

De status en het potentieel voor Vlaanderen van het vervoersconcept 'Hyperloop'

Verkennde studie in opdracht van het Vlaamse Agentschap Innoveren en Ondernemen (VLAIO)

Mei 2019

Studie uitgevoerd door:

Deloitte.

**antwerp
management school**
Powered by the University of Antwerp

VIL
EMPOWERING
LOGISTICS

HARDT
HYPERLOOP

Inhoudstafel

1. Executive Summary.....	3
2. Inleiding.....	11
3. Overzicht van de huidige academische inzichten in het Hyperloopconcept.....	13
3.1. Definitie en historiek van de Hyperloop.....	13
3.2. Geanalyseerde academische publicaties.....	14
3.3. Technische eigenschappen van de Hyperloop.....	15
3.4. Geïdentificeerde knelpunten en obstakels.....	18
3.5. Kost van de Hyperloop.....	19
3.6. Impacten van het Hyperloopconcept.....	20
3.7. Benchmark van het Hyperloopconcept met bestaande vervoersmodi.....	23
3.8. Relevantie van het Hyperloopconcept voor goederenvervoer.....	28
3.9. Conclusies uit de literatuur.....	29
4. Pad naar implementatie en commercialisatie.....	31
4.1. Technische Ontwikkeling.....	31
4.2. Publieke aanvaarding.....	34
5. Bouwstenen van het Hyperloopconcept.....	35
5.1. Kerntechnologie.....	35
5.2. Constructie.....	39
5.3. Logistieke en operationele elementen.....	41
6. Relevant ecosysteem in Vlaanderen voor het Hyperloopconcept.....	45
6.1. Industrie.....	45
6.2. Academische instellingen.....	47
6.3. Mapping van de opportuniteiten voor Vlaanderen.....	50
7. Analyse van de wereldwijde en Europese context.....	53
7.1. Overzicht van relevante Spelers in de Hyperloopwereld.....	53
7.2. Initiatieven richting standaardisatie en regelgeving.....	59
7.3. Conclusies rond de Europese context.....	61
8. Huidig en toekomstig beeld van het Vlaamse vervoerslandschap.....	62
8.1. Personenvervoer.....	62
8.2. Goederenvervoer.....	62
9. Potentieel Hyperloop traject in Vlaanderen.....	65
9.1. Mogelijke Hyperlooptrajecten in Vlaanderen.....	65
9.2. Evaluatie van mogelijke trajecten.....	67

10.	Impactanalyse	72
10.1.	Inleidend kader	72
10.2.	Inschatting van de kosten	74
10.3.	Directe impacten van Hyperlooptraject.....	78
10.4.	Indirect impacten van Hyperlooptraject.....	88
11.	Overzicht van de drempels in het brede regelgevende kader.....	91
11.1.	Impactanalyse op basis van de huidige regelgeving.....	91
11.2.	Future of Regulation	95
11.3.	Conclusies rond het regelgevende kader.....	99
12.	Beleidsaanbevelingen en Roadmap.....	101
13.	Lijst van figuren.....	107
14.	Lijst van tabellen	108

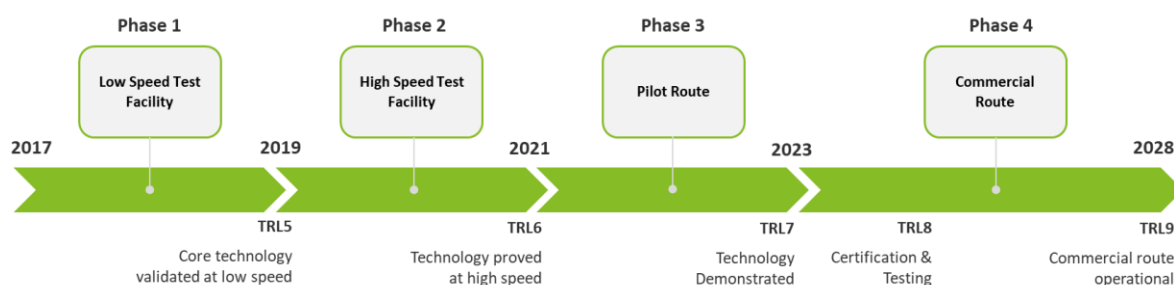
1. Executive Summary

De Hyperloop is een conceptuele vervoersmodus waarover sinds enkele jaren wereldwijd wordt nagedacht, en die door voorstanders vaak wordt omschreven als een belangrijke alternatieve vervoersmodus. Het Hyperloopconcept biedt in theorie een aantal interessante voordelen ten opzichte van andere transportmodi. Een 'pod' (het voertuig) kan in de vacuümbuis op een energie-efficiënte en comfortabele manier aan snelheden tot maximaal 1200 km/u reizen.

In dit rapport wordt het potentieel van het concept 'Hyperloop' voor Vlaanderen geëvalueerd, zowel voor het vervoer van passagiers als van goederen. In deze analyse wordt enerzijds gekeken naar de opportuniteiten voor de Vlaamse industrie en kennisinstellingen om bij te dragen aan de ontwikkeling van de Hyperlooptechnologie. Anderzijds worden de impact en attractiviteit van een Hyperlooptraject doorheen Vlaanderen geanalyseerd.

Dit rapport wordt ondersteund door een uitgebreide wereldwijde literatuurstudie naar het concept (samengevat in hoofdstuk 3). Hieruit blijkt dat de focus van het concept tot op heden vooral ligt op het vervoeren van passagiers, en dat er voor goederenvervoer slechts in beperkte mate reeds onderzoek werd gedaan. De literatuur bevestigt duidelijk de theoretische haalbaarheid van de technologie als waardevolle nieuwe vervoersmodus voor afstanden tot 1500km, maar onderlijnt ook dat er nog veel onzekerheden zijn op technisch, financieel en regelgevend vlak.

Aanzienlijke investeringen en tijd zijn nodig om het Hyperloopconcept verder te ontwikkelen richting commercialisatie. Vandaag worden er op enkele locaties wereldwijd ontwikkelingstesten uitgevoerd, in op maakt gemaakte faciliteiten van enkele tientallen meters (vb. in Nederland) tot enkele kilometers (bv. in de Verenigde Staten en binnenkort in Frankrijk). Eind 2017 stemde de Nederlandse Tweede Kamer unaniem vóór het verder onderzoeken van een testtraject van 5km in Nederland. **Een eerste commerciële Hyperloopimplementatie wordt allicht niet voor 2028 verwacht,** waarbij momenteel een traject in Indië de meest waarschijnlijke kandidaat lijkt.

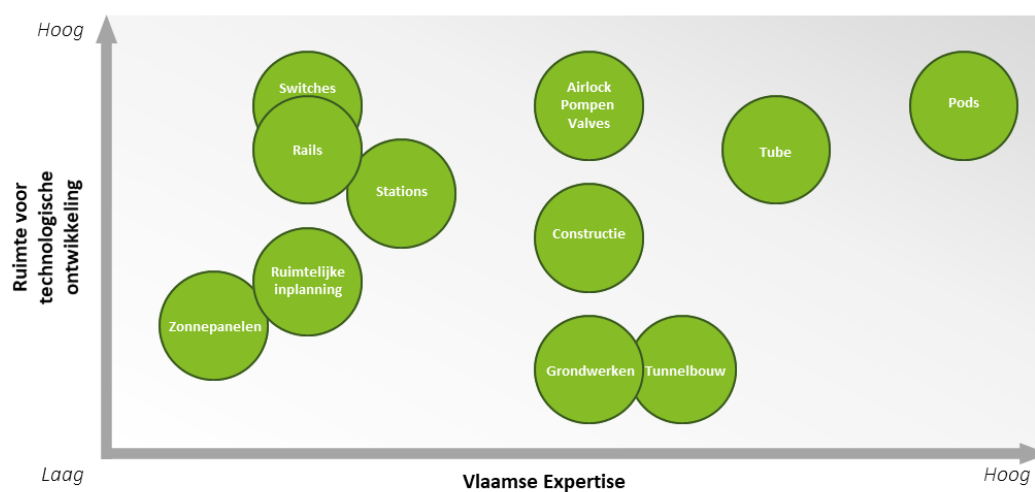


Roadmap voor commercialisatie van de Hyperloop

Om de Hyperloop op een holistische manier te benaderen werd het concept uitgesplitst in 3 verschillende aspecten: de kerntechnologie, de constructienoden en de logistieke en operationele elementen. Elk van deze 3 categorieën bestaat uit een aantal concrete componenten of 'bouwstenen', die allen een essentieel onderdeel vormen van het concept (besproken in hoofdstuk 5). Uit analyse van het Vlaamse industriële ecosysteem en van de Vlaamse kennisinstellingen **lijkt dat Vlaamse bedrijven en onderzoeksgroepen de expertise en capaciteit hebben om bij te dragen aan de ontwikkeling van heel wat kerntechnologie- en constructiecomponenten van de Hyperloop.** Het is echter vooral belangrijk te definiëren in welke technische gebieden Vlaanderen een

differentiërende competentie heeft, en een maximale impact kan hebben op de verdere doorontwikkeling en commercialisatie van het concept.

In hoofdstuk 6 wordt geïdentificeerd dat de Vlaamse differentiërende expertise vooral ligt in het ontwikkelen van de Hyperloopvoertuigen ('pods'). Vlaanderen telt heel wat bedrijven die gespecialiseerd zijn in het werken met hoogtechnologische composietmaterialen (die nodig zijn voor de pods) en/of actief zijn in de ruimtevaartindustrie. Deze expertise zou in principe transfereerbaar moeten zijn naar de ontwikkeling van Hyperlooppods (en sub-componenten). Ook op academisch niveau staat Vlaanderen hier sterk. Daarnaast kan Vlaanderen ook bijdragen aan de ontwikkeling van de Hyperloopbuizen ('tubes') en de luchtsluizen en -pompen die deze buizen luchtledig moeten maken. **Het is echter belangrijk op te merken dat vooralsnog geen enkel Vlaams bedrijf of onderzoeksinstelling actief bijdraagt aan de ontwikkeling van de Hyperloop¹, en dat er dus weinig tot geen kennis of momentum bestaat rond het concept.**



Mapping van de bouwstenen van de Hyperloop betreffende opportuniteit voor Vlaanderen

De Hyperloopindustrie bestaat vandaag uit een handvol relevante spelers. De 2 grootste bedrijven - Virgin Hyperloop One, ondersteund door het Virgin concern van Richard Branson, en Hyperloop Transportation Technologies - zijn gebaseerd in de Verenigde Staten en hebben significante hoeveelheden kapitaal opgehaald (respectievelijk \$ 196M en \$ 31M). Daarna volgen een aantal kleinere spelers die in Europa gebaseerd zijn. Eén van de meest mature en relevante van deze Europese spelers is het Nederlandse Hardt Hyperloop, (zij droegen ook als expert bij aan dit rapport), dat in 2016 ontstond uit een studententeam van de TU Delft dat participeerde aan de 'Hyperloop Pod Competition' van ruimtevaartbedrijf SpaceX, en intussen 28 medewerkers in dienst heeft. Zij hebben een consortium van investerende industriepartners uitgebouwd (o.a.; de Nederlandse Spoorwegen, KLM, Schiphol, BAM en Tata Steel). Zij maakten ook een positieve business case voor het Hyperlooptraject Amsterdam – Schiphol.

