld is.

Wij danken u en uw medewerkers voor de prettige samenwerking in de totstandkoming van deze rapportage. Indien u nog vragen heeft bij deze rapportage kunt u te allen tijde contact met mij opnemen.

Hoogachtend
PwC Advisory N.V.

Fons Kop
Partner
T: +31 088 792 74 74
E: fons.kop@pwc.com

Managementsamenvatting (1/3)

Deze quickscan geeft inzicht in het huidige beeld van kosten en baten van innovatieve supersnelle treinconcepten als alternatief voor korte afstandsvluchten

- Naar aanleiding van een toezegging op de motie van de kamerleden Armhaouch en Schonis (35 300 XII nr. 27) hebben wij in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat een quickscan uitgevoerd naar de mate waarin innovatieve supersnelle treinconcepten, naast het nationale en regionale vervoer, internationale verbindingen zouden kunnen bewerkstelligen als alternatief voor korte afstandsvluchten. Deze quickscan is tot stand gekomen op basis van een documentenstudie naar bestaande bronnen, aangevuld met een beperkt aantal interviews.
- In dit onderzoek staan de volgende vragen centraal:
 - Naast de bekende supersnelle treinconcepten, welke (buitenlandse) innovatieve treinconcepten zouden in Nederland mogelijk kunnen worden geïntroduceerd?
 - In welke mate zijn de bekende of nieuwe treinconcepten kansrijk om als internationale verbinding te introduceren?
 - Wat zijn de geschatte (maatschappelijke) kosten voor het aanleggen van deze verbinding(en)?
 - Hoe verhouden de concepten zich tot elkaar qua ruimtelijke inpassing en geluidsuitstoot?
 - Wat zou een dergelijke verbinding kunnen opleveren qua capaciteit, reistijd en duurzaamheid?
 - Welke handelingsperspectieven heeft Nederland bij de implementatie van nieuwe innovatieve concepten?
- Deze quickscan is niet bedoeld om de optimale oplossing ten aanzien van specifiek trajecten in kaart te brengen, maar is gericht op het verkrijgen van een integraal inzicht in de kosten en baten van innovatieve supersnelle treinconcepten als alternatief voor korte afstandsvluchten. Hiertoe hebben we de treinconcepten aan de hand van een aantal evaluatiecriteria vergeleken met het vliegtuig en onderling. Daarbij hebben we eveneens de gemiddelde theoretische kosten en baten gerelateerd aan volledig nieuw aan te leggen fictieve trajecten van 250, 500 en 750km in zuidoostelijke richting bepaald.
- De gehanteerde evaluatiecriteria zijn uitsluitend bedoeld om relatieve verschillen inzichtelijk te maken tussen deze concepten.

Wereldwijd zijn er allerlei innovatieve treinconcepten in ontwikkeling, veelal conceptueel met beperkte informatie

- De afgelopen jaren zijn er, in lijn met de technologische ontwikkelingen, nieuwe treinconcepten bedacht, waarvan de hyperloop het bekendste voorbeeld is. Andere concepten zijn minder bekend (SkyTran, Tubular rail, non-stopping train) maar kunnen net zoals de Hyperloop in de toekomst in potentie kansrijk zijn om daadwerkelijk in de praktijk toegepast te kunnen worden.
- De zoektocht naar deze treinconcepten en verdere inventarisatie van deze concepten resulteren in de conclusie dat er wel degelijk nieuwe concepten worden ontwikkeld, maar dat deze ontwikkelingen zich nog allemaal in het conceptuele stadium bevinden. Daardoor is de beschikbare informatie om de geformuleerde onderzoeksvragen gedegen te kunnen beantwoorden beperkt.

De huidige volwassenheidsniveaus en beschikbare informatie resulteren in drie kansrijke treinconcepten als alternatief voor korte afstandsvluchten: HSL, Maglev en Hyperloop

- Innovatie treinconcepten variëren onderling in volwassenheidsniveau en beschikbare informatie. Een inventarisatie op basis van deze factoren resulteert in drie kansrijke treinconcepten als mogelijk alternatief voor korte afstandsvluchten: HSL, Maglev en Hyperloop. In recente publicaties zijn deze drie concepten eveneens dominant.

De verschillende volwassenheidsniveaus van de treinconcepten maken een kosten- en batenindicatie niet eenduidig en daarmee niet eenvoudig

- Een HSL netwerk is reeds breed in Europa gerealiseerd, terwijl de Maglev slechts een aantal Aziatische lijnen kent en de Hyperloop nog in ontwikkeling is: dit maakt een vergelijking van de concepten niet eenduidig en daarmee niet eenvoudig. De betrouwbaarheid van informatie is verschillend door de verschillende volwassenheidsniveaus. In dat licht dient deze rapportage continue gelezen te worden.
- Daarnaast heeft de mate waarin een nieuw traject kan aansluiten op bestaande infrastructuur (zoals stations, aansluitende OV verbindingen etc.), ofwel interoperabiliteit, een significante impact op de hoogte van de (maatschappelijke) kosten op een specifieke verbinding.

Managementsamenvatting (2/3)

Aanlegkosten van de treinconcepten kennen een forse bandbreedte; indirecte kosten kunnen bepalend zijn

- Om een indicatieve vergelijking te kunnen maken van de kosten van de concepten kiezen we voor een vergelijking van een fictief traject, waarbij we ons alleen richten op de aanlegkosten van de infrastructuur. Operationele kosten staan buiten de scope van deze quickscan, maar zullen in een volledige kosten-batenafweging meegenomen moeten worden.
- De Europese Rekenkamer heeft in 2018 een grootschalig onderzoek uitgevoerd naar kosten van het huidige Europese hogesnelheidsnet. In dit onderzoek zijn hogesnelheidslijnen in Duitsland, Spanje, Frankrijk en Italië geëvalueerd. De Europese Rekenkamer heeft in dit onderzoek geconcludeerd dat geëvalueerde lijnen gemiddeld 25 mln. EUR/km kosten. Hierbij geldt de kanttekening dat het onduidelijk is welke indirecte kosten hierin exact zijn meegenomen. Door specifieke omstandigheden en aanvullende vereiste inpassingsmaatregelen kunnen delen van de aan te leggen verbinding significant duurder uitpakken door deze indirecte kosten (indicatie: uit de eindevaluatie van de HSL-Zuid is gebleken dat dit project (omgerekend naar prijspeil 2019) ca. 7,3 mld. EUR kostte voor 125km waarvan 40km reeds bestaand spoor behelst.).
- De studies naar aanlegkosten van Maglev en Hyperloop geven uiteenlopende inschattingen van de aanlegkosten van ca. 30-40 mln. EUR/ km voor een Maglev en 19-42 mln. EUR/km voor een Hyperloop. Inschattingen van deze kosten kennen een forse bandbreedte en ook hier geldt dat het niet uit de bronnen te herleiden is wat de exacte scope van de indirecte kosten omhelst. In de praktijk lopen de kosten van de aanleg van infrastructuur vaak op door de aanleg van kunstwerken, het verkrijgen van land, het politieke besluitvormingsproces en opgelopen vertragingen tijdens de uitvoering. Deze kosten zijn bekend bij verschillende HSL trajecten. Voor een Maglev en Hyperloop is de impact hiervan in Europese context onbekend en derhalve niet doorgerekend.

De benodigde fysieke ruimte voor een nieuwe fictieve verbinding is voor Hyperloop en Maglev in theorie lager dan voor HSL

- Hoewel een vliegveld de nodige ruimte inneemt, beperkt de benodigde fysieke ruimte voor een vlucht zich tot de locaties van vertrek en aankomst. Hierdoor is de benodigde fysieke ruimte voor vliegverbindingen minimaal zolang de luchthavens de extra vraag kunnen dragen.

- Bij treinconcepten dient er voor de gehele route van A naar B infrastructuur te worden aangelegd. Hoewel de benodigde fysieke ruimte in de praktijk locatie afhankelijk zal zijn, wordt de benodigde fysieke ruimte voor zowel Hyperloop en Maglev in verschillende studies beduidend lager ingeschat door het gebruik van verhoogde kolomconstructies.

De theoretisch maximale capaciteit van de treinconcepten lijkt onderling vergelijkbaar voor een fictieve verbinding...

- De capaciteit van een concept is afhankelijk van de frequentie en de capaciteit van een voertuig. De HSL en Maglev kenmerken zich door een hoge capaciteit per trein (tussen 900 – 1.200 passagiers) en een lagere frequentie (ca. 12 per treinen per uur). Voor de Hyperloop geldt juist een hogere mate van flexibiliteit door gebruik van kleinere capsules (van circa 60 personen) met in theorie zeer hoge frequenties (ca. 240 capsules per uur). De totale (theoretisch maximale) capaciteit van de treinconcepten betreft daarmee ca. 12.000 – 14.400 passagiers per uur. Over de daadwerkelijke capaciteit van de Hyperloop is momenteel nog onzekerheid doordat deze nog niet eerder gerealiseerd is. De inschattingen in de verschillende studies lopen voornamelijk uiteen op de grootte van de capsules en de veilig geachte afstand tussen capsules.

...huidige vervoervraag richting het (zuid)oosten lijkt momenteel echter geen directe verbinding te rechtvaardigen

- Wanneer we de huidige vervoervraag naar populaire bestemmingen bekijken zien we dat de vervoervraag richting het (zuid)oosten substantieel achterblijft ten opzichte van drie belangrijke directe verbindingen met Londen, Brussel en Parijs (factor 3-5 kleiner).
- Nederland en Duitsland zijn poly-centrisch georiënteerd. Een snelle directe (punt-punt) verbinding verliest haar toegevoegde waarde in zo'n gebied doordat het voor- en natransport naar de eindbestemming significant wordt verlengd. Tussenstops lijken voor een rendabele uitvoering onvermijdelijk. De combinatie met binnenlands vervoer is momenteel cruciaal voor een rendabele internationale verbinding.

Managementsamenvatting (3/3)

Theoretische reistijd treinconcepten is concurrerend met vliegverkeer, in praktijk beperkt door tussenstops, lagere rijsnelheid en suboptimale route

- Om te concurreren met het vliegtuig is het noodzakelijk dat de deur-tot-deur reistijd van de alternatieve treinconcepten binnen dezelfde orde vallen als het huidige vliegverkeer. Dit is bijvoorbeeld het geval tussen Parijs en Brussel. Bij reistijden langer dan 5-6 uur is het marktaandeel van de trein erg klein en domineert het vliegtuig. Voor alle treinconcepten geldt dat zij theoretisch kunnen concurreren met het vliegtuig.
- Vliegreizen hebben als nadeel de langere in- en uitchecktijden op de luchthaven. Dat nadeel wordt gecompenseerd door de hogere snelheden, geen (of minder) tussenstops en een directere route.

In de exploitatiefase kennen alle treinconcepten een voordeel op het gebied van uitstoot van koolstofdioxide en het energieverbruik

- Steeds meer laten reizigers hun vervoerskeuze afhangen van duurzaamheid. De verschillende treinconcepten maken gebruik van elektrische aandrijving waardoor de uitstoot van CO₂ voor al deze concepten in theoretische potentie gelijk is aan nul. Dit geldt momenteel al voor alle NS treinen in Nederland, door de inkoop van 'groene stroom'. Een andere energiemix bij de elektriciteitsopwekking leidt in de praktijk tot andere resultaten, zo is momenteel in Duitsland wel degelijk sprake van CO₂-uitstoot bij het huidige treinverkeer als gevolg van de relatief vervuilende elektriciteitsmix.
- Alle treinconcepten verbruiken per reizigerskilometer veel minder energie (Wh) (ca. 80%) dan het huidige vliegverkeer. Tussen de verschillende treinconcepten geldt dat de Hyperloop het meest efficiënt met de energie verwacht om te kunnen gaan. Het verschil tussen Maglev en Hyperloop bedraagt ca. 40%.

Nederland heeft vanwege geografische ligging beperkte handelingsperspectieven. Huidige Europese initiatieven zijn vooral gericht op optimalisatie en uitbreiding HSL. Verdere Europese samenwerking is nodig om innovatieve concepten te kunnen realiseren

- In dit onderzoek richten wij ons op trajecten tot 750km. Van deze afstand zal maximaal 150km in Nederland liggen. Dat betekent dat Nederland voor een groot deel afhankelijk is van andere internationale partijen om deze verbindingen te kunnen realiseren, dan wel te kunnen aansluiten op bestaande netwerken.
- Internationaal spoor heeft te maken met lokale, regionale, nationale en internationale belangen die vaak niet congruent zijn. Momenteel besluiten alleen de EU lidstaten of en waar een nieuwe verbinding zal komen. Voor het bouwen van nieuwe verbindingen, maar vooral ook bij nieuwe concepten als een Hyperloop en Maglev, lijkt een verdere Europese samenwerking cruciaal. Wanneer Nederland de ambitie heeft om nieuwe concepten te implementeren als alternatief voor het vliegverkeer zal zij moeten lobbyen om te zorgen dat er een Europese samenwerking komt. Duitsland lijkt daarbij de belangrijkste partner (voor verbindingen naar het (zuid)oosten).
- Om op korte termijn al effect te bereiken op de gestelde klimaatdoelen kan, parallel aan de lobby voor de Europese samenwerking, nu aan verbeteringen en optimalisaties van het huidige spoor gewerkt worden zodat deze beter wordt benut.
- De focus op korte termijn verbeteringen betekent niet dat dat innovatie uitsluit. Uit de interviews komt naar voren dat investeren in de ontwikkeling van de Hyperloop ook interessant is vanuit een economisch perspectief als mogelijk export product. Een mix van 'proven technology' met de HSL en nieuwe concepten die aantakken op dit systeem komt in de interviews naar voren als de meest aantrekkelijke vorm van ontwikkeling. Hiervoor zal zowel ingezet moeten worden op innovatie, de lobby voor Europese samenwerking als de afstemming van het eigen spoornet op de plannen van de HSL netwerken in onze buurlanden.