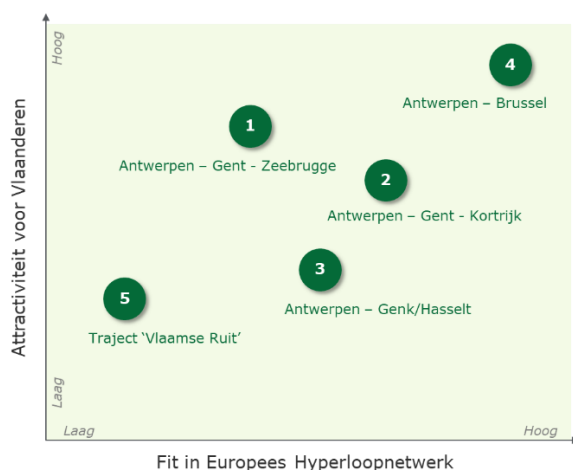
Haast alle bestaande Europese spelers (incl. Hardt Hyperloop) zijn ontstaan uit universitaire studententeams. Zij zijn - in hun thuislanden - een sterke katalysator gebleken voor het opwekken van publieke interesse in het concept, en zijn er allen in geslaagd een netwerk van nationale industriespelers, overheden en onderzoeksinstellingen rond zich te verzamelen, die hen zowel technisch als financieel ondersteunen. **Gezien de beperkte kennis van het Hyperloopconcept in Vlaanderen vandaag, lijkt het aanmoedigen van relevante universitaire departementen en**

¹ Actieve bijdragen volgens de analyses en gesprekken die werden uitgevoerd voor de opmaak van dit rapport. Zie hoofdstuk 6

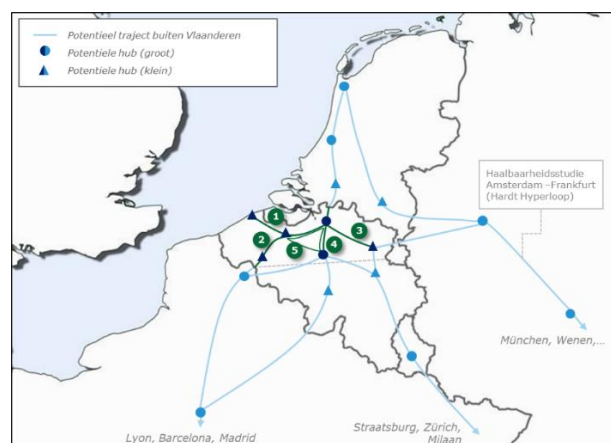
onderzoeksgroepen een goede manier om, met weinig risico en beperkte publieke investeringen, een Vlaams ecosysteem rond de Hyperloop te creëren.

Een aantal van deze Europese spelers startten in 2018 samen een Europees standaardzettingsproces voor de Hyperloop op, dat in 2021 tot de eerste normen op EU-niveau moet leiden. Vertegenwoordigers van relevante industrieën, consumentenverenigingen en overheden zullen de kans hebben om bij te dragen aan dit proces, dat wordt begeleid door de Europese standaardzettingsagentschappen CEN en CENELEC, gevestigd in Brussel. **Landen die de kennis hebben om actief bijdragen aan dit proces zullen een sterke expertise kunnen opbouwen over het Hyperloopconcept.**

Een potentieel Hyperlooptraject in Vlaanderen moet steeds voldoen aan 2 voorwaarden: ten eerste moet het passen binnen de prioriteiten van de Vlaamse ruimtelijke strategie én een voldoende volume van passagiers en goederen kunnen vervoeren. Ten tweede, aangezien Vlaanderen te klein is voor een op zichzelf staande Hyperlooproutte, moet elk traject in Vlaanderen passen in een grensoverschrijdende Europese context. In de high-level analyse die werd uitgevoerd als onderdeel van dit rapport kwam het traject Antwerpen – Brussel (met doorverbinding naar Amsterdam en Parijs) als meest attractief naar voren. Deze analyse is louter indicatief en werd slechts gemaakt om op een concrete manier de impacten van een Vlaams traject te kunnen evalueren. Het is geen aanbeveling naar de ontwikkeling van dit traject toe, waarvoor een meer gedegen haalbaarheidsanalyse nodig is.



Analyse van mogelijke Vlaamse Hyperlooptrajekten



Inpassing van mogelijke Vlaamse traject in Europese logica

Dit traject zou ongeveer 100km lang zijn op het Vlaamse grondgebied, en zou in theorie passagiers en goederen in 6 minuten kunnen vervoeren tussen Antwerpen en Brussel. Het volledige (Europese) traject tussen Amsterdam en Parijs zou 61 min innemen, 75% sneller dan de hogesnelheidstrein vandaag, en minstens 20% sneller dan per vliegtuig. **De totale investeringskost van het traject op Vlaams grondgebied zou € 3,3 miljard bedragen, met jaarlijkse operationele kosten (onderhoud, energie, voorzieningen) van € 170 miljoen.** Uiteraard zijn verschillende financieringsmodellen mogelijk, maar publiek-private samenwerking lijkt waarschijnlijk, gezien de uitdagingen op het niveau van inplanting en regelgeving.

Dit Vlaamse traject zou op jaarbasis ongeveer 15,64 miljoen passagiers (2400 per uur) of 5 miljoen ton goederen kunnen vervoeren. In de analyse in dit rapport wordt uitgegaan van een 50/50 split tussen passagiers en goederen (8,32 miljoen passagiers en 2,5 miljoen ton goederen).

Voor vliegverkeer is de ingeschatte 'modal shift' (het fenomeen waarbij passagiers van de ene vervoersmodus naar een andere verschuiven) naar het Hyperlooptraject zéér significant (90 % van alle passagiersverkeer tussen Schiphol, Brussels Airport, Paris CDG), aangezien de Hyperloop op verscheidene vlakken een betere waarde-propositie aanbiedt dan korte-afstandsvluchten (vb. snelheid, prijs, milieu-impact,...). Ook de modal shift van de hogesnelheidstrein (in casu: Thalys) is hoog: 70%. Daarnaast kan ongeveer 8% van alle personenwagenverkeer op de hoofdsnelweg tussen Antwerpen en Brussel (E19) verschoven worden naar de Hyperloop.

De gemodelleerde Hyperloop kan de attractiviteit van de luchthavens op traject als multimodale en duurzame transportknooppunten versterken. Het directe cargotransport tussen de 3 luchthavens is beperkt (27 000 ton), vanwege de korte afstand. Daarnaast wordt echter tussen de luchthavens echter wel een significant volume van goederen via vrachtwagen vervoerd door logistieke integratoren. Vanwege het doorgaans beperkte voor- en natraject van deze verplaatsingen, zijn ze zeer geschikt voor verschuiving naar de Hyperloop. Naast deze luchthavenspecifieke volumes kan ook nog een significant deel van het andere vrachtwagenverkeer vervangen worden. In totaal zou 8% van alle vrachtwagenvervoer tussen Antwerpen en Brussel kunnen verschuiven naar de Hyperloop.

Uit de analyse blijkt dat de volledige capaciteit van het Hyperlooptraject in Vlaanderen kan worden opgevuld. De capaciteit van de Hyperloop zou in principe verder kunnen worden vergroot door bijvoorbeeld grotere pods, meerdere parallelle buizen of een tragere gemiddelde snelheid. De reële capaciteit van de Hyperloop kan dus nog sterk verschillen van de gemiddelde capaciteiten die vandaag in de literatuur (en in dit rapport) gebruikt worden.

Type	Modus	Vervangen Volume	Aandeel van capaciteit
Reizigers	Luchtvaart	1,53 miljoen personen	9%
	Treinverkeer (HST)	3,85 miljoen personen	23%
	Wegverkeer	2,49 miljoen personen	18%
	Totaal Reizigers	8,32 miljoen personen	50%
Goederen	Luchtvaart	27 000 ton	1%
	Wegverkeer	2, 473 miljoen ton	49%
	Totaal Goederen	2,5 miljoen ton	50%

Volume van traditionele vervoersmodi dat kan verschuiven naar de Hyperloop op het geïdentificeerd traject (op jaarbasis)

Aangezien de Hyperloop significant sneller is dan alle traditionele modi, kan deze tijdsbesparing ook vertaald worden naar een maatschappelijke waarde voor werknemers en werkgevers. Hoe minder tijd er wordt gependend in het verkeer, hoe meer tijd er immers over is voor productieve activiteiten. **Deze maatschappelijke waarde wordt ingeschat op ongeveer € 72 miljoen op jaarbasis voor het gemodelleerd traject.**

Dankzij de modal shifts van bestaande modi richting de Hyperloop zou het totaal energieverbruik van transport met 520,1 GWh afnemen. Dit is een vermindering van 0,9% ten opzichte van de huidige totale energieconsumptie van de transportsector in Vlaanderen. Als gevolg zou dit Hyperlooptraject de totale CO₂-uitstoot van de Vlaamse transportsector met 0,8% kunnen verminderen (~140 000 ton CO₂/jaar).

De gemodelleerde modal shift van het wegverkeer tussen Antwerpen en Brussel naar de Hyperloop, zou eveneens een significante positieve impact hebben op de filezwaarte en voertuigverliesuren tussen de 2 steden. Het is echter moeilijk in te schatten (binnen het kader van dit rapport) wat het langdurig effect is op de wegverzadingsgraad, aangezien een tijdelijke vermindering van het wegvolume mogelijk nieuw verkeer zal aanzuigen. De Hyperloop biedt Brussels Airport wel de opportuniteit om vluchten van korte afstand naar Amsterdam en Parijs sterk te verminderen, en

zodoende de milieu- en geluidsoverlast van de luchthaven te doen dalen, of om de vrijgekomen capaciteit - ~1% van alle vliegbewegingen – te benutten voor vluchten op langere afstand.

De Hyperloop kan ook een significante maatschappelijke impact teweegbrengen. Zo is het bijvoorbeeld belangrijk te erkennen dat de ruimtelijke inplanting van de stations en het traject in Vlaanderen een bijzondere uitdaging kan vormen, waarbij het 'NIMBY'-effect – zoals bij andere grootschalige infrastructuurprojecten - een specifiek obstakel vormt. Bovendien is de Hyperloop, als *point-to-point* transportsysteem, afhankelijk van een robuuste multimodale ontsluiting van de stations voor last-mile verkeer. Hier heeft Vlaanderen tot op heden een eerder matig 'track record'. **Hiertegenover staan wel een aantal significante socio-economische voordelen. De aanwezigheid van een Hyperloop kan leiden tot de versterking van logistieke en industriële activiteiten in zijn nabijheid, én kan bijdragen tot de ontwikkeling van innovatieve high value clusters** van technologiebedrijven. De zones in en rond de Hyperloopstations zouden kunnen uitgroeien tot attractiepolen voor binnen- en buitenlandse investeerders, met additionele positieve 'spillover' effecten die gunstig zijn voor de Vlaamse economie en het innovatielandschap.

Ook kan een Hyperloop leiden tot een gewijzigde perceptie van woon- en werkafstanden, waarbij bijvoorbeeld wonen in Amsterdam en werken in Brussel perfect mogelijk wordt. Echter moet hier wel bij vermeld worden dat - vanwege limieten op de capaciteit - deze impact in eerste instantie mogelijk beperkt blijft. Indien de Hyperloop zijn theoretisch sterke waardepropositie in de praktijk kan waarmaken, zou de groei van de vraag naar Hyperloopvervoer het beschikbare aanbod (capaciteit) kunnen overstijgen. Aangezien het moeilijk is om de piekruurcapaciteit op korte termijn verder te verhogen, moet hier nagedacht worden hoe men passagierssegmenten (en/of goederen) zal prioriteren op een duurzame manier

Tot op heden ligt weinig focus op wetgeving voor de uitrol van de Hyperloop. Nochtans zijn er wel degelijk een aantal cruciale juridische hinderpalen of belemmeringen te detecteren. Net zoals bij andere grote en grensoverschrijdende infrastructuurprojecten, zal de complexe ruimtelijke inpassing uitdagingen met zich meebrengen op vlak van ruimtelijke ordening en stedenbouw. De aanleg van een Hyperlooptraject zal nopen tot mogelijke planwijzigingen en vergunningen, waarbij klachten en/of beroepen het vergunningsproces aanzienlijk kunnen verlengen.

Gelet op de technische specificiteit van de Hyperloop – waarbij een zo recht mogelijk traject lijkt te moeten worden aangehouden en er idealiter specifieke stations zouden moeten worden voorzien om overstappen zo efficiënt mogelijk te maken – lijkt er op het eerste gezicht niet zomaar gebruik te kunnen worden gemaakt van bestaande erfgoedwaarden (voor significante delen van het traject). **Onteigeningen en het vestigen van nieuwe erfgoedwaarden van openbaar nut voor de aanleg van het tracé, zullen dus eveneens tijd in beslag nemen en nopen tot schadeloosstellingen.**

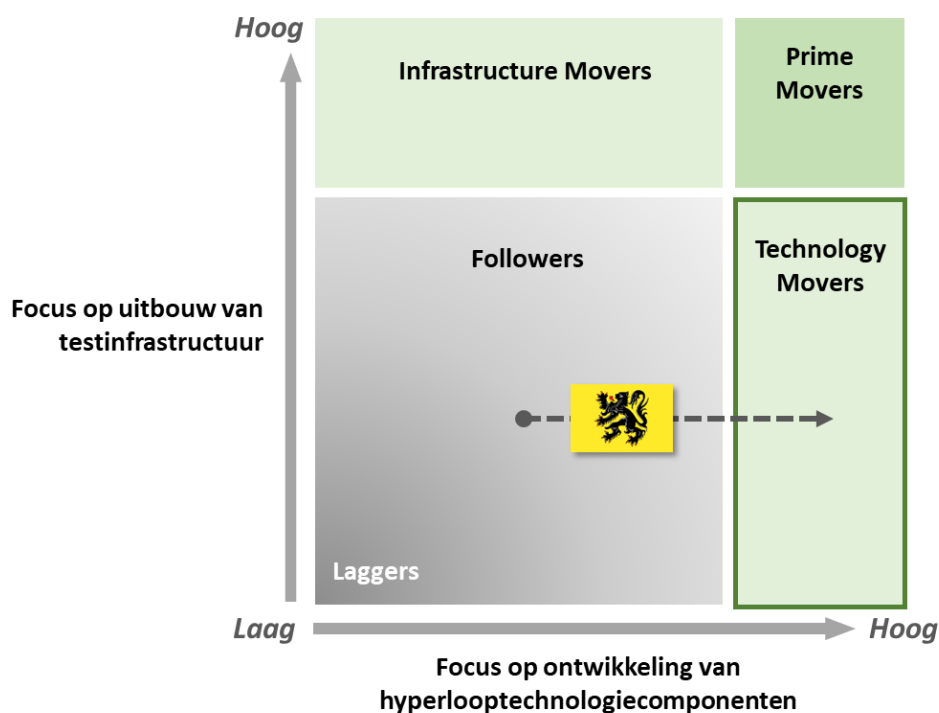
Op vlak van mobiliteit, interoperabiliteit en veiligheid, is er nood aan ontwikkeling van standaarden en een eigen set van regels voor deze nieuwe modus en zijn er aandachtspunten inzake aansprakelijkheid. Hoewel er van start is gegaan om Europese standaardisatie te bewerkstelligen, zal dit proces nog een aantal jaren in beslag nemen. Zeker in geval van een autonoom rijdende Hyperloop, kan tevens worden verwacht dat andere aansprakelijkheidssystemen dan de klassieke foutaansprakelijkheid aan belang zullen winnen, zoals de productaansprakelijkheid.

De nood aan aanpassing van de huidige regelgeving lijkt dan ook evident, maar lijkt zich in Nederland bijvoorbeeld tot op heden enkel te beperken tot het testgebied voor de Hyperloop. Op basis van deze regelgeving zijn er afwijkingen mogelijk van de bouwtechnische voorschriften, evenals afwijkingen van de verplichting een omgevingsvergunning te bekomen. Voor de effectieve aanleg van een gans traject,

kan evenwel niet zomaar worden teruggeslagen naar regelluwe of experimentenregelgeving. Het uithollen van grondrechten moet worden vermeden. **Daarenboven lijkt de effectieve aanpassing van de regelgeving pas aan de orde van zodra er bijvoorbeeld Europese standaarden ontwikkeld zijn. Op korte termijn is nauwgezette opvolging hiervan aangewezen.**

Vlaanderen is een Europees logistiek centrum vanwege zijn gunstige ligging en sterk uitgebouwde infrastructuur. Om deze attractiepool voor binnen- en buitenlandse industriële investeringen in Vlaanderen te bestendigen moet Vlaanderen verzekeren dat het gezien wordt als strategisch onderdeel van een potentieel Europees netwerk. Op basis van de verschillende analyses in dit rapport en de input van experts wordt een roadmap van acties aanbevolen, met als primair doel Vlaanderen dicht bij het Hyperloopconcept te brengen naarmate de technologie zich ontwikkelt over de volgende jaren.

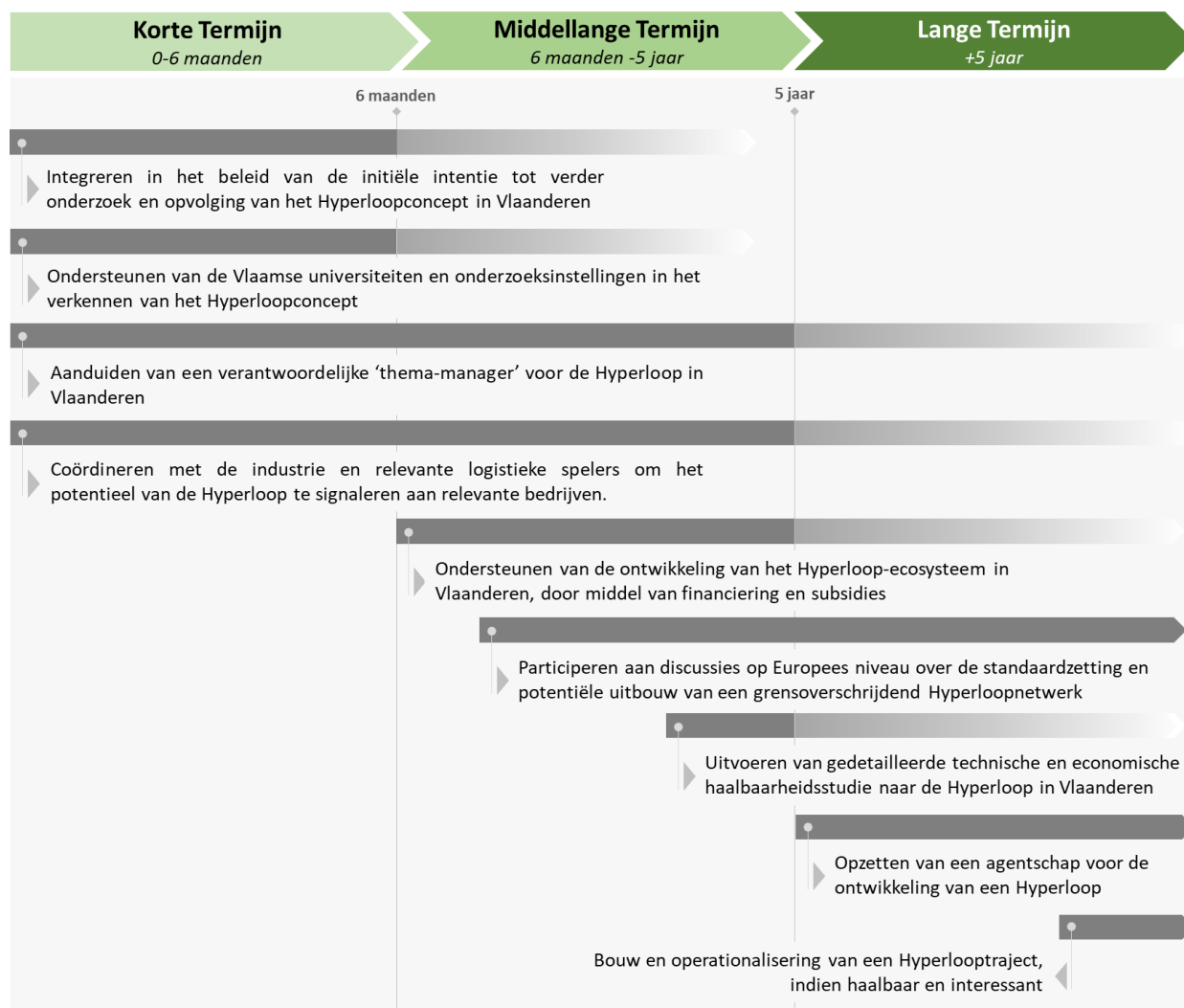
Een strategie als *'Technology Mover'* wordt aangeraden, **waarbij Vlaanderen zich focust op het bijdragen aan de ontwikkeling van de componenten van het Hyperloopconcept waarvoor het een sterke industriële capaciteit en academische kennis heeft. De uitbouw van (test)infrastructuur wordt in eerste instantie overgelaten aan andere landen, omdat dit zeer kostelijk is en zodoende duurzame politieke steun op het hoogste niveau vereist. Bovendien staan buurlanden als Nederland en Frankrijk hier al enkele stappen verder, waardoor dit strategisch minder waardevol is voor Vlaanderen.**



Strategisch speelveld in de ontwikkeling van het Hyperloopconcept

Deze *'Technology Mover'* strategie laat Vlaanderen toe om een aantal belangrijke *'no-regret moves'* te maken op korte termijn (met beperkt financieel risico), en klaar te zijn voor grotere investeringen wanneer het concept op lange termijn meer rijp wordt. Gezien de lange voorbereidingstermijnen en brede kennis die een complex infrastructuurconcept als de Hyperloop vereisen, is het echter belangrijk om reeds op korte termijn een aantal concrete acties op te starten in Vlaanderen.

De concrete aanbevelingen voor Vlaanderen kunnen worden opgesplitst in 3 tijdshorizonten: korte termijn, met prioritaire *no-regret* acties (0-6 maanden), middellange termijn (6 maanden -5 jaar) en lange termijn (+5 jaar).



Voorgestelde roadmap van acties voor Vlaanderen

Studie: Wat is de status en het potentieel voor Vlaanderen van het vervoersconcept "Hyperloop"?
In opdracht van VLAIO

2. Inleiding

Sinds de introductie van de 'Hyperloop' door de Zuid-Afrikaanse ondernemer Elon Musk in 2012, is er heel wat belangstelling ontstaan voor het concept en wat de impact zou kunnen zijn op de toekomst van mobiliteit en transport. In de voorbije jaren zijn verschillende bedrijven opgericht die geloven in de commercialisatie van de Hyperloop, en actief de technologie onderzoeken en ontwikkelen. Dit heeft geleid tot een groeiende interesse van het brede publiek en globale media-aandacht voor het concept. Overheden wereldwijd zien in de Hyperloop een mogelijke opportuniteit om transport efficiënter en sneller te maken, maar hebben ook vragen bij de technologische en economische haalbaarheid.