Inhoudsopgave

<u>Management samenvatting</u>	04
1. <u>Totstandkoming rapportage</u>	08
– Aanleiding, onderzoeksvraag en reikwijdte	
– Methodiek van het onderzoek	
2. <u>Selectie van kansrijke concepten</u>	13
– Onderzoeksvraag 1: Naast de bekende treinconcepten, welke (buitenlandse) innovatieve treinconcepten zouden in Nederland mogelijk kunnen worden geïntroduceerd?	
– Onderzoeksvraag 2: In welke mate zijn de bekende of nieuwe treinconcepten kansrijk om als internationale verbinding te introduceren?	
3. <u>Kosten van kansrijke concepten</u>	20
– Onderzoeksvraag 3: Wat zijn de geschatte maatschappelijke kosten voor het aanleggen van deze verbinding(en)?	
– Onderzoeksvraag 4: Hoe verhouden de concepten zich tot elkaar qua ruimtelijke inpassing en geluidsuitstoot?	
4. <u>Baten van kansrijke concepten</u>	27
– Onderzoeksvraag 5: Wat zou een dergelijke verbinding kunnen opleveren qua capaciteit, reistijd en duurzaamheid?	
5. <u>Handelingsperspectieven voor Nederland</u>	34
– Onderzoeksvraag 6: Welke handelingsperspectieven heeft Nederland bij de implementatie van nieuwe innovatieve concepten?	
A. <u>Bijlagen</u>	39

1

Totstandkoming rapportage

Aanleiding, onderzoeksvraag en reikwijdte van dit onderzoek

Aanleiding

- Dit onderzoek betreft een quickscan van bestaande studies aangevuld met interviews om de potentie, kosten en baten van internationale treinconcepten als alternatief voor korte afstandsvluchten in kaart te brengen.
- Deze quickscan voeren wij uit in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat naar aanleiding van een toezegging op de motie van Armhaouch en Schonis (35 300 XII nr. 27). Middels deze motie vragen zij de regering om een quickscan op te laten stellen die innovatieve mogelijkheden en de potentiële maatschappelijke kosten en baten in kaart brengt die een nieuwe vorm van een supersnelle trein zeer aantrekkelijk zou kunnen maken als alternatief voor een korte afstandsvlucht.

Onderzoeksvraag

- In dit onderzoek staan de volgende vragen centraal:
 1. Naast de bekende treinconcepten, welke (buitenlandse) innovatieve treinconcepten zouden in Nederland mogelijk kunnen worden geïntroduceerd?
 2. In welke mate zijn de bekende of nieuwe treinconcepten kansrijk om als internationale verbinding te introduceren?
 3. Wat zijn de geschatte (maatschappelijke) kosten voor het aanleggen van deze verbinding(en)?
 4. Hoe verhouden de concepten zich tot elkaar qua ruimtelijke inpassing en geluidsuitstoot?
 5. Wat zou een dergelijke verbinding kunnen opleveren qua capaciteit, reistijd en duurzaamheid?
 6. Welke handelingsperspectieven heeft Nederland bij de implementatie van nieuwe innovatieve concepten?
- Bovenstaande vragen zijn leidend in de opbouw van deze rapportage.

Reikwijdte

- De informatie in deze quickscan is gebaseerd op een documentenstudie, aangevuld met informatie uit een beperkt aantal interviews met experts (zie [bijlage A.2](#)) voor een overzicht van betrokken experts).
- Om inzicht te geven in de kosten en baten van de verschillende concepten hebben we onderzoek gedaan naar een aantal leidende parameters. Deze parameters geven geen uitputtend overzicht van de kosten en baten, maar zijn gebruikt om eventuele verschillen inzichtelijk te maken tussen deze concepten.
- Dit onderzoek is niet bedoeld om de optimale oplossing ten aanzien van specifiek traject in kaart te brengen. In dit onderzoek maken we daarom gebruik van theoretische kosten en baten gerelateerd aan volledig nieuw aan te leggen fictieve trajecten van 250, 500 en 750km. Om een vergelijking te maken met de huidige situatie nemen we, waar relevant, een gemiddelde van een selectie aan bestemmingen in zuidoostelijke richting (zie pagina 10 voor een verdere toelichting op het fictieve traject).
- In dit onderzoek richten we ons op supersnelle treinconcepten die op internationale verbindingen moeten kunnen concurreren met korte afstandsvluchten. Andere mogelijke oplossingen zoals (super)bussen, nachttreinen, optimalisaties van vliegverkeer etc. vallen buiten de scope van dit onderzoek.
- Dit onderzoek richt zich enkel op personenvervoer. De eventuele impact op goederenvervoer is hier niet in meegenomen.
- Deze quickscan is een weergave van informatie uit bestaande bronnen. Wij hebben geen nieuw onderzoek en/of accountantscontrole op de informatie uitgevoerd.

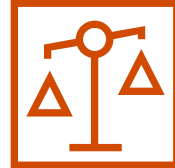
Methodiek

Doorlopen processtappen van het onderzoek



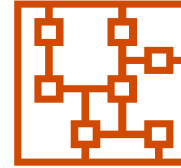
1. Startbijeenkomst

Op 31 maart hebben we met u en de overige deelnemers uit de klankbordgroep een startbijeenkomst gehouden waarin we het doel en de opzet van het onderzoek hebben doorlopen.



2. Evaluatiekader

Mede op basis van de inzichten uit de startbijeenkomst hebben we een evaluatiekader opgesteld (zie pagina 9) en een fictief traject gedefinieerd (zie pagina 10). In volgende sessies met de klankbordgroep zijn deze vastgesteld.



3. Documentenstudie

Door middel van een documentenstudie hebben we beschikbare en relevante informatie in kaart gebracht, kansrijke concepten geselecteerd en uitgewerkt.

Een lijst met gehanteerde bronnen is opgenomen in [bijlage A.1.](#)



4. Interviews

Door middel van interviews met experts vanuit verschillende organisaties hebben we de verkregen inzichten uit de documentenstudie aangescherpt en verder aangevuld.

Een lijst met de geïnterviewde experts is opgenomen in [bijlage A.2.](#)



5. Rapportage

De resultaten van het onderzoek hebben we vervolgens verwerkt in een concept rapportage.

De concept rapportage hebben we met de klankbordgroep gedeeld en de opmerkingen hebben we meegenomen in deze definitieve rapportage.

Middels tweewekelijkse overleggen hebben we de tussentijdse resultaten en onderzoeksrichting met u afgestemd.

Methodiek

Gebruik van evaluatiekader

- We maken gebruik van een evaluatiekader om een aanzet tot inzicht in de kosten en baten van de verschillende concepten te geven. Dit evaluatiekader bestaat uit een beperkt aantal parameters op basis van beschikbare bronnen en hebben we in overleg met de klankbordgroep opgesteld.
- De gehanteerde parameters geven geen uitputtend overzicht van mogelijke kosten en baten, maar zijn gebruikt om eventuele verschillen inzichtelijk te maken tussen deze concepten en een vergelijking te kunnen maken met korte afstandsvlgbewegingen.
- In tabel 1.1. geven we een overzicht weer van de gehanteerde parameters in relatie tot de gestelde onderzoeksvragen.

Onderzoeksvraag	Parameter	Definitie	Hoofdstuk
1. Naast de bekende treinconcepten, welke (buitenlandse) innovatieve treinconcepten zouden in Nederland mogelijk kunnen worden geïntroduceerd?	-	Kwalitatieve beschrijving van innovatieve concepten die wereldwijd in omloop zijn.	Hoofdstuk 2 Selectie
2. In welke mate zijn de bekende of nieuwe treinconcepten kansrijk om als internationale verbinding te introduceren?	Kansrijkheid	Kwalitatieve beschrijving op basis van: 1) minimaal volwassenheidsniveau van de techniek, en 2) beschikbaarheid van informatie	Hoofdstuk 2 Selectie
3. Wat zijn de geschatte (maatschappelijke) kosten voor het aanleggen van deze verbinding(en)?	Aanlegkosten	Aanlegkosten in mln. EUR	Hoofdstuk 3 Kosten
4. Hoe verhouden de concepten zich tot elkaar qua ruimtelijke inpassing en geluidsuitstoot?	Ruimtelijke inpassing	Het benodigde aantal hectares per km	Hoofdstuk 3 Kosten
	Geluidsuitstoot	Geluidsuitstoot in dB.	Hoofdstuk 3 Kosten
5. Wat zou een dergelijke verbinding kunnen opleveren qua capaciteit, reistijd en duurzaamheid?	Capaciteit	Het potentiële aantal passagiers per uur dat maximaal vervoerd kan worden	Hoofdstuk 4 Baten
	Reistijd	Deur-tot-deur reistijd in minuten	Hoofdstuk 4 Baten
	Energieverbruik	Energieverbruik in Wh per zitplek	Hoofdstuk 4 Baten
	CO ₂ -emissie	Gemiddelde CO ₂ -emissie in kg per persoon	Hoofdstuk 4 Baten
6. Welke handelingsperspectieven heeft Nederland bij de implementatie van nieuwe innovatieve concepten?	-	Kwalitatieve beschrijving van de handelingsperspectieven	Hoofdstuk 5 (Handelingsperspectieven)

Tabel 1.1. Gehanteerde parameters in relatie tot de gestelde onderzoeksvragen.

Methodiek

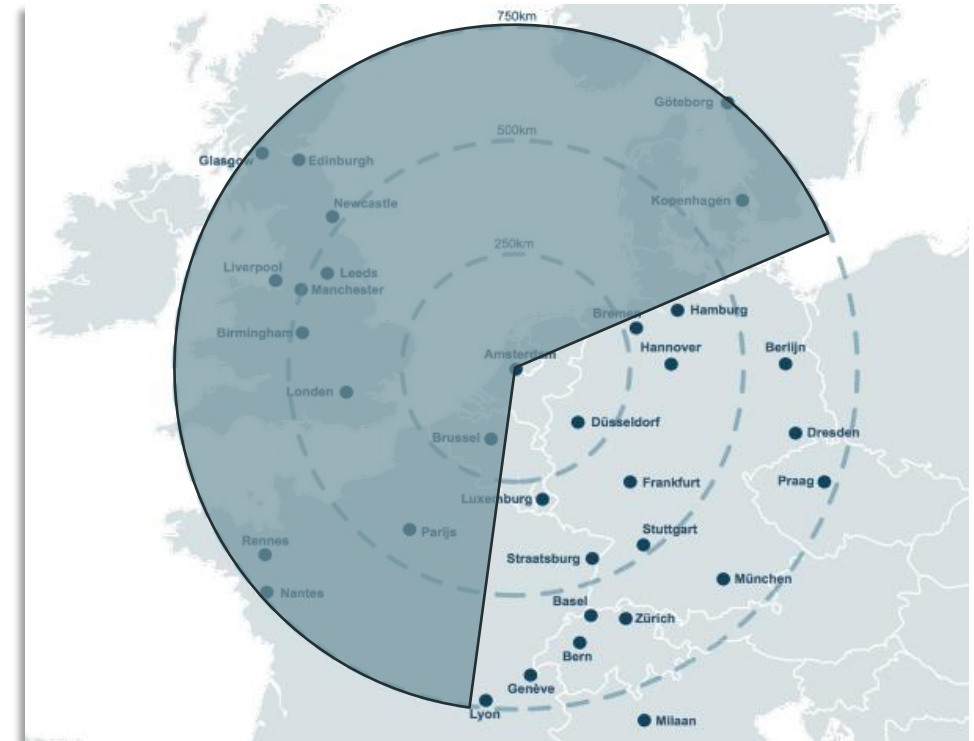
Gebruik van fictief traject

Toelichting

- Dit onderzoek is niet bedoeld om de optimale oplossing ten aanzien van specifiek traject in kaart te brengen. In dit onderzoek maken we daarom gebruik van theoretische kosten en baten gerelateerd aan volledig nieuw aan te leggen fictieve trajecten van 250, 500 en 750km.
- Tabel 1.2. geeft een lijst met indicatieve bestemmingen in zuidoostelijke richting met betreffende afstanden vanaf Amsterdam (zie figuur 1.2 voor de ligging). Om een vergelijking te maken met de huidige situatie nemen we, waar relevant, een gemiddelde van deze bestemmingen.

Afstand	250 km	500km	750km
Bestemmingen	<ul style="list-style-type: none"> - Bremen - Luxemburg - Hannover - Düsseldorf 	<ul style="list-style-type: none"> - Basel - Straatsburg - Frankfurt - Hamburg 	<ul style="list-style-type: none"> - Berlijn - Dresden - Praag - Lyon - München - Geneve

Tabel 1.2. indicatieve bestemmingen op afstanden van respectievelijk 250, 500 en 750km



Figuur 1.1. indicatieve bestemmingen in Europa, inclusief indicatie van de afstand vanaf Amsterdam. Bron v/d afbeelding: Royal HaskoningDHV (2018)

2

Selectie van
kansrijke concepten

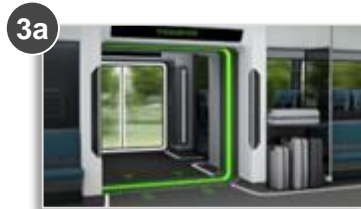
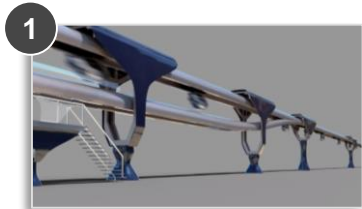
Selectie van kansrijke concepten voor verder onderzoek op basis van minimaal volwassenheidsniveau en beschikbare informatie

- Er bestaan wereldwijd uiteenlopende innovatieve treinconcepten om personen sneller, goedkoper en/of flexibeler te verplaatsen. Het gaat hierbij om incrementele tot substantiële innovaties in het treinvervoer.
- In dit hoofdstuk schetsen we een overzicht van mogelijke (buitenlandse) innovatieve treinconcepten voor supersnelle internationale verbindingen. Veelal zijn deze treinconcepten nog conceptueel en is er beperkt informatie beschikbaar. Met het oog op het kunnen beantwoorden van de onderzoeksvragen is het beschikbaar zijn van informatie met voldoende diepgang en detailniveau cruciaal. Daarom maken we een selectie van de innovatieve treinconcepten (trechtering) die kansrijk zijn om als internationale verbinding in Nederland te introduceren. Daarbij beschouwen we twee factoren: 1) het huidige volwassenheidsniveau van de techniek, en 2) de aanwezigheid van informatie. De geselecteerde treinconcepten werken we met behulp van het evaluatiekader in het vervolg van deze quickscan verder uit.
- In dit hoofdstuk staan de volgende vragen centraal:
 - **Onderzoeksvraag 1:** Naast de bekende treinconcepten, welke (buitenlandse) innovatieve treinconcepten zouden in Nederland mogelijk kunnen worden geïntroduceerd?
 - **Onderzoeksvraag 2:** In welke mate zijn de bekende of nieuwe treinconcepten kansrijk om als internationale verbinding te introduceren?
- Om deze vragen te beantwoorden doorlopen we de volgende stappen:
 1. We inventariseren welke andere buitenlandse innovatieve treinconcepten worden toegepast en/of in ontwikkeling zijn;
 2. We inventariseren welke mate van volwassenheid deze buitenlandse innovatieve treinconcepten hebben en wat de beschikbaarheid van informatie is;
 3. We selecteren na voornoemde inventarisatie mogelijke kansrijke concepten voor een internationale verbinding;
 4. We geven een toelichting op de innovatieve treinconcepten: HSL, Hyperloop en Maglev.