Het Vlaams Agentschap Innoveren & Ondernemen bestelde deze studie naar de status en het potentieel voor Vlaanderen, met als doelen:

- Objectief en neutraal na te gaan wat de (internationale) status en het potentieel voor Vlaanderen is inzake de ontwikkelingen van en rond de Hyperloop als alternatieve vervoersmodus;
- Alsook een vertaalslag te maken van de kansen hierin voor logistiek Vlaanderen;
- Onderzoeken waar en hoe de activiteiten van Vlaamse bedrijven en kennisinstellingen kunnen ingesloten worden in de Europese Hyperloop initiatieven.

Wat is de Hyperloop?

Een éénduidige afbakening van het te onderzoeken concept is belangrijk. Op basis van de literatuurstudie vervat in dit rapport kan de Hyperloop omschreven worden als:

'Een transportmodus voor passagiers, goederen of beide, die boven en/of ondergronds wordt aangelegd en gebruikt maakt van verbonden luchtledige buizen om aangepaste voertuigen tegen niet-conventionele (zeer hoge) snelheid te vervoeren.'

De passagiers of goederen reizen door bijna-vacuümbuizen op magnetische rails. De passagiers of goederen vertoeven in een afgesloten voertuigen of 'pods'; die worden voortgestuwd door een lineaire motor. De autonoom aangestuurde pods ervaren door de combinatie van bijna-vacuüm en de magnetische voorstuwing amper frictie. Andere elementen zijn bijkomstig. Zo kan de buis ondergronds worden ingepland, maar dit is geen vereiste. Doorgaans wordt er uitgegaan van een bovengrondse inplanting (op pylonen) in landelijke gebieden, gecombineerd met de aanleg in tunnels - waar nodig - in meer stedelijke gebieden.

Op dit moment zijn er nog geen precieze standaarden voor de technische eigenschappen van de Hyperloop, en ontwikkelen verschillende partijen (licht) afwijkende concepten. De huidige staat van de technische ontwikkeling van de Hyperloop wordt verder in dit rapport besproken.

Waarom werkt men aan het Hyperloopconcept?

Het Hyperloopconcept biedt in theorie een aantal interessante voordelen ten opzichte van andere transportmodi. Een pod kan in de vacuümbuis op een **energie-efficiënte en comfortabele manier aan een hoge snelheid reizen**. Snelheden analoog aan die van de commerciële luchtvaart kunnen hierdoor bereikt worden, tot maximaal 1200 km/u. Dankzij de frictie-lage omgeving zou de uitstoot van schadelijke stoffen per vervoerde passagier of vervoerd goed lager liggen dan bij traditionele modi

zoals de (vracht)wagen, trein of vliegtuig. Dit maakt van de Hyperloop in theorie niet enkel een ecologische mobiliteitsoplossing voor de toekomst, maar kan het ook bijdragen aan het verminderen van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen. Bovendien is de Hyperlooptechnologie in principe toepasbaar in elk soort van klimaat en wordt het niet beïnvloed door weersomstandigheden.

Omdat het Hyperloopconcept nog in ontwikkelingsfase is en nog niet werd gerealiseerd blijven er vandaag uiteraard stevige vraagtekens bij de haalbaarheid van de technologie. Zo is het onduidelijk hoe groot de positieve impact van bovenstaande voordelen zou zijn, en of deze kunnen opwegen tegen de kosten verbonden aan de technologie. In dit rapport worden de impacten en de kosten geëvalueerd, toegepast op de Vlaamse context.

Inhoud van dit rapport

Een eerste onderdeel van dit rapport omvat een objectieve analyse van de wereldwijde beschikbare literatuur en studies naar het Hyperloopconcept. Dit is belangrijk om een duidelijk beeld te schetsen van de huidige staat van ontwikkeling het concept, de inschatting van de technische en economische haalbaarheid en de vergelijking met bestaande transportmodi. Op basis van deze analyse van alle voorgaand onderzoek naar de Hyperloop kunnen een aantal eerste algemene conclusies worden gemaakt.

Daarna wordt verduidelijkt welk pad en tijdslijn richting commercialisatie het Hyperloopconcept momenteel nog voor zich heeft. Door de technologie op te splitsen in zijn granulaire sub-componenten of bouwstenen, kan de huidige staat van ontwikkeling van elke component worden gedefinieerd. Dit biedt de mogelijkheid om te bepalen waar de opportuniteiten liggen voor het Vlaamse industrie- en onderzoeksecosysteem om bij te dragen aan de ontwikkeling en commercialisatie van de Hyperloop.

In een analyse van de wereldwijde en Europese context wordt het huidige landschap van actieve spelers gekaderd en wordt geïdentificeerd welke Europese initiatieven vandaag en in de toekomst relevant zijn voor Vlaanderen.

Om het potentieel en de impact van een Hyperlooptraject in Vlaanderen te evalueren wordt eerst een interessante route binnen de context van een Europees Hyperloopnetwerk geïdentificeerd. Voor deze route worden dan op een richtinggevende manier de kosten en de directe en indirecte impact in kaart gebracht. Een evaluatie van het relevant regelgevende kader definieert de grootste obstakels voor de Hyperloop op juridisch niveau.

Tenslotte wordt op basis van het voorgaande een set van beleidsaanbevelingen gemaakt van mogelijke stappen voor Vlaanderen op korte en (middel)lange termijn.

3. Overzicht van de huidige academische inzichten in het Hyperloopconcept

In dit hoofdstuk wordt een objectieve analyse gemaakt van de wereldwijd beschikbare literatuur en gedaan onderzoek naar de Hyperloop. Deze literatuurstudie werd speciaal gemaakt als onderdeel van dit rapport. Enkele elementen uit deze studie werden op een andere plaats in dit rapport geïntegreerd of werden weerhouden uit de finale versie van dit rapport om bondig te kundig zijn.

3.1. Definitie en historiek van de Hyperloop

Een scan van hedendaagse online publicaties laat zien dat de meeste definities verwijzen naar Hyperloop als een **ultrasnel grondtransportsysteem, 'ultra-high-speed ground transport system'** (PC Magazine, 2018), **een (nieuwe) transportmodus** die gebruik maakt van **vacuümbuizen** waardoor **Pods/capsules** met hoge snelheid reizen (Nicol, 2018) of als een theoretisch transportsysteem dat **passagiers of goederen met hoge snelheid door een systeem van buizen** vervoerd (Davies, 2018). De term 'Hyperloop' wordt vaak toegewezen aan de ondernemer Elon Musk. Hyperloop is een handelsnaam en een geregistreerd handelsmerk van de Space Exploration Technologies Corporation (SpaceX) voor snel transport van passagiers en goederen in buizen. Dit handelsmerk is later expliciet **open-source** gemaakt, wat betekent dat andere partijen ook de term mogen gebruiken.

Ook in de wetenschappelijke literatuur is aandacht besteed aan dit concept. Auteurs als Janzen (2017) definiëren Hyperloop als een systeem dat gebaseerd is op **elektromagnetische aandrijving van voertuigen** in een **beschermde buisgeleiding**, waarvan de **luchtdruk wordt verminderd** en gecontroleerd voor betere prestaties bij hoge snelheid. Opgenoord en Caplan (2018) introduceren Hyperloop als een op de grond gebaseerd transportsysteemconcept om de **reistijden over middellange afstanden drastisch te verkorten**, terwijl Voltes-Dorta en Becker (2018) Hyperloop noemen als een voorgestelde nieuwe vervoerswijze **waarbij passagiers of vracht met zeer hoge snelheden in een vacuümbuis door een vacuümbuis** reizen. Alexander en Kashani (2018) verwijzen naar Hyperloop pods als **Ultra-High-Speed treinen**.

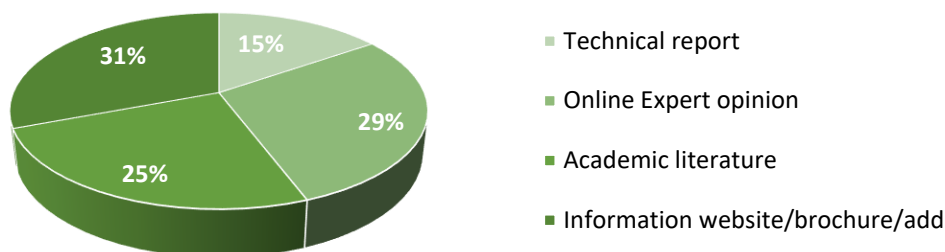
Voor dit onderzoek wordt de volgende definitie van Hyperloop gebruikt. Een Hyperloop is dus *'Een transportmodus voor passagiers, goederen of beide, die boven- en/of ondergronds wordt aangelegd en gebruikt maakt van verbonden luchtledige buizen om aangepaste voertuigen tegen niet-conventionele hoge snelheid te vervoeren.'*

Men moet echter opmerken dat vacuümtransport op basis van buizen meer dan 100 jaar geleden werd geconceptualiseerd. Een vroege versie van dit concept werd in 1909 door Weinberg (1917) en Goddard gepubliceerd in 1909 en 1914 (Clary, 2003). De focus van deze rapporten lag op het verkennen van de technische functionaliteiten van dergelijk concept. Het systeem van Goddard, gepatenteerd na zijn dood, omvatte in het ontwerp ook **vacuümpompen die de luchtdruk in de tunnel verminderen**, en een **voertuigontwerp dat door magneten werd voortgestuwd** (Goddard, 1950). Bijna 50 jaar eerder waren pneumatische spoorwegen een vroege voorloper van dit concept - met treinen die werden aangedreven door een drukverschil dat door ventilatoren in de buizen werd gecreëerd om kracht te leveren. Deze systemen dateren van voor de grootschalige ontwikkeling van vacuümtechnologie en konden niet profiteren van verminderde wrijving voor hogesnelheidsvervoer tussen de steden.

Het concept van een vacuümtrein (vactrain) is de afgelopen decennia verder ontwikkeld, waarbij gebruik is gemaakt van verbeteringen in industriële vacuümpomptechnologieën. Robert Salter stelde een systeem voor dat elektromagnetische aandrijving gebruikte en elektriciteit regeneerde tijdens het remmen. Het idee werd geponeerd om tunnels te delen met olie-, water- en gasleidingen (Salter, 1972), samen met de "very high speed transit" (VHST). Soortgelijke voorstellen zijn de "Evacuated tube transport" (ETT) in de jaren 1990 (US5950543A, 1999), "SwissMetro" in de jaren 1990-2000 (Jufer, Perret, Descoedres, & Trottet, 1993) en "Hyperloop" in 2013.

3.2. Geanalyseerde academische publicaties

Een literatuuronderzoek werd uitgevoerd naar publicaties van de afgelopen jaren (2013-2019) die focusten op Hyperloop. Dit overzicht heeft betrekking op 52 publicaties, waaronder technische rapporten, onlineadvies van deskundigen, wetenschappelijke literatuur en informatieve websites/brochures of reclame. Figuur 1 geeft het aandeel van elk in dit literatuuroverzicht weer.



Figuur 1: Samenstelling bronnen literatuuronderzoek.

Alleen technische rapporten en wetenschappelijke studies werden weerhouden voor het trekken van belangrijke conclusies. Onderstaande tabel lijst de geraadpleegde bronnen op, en definieert het onderzoeksthema per bron.

Studie/Rapport	Thema	
	Passagiers	Goederen
(Musk, 2013)	X	
(SpaceX - Hyperloop, 2015b)	X	
(Doppelbauer, 2016)	X	
(KPMG, Setterwalls, & Ramboll, 2016)	X	
(Taylor, Hyde, & Barr, 2016)	X	
(University of Cincinnati, 2016)	X	
(Werner, Eissing, & Langton, 2016)		X
(Dudnikov, 2017)		X
(Jacob, Phillip, Sunny, & George, 2017)	X	X
(Janzen, 2017)	X	X
(Opgenoord & et al., 2017)	X	
(Alexander & Kashani, 2018)	X	X
(Louppova, 2017)		X
(Pierce, 2017)	X	
(Davies, 2018)	X	
(Opgenoord & Caplan, 2018)	X	X

(Nicol, 2018)	X	
(Ranger, 2018)	X	
(Santangelo & Andrea, 2018)	X	X
(Virgin Hyperloop One, 2018)	X	X
(Voltes-Dorta & Becker, 2018)	X	

Tabel 1: Hyperooppotentieel volgens verschillende publicaties

Uit het overzicht van technische rapporten en wetenschappelijke publicaties in Tabel 1 blijkt dat de meeste publicaties over Hyperloop betrekking hebben op toepassingen in het personenvervoer en alleen de meest recente publicaties het potentieel voor goederenvervoer erkennen. De onderwerpen van deze publicaties variëren van technische ontwerpen, infrastructuurbeoordelingen, veiligheidstests tot economische rapporten. Doppelbauer (2016) bespreekt een aantal basiselementen met betrekking tot Hyperloop als passagiersvervoersysteem, zoals de benodigde energie en afstand om de maximale snelheid te bereiken zonder afbreuk te doen aan het comfort van de passagiers. Janzen (2017) voert een technisch onderzoek uit en toont de effecten van hogesnelheidsvoertuigen (pods) op hangende tunnelinfrastructuur, ook voor het personenvervoer. Santangelo en Andrea (2018) presenteren de belangrijkste subsystemen met betrekking tot het ontwerp van de infrastructuur en splitsen deze op in de fundamentele parameters en leidende fysische principes. De auteurs verwijzen niet direct naar de vraag of een Hyperloopsysteem uitsluitend wordt gebruikt voor passagiers of vracht. Weinig publicaties presenteren Hyperloop vanuit het perspectief van zowel passagiers als vracht: Opgenoord en Caplan (2018) of het rapport van Virgin Hyperloop One (2018) zijn uitzonderingen. In hoofdstuk 7 wordt een overzicht gegeven van de wereldwijde Hyperloopinitiatieven die momenteel actief zijn in onderzoek, ontwikkeling en implementatie van de technologie

De volgende secties geven meer details over Hyperloopsystemen en geven een uitgebreide studie van de beschikbare literatuur.

3.3. Technische eigenschappen van de Hyperloop

Deze sectie geeft een actuele stand van zaken van het onderzoek naar de belangrijkste technische kenmerken van de Hyperloop: de buisconstructie, de pods/capsules en stations.

3.3.1. Buis

Technisch onderzoek naar Hyperloop richt zich op het ontwikkelen en vastleggen van de noodzakelijke infrastructuur om het systeem te laten functioneren. Vacuümbuizen zijn het belangrijkste element bij de voorstuwing van de pods. Om de bouwkosten te verlagen, geven technische rapporten aan dat de buizen bovengronds kunnen worden geïnstalleerd en op betonnen pieren/pylonen worden gebouwd.

Hoewel de testfaciliteiten (beschreven in hoofdstuk 4) op dit moment op de grond geplaatste buizen gebruiken, worden de werkelijke Hyperloopbuizen ondersteund door een reeks pylonen. Ook ondergrondse segmenten zijn mogelijk. De bovengrondse buizen laten longitudinale slip voor thermische uitzetting en gedempte laterale slip toe om het risico van aardbevingen te verminderen. De afstand tussen de pylonen is van cruciaal belang om het juiste ontwerp van de infrastructuur te bereiken. De gemiddelde afstand is momenteel bepaald op 30 m. De zeer grote dynamische belasting van de pylonen wordt momenteel in geen enkele ontwerpnorm beschreven.

Vanuit een academisch perspectief zijn er ook studies die de structuur van de buizen en de pylonen onderzoeken. Janzen (2017) onderzoekt de dynamica van de tube en die van de interactie met het voertuig, onder andere de dynamische krachten die inwerken op pods in de tube en de natuurlijke

trillingskrachten op de tube zelf. Hij gebruikt het TransPod ultra-high-speed system als een case study. Alexander en Kashani (2018) beschrijft een studie over de dynamische respons van de overspanningen onder de nieuwe Hyperlooptreinen. Ze benadrukken de noodzaak om rekening te houden met de dynamica van bewegende massa. Zij beweren dat, wanneer het conceptuele ontwerp van de pods, de overspanningen en ondersteunende elementen zijn gedefinieerd, er nog steeds passende analyses moeten worden uitgevoerd.

3.3.2. Voertuig (pod)

Het Hyperloopconcept draait rond het transporteren van pods in een vacuümtube. Deze sectie geeft de state-of-the-art onderzoeksinitiatieven met betrekking tot pods weer.

De maximale theoretische snelheid die de pods door de tunnels bereiken is ongeveer 1.200 km/u. De pods moeten zo ontworpen zijn dat versnellen tot een hoge snelheid, de snelheid handhaven en veilig remmen geen probleem zijn. Op verschillende plaatsen in de tube moet lineaire versnellers worden geplaatst om de snelheid te beheersen.

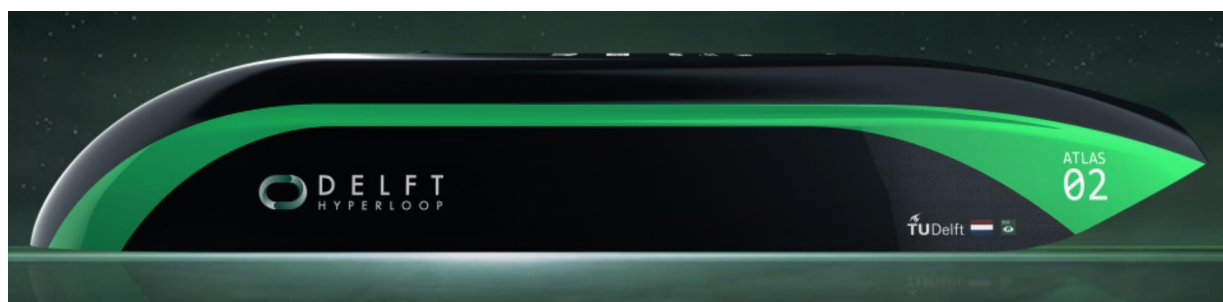
Hyperloop-wedstrijden georganiseerd door Space X richten zich vooral op pods. Het belangrijkste criterium om de prestaties van pods te beoordelen is de maximale snelheid bij een succesvolle vertraging (bv. zonder te crashen). Deze wedstrijden leiden tot het ontwerp van een grote verscheidenheid aan pods en daaropvolgende spin-offs gericht op pod design. In hoofdstuk 7 wordt dieper ingegaan op het belang van deze competities.

De meest actuele studies onderzoeken de dynamica van de pods in testomgevingen, waarbij men werkt met theoretische aannames voor passagiers of vracht. Bovendien werden deze tests tot nu toe enkel met tunnels zonder bochten uitgevoerd. In de toekomst zijn meer complete ontwerpstudies nodig om rekening te houden met extra elementen zoals het isoleren van de passagiers- en goederencompartimenten, prestaties en luchtstromen door hoeken of faalveilige remsystemen.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de belangrijkste kenmerken van de pods, zoals beschreven in de literatuur. De belangrijkste Hyperloopspelers gaan nu uit van voertuigen met een capaciteit van 20 tot 60 personen per pod. Er zijn drie soorten stabilisatiesystemen die worden getest: luchtlagers (air bearings), elektromagnetische ophanging en elektrodynamische ophanging (technologie vergelijkbaar met Maglev-systemen). Het aandrijfsysteem is afhankelijk van elektrische motoren of elektromagnetische inductie.

Length	Speed	Stabilization	Propulsion system
Tot 30m	<ul style="list-style-type: none">• Snelheid ontwerp: 1,200 km/u• maximum snelheid bij huidige testen: 387 km/u	<ul style="list-style-type: none">• Air bearing (luchtlagers);• Elektromagnetische ophanging;• Elektrodynamische ophanging.	<ul style="list-style-type: none">• Elektrische motoren;• Elektrische inductie.

Tabel 2: Eigenschappen van Hyperloop pods



Illustratie van testpod (TU Delft)

3.3.3. Hyperloopstations (terminals)

Deze sectie geeft een overzicht van de actuele resultaten met betrekking tot de technische kenmerken en het ontwerp van Hyperloopstations.

Vanuit een operationeel en beoogd capaciteitsperspectief stellen academische publicaties de volgende kenmerken. Delft Hyperloop (2016) geeft aan dat een frequentie van ongeveer 1 minuut nodig is voor vertrekkende Hyperlooppods. Voltes-Dorta en Becker (2018) gaan uit van een verwerkingstijd van 15 minuten of 30 minuten voor stations (dit omvat zowel laden als lossen). Andere studies met betrekking tot de verwerkingscapaciteit geven aan dat 3.600 passagiers per uur de afhandelingscapaciteit van boarding platforms moet zijn en dat elke gate ongeveer 180 passagiers per uur moet kunnen verwerken. Op basis van deze gegevens worden verschillende technische ontwerpen van Hyperloopstations voorgesteld om het in- en uitstappen van passagiers op de pods te vergemakkelijken.

Het Hyperloop Design (2015) team stelt een roterende carousel voor die snelle doorlooptijden (van 2 minuten) voor elke pod mogelijk maakt. RBSystems (2016b) heeft een ontwerpvisie uitgebracht voor een Hyperloopstation dat een verwachte omloopsnelheid van 1 pod per minuut garandeert. UNStudio (2018) biedt een visie op de toekomst van Europese Hyperloopstations en een studie over de stedelijke integratie van Hyperloop in steden en gemeenten van verschillende grootte. Zij wijzen erop dat modulariteit en integratie belangrijke kenmerken zijn van toekomstige Hyperloopstations.

Studies die kijken naar de koppeling van Hyperloopnetwerken met bestaande infrastructuur binnen steden benadrukken eveneens het belang van integratie. Stations binnen steden zijn beperkt in termen van ruimte, maar zouden gemakkelijk bereikbaar zijn voor een groot aantal passagiers, terwijl stations buiten de stad afhankelijk zijn van complementaire vervoerswijzen.

Het door Serge Roux (2016) voorgestelde concept volgt de principes van het eerste document van Musk (2013) over Hyperloop. Het is gebaseerd op een circulaire track om een continue stroom van pods te creëren waarom reizigers continu kunnen in- en uitstappen. Het station wordt hier voorgesteld als een twee verdiepingen tellend zelfvoorzienend gebouw met een gereduceerde voetafdruk, dat alle voorzieningen concentreert binnen één enkel hooggelegen spoor dat rond de buitenmuren loopt. Om rekening te houden met de piekstream van passagiers, biedt dit station toegang tot drie capsules tegelijk, waardoor er drie parallelle passagiersstromen ontstaan (inkomend, uitgaand en overstap). Dit ontwerp van het station geeft passagiers meer tijd om in of uit te stappen (2,5 tot 3 minuten) zonder dat dit ten koste gaat van de totale doorstroming van het station.