Het resultaat van dit hoofdstuk is een selectie van kansrijke concepten die we in het vervolg van dit onderzoek op basis van het evaluatiekader met elkaar zullen vergelijken

Naast bekende supersnelle treinconcepten zijn er ook andere concepten in ontwikkeling; veelal conceptueel met beperkte informatie

- De afgelopen jaren zijn er door de technische vooruitgang supersnelle treinconcepten bedacht, waarvan de HSL, Maglev en Hyperloop bekende voorbeelden zijn. Andere concepten zijn minder bekend, maar kunnen net zoals de hyperloop in de toekomst kansrijk zijn om daadwerkelijk in de praktijk toegepast te kunnen worden.
- De zoektocht naar deze treinconcepten en verdere inventarisatie van deze concepten resulteren in de conclusie dat er wereldwijd allerlei concepten worden ontwikkeld (zie nevenstaand kader), maar dat deze ontwikkelingen zich nog allemaal in het conceptuele stadium bevinden. Daarbij is de beschikbare informatie om de geformuleerde onderzoeksvragen gedegen te kunnen beantwoorden beperkt.



Mogelijke andere innovatieve concepten

- 1 SkyTran** - Concept waarbij kleine capsules m.b.v. magnetisme verbonden zijn aan een railhangsysteem. Middels een elektrische aandrijving worden snelheden van 150 km/h beoogd. Individuele capsules stoppen enkel bij de gevraagde begin- en eindbestemming. Idee lijkt te zijn ontstaan begin jaren '90, met recent hernieuwde interesse voor mogelijke ontwikkeling van een commerciële verbinding in Israël of Dubai.^{1,2} Exacte status van het concept is onduidelijk, geen verdiepend naslagwerk beschikbaar.
- 2 Tubular rail** - Concept waarbij aandrijving in de pilaren zit, waarbij de trein door deze pilaren wordt geleid.³ Het gebrek aan rails zou moeten resulteren in lagere aanlegkosten, maar concept lijkt nooit uit de ideefase te zijn gekomen. Recent is een vergelijkbaar concept weer in het nieuws gekomen nadat het was opgepakt door design studio Manyone.⁴ Geen verdiepend naslagwerk beschikbaar.
- 3 Non-stopping train** - Concepten waarbij er een aparte boarding coupé is voor reizigers die in- en uitstappen gebruik van maken. De "hoofdtrein" hoeft hierdoor niet te stoppen, dit bespaart reistijd en energie. Er zijn varianten geopperd waarbij de boarding coupe naast ('3a') of boven ('3b') de hoofdtrein opereert.⁷ Concepten zitten echter nog in de ideefase, geen verdiepend naslagwerk beschikbaar.
- 4 Flying train** – concept betreft een kruising tussen vliegtuig en trein, waarbij het voertuig in de lucht zweeft maar middels een kabel verbonden is aan een rails. Deze kabel levert tevens de voeding van het voertuig.⁶ Geen verdiepend naslagwerk beschikbaar.
- 5 String transport systemen (SkyWay)** - Concepten waarbij gebruikt wordt gemaakt van stalen rails, waaronder capsules met 350-500km/u worden geleid. Er lijken meerdere varianten op dit concept te zijn, o.a. SkyWay vanuit Wit-Rusland, maar de status en betrouwbaarheid van deze concepten is onduidelijk.⁷ Geen verdiepend naslagwerk beschikbaar.

1 Bron: Skytran (z.d.)

2 Bron: Wikipedia (z.d. –e)

3 Bron: Tubular Rail (z.d.)

4 Bron: Wilson (2019)

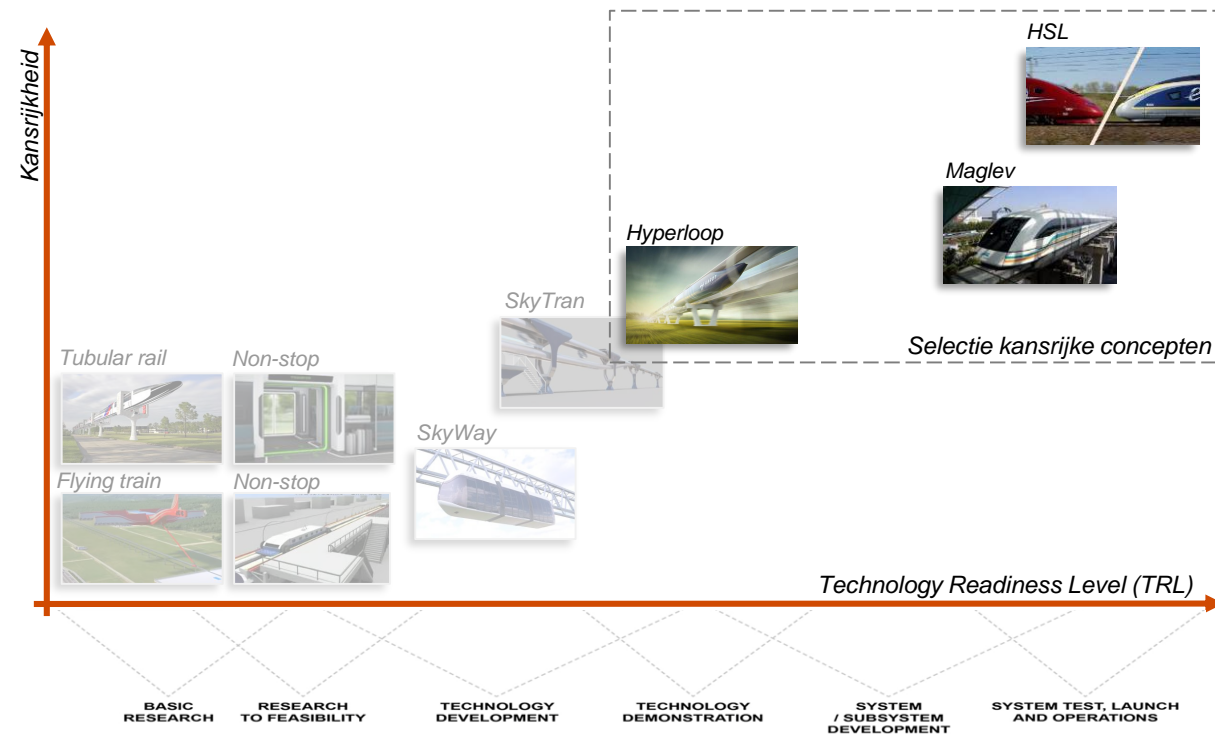
5 Bron: Urbanist (z.d.)

6 Bron: Youtube (2018)

7 Bron: Wikipedia (z.d. –f)

De huidige volwassenheidsniveaus en beschikbare informatie resulteren in drie kansrijke treinconcepten: HSL, Maglev en Hyperloop

- Eerder genoemde treinconcepten variëren onderling in volwassenheidsniveau en beschikbare informatie. Om te kunnen onderzoeken of een concept een kansrijk alternatief zou kunnen zijn voor korte afstandsvluchten kijken we naar twee factoren: 1) het huidige volwassenheidsniveau, en 2) de aanwezigheid van informatie.
- In figuur 2.1. hebben we de kansrijkheid van de verschillende concepten weergegeven als functie van zogeheten Technology Readiness Levels (TRL's). Deze TRL's beschrijven het ontwikkelstadium waarin een nieuw te ontwikkelen techniek zich bevindt. Voor de TRL's hanteren we de definitie conform het Horizon 2020 programma van de Europese Commissie.¹
- Voor de HSL geldt dat dit een bewezen techniek is met voldoende beschikbare informatie met kengetallen in Nederland en Europa.² Er is momenteel ook een beperkt aantal commerciële Maglev verbindingen in Zuid-Korea, China en Japan. Er zijn in de afgelopen decennia een aantal onderzoeken gedaan naar de werking en de mogelijkheden van de Maglev in Europa.
- Voor de Hyperloop geldt dat het concept nog volop in ontwikkeling is, verschillende partijen proberen de werking van deze technologie momenteel te demonstreren door middel van testopstellingen. De huidige verwachting is dat het nog circa 10 jaar zal duren alvorens de Hyperloop een commercieel product zal hebben voor personenvervoer.³
- Het SkyTran concept lijkt zich ook in de demonstratiefase te bevinden.⁴ De website van SkyTran vermeldt dat er sprake is van verschillende testtracks. Er zijn echter geen onderzoeken beschikbaar om de werking of status van dit concept te beoordelen. Overige concepten bevinden zich momenteel nog in een conceptuele fase en lijken minder ver gevorderd dan de Hyperloop.
- Voornoemde inventarisatie resulteert daarmee in drie kansrijke treinconcepten als mogelijk alternatief voor korte afstandsvluchten: HSL, Maglev en Hyperloop. Deze tussentijdse conclusie is in lijn met recente publicaties waarin deze drie concepten eveneens dominant zijn.^{5,6}



Figuur 2.1. Kansrijkheid van de verschillende concepten als functie van Technology Readiness Levels

- 1 Bron: Europese Commissie (2017)
 2 Bron: Europese Rekenkamer (2018)
 3 Bron: Inschatting op basis van interview Hardt Hyperloop.
 4 Bron: Inschatting op basis van website SkyTran (z.d.).
 5 Bron: Hardt Hyperloop (2020)
 6 Bron: Taylor et. al. (2016)

Toelichting op bekende innovatieve treinconcepten (1/3)

Hogesnelheidslijn (HSL)

Toelichting:

- De Hogesnelheidslijn (HSL) is het bekendste concept van de drie. Net als regulier treinverkeer rijden HSL-treinen over spoor, echter ligt de snelheid van een HSL-trein hoger en is de aanleg en onderhoud van hogesnelheidsspoor kostbaarder dan bij regulier spoor.
- Sinds de jaren zeventig is er in Europa een netwerk van hogesnelheidsspoor ontstaan. Eind 2017 beschikte de EU over 9.067km aan hogesnelheidslijnen en was er 1.671km in aanbouw.¹
- In Nederland is een HSL-verbinding gerealiseerd in de vorm van de HSL-Zuid, welke Amsterdam met Antwerpen verbindt. Door de HSL-Zuid zijn de steden Brussel, Parijs en Londen rechtstreeks te bereiken vanaf station Amsterdam Centraal.
- In het verleden is er regelmatig gesproken over een HSL-Oost richting Duitsland. Gezien de geringe reistijd winst werd de aanleg van een nieuwe verbinding als onrendabel beschouwd.³ In het kader van Toekomstbeeld OV wordt onder andere gekeken naar een verbetering van het traject Utrecht – Arnhem, om zo beter aan te kunnen sluiten op het Duitse HSL netwerk.⁴

Voordelen:

- Netwerk van verbindingen reeds aanwezig (zie figuur 2.3.)
- Interoperabel met regionaal/nationaal spoor

Nadelen:

- Landen gebruiken verschillende systeemeigenschappen (zoals voltages, beveiligingssystemen etc.).

¹ Bron: Rapportage vanuit de Europese Rekenkamer (2018)

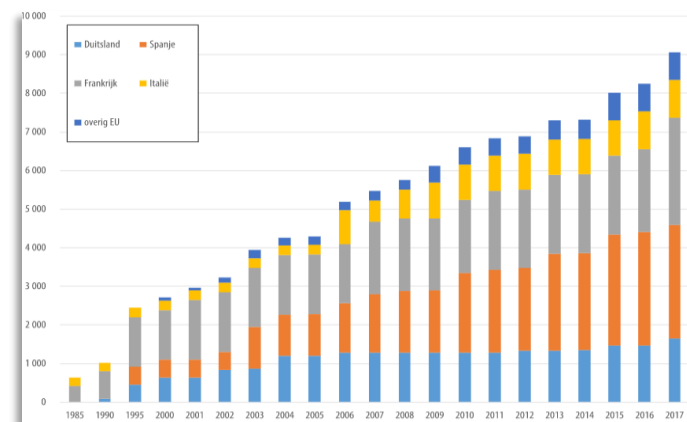
² Bron v/d afbeelding: Financieel Dagblad (2019)

³ Bron: Centraal Planbureau (2000)

⁴ Bron: Interview NS International



Figuur 2.2. Met de Thalys en de Eurostar zijn momenteel de steden Brussel, Parijs en Londen rechtstreeks te bereiken vanaf Amsterdam.²



Figuur 2.3. Toename van HSL in de EU. Eind 2017 beschikte de EU over 9.067km aan hogesnelheidslijnen.¹

Toelichting op bekende innovatieve treinconcepten (2/3)

Maglev

Toelichting:

- De Maglev is een voertuig dat met hoge snelheid boven een baan zweeft door middel van een magneetveld. Er zijn momenteel commerciële lijnen in gebruik in Zuid Korea, China en Japan.^{1,2}
- Binnen Europa is het Duitse Transrapid consortium sinds de jaren zeventig decennia lang bezig geweest met de ontwikkeling van de Maglev. Hoewel er diverse plannen zijn geweest voor een verbinding in Europa, zijn deze tot op heden nooit gerealiseerd. De enige commerciële Transrapid verbinding is in 2004 gerealiseerd in Shanghai (zie figuur 2.4.).^{1,4} Verschillende plannen om deze lijn te verlengen zijn nooit van de grond gekomen. In 2006 heeft er een dodelijk ongeluk plaatsgevonden op het testtraject van Transrapid in Duitsland. Na enkele pogingen tot een doorstart is, mede wegens uitblijven van commercieel succes, in 2011 het Transrapid project definitief beëindigd.²
- In Nederland is een Maglev eerder geopperd als optie voor o.a. een Zuiderzeelijn, maar na uitblijven van verbindingen in Duitsland zijn ook hier de plannen in de ijskast gezet.¹
- Japan bouwt momenteel een nieuwe verbinding van 286km tussen Tokyo en Nagoya (zie figuur 2.5.). Deze verbinding zal naar verwachting vanaf 2027 operationeel zal zijn. De beoogde snelheid op dit traject is 500km/u.³

Voordelen:

- Sneller dan HSL
- Goedkoper in exploitatie doordat het zweven minder frictie en slijtage oplevert

Nadelen:

- Gebrek aan interoperabiliteit
- Beperkte schaalomvang (waardoor de kosten/risico's in de supply chain relatief hoog zijn)

¹ Bron: Wikipedia (z.d. –g)

² Bron: Wikipedia (z.d. –c)

³ Bron: Wikipedia (z.d. –d)

⁴ Bron: Hall (2018)



Figuur 2.4. Bondskanselier Angela Merkel in 2006 bij de Transrapid Maglev in Shanghai, China.⁴



Figuur 2.5. Maglev testopstelling in Japan. Japan bouwt momenteel nieuwe Maglev verbinding tussen Tokyo en Nagoya (286 km).³

Toelichting op bekende innovatieve treinconcepten (3/3)

Hyperloop

Toelichting:

- De hyperloop is een concept voor een vacuümtrein, dat in 2012 werd gepresenteerd door Elon Musk. In 2015 heeft Elon Musk de Hyperloop Pod competition opgezet, sindsdien zijn er wereldwijd onderzoeken gestart naar dit vervoersconcept.
- Het hyperloop concept doet denken aan buizenpost: capsules van circa 60 personen worden met hoge snelheid door vacuüm buizen vervoerd. Theoretische topsnelheden liggen boven de 1000 km/u.
- In Nederland zijn o.a. Delft Hyperloop en Hardt Hyperloop actief bezig met de verdere ontwikkeling van dit concept. Wereldwijd lijken Virgin Hyperloop One en Hyperloop Transportation Technologies de voornaamste concurrenten.
- Momenteel werkt Hardt Hyperloop aan (de ontwikkeling van) een Hyperloop onderzoekscentrum op enkele kilometers van de stad Groningen, met een 3 kilometer lange testbaan. Dit centrum zal naar verwachting in 2022 klaar zijn. Met behulp van dit test traject verwacht Hardt een TRL level 6 te behalen voor personenvervoer.^{1,2}
- De huidige verwachting van Hardt Hyperloop is dat het nog circa 10 jaar duurt om tot een commercieel product te komen.⁹