Illustraties van stationconcepten (links: UNStudio, rechts: RB Systems)

3.4. Geïdentificeerde knelpunten en obstakels

De literatuur identificeert een aantal onduidelijkheden rond de kosten en technische haalbaarheid van het Hyperloopconcept. Dit hoofdstuk bevat een niet-uitputtende lijst van beperkingen op basis van academische en andere publicaties. Deze beperkingen vereisen verder diepgaand en casusspecifiek onderzoek.

Onderstaande tabel toont de typische beperkingen van Hyperloop. Deze beperkingen zijn onderverdeeld volgens de belangrijkste componenten: tube, pods, stations en ten slotte het systeem als transportmodus. Beperkingen worden verder onderverdeeld in kosten, veiligheid, technologie of andere elementen.

	Kosten	Veiligheid	Technologie	Andere
Tube	Hoge kost tunnelboring (McLean, 2016; Marshall, 2018)	Falen van de tube door natuurlijk oorzaak (Jacob et al., 2017; Brown, 2018)	Behoud van het vacuüm in de tube (Marshall, 2018)	Huidige bebouwing, meren en waterwegen; Nood aan kleine verandering van de inclinatie om deze obstakels te overkomen (Brandom, 2013)
Pods		Afbouwen van de krachten bij een noodstop (Marshall, 2018)	Constance luchtdruk behouden in de pod met een brede toegang (Marshall, 2018); On-board energiebron (Dudnikov, 2017)	Relatief lage capaciteit voor passagiers en vracht (Dudnikov, 2017); Passagiersevacuatie en veiligheid (Marshall, 2018)
Stations		Scheidingszones tussen de lagedrukzones en de andere (Brown, 2018)	Verzekeren van snelle in- en uitgang (RBSystems, 2016b)	
Hyperloop als transportsysteem	Onbekende kosten operatie (McLean, 2016)	Nood aan veiligheidsstandaarden (Davies, 2018)	Hyperloop vereist grote radius voor bochten (Brandom, 2013)	Geen wetgeving voor de operaties (Davies, 2018)

Tabel 3: Onduidelijkheden geïdentificeerd in literatuur

In verband met de **tube** worden beperkingen gezien met betrekking tot de hoge kosten van tunnelboringen en falende veiligheidssystemen die in geval van natuurrampen de pods moeten doen stoppen. Vooral deze laatste systemen zijn nog niet doorontwikkeld. Wanneer zich een natuurramp, zoals een aardbeving voordoet, is er nog steeds een erg groot gevaar voor de passagiers (Jacob, Phillip, Sunny, & George, 2017). Het handhaven van het vacuüm tot 0,001 bar voor de volledige lengte van de tube vereist nog steeds fundamenteel onderzoek om specifieke oplossingen te identificeren, te testen en te valideren. Het belangrijkste probleem met de lagedruk vacuümbuizen van de Hyperloop is dat een relatief kleine lekkage het hele systeem zou doen falen (Jacob et al., 2017). Publicaties merken ook op dat voor het ontwerp van de pods, grote zijdeuren zouden kunnen leiden tot drukproblemen, zoals de belemmering van een afgesloten omgeving in de pods. Grote uitzettingsvoegen zijn tevens onbetrouwbaar voor het handhaven een bijna-vacuüm. Bovendien zou

voor de constructie van de tube, een grote radius en tevens een kleine stijging of daling nodig zijn in het tracé om de G-krachten in de pods te verminderen.

Het ontwerp van **stations** is sterk gericht op functionaliteit en op het optimaliseren van het laden/lossen van passagiers. Uit de luchtvaartindustrie is gebleken dat dit proces moeilijk kan zijn. De kwestie van het creëren van een afgesloten ruimte in het station bij aankomst en vertrek is ook onderwerp van discussie. Bovendien zou het in gebruik nemen van Hyperloop pods verder onderzoek in de bochten vereisen, omdat Hyperloop systemen zoals die vandaag de dag zijn ontworpen, nog niet kunnen draaien.

Er bestaat voornamelijk (logischerwijze) **geen wetgeving met betrekking tot het Hyperloopconcept**. In hoofdstuk 11 wordt een overzicht gemaakt van de belangrijkste regelgevende obstakels. In hoofdstuk 4 wordt dieper ingegaan op de stappen die momenteel worden gezet richting technische standaardisatie van de technologie.

3.5. Kost van de Hyperloop

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste soorten kosten (ontwikkeling, exploitatie en onderhoud) en baten (die als besparingen worden beschouwd) die in publiek beschikbare studies worden besproken.

3.5.1. Ontwikkelingskosten

De totale bouwkosten van een Hyperloop worden door het "Hyperloop Alpha" concept (Musk, 2013) geschat op 6 miljard dollar (tabel 5). Deze kosten zijn inclusief de aanleg van de tube, de productie van de pods en stations voor een route van de metropool Los Angeles naar de baai van San Francisco. Voor dit project worden de gemiddelde kosten per kilometer dus geschat op 24,3 miljoen euro.

Na de "Hyperloop Alpha" white paper (Musk, 2013), gaf HyperloopTT een presentatie met een citaat van € 35,8 - 38,7 miljoen per km voor alleen de technologie, exclusief grondaankoop.

Voorlopige berekeningen van de Stockholm-Helsinki-corridor, met inbegrip van het Hyperloop One-systeem, schatten de kosten op 13 miljard euro (CAPEX), terwijl de totale CAPEX, met inbegrip van het rollend materiaal, het risico, de overheadkosten en de toelagen, wordt geschat op 19 miljard euro (KPMG, Setterwalls & Ramboll, 2016). Voor een bijna volledig onderwaterspoor, met name van Helsinki naar Stockholm, schat HTT 91,7 miljoen euro per km, inclusief voertuigen. **In sectie 3.7.1 worden de ingeschatte kosten van een Hyperloop systeem vergeleken met die van andere vervoersmodi.**

Hyperloop systeem	Ontwikkelingskost per km
<i>Hyperloop Alpha</i>	€24.3 miljoen (enkel infrastructuur)
	€35.8 – 38.7 miljoen, behalve landaankoop
<i>HyperloopTT</i>	€91.7 miljoen, met inbegrip van pods en gedeeltelijke onderwaterroute

Tabel 4: Geschatte gemiddelde bouwkost voor een Hyperloop systeem

3.5.2. Operationele kosten

De operationele kosten van Hyperloop systemen zijn vooral afhankelijk van het energieverbruik voor de beweging van de pods, het vacuüm in de tunnel en andere werkingskosten.

Werner et al. (2016) tonen het energieverbruik als belangrijkste operationele kost van een Hyperloop. In hun casestudy analyseren zij de implementatie van een Hyperloopverbinding in Duitsland. Zij rapporteren de exploitatiekosten van een Hyperloopverbinding aan de gemiddelde Duitse prijs voor industriële energie in 2014, die € 0,844 cent per kWh bedroeg. Met een piekverbruik van 78,4 MWh zou Hyperloop Noord-Duitsland (Hyperloop NG) in het ergste geval jaarlijks 18 tot 58 miljoen euro aan energie verbruiken. Gedetailleerde gegevens voor het verbruik over specifieke buisafstanden zijn niet beschikbaar, maar de 49 MWh die in de Hyperloop Alpha paper worden vermeld, overtreft de werkelijke behoefte van Hyperloop NG. Dudnikov (2017) toont aan dat, onder zijn aannames, een Hyperloopsysteem 21 MWh elektrische energie nodig zou hebben en dat zonnecellen met batterijen aan de buitenzijde van de buizen in staat zijn om elektrische energie op te wekken tot 57 MWh.

Lineaire elektrische motoren moeten worden geplaatst in elk station om de pods te vertragen, door hun kinetische energie te absorberen. Deze energie zou dan terug in de batterypacks kunnen opgeslagen worden en zou kunnen worden gebruikt om de volgende pods te versnellen, of voor later gebruik kunnen worden opgeslagen. Zonnepanelen bovenop de buizen zouden ook energie kunnen leveren (Nemchenko & Boyarskaja, 2017).

Daarnaast zal een Hyperloop kosten met zich meebrengen voor koelwater (verwaarloosbaar), monitoring (gelijkaardig aan alle operationele systemen) en arbeidskosten. Voorbeelden van stationarbeidskosten zijn de kosten voor de veiligheid en beveiliging van de stations, de klantenservice, het onderhoud of de reiniging van de pods en bagagebijstand. Andere kosten van een station bestaan uit nutsvoorzieningen, aansluitingen op ander grondvervoer en andere voorzieningen voor de klant (restaurants, lounges, enz.) die een extra potentieel bieden om extra inkomsten te genereren voor concessies, enz. Deze kosten voor de exploitatie van de stations moeten worden opgeteld bij de lopende operationele kosten (Taylor et al., 2016).

Het Hyperloop Alpha voorstel maakt geen projectie van de operationele- en onderhoudskosten; behalve dat het geprojecteerde aantal passagiers de dagelijkse operationele kosten kunnen dekken met een tarief van \$ 20. Aangezien er geen praktische manier is om een nauwkeurige raming van de operationele kosten per passagier voor de Hyperloop te maken, veronderstellen Voltes-Dorta en Becker (2018) een \$ 50 vervoerprijs. Dit bedrag wordt afgeleid uit de berekeningen die naar voren worden gebracht door de California High-speed Rail (HSR) Annual Ridership and Operating Cost Documentation (CHSR Authority, 2018), waarin een tarief van 36,6 dollar voor HSR werd berekend.

3.6. Impacten van het Hyperloopconcept

3.6.1. Potentiële voordelen

Weinig bestaande studies kwantificeren de potentiële voordelen van Hyperloopsystemen. Publicaties waarin de voordelen worden besproken, hebben vooral betrekking op tijdwinst voor potentiële passagiers of vracht in vergelijking met conventionele vervoerswijzen. Ze geven de voordelen van deze tijdwinst in geldwaarde weer, uitgaande van de veronderstelling dat de alle bewoners in de nabije omgeving van Hyperloopstations als potentiële passagiers worden beschouwd. Deze werkwijze geeft uiteraard slechts een richtinggevend beeld. Om de voordelen van de Hyperloop te benaderen, is verder onderzoek nodig om de exacte transportvraag in kaart te brengen.

Een economische vervoersmodel toegepast op de Helsinki - Stockholm route toont aan dat een Hyperloopsysteem bijdraagt tot een reistijdbesparing van bijna 25 miljoen uur per jaar (KPMG, Setterwalls, & Ramboll, 2016). Hyperloop One (2018) beweert dat de Hyperlooproute die Pune, Navi

Mumbai International Airport en Mumbai met elkaar verbindt, in 25 minuten zal worden afgelegd, waardoor 26 miljoen mensen met elkaar verbonden zullen. De capaciteit van deze route voor wordt geschat op 150 miljoen passagiersreizen per jaar, wat een besparing van meer dan 90 miljoen uur reistijd oplevert. Het Hyperloopsysteem zal ook de mogelijkheid bieden om snel gepalletiseerde vracht en lichte lading tussen de zeehaven van Mumbai en Pune te vervoeren, waardoor een robuuste ruggengraat wordt gecreëerd voor leveringen op aanvraag, toeleveringsketens en logistiek. Bovendien zou de Pune-Mumbai route kunnen resulteren in USD 55 miljard sociaaleconomische voordelen (afname emissies en vermindering van ongevallen, operationele kostenbesparingen, enz.) over een periode van 30 jaar, volgens een eerste pre-haalbaarheidsstudie voltooid door Virgin Hyperloop One. Dezelfde studie toont aan dat het 100% elektrisch aangedreven systeem de ernstige congestie op de snelweg verlicht en de uitstoot van broeikasgassen tot 150.000 ton per jaar kan verminderen.