Voordelen:

- Hoge snelheden (theoretisch hoger dan 1000 km/u)
- Naar verwachting goedkoper in exploitatie door lagere frictie en energieverbruik

Nadelen:

- Gebrek aan interoperabiliteit
- Nog in ontwikkeling

¹ Bron: Wikipedia (z.d. –b)

² Bron: Interview Hardt Hyperloop



Figuur 2.6. Visualisatie Hyperloop concept. Bron: Website Hardt Hyperloop (2020)



Figuur 2.7. Beoogde European Hyperloop Center in Groningen. Bron: Website Hardt Hyperloop (2020)

3

Kosten van
kansrijke concepten

Directe aanlegkosten, ruimtelijke inpassing en geluidsuitstoot van de kansrijke concepten

- In dit hoofdstuk onderzoeken we de (maatschappelijke) kosten voor de aanleg van de kansrijke concepten. Hierbij kijken we naar de aanlegkosten, de ruimtelijke inpassing en de geluidsuitstoot in de operatie.
- De aanlegkosten kunnen worden uitgesplitst naar infrastructuur en vervoer. Wij concentreren ons in deze quickscan op initiële aanlegkosten (de investeringen). Over de exploitatie kosten van de verschillende nieuwe concepten ontbreekt nog veel data. Binnen de scope van deze quickscan is besloten daar geen verder onderzoek naar te doen. In de gehele afweging zullen deze kosten wel onderzocht moeten worden.
- De infrastructurele kosten kunnen bestaan uit directe kosten (boven- en onderbouw) en indirecte kosten (stations, parkeerplaatsen, grondaankoop, inpassingsmaatregelen zoals kunstwerken etc.).
- Milieubelasting bij de aanleg, beperkingen in bereikbaarheid en overige maatschappelijke kosten laten we buiten beschouwing door een gebrek aan beschikbare gegevens en het werken met een fictief traject.
- De verschillende volwassenheidsniveaus van de treinconcepten maken een kostenindicatie niet eenduidig en daarmee niet eenvoudig. Een HSL netwerk is immers reeds breed in Europa gerealiseerd, terwijl de Maglev slechts een aantal Aziatische lijnen kent en de Hyperloop nog in ontwikkeling is.
- Er dienen vier belangrijke kanttekeningen bij deze vergelijking geplaatst te worden:
 1. De mate waarin een nieuw traject kan aansluiten op bestaande infrastructuur (zoals stations, aansluitende OV verbindingen etc.), ofwel interoperabiliteit, kan in de praktijk significante impact hebben op de hoogte van de (maatschappelijke) kosten op een specifieke verbinding.

1 Bron: Toelichting kosten aanleg HSL infrastructuur o.b.v. interview ProRail
2 Bron: Europese Rekenkamer (2018)

2. De kosten van de aanleg lopen vaak op door indirecte kosten als de aanleg van kunstwerken, het verstevigen van de ondergrond (o.a. in verband met trillingen), het verkrijgen van land, het politieke besluitvormingsproces en opgelopen vertragingen.¹ Deze kosten zijn bekend bij verschillende HSL trajecten.² Voor een Maglev en Hyperloop is de impact hiervan in Europese context onbekend en niet doorgerekend.
3. De genoemde kosten zijn exclusief voertuigen.
4. Nieuwe treinverbindingen zullen ook impact hebben op het gebied van landschapsinpassing. Een hyperloop kent een permanente blokkering van het zicht, waar een Maglev of HSL alleen bij passage het zicht zal ontnemen. Dit kan in potentie tot meer uitdagingen leiden bij het bepalen van de locatie van het traject. In deze quickscan zijn we uitgegaan van een fictief traject, waarbij de locatie-specifieke omstandigheden met betrekking tot de lokale omgeving buiten beschouwing is gelaten.

Het vergelijken van de aanlegkosten dient u dus ook met voldoende voorzichtigheid te beschouwen.

In dit hoofdstuk staan de volgende vragen centraal:

- **Onderzoeksvraag 3:** Wat zijn de geschatte (maatschappelijke) kosten voor het aanleggen van deze verbinding(en)?
- **Onderzoeksvraag 4:** Hoe verhouden de concepten zich tot elkaar qua ruimtelijke inpassing en geluidsuitstoot?

Het resultaat van dit hoofdstuk is een indicatie van de (maatschappelijke) kosten van de verschillende kansrijke treinconcepten.

Aanleg van een gemiddelde HSL verbinding in de EU kost circa 25 mln. EUR/km; Nederlands deel van verbinding naar verwachting duurder

- De Europese Rekenkamer heeft in 2018 een grootschalig onderzoek uitgevoerd naar kosten van het huidige Europese hogesnelheidsnet.¹ In dit onderzoek zijn hogesnelheidslijnen in Duitsland, Spanje, Frankrijk en Italië geëvalueerd. De Europese Rekenkamer concludeert in dit onderzoek dat de aanleg van de geëvalueerde lijnen gemiddeld circa 25 mln. EUR per km kosten.¹
- Geëvalueerde lijnen beslaan meer dan 50% van de lijnen die medio 2018 in de EU in gebruik of in aanbouw zijn, waarbij de duurdere tunnelprojecten buiten beschouwing zijn gelaten. Tabel 3.1. geeft de lengte en aanlegkosten van de onderzochte hogesnelheidslijnen weer. De gemiddelde aanlegkosten van onderzochte lijnen variëren tussen de 13,7-49,7 mln. EUR per km. De Europese Rekenkamer geeft geen uitsplitsing van de indirecte kosten. Het is dus onduidelijk welke indirecte kosten exact zijn meegenomen.
- De Europese Rekenkamer benadrukt dat de kosten van de infrastructuur veel lager hadden kunnen zijn zonder veel activiteit te verliezen. De reden is dat lijnen die geschikt zijn voor zeer hoge snelheden niet overal waar ze worden aangelegd, nodig zijn. De kosten van een lijn nemen evenredig toe met de ontwerpsnelheid. Infrastructuur die zeer hoge snelheden aankan (300 km/h of meer) is bijzonder duur. Dergelijke hoge snelheden worden in de praktijk echter nooit gehaald: op de lijnen die werden gecontroleerd, rijden treinen gemiddeld met rijsnelheden die ongeveer 45 % van de ontwerpsnelheid van de lijn bedragen.¹
- Uit de eindevaluatie van de HSL-Zuid is gebleken dat dit project van 125km spoor infrastructuur (40km bestaand en 85km nieuw) circa 7,3 miljard EUR heeft gekost (omgerekend naar prijspeil 2019, incl. BTW). Wanneer de 7,3 miljard wordt gedeeld door de lengte van het traject (125km) zou dit neerkomen op 58mln EUR/km.²
- Inpassingsmaatregelen op een specifiek traject kunnen zorgen voor een significante verhoging van de prijs per kilometer. Gegeven de specifiek Nederlandse situatie (zachte ondergrond, relatief veel inpassingsmaatregelen a.g.v. complex en dichtbebouwde omgeving) zijn de aanlegkosten naar verwachting hoger voor het Nederlandse deel van een nieuwe verbinding.^{3,4}

Gecontroleerde lijn	Lengte (km)	Totale kosten (mln EUR)	Aanlegkosten per km (mln EUR)
Berlijn-München	671	14.682	21,9
Stuttgart-München	267	13.273	49,7
Rijn-Rhône	138	2.588	18,8
LGV Est Européenne	406	6.712	16,5
Madrid-Barcelona-Franse grens	797	12.109	15,2
Eje Atlántico	165	2.596	15,7
Madrid-Galicië	416	5.714	13,7
Madrid-León	345	5.415	15,7
Milaan-Venetië	273	11.856	43,4
Turijn-Salerno	1.007	32.169	31,9

Tabel 3.1. Overzicht kosten gecontroleerde hogesnelheidslijnen in de EU.²

¹ Bron: Europese Rekenkamer (2018)

² Bron: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2020)

³ Bron: Interview ProRail

⁴ Kosten in Nederland zijn relatief hoog i.v.m. veel inpassingsmaatregelen en benodigde kunstwerken, ondergrond is ook een punt van aandacht.

Inschattingen van aanlegkosten van Maglev en HSL kennen forse bandbreedte; indirecte kosten onduidelijk

Aanlegkosten Maglev

- De Maglev kent enkele gerealiseerde commerciële verbindingen. Deze liggen allen in Azië (Zuid Korea, China en Japan). Verschillende bronnen gaan voor de aanleg van een nieuwe Maglev verbinding uit van circa 30-40 mln. EUR per km.^{1,2} Het is onduidelijk welke indirecte kosten in dit bedrag zijn meegenomen.
- Bovenstaande indicatie komt overeen met de gerealiseerde projecten. De aanlegkosten voor de Incheon Maglevlijn in Zuid Korea kwamen bijvoorbeeld neer op circa 38 mln. EUR per km.³ De Maglev in Shanghai kostte circa 30 mln. EUR per km.⁴ Voor beide lijnen geldt de kanttekening dat deze van beperkte lengte zijn (respectievelijk circa 6 en 30km) en dat onduidelijk is welke indirecte kosten zijn opgenomen.
- In Japan wordt momenteel gewerkt aan een 286km lange Maglev verbinding tussen Tokyo en Nagoya (bestaande uit 257km tunnel en 11km bruggen). De aanlegkosten voor deze verbinding zijn geraamd op US\$ 55 miljard (omgerekend circa 192 mln. EUR per km.)^{5,6}

Aanlegkosten Hyperloop

- De Hyperloop is momenteel nog in ontwikkeling. Verschillende (belanghebbende) partijen hebben uiteenlopende kostenindicaties afgegeven. Hardt Hyperloop gaat in studies uit van circa 23-30 mln. EUR per km.^{1,7} Hyperloop One geeft inschattingen van 19-23 mln. EUR per km voor een eerste commerciële traject in Missouri.⁸ De onderzoeken geven geen uitsluitsel over de indirecte kosten die zijn meegenomen in deze bedragen.
- In 2017 heeft TNO een onderzoek uitgevoerd naar de kosten van een Hyperloop systeem o.b.v. eigen inschattingen en ontvangen input van Hardt en Hyperloop One.⁹ TNO gaat voor een commercieel traject in Nederland uit van circa 42 mln. EUR per km, exclusief tunnels en bruggen. TNO geeft verder aan dat een onzekerheidsmarge van 10-60% moet worden toegepast op alle kosten, gezien de huidige ontwikkelfase van de Hyperloop.

Treinconcept	Kosten inschatting per km (mln. EUR) ¹¹	Kanttekening
Hogesnelheidslijn	25	Gemiddelde van Europese lijnen ^{10*}
Maglev	30-40	Inschatting op basis van bestaande lijnen in Azië*
Hyperloop	19-42	Brede range van inschattingen. Nog niet gerealiseerd.*

Tabel 3.2. Overzicht indicatieve kosten per km in mln. EUR voor de drie treinconcepten.

*De verschillende onderzoeken geven geen uitsluitsel welke indirecte kosten zijn opgenomen in deze prijs.

¹ Bron: Hardt Hyperloop (2020)

² Bron: Wikipedia (z.d. –h)

³ Bron: Knoppers (2019)

⁴ Bron: Martin Retmann et al. (2011)

⁵ Bron: JRailPass (2019)

⁶ Bron: Wikipedia (z.d. –d)

⁷ Bron: Cost study: Comparison Hyperloop – HSR, Hardt Hyperloop (2020)

⁸ Bron: Barnes (2019)

⁹ Bron: TNO (2017)

¹⁰ Bron: Europese Rekenkamer (2018)

¹¹ Betreft een inschatting op basis van gevonden bronnen, exclusief onzekerheidsmarge.

Aanleg van een nieuwe verbinding vergt een miljarden investering; locatie-specifieke inpassingsmaatregelen kunnen bepalend zijn

- Gezien de vraagstelling zich richt op een fictieve internationale verbinding binnen Europa hanteren we het Europese gemiddelde. Hierbij geldt de kanttekening dat de aanleg van individuele projecten kan afwijken van dit gemiddelde. Dure inpassingsmaatregelen in de vorm van ingewikkelde kunstwerken en kruisingen kunnen de aanlegkosten drastisch doen stijgen.
- Op basis van de gemiddelde (geprognostiseerde) aanlegkosten van de verschillende treinconcepten kunnen we een grove indicatie maken van wat een fictieve verbinding ongeveer zou kosten. Daarbij laten we de kosten van dure inpassingsmaatregelen buiten beschouwing. De aanlegkosten hebben we voor de verschillende afstanden weergegeven in tabel 3.3.
- Naast de mogelijke impact van dure inpassingsmaatregelen vormt ook de mate waarin een nieuw traject kan aansluiten op bestaande infrastructuur (zoals stations, aansluitende OV verbindingen etc.), ofwel interoperabiliteit, een belangrijke kostendrijver bij de bepaling van de aanlegkosten. Voor Hyperloop en Maglev is de mate van interoperabiliteit laag. Dit vraagt mogelijk om aanvullende maatregelen die de benodigde investeringen verder zullen verhogen.
- Ook vormen factoren als het tijdig verkrijgen van land, politieke besluitvormingsprocessen en vertragingen in de uitvoering een belangrijk elementen bij bepaling van de omvang van de aanlegkosten¹. Deze kosten zijn bekend bij verschillende HSL trajecten.² Voor een Maglev en Hyperloop is de impact hiervan in Europese context onbekend en niet doorgerekend.

Treinconcept	Kosten- inschatting per km (mln. EUR) ³	Kosten- inschatting 250km (mln. EUR) ³	Kosten- inschatting 500 km (mln. EUR) ³	Kosten- inschatting 750 km (mln. EUR) ³	Kanttekening
Hogesnelheidslijn	25	6.250	12.500	18.750	Gemiddelde van Europese lijnen ^{2*}
Maglev	30-40	7.500-10.000	15.000-20.000	22.500-30.000	Inschatting op basis van bestaande lijnen in Azië.*
Hyperloop	19-42	4.750-10.500	9.500-21.000	14..250-31.500	Brede range van inschattingen. Nog niet gerealiseerd.*

Tabel 3.3. Overzicht indicatieve kosten voor de drie treinconcepten geprojecteerd op verschillende afstanden
*De verschillende onderzoeken geven geen uitsluitsel welke indirecte kosten zijn opgenomen in deze prijs

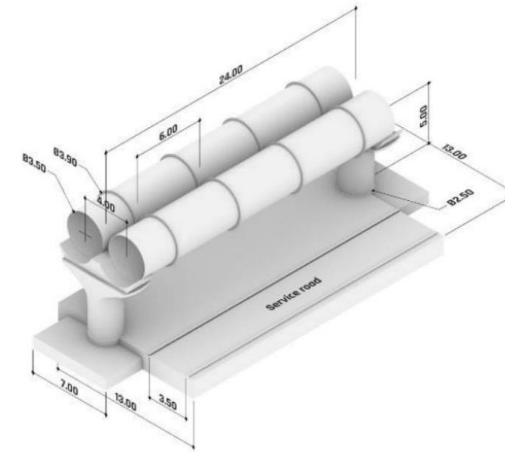
¹ Bron: Toelichting kosten aanleg HSL infrastructuur o.b.v. interview ProRail

² Bron: Europese Rekenkamer (2018)

³ Betreft enkel een inschatting op basis van gevonden bronnen, exclusief onzekerheidsmarge.