Een studie van Virgin Hyperloop One (2018) toont de voordelen van een Hyperloopsysteem dat Kansas City, Columbia en St. Louis in de VS met elkaar verbindt. Hun belangrijkste bevindingen:

- 80% toename van de vraag van 16.000 naar 51.000 passagiers.
- Besparingen door minder tijd die op de weg wordt doorgebracht, die tot \$410 miljoen per jaar bedraagt.
- Vermindering van het aantal verkeersongevallen, waarbij het gewonnen bedrag tot \$91 miljoen per jaar bedraagt.
- De afstand tussen Kansas City en St. Louis zou in 28 minuten kunnen afgelegd worden, in vergelijking met 3,5 uur vandaag, en de reistijd voor reizen van Kansas City of St. Louis naar Columbia zou 15 minuten kunnen zijn, in vergelijking met bijna twee uur vandaag.
- De gebruikerskosten om de Hyperloop van St. Louis naar Kansas City te nemen zouden lager kunnen zijn dan de kosten van de wagen (alleen gebaseerd op verbruik)
- De studie schat dat de infrastructuurkosten van Virgin Hyperloop One rond 40% lager zijn dan die gezien in hogesnelheidsspoorwegprojecten rond de wereld, terwijl het systeem twee tot drie keer sneller zou kunnen zijn.

Werner et al. (2016) suggereren dat Hyperloop NG jaarlijks 214.000-380.000 vrachtwagens zou vervangen, de wegcapaciteit met 150-300 auto's per uur zou vergroten en de gemiddelde rijnsnelheid op zijn route zou verhogen.

3.6.2. Impact op bestaande vervoersmodi

Hyperloop wordt vaak beschreven als de 5e vervoersmodus (na weg, spoor, lucht en zee). De "Hyperloop Alpha"-studie stelt dat Hyperloop geschikt is voor het verbinden van markten die zich op een afstand van ongeveer 1.500 kilometer (of minder) van elkaar bevinden. Bij grotere afstanden dan dit begint het voordeel van de lage bouwkosten (per km buis) te vervagen in vergelijking met het opzetten van een luchtvervoersdienst. Voor zeer korte ritten zijn er echter beperkte netto tijdsbesparingen ten opzichte van auto's (door de noodzaak om incheckprocedures te doorlopen en de nood aan last-mile verplaatsingen naar de eindbestemming).

Chen, Sun, Zhu en Zeng (2016) verwijzen naar de effecten van hogesnelheidstreinen (HST) op het reisgedrag en de mobiliteit van huishoudens. Dit gedragsprincipe kan ook worden overgebracht naar Hyperloopsystemen. Een Hyperloop kan bijdragen aan betere werkgelegenheid en woonkansen, tot en met het mogelijk maken van verhuizingen, met name als er een aanzienlijk verschil in salarissen of woonwaarden tussen de aangesloten regio's bestaat. Dobruszkes, Dehon en Givoni (2014) concluderen bij hun onderzoek naar het effect van HST op het luchtvervoer, dat een substitutie-effect

tussen luchtvaartmaatschappijen en HST op korte-afstandsroutes over het algemeen wordt waargenomen (afhankelijk van de reissnelheid). Dit effect is ook overdraagbaar naar Hyperlooproutes.

Voltes,-Dorta en Becker (2018) gebruiken een gevestigde methode om de 'catchment areas' van luchthavens te bepalen op basis van vluchtfrequenties, toegangstijden en reiskosten, met als doel een verkennende analyse te maken van hoe de concurrentiepositie van luchthavens zou kunnen veranderen als een Hyperloopdienst zou worden ingevoerd. Hun studie baseert zich op het Californische luchthavennetwerk. Ze tonen aan dat hyperloopsystemen kunnen gezien worden als een toegevoegd waarde voor verbonden luchthavens.

Verbeterde Hyperloopconnectiviteit kan grote luchthavens helpen om passagiers uit de *catchment areas* van de kleinere luchthavens te veroveren. Empirisch bewijs van deze effecten werd geleverd door Terpstra en Lijesen (2015), die de corridors Amsterdam-Brussel en Madrid-Barcelona en de omliggende multi-luchthaven regio's analyseerden. Hun analyse is gebaseerd op een kader dat de *catchment areas* van luchthavens met intermodale toegang probeert uit te tekenen.

Men kan ook een tegenreactie verwachten van luchtvaartmaatschappijen op de introductie van Hyperloopdiensten. Luchtvaartmaatschappijen zouden de frequentie kunnen verlagen en/of de tarieven kunnen verhogen om de lagere bezettingsgraad als gevolg van het wegebben van de vraag naar een Hyperloop te compenseren, of ze zouden kunnen proberen hun marktaandeel te behouden door de tarieven te verlagen.

Samengevat zijn de voorspelde gevolgen die Hyperloopsystemen mogelijk kunnen hebben, de volgende:

- Volgens de studie 'Hyperloop Alpha' (Musk, 2013) verbindt het de markten die tot 1500 kilometer (of minder) van elkaar verwijderd zijn, met elkaar (Musk, 2013);
- Het zou het reisgedrag en de mobiliteit van huishoudens kunnen beïnvloeden, in gebieden waar aanzienlijke verschillen in salaris of woningprijzen tussen de aangesloten regio's van toepassing zijn (als relatief lage vervoerstarieven worden toegepast);
- Luchtvaartmaatschappijen zouden bedreigd kunnen worden door het verschuiven van passagiers naar de Hyperloop, maar luchthavens kunnen gebruik maken van de Hyperloop om multimodale hubs te worden, die luchtvervoer en de Hyperloop op een relatief naadloze manier met elkaar verbinden. Het totale effect op het luchthavenvolume is onduidelijk. Er moet echter op gewezen worden dat grote luchthavens vaak worden opgenomen in hypothetische Hyperlooproutes en dat zij het concept op dit moment als een potentiële opportuniteit zien;
- Kleine luchthavens die niet op de Hyperloop zijn aangesloten, kunnen passagiers verliezen aan grote 'Hyperloopluchthavens';
- Luchtvaartmaatschappijen zouden de frequenties kunnen verlagen en/of de tarieven kunnen verhogen om de lagere bezettingsgraad te compenseren. Dit is afhankelijk van de capaciteit van de Hyperloopverbinding ten opzichte van het totale volume van passagiers tussen de bestemmingen.

De omvang van deze impacten blijft op dit moment onduidelijk en moeilijk te voorspellen.

3.7. Benchmark van het Hyperloopconcept met bestaande vervoersmodi

Spoor-, maglev- of luchtvervoer worden beschouwd als belangrijke concurrenten van Hyperloopsystemen. Spoorvervoer is energie-efficiënt en is de meest milieuvriendelijke optie, maar is niet flexibel en is traag en duur om te bouwen. Maglev-treinen worden geconfronteerd met soortgelijke beperkingen. Op afstanden van minder dan 1500 km is luchtvervoer ook minder rendabel, aangezien het grootste deel van de reis zou worden besteed aan het opstijgen en dalen (die de traagste elementen van een vlucht zijn). Gezien deze problemen is het de bedoeling dat de Hyperloop een kosteneffectief, hogesnelheidsvervoersysteem wordt voor gebruik op middellange afstanden, zoals (Nicol, 2018) aangeeft. Deze sectie maakt een vergelijkende studie tussen de Hyperloop en de bovengenoemde vervoerswijzen.

3.7.1. Tijd en kost van constructie

De geschatte bouwtijd voor Hyperloopsystemen wordt als korter ingeschat in vergelijking met andere infrastructuurprojecten met vergelijkbare doeleinden (i.e. hogesnelheidsspoortrajecten). Exacte schattingen met betrekking tot de bouwtijd zijn echter niet beschikbaar. De studie van KPMG, Setterwalls en Ramboll (2016) geeft de volgende aanwijzingen. Van de haalbaarheidsstudie tot de voltooide bouw zou 12 tot 15 jaar nodig zijn om de verbinding Helsinki-Stockholm operationeel te maken. De realisatie van deze 500 km Hyperloop is afhankelijk van de volgende deelprocessen: het gedetailleerde ontwerp (3-4 jaar) en de effectieve bouwtijd (geschat op 8 jaar). Deze timing bestaat uit zowel het boren van tunnels, de productie van pylonen en de installatie van de tubes.

De bouwkosten van de Hyperloop kilometer zijn lager dan de traditionele hogesnelheidstrein en aanzienlijk lager dan de kosten van een maglev-systeem. Onderstaande tabel toont de kapitaalkosten van verschillende technologieën voor personenvervoer. Deze kosten zijn afkomstig uit technische rapporten die publiek beschikbaar zijn. Vergeleken met de traditionele vervoerswijzen zouden de bouwkosten van een Hyperloop lager zijn dan die van traditionele vervoerswijzen. Dit verschil is te wijten aan het feit dat het grootste deel van het traject zou gebouwd worden op pylonen. In dit geval zou de constructeur alleen maar "luchtrecten" moeten kopen. Er wordt aangenomen dat het systeem parallel aan bestaande snelwegen zou kunnen gebouwd worden, waardoor de kosten verder zouden kunnen worden verlaagd. Bovendien zouden lichte stalen buizen minder kosten dan een stalen railsysteem en dus goedkoper te bouwen zijn. HST en maglev zouden ook gebouwd kunnen worden op verhoogde sporen en langs bestaande snelwegen, maar fundamenteel onderzoek over dit onderwerp is nog niet gedaan.

Daarom zijn de relatieve kostenbesparingen van de bouw van een zogenaamd lichtgewicht verhoogd systeem een relevant onderwerp voor toekomstig onderzoek en analyse. De onderstaande tabel toont de kapitaalkosten van verschillende technologieën voor personenvervoer.

Transportmodus	Infrastructuurkost
<i>Hyperloop</i>	Alpha: €24.3 miljoen (schatting per km) Hyperloop Technologies: €35.8-38.7 miljoen (behalve land) €91.7 miljoen (onder water) (schatting per km)
<i>Hogesnelheidstrein (HST)</i>	Frankrijk en Spanje: \$10 miljoen per km België en Duitsland: \$15 miljoen per km Italië: \$25 miljoen per km Nederland: \$53 miljoen per km VK: \$74 miljoen per km Taiwan: \$37 miljoen per km Korea: \$37 miljoen per km CAHSR (California High Speed Rail Authority): \$101-105 miljoen per km

<i>Maglev</i>	\$ 212 miljoen: Baltimore – Washington per km \$ 1.2 miljard: Pudong Airport – central Shanghai
<i>Luchtvervoer</i>	\$1.9 miljard voor vijfde startbaan in Atlanta (2006) per km \$2.9 - \$4.8 Miljard voor bijkomende startbaan in Philadelphia per km Voor faciliteiten van de luchthaven: € 3 miljard voor Berlin-Brandenburg, Duitsland € 5.6 miljard London Heathrow, VK € 6.9 miljard Kobe, Japan € 8.8 miljard Doha, Qatar € 15.9 miljard in Kansai/Osaka en Hong Kong

Tabel 5: Vergelijking van de infrastructuurkosten voor de verschillende transportmodi²

3.7.2. Snelheid en reistijd

De snelheid van een Hyperloop wordt geschat op maximaal 720-760 mph (1100-1200 km/h). Deze topsnelheden worden enkel gehaald op lange rechte stukken. De gemiddelde snelheid ligt lager door de noodzaak aan geleidelijke versnelling of vertraging bij stops en bochten in het traject. Onderstaande tabel vergelijkt de gemiddelde snelheden voor elke hogesnelheidsvervoermodus.