De benodigde fysieke ruimte voor een nieuwe fictieve verbinding is voor Hyperloop en Maglev in theorie lager dan voor HSL

- Hoewel een vliegveld de nodige ruimte inneemt, beperkt de benodigde fysieke ruimte voor een vlucht zich tot de locaties van vertrek en aankomst. Hierdoor is de benodigde fysieke ruimte voor vliegverbindingen minimaal zolang de luchthavens de extra vraag kunnen dragen.
- Bij treinconcepten dient er voor de gehele route van A naar B infrastructuur te worden aangelegd. Hoewel de benodigde fysieke ruimte in de praktijk locatie afhankelijk zal zijn, proberen we op basis van bestaande bronnen een indicatie af te geven voor de verschillende concepten:
 - Als uitgangspunt voor de HSL hanteren we de fysieke contour van de HSL-Zuid: deze is (ten zuiden van Breda) circa 3,3 ha/km.¹ Verschillende internationale bronnen geven vergelijkbare contouren in de orde grootte 3,2-3,5 ha/km.^{2,3}
 - Hyperloop infrastructuur bevat twee buizen die ofwel op kolommen geplaatst worden boven de grond, ofwel onder de grond kunnen worden geplaatst. De laatste optie is aanzienlijk duurder en zal derhalve niet verder worden onderzocht. Figuur 3.1. geeft een schematische weergave van de beoogde bovengrondse infrastructuur van een hyperloop. De beoogde buizen zijn 3,5m breed, de kolommen zijn 5 meter hoog en staan op elke 24 meter. Naast de buizen zal een serviceroad worden aangelegd van 3,5m voor benodigd onderhoud en toegang bij calamiteiten.⁴
 - Een Maglev gaat ook uit van een verhoogde constructie door middel van kolommen. Dit maakt dat de benodigde grond en de veiligheidsmarge daaromheen naar verwachting lager zal zijn dan bij een hogesnelheidslijn die op de grond wordt aangelegd.³
- Tabel 3.4. geeft een overzicht van de benodigde fysieke ruimte voor een nieuw aan te leggen traject voor de verschillende treinconcepten.
- ProRail geeft als kanttekening dat het netto ruimtebeslag van een HSL-spoor (2sporen en geluidsschermen) ongeveer 15 meter bedraagt op bijvoorbeeld een viaduct. Afhankelijk van de lokale situatie komt daar nog ruimte bij voor onderhoudswegen, ontwatering of bijvoorbeeld taluds waardoor je op 25-35 meter uitkomt. De technische voetafdruk van de Hyperloop en Maglev kan klein zijn, maar de voetafdruk in de praktijk is naar verwachting van ProRail hoger, mede als gevolg van bijvoorbeeld veiligheid en/of inpassing in de omgeving.⁵ Hardt Hyperloop geeft aan dat de afmetingen inclusief onderhoudsweg is⁴.



Figuur 3.1. Schematische weergave van benodigde infrastructuur voor een Hyperloop (Bron: Hardt Hyperloop)

Concept	Benodigde fysieke ruimte in ha/km	Benodigde fysieke ruimte in ha/250 km	Benodigde fysieke ruimte in ha/500 km	Benodigde fysieke ruimte in ha/750 km
HSL ^{1,2,3}	3,3	825	1.650	2.475
Maglev ³	1,2	300	600	900
Hyperloop ⁴	1,4	350	700	1.050

Tabel 3.4. Benodigde fysieke ruimte voor aanleg nieuwe infrastructuur

¹ Bron: inschatting o.b.v. ontvangen gegevens ProRail

² Bron: International Union of Railways (2012)

³ Bron: Janic (2003)

⁴ Bron: Interview Hardt Hyperloop

⁵ Bron: Interview ProRail

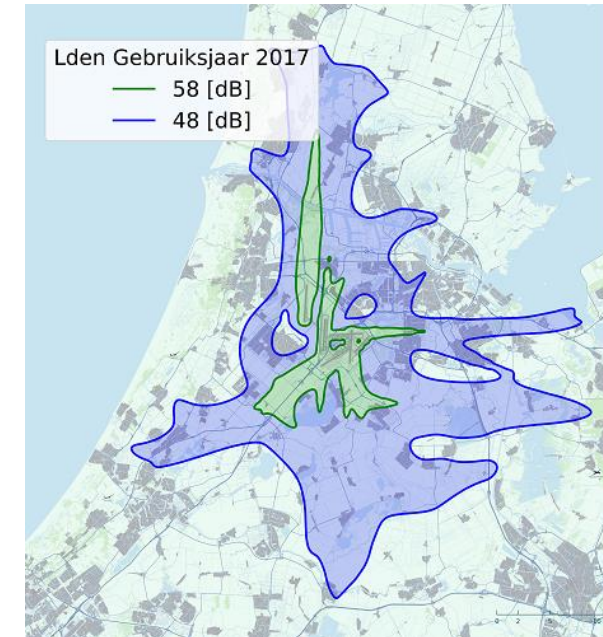
Vliegverkeer heeft alleen geluidsoverlast bij stijgen en landen; Hyperloop en Maglev zijn stillere treinconcepten dan de HSL

Geluidsuitstoot vliegverkeer

- Waar CO₂ uitstoot en energieverbruik een drijfveer voor de vervoerskeuze van een reiziger kunnen zijn, is geluidsuitstoot vooral belangrijk voor de omgeving waar de trein doorheen rijdt.
- Geluidsuitstoot van vliegverkeer is op een traject alleen merkbaar voor de gebieden nabij de luchthavens van het start- en eindpunt. Figuur 3.2. geeft een indicatie van de geluidsuitstoot rond Schiphol.¹ Lden (Level day-evening-night) is een gemiddelde permanente geluidsuitstoot. Pieken bij het opstijgen en landen worden hierbij niet weergegeven.

Geluidsuitstoot treinconcepten

- Voor treinen ligt de geluidsuitstoot anders dan bij vliegverkeer, aangezien de trein gedurende het gehele traject haar omgeving (tijdelijk) belast met geluid. Het geluid van een trein is onder andere afhankelijk van de gereden snelheid. Voor een HSL-trein met snelheid van 200-300 km/u is het geluid circa 84-105 dB(A).² Bij een Maglev ligt deze waarde bij een (hogere) snelheid van 200-400 km/u tussen de 79-93 dB(A), doordat er geen frictie is met het spoor en minder lucht turbulentie.²
- In de huidige ontwikkelfase zijn er nog geen exacte gegevens over de geluidsuitstoot van de Hyperloop. De voorlopige verwachting van betrokken partijen is dat de Hyperloop aanzienlijk minder geluid zal uitstoten dan reguliere treinconcepten doordat de capsules zich in een afgesloten buis bevinden. Hardt Hyperloop stelt dat al het geluid door de buis gedempt zal worden.⁴ Hyperloop One verwacht hoogstens een 'whoosh'.³
- Als kanttekening geldt dat de daadwerkelijke impact van geluid afhankelijk is van de lokale omstandigheden. Deze kan mogelijk ook (deels) verminderd worden door bijvoorbeeld de aanleg van geluidswanden.



Figuur 3.2. Voorbeeld geluidsuitstoot rondom luchthaven Schiphol.¹

¹ Bron: Nomos Online. Het Noise Monitoring System, kortweg NOMOS, is het geluidmeetsysteem van Amsterdam Airport Schiphol. NOMOS is sinds 1993 actief en meet op een objectieve manier het vliegtuigeluid in woongebieden rondom de luchthaven.

² Bron: Janic (2003)

³ Bron: Website Hyperloop One (z.d.)

⁴ Bron: Website Hardt Hyperloop (z.d.)

4

Baten van
kansrijke concepten

Mogelijke baten van de verschillende treinconcepten

In dit hoofdstuk onderzoeken we de baten van de verschillende concepten. Bij de bepaling van de aanleg van een dergelijk traject is het belangrijk om te weten wat de potentie van een eventuele nieuwe verbinding oplevert qua capaciteit. Zo kan bepaald worden of eventuele groei in de vervoervraag ook met de aanleg bediend kan worden.

Vervolgens onderzoeken we wat de nieuwe concepten betekenen voor de klant op het gebied van deur-tot-deur reistijd, comfort, frequentie en duurzaamheid. Alleen aspecten waarop de reiziger zijn keuze baseert bij het bepalen van de gewenste modaliteit.

De volgende vragen staan in dit hoofdstuk centraal:

- **Onderzoeksvraag 5:** Wat zou een dergelijke verbinding kunnen opleveren qua capaciteit, reistijd en duurzaamheid?

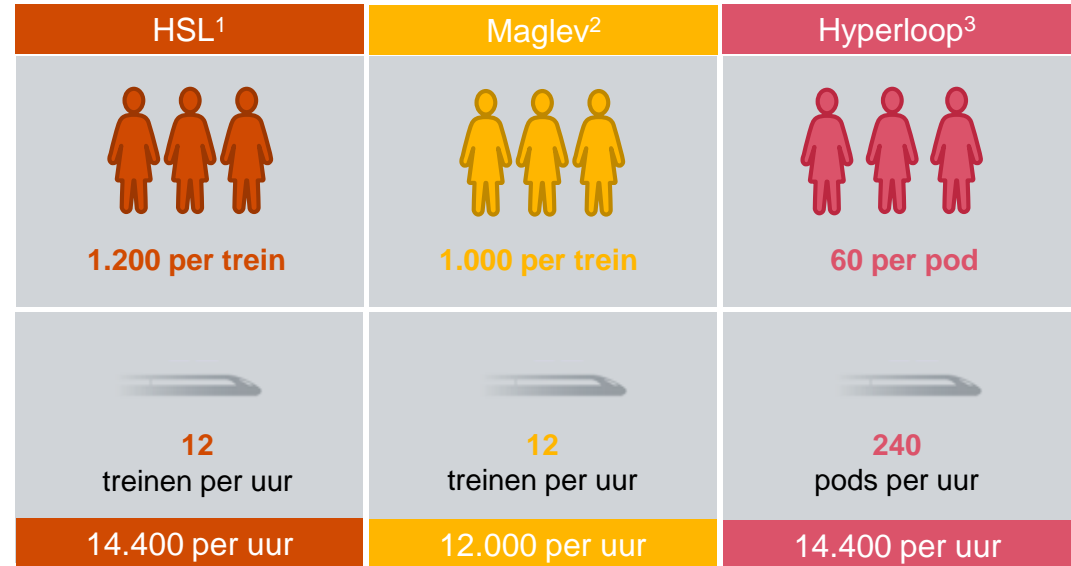
- Er dienen drie belangrijke kanttekeningen bij deze vergelijking geplaatst te worden:
 - Bij het aanleggen van een nieuwe verbindingen met één van deze concepten moet in de praktijk rekening gehouden worden met de mate van interoperabiliteit met de huidige systemen. Een nieuw HSL spoor kan af- en aantakken op bestaand spoor om van bestaande stations gebruik te maken. Voor Maglev en Hyperloop geldt dat het gehele traject volledig nieuw gerealiseerd moet worden, inclusief nieuwe stations, aansluitende OV verbindingen, voorzieningen etc.
 - Een vervoerder zal de treinfrequentie, capaciteit, reistijd en aantal tussenstops afstemmen op de vervoervraag. De daadwerkelijke potentie van een concept zal daarom in de praktijk altijd moet worden gezien in relatie tot de vervoervraag op het beoogde traject.

Het vergelijken van de baten is om bovengenoemde redenen complex en er is weinig concreet inzicht dat we hierbij kunnen gebruiken. We kunnen alleen op abstract niveau enkele verschillen zichtbaar maken.

Het resultaat van dit hoofdstuk is een indicatie van mogelijke baten van de verschillende kansrijke treinconcepten

De theoretisch maximale capaciteit van de treinconcepten lijkt onderling vergelijkbaar voor een fictieve verbinding...

- De capaciteit die een vervoerconcept kan vervoeren geeft niet alleen de potentie van het systeem aan maar ook de mogelijke flexibiliteit in de dienstregeling. Figuur 4.1. geeft een overzicht van de maximale capaciteit van de verschillende concepten.
- Onderstaande bevindingen gaan uit van volledig benutbare capaciteit van een voertuig en houdt geen rekening met eventuele implicaties van het coronavirus
- Voor het bepalen van de maximale capaciteit gelden de volgende uitgangspunten:
 - In Nederland is in de praktijk de maximale capaciteit per trein momenteel circa 1.200 passagiers i.v.m. met de lengte van intercity perrons.¹ In theorie zijn nog langere treinen mogelijk. Voor het maximale aantal treinen hanteren we 12 treinen per uur.¹
 - We hebben geen bronnen kunnen vinden voor de maximale capaciteit van een Maglev. Als uitgangspunt hanteren we daarom de verwachte capaciteit van 1.000 personen voor de Chuo Shinkansen Maglev die momenteel in aanbouw is in Japan.² Voor het maximale aantal treinen hanteren we 12 treinen per uur
 - Hardt Hyperloop gaat in haar ontwerp uit van capsules voor 60 personen. Voor de maximale capaciteit rekenen zij met twee geschakelde capsules, welke onder de brick wall veiligheidsaannname iedere 30 seconde worden gelanceerd. Hiermee komt het totaal op 240 capsules per uur, ofwel 14.400 personen.³ Hardt Hyperloop stelt dat de capaciteit mogelijk nog verder verhoogd kan worden door een kortere interval toe te passen met autonome controle en communicatiesystemen.
- De maximale capaciteit van de verschillende treinconcepten lijkt dus onderling vergelijkbaar. Wel biedt een hyperloop meer flexibiliteit: vertrek van individuele autonome capsules kan beter afgestemd worden op de actuele vervoervraag.
- Hierbij geldt de kanttekening dat verschillende bronnen een aanzienlijke lagere capaciteit van de Hyperloop noemen (met name door een lagere inschatting van de maximaal haalbare frequentie). Zo stellen verschillende bronnen dat de maximale capaciteit per uur eerder in de orde 840-3.360 zal liggen.^{4,5,6}

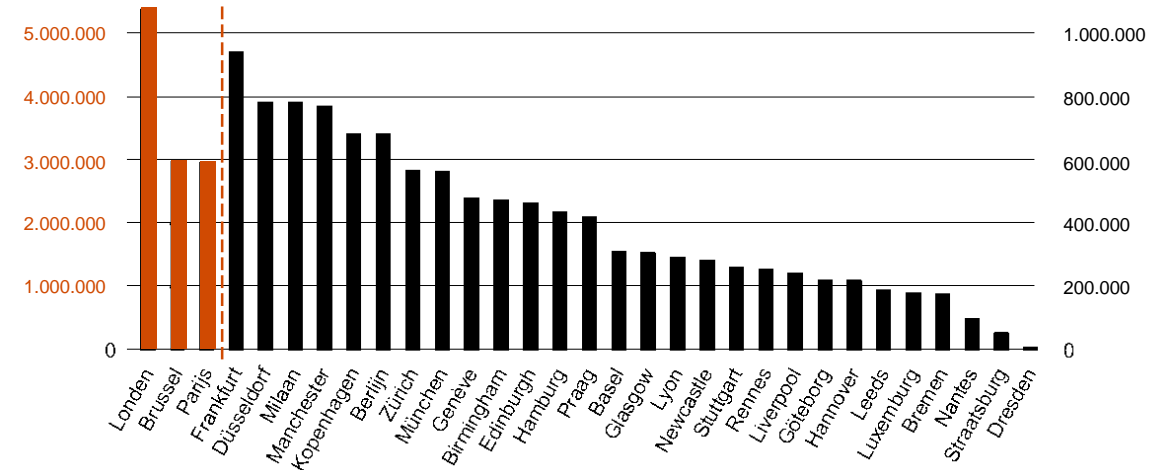


Figuur 4.1. Overzicht maximale capaciteit van de verschillende treinconcepten

¹ Maximale capaciteit per trein o.b.v. inschatting ProRail (huidige VIRM 12 IC's i.v.m. maximale perronlengte in Nederland). In buitenland zijn eventueel nog langere treinen mogelijk. Aanname elke vijf minuten een trein (International Union of Railways, 2012)
² Bron: Aantal passagiers o.b.v. het rapport "The Chuo Shinkansen Project: High Speed Rail in Japan" (Andersen, 2019). Aanname elke vijf minuten een trein vergelijkbaar met HSL.
³ Bron: interview met Hardt Hyperloop, Brick wall veiligheidsaannname: interval tijd o.b.v. minimaal benodigde tijd om (in geval van nood) tot stilstand te komen.
⁴ Bron: Taylor et. al (2016)
⁵ Bron: website van USC Hyperloop (z.d.)
⁶ Bron: Doppelbauer (2018)

...huidige vervoervraag richting het (zuid)oosten lijkt momenteel echter geen directe verbinding te rechtvaardigen

- Dit onderzoek richt zich op een fictieve verbinding vanuit Nederland richting het (zuid)oosten met slechts tussenstops op 250 en 500km.
- Figuur 4.2. geeft een overzicht van de potentiële passagiersaantallen per jaar voor vlieg- en treinverkeer vanaf Schiphol.^{1,2} Deze getallen zijn afkomstig van eerder onderzoek van RoyalHaskoningDHV en gebaseerd op gegevens uit 2016.²
- Wanneer we de huidige vervoervraag naar populaire bestemmingen bekijken zien we dat de vervoervraag richting het (zuid)oosten achterblijft ten opzichte van belangrijke drie belangrijke directe verbindingen Londen, Brussel en Parijs.
- De grootste vervoervraag richting het (zuid)oosten is naar Frankfurt met (omgerekend) gemiddeld 2600 reizigers per dag. Deze aantallen blijven ver achter bij de eerder berekende potentiële capaciteit van de treinconcepten en lijken daarmee geen directe (punt-punt) verbinding te rechtvaardigen.
- Nederland en Duitsland zijn poly centrisch georiënteerd in tegenstelling tot het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk waar de vervoervraag zich voornamelijk concentreert richting één hoofdstad. Een snelle directe (punt-punt) verbinding verliest haar toegevoegde waarde in een poly centrisch gebied doordat de behaalde snelheid verloren gaat door de extra tijd die nodig is bij het voor- en natransport.³ Tussenstops lijken voor een rendabele uitvoering onvermijdelijk. De combinatie met binnenlands vervoer draagt momenteel bij aan een rendabele internationale verbinding.³ Dit beperkt in praktijk de potentiële snelheid van de concepten aangezien er kortere afstanden gereden worden tussen optrekken en afremmen.
- Nederland kiest er in Toekomstbeeld OV 2040 voor om per landsgrens één gebundelde, hoogwaardige verbinding met omliggende Europese metropolen te hebben, door het versterken van de HSL-Zuid en het ontwikkelen van een oostelijke corridor richting Düsseldorf op basis van de bestaande routes in plaats van nieuwe verbindingen aan te leggen.⁴



Figuur 4.2. Potentiële aantal reizigers vanaf Schiphol, (let op de verschillende assen hebben een andere schaal: oranje linker-as, zwart rechter-as). Bron afbeelding: RoyalHaskoningDHV (2018)

¹ Bron: Royal HaskoningDHV (2018)

² De mogelijke (negatieve) invloed van COVID-19 op de potentiële passagiersaantallen is niet meegenomen in dit onderzoek

³ Bron: Interview Kennis Instituut Mobiliteit.

⁴ Bron: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2019) [Kamerstuk]

Theoretische reistijd treinconcepten is concurrerend met vliegverkeer; in praktijk beperkt door de tussenstops voor benodigde rendement

- Om een reiziger te verleiden met een andere modaliteit te reizen dan dat hij/zij gewend is, spelen de volgende pijlers een rol¹:
 - Prijs
 - Reistijd
 - Frequentie
 - Comfort
 - (Duurzaamheid)
- Traditioneel stuurt NS op de eerste 4 pijlers om reizigers te bewegen de trein als vervoersmiddel te kiezen.¹ Zij zien echter steeds vaker dat de reiziger ook het duurzaamheidsaspect meeneemt in haar overweging.
- De bepaling van de prijs van het ticket voor de reiziger ligt buiten de scope van dit onderzoek. De reistijd, frequentie, comfort en duurzaamheid bespreken wij hieronder.

Deur-tot-deur reistijd

- Om te concurreren met het vliegtuig is het noodzakelijk dat de deur-tot-deur reistijd van de alternatieve treinconcepten (dus incl. voor- en natransport, incheck, bagage etc.) binnen de zelfde orde vallen als het huidige vliegverkeer. Internationale ervaring met hogesnelheidslijnen laten zien dat bij een treinreistijd van 2 uur of korter de markt vrijwel geheel gedomineerd wordt door de trein. Dit is bijvoorbeeld het geval tussen Parijs en Brussel. Bij reistijden langer dan 5-6 uur is het marktaandeel van de trein erg klein en domineert het vliegtuig.²
- Voor alle treinconcepten geldt dat zij theoretisch kunnen concurreren met het vliegtuig (zie tabel 4.1.). In de praktijk zullen in verband met de lage potentiële vervoervraag voor een volledig directe ontsluiting mogelijk meerdere tussenstops nodig zullen zijn om de lijn rendabel te krijgen,³ wat de maximale snelheid van de concepten zal beperken.

- Hardt Hyperloop ontwikkelt momenteel een concept om directe verbindingen te blijven bieden terwijl de lijn meerdere bestemming aandoet, doormiddel van zogeheten switches. Hierbij maken zij gebruik van de kleine pods die autonoom rijden. Zo bieden zij een verbinding van A-B en van A-C om aan verschillende vraag te voldoen zonder dat de reizigers naar C hoeven te stoppen op het tussenstation.⁴ Voor een Maglev en HSL is een dergelijke vervoerkundige indeling op het moment te duur omdat de treinen zijn ingericht op grote volumes en een machinist en conducteur vereisen.

Afstand	Vliegtuig	HSL Snelheid: 360 km/h.	Maglev Snelheid: 430 km/h.	Hyperloop Snelheid: 700 km/h.
250km	215 min	107 min	99 min	84 min
500km	243 min	158 min	143 min	112 min
750km	266 min	210 min	187 min	141 min

Tabel 4.1. Overzicht deur-tot-deur reistijden op het fictieve traject (zie [bijlage A.3](#) voor de totstandkoming van deze gegevens)

¹ Bron: Interview NS International

² Bron: KIM (2018)

³ Bron: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2019 -b)

⁴ Bron: Interview Hardt Hyperloop

Voordelen op comfort en frequentie kunnen doorslaggevend zijn voor modaliteitskeuze van de reiziger; hyperloop flexibel met autonome pods

Comfort

- Voordelen op het gebied van gemak en comfort kunnen voor de reiziger doorslaggevend zijn wanneer in de praktijk de reistijd (incl. voor- en natransport) niet al te veel afwijkt van het vliegtuig. De reistijd bij korte afstandsvluchten wordt voor een significant deel bepaald door de benodigde tijd voor douane en afgifte van bagage (circa 60 min). Doordat deze handelingen bij Maglev en HSL (binnen de EU) niet nodig zijn biedt dit een aanzienlijk voordeel op het gebied van comfort. Bij Hyperloop is nog niet duidelijk hoe (groot) bagage vervoer zal worden ingericht.¹ Andere vragen bij de hyperloop op het gebied van comfort zijn de g-krachten die een passagier aan moet kunnen en hoe de oriëntatie en beleving zal zijn wanneer men door een dichte buis reist.

Frequentie

- De flexibiliteit waarmee een reis kan worden afgelegd weegt ook mee in de afweging van de reiziger. De hyperloop heeft hier mogelijk een voordeel omdat zij met kleine autonome pods werken.
- Bij lagere vervoervraag dan de maximale capaciteit geeft zo'n kleinere pod de flexibiliteit om een hogere frequentie te bieden zonder dat er direct lege voertuigen rijden. Doordat de pod autonoom beweegt zullen bovendien de personele kosten niet stijgen bij deze hogere frequentie met lage capaciteit. Terwijl dit bij een hogere frequentie van de HSL wel het geval is.
- In het geval van theoretisch maximale capaciteit zal op een internationale verbinding een 30 seconden interval van de Hyperloop geen significant voordeel bieden voor de reiziger ten opzichte van 5 minuten voor de HSL.²



Figuur 4.3. Artist impression van voorstel interieur TU Delft Hyperloop, bron: RailTech.com (2018)

¹ Bron: Interview Hardt Hyperloop

² Bron: Taylor et. al (2016)

In de exploitatiefase kennen alle treinconcepten een voordeel op het gebied van uitstoot van koolstofdioxide en het energieverbruik

- Steeds meer laten reizigers hun vervoerskeuze afhangen van duurzaamheid. In dit onderzoek richten we ons ter indicatie van dit aspect op de parameters 1) emissie van koolstofdioxide (CO₂), 2) energieverbruik 3) geluidsuitstoot van de verschillende modaliteiten in de *exploitatiefase*. De geluidsuitstoot heeft weliswaar geen invloed op de keuze van reiziger maar wel impact op de omgeving.
- Een belangrijke kanttekening hierbij is dat in deze quickscan het verbruik van energie en/of uitstoot van CO₂ gedurende de aanleg en onderhoud van nieuwe infrastructuur buiten beschouwing is gelaten.

CO₂-emissie

- De verschillende treinconcepten maken gebruik van elektrische aandrijving waardoor de uitstoot van CO₂ (bij duurzame opwek van elektriciteit) voor al deze concepten in theorie gelijk is aan nul. Dit geldt momenteel al voor alle NS treinen in Nederland, door de inkoop van 'groene stroom'.¹ Een andere energiemix bij de elektriciteitsopwekking leidt in de praktijk tot andere resultaten, zo is momenteel in Duitsland wel degelijk sprake van CO₂-uitstoot bij het huidige treinverkeer als gevolg van de relatief vervuilende electriciteitsmix.²
- Voor de (huidige) CO₂-uitstoot van vliegverkeer zijn verschillende bronnen met elkaar vergeleken. Daaruit volgt dat korte afstandsvluchten indicatief circa 140 g/pax/km uitstoten.^{3,4}
- Concluderend kunnen we stellen dat op het gebied van CO₂-emissie alle treinconcepten in de exploitatiefase een vergelijkbaar voordeel kunnen leveren ten opzichte van het huidige vliegverkeer.

¹ Bron: Website NS (z.d.)

² Bron: KiM (2019)

³ Bron: CE Delft. (2015)

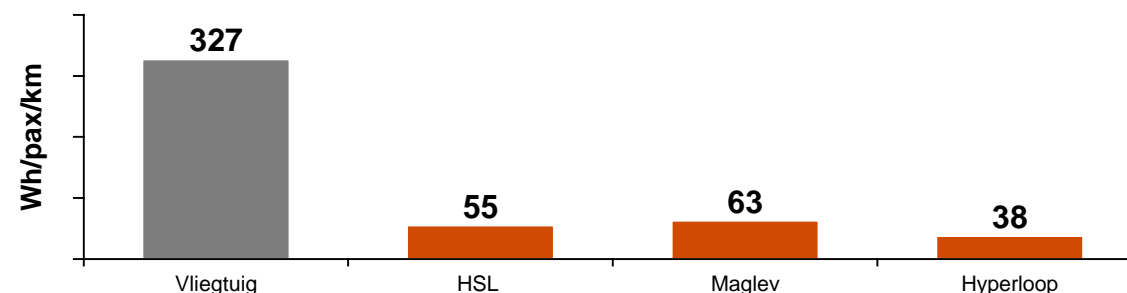
⁴ De online calculator van het ICAO (z.d.) geeft vergelijkbare resultaten voor bijvoorbeeld een korte afstandsvlucht van AMS-MUC

⁵ Bron: Rapportage Hardt Hyperloop (2020). De opgegeven getallen hebben we vergeleken met andere bronnen, o.a. Taylor et. al (2016). Hoewel bij andere bronnen de absolute waarden mogelijk verschillen is de onderlinge verhouding tussen de verschillende concepten vergelijkbaar met de rapportage van Hardt Hyperloop (2020).

⁶ Bron: Taylor et. al (2016)

Energieverbruik

- Naast de theoretische uitstoot van CO₂ vergelijken we de concepten ook op basis van energieverbruik per reizigerskilometer (zie Figuur 4.4). Alle treinconcepten verbruiken per reizigerskilometer minder energie (Wh) dan het huidige vliegverkeer. Tussen de verschillende treinconcepten geldt dat de Hyperloop het meest efficiënt met de energie verwacht om te kunnen gaan.^{5,6}
- Nieuw geproduceerde passagiers vliegtuigen zullen vanwege nieuwe ICAO standaarden naar verwachting circa 20-25 procent minder brandstof gebruiken.⁶ Deze potentie en/of verdere mogelijkheden om vliegverkeer te verduurzamen zijn in dit onderzoek niet meegenomen. Wij raden aan deze mogelijkheden en de daarbij benodigde investeringen te onderzoeken om het duurzaamheidsvoordeel van nieuwe treinconcepten in perspectief te kunnen plaatsen, mede gezien optimalisaties binnen het vliegverkeer mogelijk op kortere termijn te realiseren zijn dan de aanleg (incl. besluitvorming) van nieuwe internationale treinverbindingen.



Figuur 4.4: Energieverbruik per reizigerskilometer op basis van 60% bezetting. Bron: Hardt Hyperloop.⁴

5

Handelingsperspectieven
van Nederland

Handelingsperspectieven van Nederland

- In dit onderzoek richten wij ons op trajecten tot 750km. Van deze afstand zal maximaal 150km in Nederland liggen. Dat betekent dat Nederland voor een groot deel afhankelijk is van andere internationale partijen om deze verbindingen te kunnen realiseren.
- Hieronder bespreken we de punten die impact hebben op de huidige positie van Nederland:
 - Nederland wil haar internationale spoorpositie graag versterken en werkt aan plannen om grensoverschrijdend vervoer te verbeteren.^{1,2}
 - Nederland is geografisch geen belangrijke locatie voor een HSL, Maglev of Hyperloop netwerk voor het buitenland. Het betreft voornamelijk een start of eindlocatie en heeft beperkte transfermogelijkheden voor internationaal personentreinvervoer.³
 - Het European Hyperloop Center (EHC) staat gepland om in Groningen gebouwd te worden. Het EHC moet in 2022 de eerste faciliteit in Europa zijn waar het hyperloop-transportstelsel op hoge snelheid getest kan worden. Het testcentrum kan in de toekomst door verschillende onderzoeksteams gebruikt worden.⁴ De realisatie voor de testtrack hangt af van of het lukt om 75% van het benodigde budget project privaat gefinancierd te krijgen. Deze zomer is de deadline. Momenteel is circa 30-40% van de kosten gecoverd door private investeringen⁵.
- Nederland heeft ambitie op het gebied van internationaal spoorvervoer, loopt vooraan op het gebied van de ontwikkeling van de hyperloop en heeft tegelijkertijd een geografisch lastige positie om spoorvervoer te beïnvloeden voor het eigen land. In dat kader zal Nederland moeten samenwerken om tot goede internationale spoorverbindingen van 750km te komen.
- In dit hoofdstuk kijken we naar het handelingsperspectief van Nederland bij de implementatie van de besproken concepten. De volgende vraag centraal:
 - **Onderzoeksvraag 6:** Welke handelingsperspectieven heeft Nederland bij de implementatie van nieuwe innovatieve concepten?
- We maken twee belangrijke kanttekeningen bij dit hoofdstuk
 1. In dit onderzoek kijken we naar een fictief traject. Dat betekent dat er geen specifiek onderzoek is gedaan naar bepaalde verbindingen en bijkomende specifieke uitdagingen op dat traject. We bespreken de handelingsperspectieven van Nederland in zijn algemeenheid.
 2. Dit onderzoek houdt geen rekening met eventuele lange termijn mobiliteitseffecten ten gevolge van de coronacrisis

¹ Bron: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2020) [kamerbrief]

² Bron: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2019 -a)

³ Bron: Interview Kennis Instituut Mobiliteit

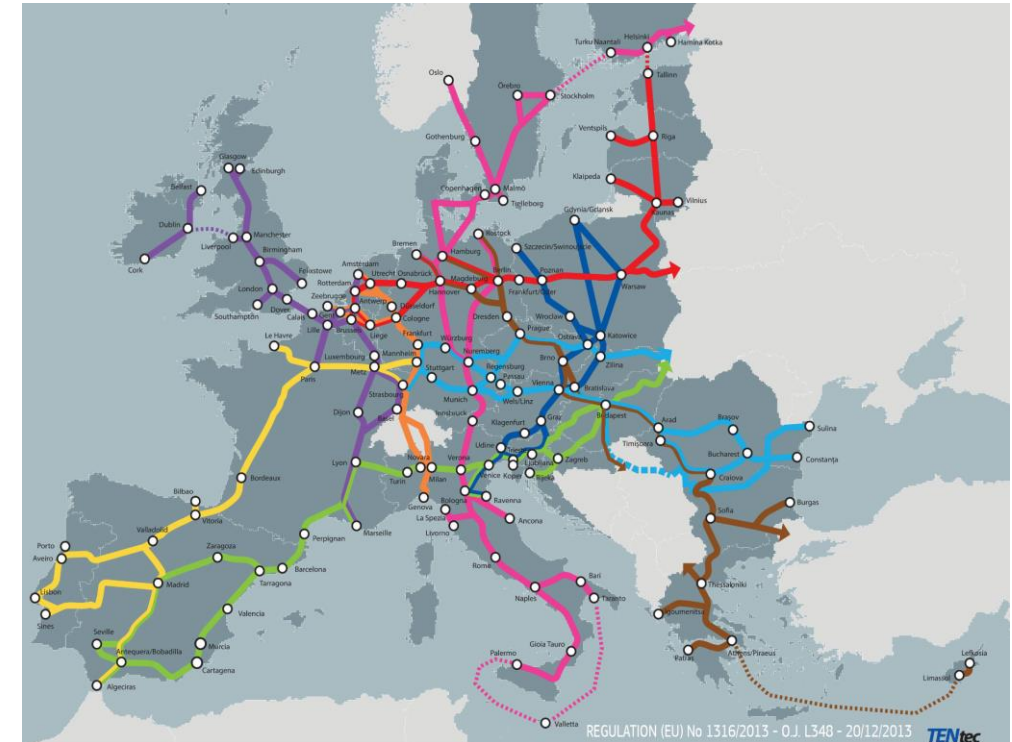
⁴ Bron: Website Hardt (z.d.)

⁵ Bron: Interview Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Het resultaat van dit hoofdstuk is een inzicht in de handelingsperspectieven van Nederland bij de implementatie van innovatieve concepten

Nederland heeft beperkte handelingsperspectieven; huidige Europese initiatieven zijn vooral gericht op optimalisatie en uitbreiding HSL

- Internationaal spoor heeft te maken met lokale, regionale, nationale en internationale belangen die vaak niet congruent zijn. Het Europese belang werd in het verleden op bepaalde dossiers door nationale/regionale belangen overvleugeld. Hieronder een aantal initiatieven (niet limitatief) van lopende initiatieven om het internationaal treinvervoer te stimuleren:
 - Middels het Trans-European Transport Network (TEN-T) regulation heeft de EU zich in 2011 als doel gesteld om in 2030 31.000km hogesnelheidslijn gerealiseerd te hebben (en 50.000 in 2050), waarvan momenteel circa 10.000km daadwerkelijk is gerealiseerd.^{1,2} Een rapport uit 2018 van de Europese Rekenkamer toont aan dat de EU sinds 2000 €23,7 miljard heeft uitgegeven aan hogesnelheidslijnen, maar dat het gestelde doel voor 2030 zeer waarschijnlijk niet gehaald gaat worden door gebrek aan een strategisch plan en juridische zeggenschap.²
 - Hoewel in de Green Deal geen concrete acties voor internationaal personenvervoer per trein worden genoemd heeft het Ministerie IenW recent een position paper geschreven waarin voorstellen worden gedaan aan de Europese commissie om deze op te nemen in de werkprogramma's van 2019-2024.³ Deze voorstellen gaan van het ontwerp van een netwerk voor internationaal spoorvervoer tot data beschikbaarheid en interoperabiliteit.
 - De implementatie van ERTMS volgens het European Deployment plan zoals besloten in 2017³.
 - De EU interoperabiliteit voorschriften en de ontwikkeling van de "Technical Specifications of Interoperability (TSI's) die direct impact hebben op personenvervoer op het spoor. De TSI's gelden voor nieuwe investeringen. Door de lange levensduur van spoorassets zal er nog een lange transitieperiode zijn.³
 - Shift2Rail EU innovatie programma heeft als doel 50% van de life-cycle cost van spoortransport te reduceren, de spoorcapaciteit te verdubbelen en de betrouwbaarheid en punctualiteit te verhogen met 50%.⁴



Figuur 5.1. Overzicht TEN-T corridors (bron: Europese Commissie (2013))

¹ Bron: The Financial Times (2018)

² Bron: Europese Rekenkamer(2018)

³ Bron: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2020) [kamerbrief]

⁴ Bron: Website Shift2Rail (z.d.)

Europese samenwerking is nodig om innovatieve concepten te kunnen realiseren...

Europese samenwerking nodig voor ontwikkeling nieuwe concepten

- Hoewel in de bijlagen van de TEN-T-verordening wordt beschreven waar de hogesnelheidslijnen moeten worden aangelegd, besluiten alleen de lidstaten of en waar dit precies zal gebeuren. Zij leveren ook het grootste deel van de benodigde financiering en zijn als enige verantwoordelijk voor de uitvoering van alle nodige stappen (studies, vergunningen, het uitbesteden en bewaken van de werkzaamheden en het houden van toezicht op alle betrokken partijen).¹ Uit eerdere samenwerkingen tot nieuwe verbindingen blijkt dat besluitvorming in de praktijk vaak langer duurt dan de bouwfase.²
- Het bouwen van iedere nieuwe verbinding, maar vooral ook bij nieuwe concepten als een Hyperloop en Maglev is deze samenwerking cruciaal.
- Huidige initiatieven focussen vooral op de ontwikkeling van het HSL netwerk in Europa. Duitsland en Frankrijk lijken op dit moment geen plannen te hebben om te investeren in de ontwikkeling van een Hyperloop of Maglev.^{2,3}
- Om te komen tot een commercieel product verwacht Hardt Hyperloop nog 10 jaar nodig te hebben^{4,5}. Omdat de hyperloop nog geen 'proven technology' is, is de verwachting dat er voor die tijd nog geen grote plannen gemaakt zullen worden voor bijvoorbeeld een internationaal hyperloop netwerk.^{2,6,7}
- Wanneer Nederland de ambitie heeft om nieuwe (snelle) verbindingen te implementeren als alternatief voor het vliegverkeer zal zij moeten blijven lobbyen om te zorgen dat er een Europese samenwerking komt. Duitsland lijkt daarbij de belangrijkste partner (voor verbindingen naar het (zuid)oosten. Beleid vanuit de EU zou dit proces kunnen versnellen.^{2,6,7}



Figuur 5.2. Ursula von der Leyen presenteert Green deal, bron Railway Gazette (2019)

¹ Bron: Europese Rekenkamer (2018)

² Bron: Interview NS International

³ Bron: Interview Professor Transport Economics -École des Ponts

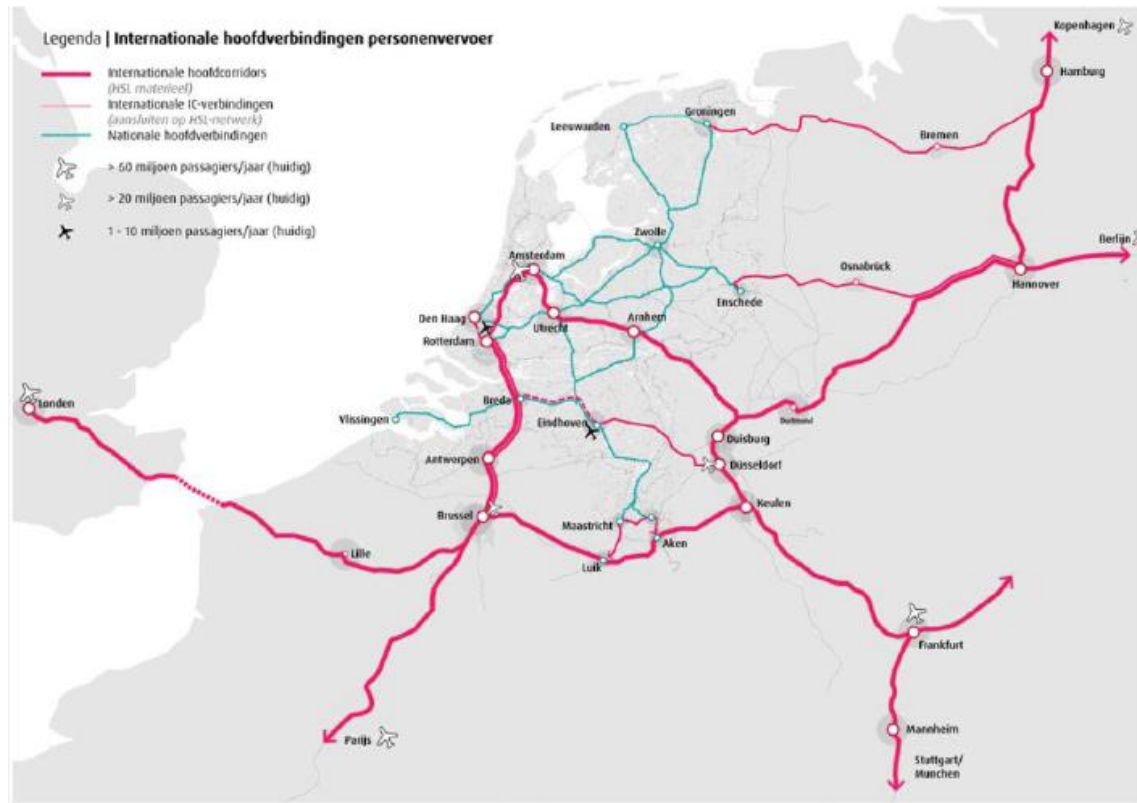
⁴ Bron: Hardt Hyperloop (2020)

⁵ Bron: Interview Hardt

⁶ Bron: Interview ProRail

⁷ Bron: Interview Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

...parallel aan opzetten samenwerking is het raadzaam huidig spoor en treinvervoer te optimaliseren op beleid buurlanden



Figuur 5.3. Internationale hoofdverbindingen personenvervoer per spoor (bron: Internationaal reizigersvervoer toekomstbeeld OV - ProRail (2020))

Plannen aanpassen op beleid buurlanden

- Het is uitdagend om de belangen van Nederland en Duitsland op elkaar uit te lijnen, om zo tot een substantiële verbetering van het internationale langeafstandsvervoer per spoor tussen beide landen te komen. Tegelijkertijd werken zowel Nederland (Toekomstbeeld OV 2040) en Duitsland (Deutschland takt) aan projecten, waar de verbetering van de grensoverschrijdende verbindingen aan beide zijden van de grens uitdrukkelijk in scope zijn.
- Om op korte termijn al effect te bereiken op de gestelde klimaatdoelen kan parallel aan de lobby voor de Europese samenwerking, nu aan verbeteringen en optimalisaties van het huidige spoor gewerkt worden zodat deze verbindingen beter worden benut¹.
- Het bieden van een goede verbinding op de knooppunten Hannover, Duisburg, Keulen en Frankfurt, maakt dat Nederland zo goed mogelijk kan aanhaken op de HSL verbindingen die Duitsland ontwikkelt⁵. Een verbetering aan het spoor die nu in het kader van Toekomstbeeld OV wordt onderzocht is de verbetering van het spoor tussen Utrecht en Arnhem, bijvoorbeeld naar 200 km/u.^{1,2}
- De focus op korte termijn verbeteringen betekent niet dat deze innovatie uitsluit. Uit de interviews komt naar voren dat investeren in de ontwikkeling van de Hyperloop ook interessant is vanuit een economisch perspectief als mogelijk export product³. Daarnaast zijn partijen als NS en ProRail aangesloten bij het Innovatiefonds omdat zij o.a. geïnteresseerd zijn in spin-off effecten van de onderzoeken van Hardt,^{1,2} die uiteindelijk ook kunnen leiden tot optimalisaties van de bekende treinconcepten.
- Een mix van 'proven technology' met de HSL en nieuwe concepten die aantakken op dit systeem lijkt de meest aantrekkelijke vorm van ontwikkeling². Hiervoor zal zowel ingezet moeten worden op innovatie, de lobby voor Europese samenwerking als de afstemming van het eigen spoornet op de plannen van de HSL netwerken in onze buurlanden.

¹ Bron: Interview ProRail

² Bron: Interview NS International

³ Bron: Interview Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

A

Bijlagen

A1. Bronnenlijst 1/2

Rapportages

- [1] Anderson, S. (2019). *The Chuo Shinkansen Project: High Speed Rail in Japan*.
- [2] Centraal Planbureau. (2000). *Kosten-batenanalyse van HSL-Oost infrastructuur*.
- [3] CE Delft. (2015). *STREAM personenvervoer 2014, Studie naar TransportEmissies van Alle Modaliteiten en Emissiekentallen 2011*.
- [4] Connor, P. (2012). *High Speed Railway Capacity*.
- [4] Doppelbauer, J. (2018). *Hyperloop – an Innovation for Global Transportation?*
- [5] Europese Commissie. (2017). *Horizon 2020 Work Programme 2016-2017*.
- [6] Europese Rekenkamer. (2018). *Een Europees hogesnelheidsnet: geen realiteit, maar een ondoeltreffende lappendeken*.
- [7] Hardt Hyperloop. (2020). *Concept Study Province North-Holland*.
- [10] International Union of Railways. (2012). *“High speed rail, fast track to sustainable mobility”*
- [11] Janic, M. (2003). *Multicriteria Evaluation of High-speed Rail, Transrapid Maglev and Air Passenger Transport in Europe*.
- [12] KiM. (2018). *Substitutiemogelijkheden van luchtvaart naar spoor*.
- [13] KiM. (2019). *Op reis met vliegtuig, trein, auto of bus*.
- [14] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2019 -a). *Contouren Toekomstbeeld OV 2040*.
- [15] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020). *HSL-Zuid Eindevaluatie*.
- [16] Retzmann, M., Eiler, K., Klühspies, J. & Wiegand, D. (2011). *The Moscow – Warsaw – Berlin Project: A High-Speed Maglev for long distance transport*.
- [17] Royal HaskoningDHV. (2018, 25 mei). *Vergelijk vliegen met treinreizen voor korte afstanden*.

- [19] Taylor, C.L., Hyde, D.J. & Barr, L.C. (2016). *Hyperloop Commercial Feasibility Analysis*
- [20] TNO. (2017). *Main report: Hyperloop in The Netherlands*.
- [21] Vuchic, V.R. & Casello, J.M. (2002). *An Evaluation of Maglev Technology and Its Comparison With High Speed Rail*.

Artikelen

- [1] Barnes, A. (2019, 28 October) *Show me Hyperloop: Missouri panel confident it can win route with \$300M+ test track*. Geraadpleegd van <https://www.startlandnews.com/2019/10/show-me-hyperloop-missouri/>
- [2] Hall, D. (2018, 29 mei). *Maglev trains: why aren't we gliding home on hovering carriages?* Geraadpleegd van <https://www.theguardian.com/technology/2018/may/29/maglev-magnetic-levitation-domestic-travel>
- [3] Knoppers, R. (2019, 8 maart). *'Zweeftrein aantrekkelijker en goedkoper'* Geraadpleegd van <https://www.ovmagazine.nl/2019/03/zweeftrein-aantrekkelijker-en-goedkoper-1639>
- [4] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2019, 6 februari). Kamerstuk 23645, nr. 685 [Kamerstuk].
- [5] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020, 18 februari). *Position Paper internationaal personenvervoer per spoor* [kamerbrief].
- [6] The Financial Times. (2018, 26 juni). *Europe's high-speed rail network 'slow, expensive and ineffective'*. Geraadpleegd van <https://www.ft.com/content/e77dc48e-7894-11e8-8e67-1e1a0846c475>
- [7] Wilson, M. (2019, 26 november). *Stand aside, hyperloop: This cross-continental train aims to replace flying*. Geraadpleegd van <https://www.fastcompany.com/90435778/stand-aside-hyperloop-this-cross-continental-train-aims-to-replace-flyin>

A2. Bronnenlijst 2/2

Webpagina's

- [1] Financieel Dagblad. (2019, 27 september). *Eurostar en Thalys gaan fuseren* [Afbeelding]. Geraadpleegd van <https://fd.nl/ondernemen/1318273/eurostar-en-thalys-gaan-fuseren>
- [2] Hardt Hyperloop. (z.d.) *The Hyperloop Infrastructure*. Geraadpleegd op 14 mei 2020, van <https://hardt.global/infrastructure/>
- [3] Hyperloop One. (z.d.) *Facts & Frequently Asked Questions*. Geraadpleegd op 14 mei 2020, van <https://hyperloop-one.com/facts-frequently-asked-questions>
- [4] ICAO. (z.d.) *ICAO Carbon Emissions Calculator*. Geraadpleegd op 12 mei 2020, van <https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx>
- [5] JrailPass. (2019, 15 november). *The Japanese Maglev: World's fastest bullet train*. Geraadpleegd op 12 mei 2020, van <https://www.jrailpass.com/blog/maglev-bullet-train>
- [6] Nomos Online. (z.d.) *Geluidsbelasting*. Geraadpleegd op 14 mei 2020, van https://noiselab.casper.aero/ams/#menu=g_effect_op_de_omgeving/page=g_geluidbelasting/target=subcontent
- [7] NS. (z.d.) *Groene energie voor trein, bus en station*. Geraadpleegd op 14 mei 2020, van <https://www.ns.nl/over-ns/duurzaamheid/klimaatneutraal/groene-energie-voor-trein-bus-en-station.html>
- [8] Railway Gazette. (2019, 13 december). *Rail associations welcome EU Green Deal proposals* [Afbeelding]. Geraadpleegd van <https://www.railwaygazette.com/policy/rail-associations-welcome-eu-green-deal-proposals/55356.article>
- [9] RailTech.com. (2018, 20 juni). *TU Delft students reveal new Hyperloop pod* [Afbeelding]. Geraadpleegd van <https://www.railtech.com/digitalisation/2018/06/20/tu-delft-students-reveal-new-hyperloop-pod/>
- [10] Shift2Rail. (z.d.) *Mission and Objectives*. Geraadpleegd op 17 mei 2020, van <https://shift2rail.org/about-shift2rail/mission-and-objectives/>
- [11] SkyTran. (z.d.) *Home*. Geraadpleegd op 8 mei 2020, van <https://www.skytran.com/>
- [12] Tubular Rail. (z.d.) *Home*. Geraadpleegd op 8 mei 2020, van <http://www.tubularrail.com/>
- [13] Urbanist. (z.d.) *Non-Stop Rail: 2 Future Trains Pick Up Passengers in Motion*. Geraadpleegd op 8 mei 2020, van <https://weburbanist.com/2015/01/15/non-stop-rail-2-future-trains-pick-up-passengers-in-motion/>
- [14] USC Hyperloop. (z.d.) *About – Hyperloop*. Geraadpleegd op 14 mei 2020, van <http://www.uschyperloop.com/hyperloop>
- [15] Wikipedia. (z.d. -a). *Chūō Shinkansen*. Geraadpleegd op 12 mei 2020, van https://en.wikipedia.org/wiki/Ch%C5%AB%C5%8D_Shinkansen
- [16] Wikipedia. (z.d. -b). *Hyperloop*. Geraadpleegd op 8 mei 2020, van <https://nl.wikipedia.org/wiki/Hyperloop>
- [17] Wikipedia. (z.d. -c). *Magneet zweeftrein*. Geraadpleegd op 8 mei 2020, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Magneet_zweeftrein
- [18] Wikipedia. (z.d. -d). *Shinkansen*. Geraadpleegd op 8 mei 2020, van https://en.wikipedia.org/wiki/Ch%C5%AB%C5%8D_Shinkansen
- [19] Wikipedia. (z.d. -e). *SkyTran*. Geraadpleegd op 8 mei 2020, van <https://en.wikipedia.org/wiki/SkyTran>
- [20] Wikipedia. (z.d. -f). *SkyWay Group*. Geraadpleegd op 8 mei 2020, van https://nl.wikipedia.org/wiki/SkyWay_Group
- [21] Wikipedia. (z.d. -g). *Transrapid*. Geraadpleegd op 8 mei 2020, van <https://nl.wikipedia.org/wiki/Transrapid>
- [22] Wikipedia. (z.d. -h). *Transrapid*. Geraadpleegd op 12 mei 2020, van https://en.wikipedia.org/wiki/Transrapid#Comparative_costs%20/
- [23] Youtube. (2018, 24 maart). *Flying train. Dahir Insaat*. Geraadpleegd op 8 mei 2020, van https://www.youtube.com/watch?v=_HfvS68aMlc

A2. Interviewlijst

In deze quickscan hebben we voor het ophalen van informatie gebruik gemaakt van een beperkt aantal interviews. Tabel A.1 geeft een overzicht van geïnterviewden.

De conclusies in dit onderzoek betreffen niet noodzakelijkerwijs de standpunten van betrokken personen of achterliggende organisaties.

Datum	Geïnterviewde
29 april 2020	Stefan Marges – <i>Hardt Hyperloop</i>
30 april 2020	Jeroen Wolff – <i>NS International</i>
6 mei 2020	Alain Sauvant – <i>École des Ponts</i>
12 mei 2020	Jeroen Wesdorp – <i>ProRail</i>

Figuur A.1. Lijst met geïnterviewden

Naast bovengenoemde personen is gesproken met geselecteerde ambtenaren van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

A3. Totstandkoming reistijden

Afstand	Vliegtuig	Huidige hsl	Hsl geoptimaliseerd Snelheid: 360 km/h. ²	Maglev Snelheid: 430 km/h. ²	Hyperloop Snelheid: 700 km/h. ³
250km	O.b.v. gemiddelde deur-tot-deur reistijd voor de steden Bremen, Luxemburg, Hannover, Dusseldorf ¹ 215 min	O.b.v. gemiddelde deur-tot-deur reistijd voor de steden Bremen, Luxemburg, Hannover Luxemburg ¹ 290 min	30min voor transport 6min optrekken ^{4,5} 37min rijden ^{4,5} 4min remmen ^{4,5} 30min na transport ⁴ 107 min	30min voor transport ⁴ 6min optrekken ^{4,6} 31min rijden ^{4,6} 3min remmen ^{4,6} 30min na transport ⁴ 99 min	30min voor transport ⁴ 2min optrekken ^{4,7} 19min rijden ^{4,7} 2min remmen ^{4,7} 30min na transport ⁴ 84 min
500km	O.b.v. gemiddelde deur-tot-deur reisduur voor de steden Basel, Straatsburg, Frankfurt Hamburg en Stuttgart ¹ 243 min	O.b.v. gemiddelde deur-tot-deur reisduur voor de steden Basel, Straatsburg, Frankfurt Hamburg en Stuttgart ¹ 374 min	30min voor transport ⁴ 6min optrekken ^{4,5} 15min tussenstop ^{4,5} 74min rijden ^{4,5} 4min remmen ^{4,5} 30min na transport ⁴ 158 min	30min voor transport ⁴ 6min optrekken ^{4,6} 14min tussenstop ^{4,6} 61min rijden ^{4,6} 3min remmen ^{4,6} 30min na transport ⁴ 143 min	30min voor transport ⁴ 2min optrekken ^{4,7} 9min tussenstop ^{4,7} 39min rijden ^{4,7} 2min remmen ^{4,7} 30min na transport ⁴ 112 min
750km	O.b.v. gemiddelde deur-tot-deur reistijd voor de steden Berlijn, Dresden, Praag, Lyon, München en Geneve ¹ 266 min	O.b.v. gemiddelde deur-tot-deur reistijd voor de steden Berlijn, Dresden, Praag, Lyon, München en Geneve ¹ 503 min	30min voor transport ⁴ 6min optrekken ^{4,5} 29min tussenstop ^{4,5} 112min rijden ^{4,5} 4min remmen ^{4,5} 30min na transport ⁴ 210 min	30min voor transport ⁴ 6min optrekken ^{4,6} 27min tussenstop ^{4,6} 192min rijden ^{4,6} 3min remmen ^{4,6} 30min na transport ⁴ 187 min	30min voor transport ⁴ 2min optrekken ^{4,7} 18min tussenstop ^{4,7} 58min rijden ^{4,7} 2min remmen ^{4,7} 30min na transport ⁴ 141 min

¹ Voor de huidige situatie van vliegverkeer en HSL hanteren we de opgave conform eerder onderzoek van Royal HaskoningDHV (2018), waarbij we een gemiddelde hanteren van een beperkt aantal (genoemde) steden die nabij de betreffende afstand liggen.

² Gehanteerde theoretische maximum snelheid conform eerder onderzoek uitgevoerd door Hardt (2020)

³ Snelheid o.b.v. interview Hardt Hyperloop en rapportage Hardt Hyperloop (2020)

⁴ Generieke aannames theoretische deur-tot-deur reistijd: 1) 30 minuten voor- én na transport, 2) Voor 500km hanteren we 1 tussenstop, voor 750km hanteren we 2 tussenstops, 3) halteertijd tussenstop 5 minuten, 4) totale tijd tussenstop is inclusief de benodigde tijd voor remmen/optrekken, 5) Rijtijd op basis van totale afstand en maximale snelheid, gecorrigeerd voor afgelegde weg gedurende remmen/optrekken, 6) uitgegaan van een eenparig versnelde beweging

⁵ Gehanteerde duur optrekken (6 min)/ remmen (3,5 min) HSL o.b.v. eerder onderzoek uitgevoerd door Connor (2012)

⁶ Gehanteerde duur optrekken (5,5 min)/ remmen (3 min) Maglev o.b.v. eerder onderzoek uitgevoerd door Vuchic & Casello (2002)

⁷ Gehanteerde versnelling/vertraging van 0.15 G Hyperloop o.b.v. interview Hardt Hyperloop

Thank you

pwc.nl

© 2020 PwC. All rights reserved. Not for further distribution without the prior written permission of PwC.

"PwC" refers to the network of member firms of PricewaterhouseCoopers International Limited (PwCIL), or, as the context requires, individual member firms of the PwC network.

Please see www.pwc.com/structure for further details.