	Hyperloop	Lucht	Maglev	HST
<i>Maximumsnelheid</i>	1200 km/h	830 km/h	600 km/h (Japan Railway test track)	240 km/h (Acela, Boston naar NYC) 300 km/h (TGV Paris naar Lyon) 320 km/h mph (Tōhoku Shinkansen) 350 km/h mph (CAHSR)
<i>Gemiddelde snelheid</i>	970 km/h	400 km/h	230 km/h (Shanghai Maglev, 19 mile line) 430 km/h (voorgestelde Tokyo Nagoya line)	120 km/h (Acela, Boston naar Washington) 160 km/h (Acela, Boston naar Providence) 201 km/h mph (TGV Paris naar Lyon) 270 km/h (CAHSR)

Tabel 6: De maximale en gemiddelde snelheid voor de verschillende transportmodi³

De commerciële snelheid van Hyperloopsystemen is duidelijk hoger dan de gemiddelde werksnelheid van 270-300 km/u (150-200 mph) voor hogesnelheidstreinen, maglev-systemen met ongeveer 400 km/u en vliegsnelheden van ongeveer 650 km/u. Het bereiken van hoge snelheden brengt echter ook andere beperkingen met zich mee, zoals bijvoorbeeld het passagierscomfort dat wordt beïnvloed door hoge G-krachten.

Hedendaagse maximale horizontale G-krachten die door versnelling worden gegenereerd zijn ongeveer 0,5 en 1,3 g bij dagelijks commercieel gebruik (personenauto's, bestelwagens, treinen en zelfs vliegtuigen), terwijl de horizontale G-krachten die door vertraging (remmen) worden gegenereerd ongeveer 0,5 tot maximaal 1,5 g bedragen. Conventionele remsystemen zijn ontworpen om in veilige omstandigheden te werken met G-krachten tot 2,5 g. Rekening houdend met deze omstandigheden moeten verdere beperkingen voor versnellings-/remafstanden voor de Hyperloop in

² Bron: verwerking gebaseerd op (Taylor et al., 2016; CAPA, 2017; EC, 2018)

³ Bron: eigen verwerking gebaseerd op Taylor, Hyde and Barr (2016)

overweging worden genomen. Onderstaande tabel toont de tijd en afstand die pods nodig hebben om de maximumsnelheid van 1200 km/u (333.336 m/s) te bereiken.

Versnelling		Snelheid	Tijd	Afstand
[G]	[m/s ²]	[m/s]	[s]	[m]
0,5	4,91	333,336	67,9	11 315,0
0,7	6,86	333,336	48,6	8 098,6
1	9,8	333,336	34,0	5 669,0
1,2	11,76	333,336	28,3	4 724,2
1,5	14,7	333,336	22,7	3 779,3
2,5	24,5	333,336	13,6	2 267,6

Tabel 7: Benodigde tijd en afstand om de maximale snelheid te behalen

Zoals ook bevestigd door de studie van Werner et al. (2016), zouden Hyperlooppods werken onder een versnelling van 4,9 m/s². Daarom, en zoals aangegeven in tabel 8, heeft het ongeveer 11 km en 68 seconden nodig om de maximale snelheid te bereiken of te stoppen. Alleen de rest van de afstand kan aan de maximumsnelheid worden afgelegd. Een vergelijking tussen de geschatte reistijden is gemaakt in onderstaande tabel voor verschillende verbindingen waarvoor recentelijk Hyperloopsystemen zijn voorgesteld.

Connectie	Afstand	Reistijd			
		Hyperloop (enkel reistijd)	Lucht (incl. checkin- en boarding)	HST (enkel reistijd)	Weg (enkel reistijd)
Europa					
Stockholm - Helsinki	395km	32min	3h30min	2h15min	4h35min
Amsterdam - Frankfurt	360km	50min	3h28min	2h7min	4h14min
Edinburgh -Londen	534km	41min	3h40min	2h51min	6h23min
VSA					
Los Angeles-Las Vegas	367km	30min	3h28min	2h42min	4h17min
San Francisco - Los Angeles	560km	43min	3h42min	2h58min	6h40min
Cincinnati - Chicago	406km	32min	3h31min	2h17min	4h39min
Midden-Oosten					
Dubai - Abu Dhabi	130km	12min	3h8min	1h	1h8min
Dubai -Riyadh	865km	1h2min	4h3min	4h14min	10h9min
Zuid-Amerika					
Guadalajara - Mexico City	532 km	37min	3h35min	2h34min	5h20min
Azië					
Pune - Mumbai	150 km	25min	3h10min	1h14min	1h17min

Tabel 8: Representatieve reistijd voor de verschillende transportmodi⁴

In Europa zou het bijvoorbeeld slechts ongeveer 28 minuten duren om te reizen tussen Stockholm en Helsinki, het zal aldus mogelijk zijn om in Zweden te wonen en te werken in Finland (KPMG, Setterwalls, & Ramboll, 2016). HYPED (2016) laat zien dat de pods hogere snelheden kunnen bereiken die vergelijkbaar zijn met die van vliegtuigen en dat een reis zoals Edinburgh naar Londen kan worden ingekort tot 50 minuten. In de VS claimt Hyperloop UC een reistijd tussen Cincinnati en Chicago van 30 minuten (Hyperloop UC, 2017). In het Midden-Oosten worden voor de eerste versie die Dubai en Abu Dhabi kan verbinden, reistijden van 12 minuten beloofd in vergelijking met de huidige reistijd van ongeveer een uur. Bovendien wordt gesuggereerd dat het systeem ook kan worden gebruikt om de

⁴ Bron: berekening van Virgin Hyperloop One (2015)

reistijden van Dubai naar Riyadh tot 1u02minuten en van Dubai naar Doha tot 30 minuten te verkorten. De reistijd tussen Guadalajara en Mexico-Stad is teruggebracht van meer dan 5 uur met de auto tot 38 minuten en de voorgestelde infrastructuur beslaat 532 km. Na voltooiing kan de Hyperloop de reistijd tussen Mumbai en Pune, die 150 km van elkaar verwijderd zijn, verminderen van ongeveer 4 uur tot 25 minuten (Louppova, 2017; Hyperloop One, 2018).

In de praktijk is het echter waarschijnlijk dat de pods niet altijd op maximumsnelheid zullen reizen. Voor alle bochten en hoogteverschillen zullen zij moeten vertragen. Daarom zal in de impactanalyse in hoofdstuk 10 van dit rapport worden uitgegaan van een gemiddelde snelheid van 500km/u.

3.7.3. Externe kosten en milieu-impact

Het vervoeren van de pods in een vacuümtunnel wordt als zeer efficiënt voorgesteld in de literatuur, met een minimum aan energiegebruik voor de aandrijving. De meeste studies zijn gericht op het aerodynamische ontwerp van de pods en de voortstuwingstechnologieën die kunnen worden toegepast. Doch zijn er weinig studies gericht op de hoeveelheid energie die nodig is om de tubes vacuüm te maken en de technologie die nodig is om de pods te versnellen/vertragen.

Werner et al (2016) berekende dat ongeveer 214.000-380.000 vrachtwagens per jaar zouden worden vervangen door vervoer via de Hyperloop, wat zou leiden tot een vermindering van de CO₂-uitstoot met 8,919–143,981 ton per jaar.

Deze studie maakt ook een inschatting met betrekking tot de vermindering van het aantal ongevallen als gevolg van de invoering van Hyperloop. Ze verwijzen naar de hoeveelheid vrachtwagens die mogelijk vervangen worden door Hyperloop. Aan de hand van dit aantal bepalen ze een percentage van het totale aantal vrachtwagens dat buiten de weg wordt gehouden en dus het percentage waarmee het aantal ongevallen met vrachtwagens zal worden verminderd. Gezien de sterftcijfers bij ongevallen met vrachtwagens kan de Hyperloop zo in Duitsland jaarlijks 80-144 verkeersdoden voorkomen.

Door gebruik te maken van de door Van Essen et al. (2011) ontwikkelde methodiek worden de externe kosten voor mensen die last hebben van geluidsoverlast in beeld gebracht. Met 214.000-380.000 minder vrachtwagens, en een jaarlijkse en gemiddelde geluidshinder van 65 db voor 15.400-25.950 personen kan een Hyperloop in Noord-Duitsland de kosten van geluidshinder met 9,8 tot 16,6 miljoen euro per jaar verminderen.

3.7.4. Frequentie & Capaciteit

De studie 'Hyperloop Alpha' voorziet dat pod gemiddeld om de 2 minuten een pod vertrekt in een hyperloopstation, maar dit deze vertrekfrequentie kan worden verhoogd naar 30 seconden tijdens piekperiodes. Dit betekent dat de wachttijd in theorie erg kort zou moeten zijn. Delft Hyperloop (2016) noemt een frequentie van ongeveer 1 minuut.

Frequentie	Hyperloop	Lucht	Maglev	HST
<i>Theoretische frequentie (aan maximale capaciteit)</i>	30 – 120 per uur (vertrekfrequentie: 30 sec tot 2 minuten)	tot 12 per uur	4 per uur (Shanghai) Vertrekfrequentie van 15 minuten	Max. 12 per uur (bij vertrekfrequentie van 5 minuten)

Tabel 9: Vergelijking transportmodi volgens frequentie (aan maximale capaciteit)

Hyperloop zou zo een veel hogere frequentie bieden dan andere modi. Voor grotere afstanden (vb. tussen 2 steden) bieden hogere frequenties echter weinig extra nut voor de gebruikers, maar zorgen ze eerder voor extra capaciteit voor het systeem als geheel. De verkorting van de wachttijd wordt niet significant geacht voor langeafstandsreizen van passagiers.

Er is echter weinig duidelijkheid met betrekking tot de capaciteit van de pods, noch of er meerdere instapplatforms mogelijk zijn (voor één pod). 'Hyperloop Alpha' voorziet een vertrek van de Hyperloop om de twee minuten gemiddeld of om de 30 seconden tijdens piekperiodes met een capaciteit van 28 personen per pod. Samen geven deze twee parameters een maximale capaciteit van 3.360 passagiers per uur. De huidige Hyperloopspelers gaan uit van een capaciteit van 20 tot 60 passagiers per pod. Deze capaciteit is dus aanzienlijk lager dan die van treinvervoer. Wel zouden er in theorie meerdere tubes op dezelfde pyloonstructuur kunnen worden gebouwd om de capaciteit te verhogen.

Capaciteit	Hyperloop	Lucht	Maglev	HST
Passagiers per voertuig	20-60 per voertuig (flexibel)	~160 per vliegtuig	574 per trein 436 per trein (Tokyo-Nagoya)	~1,300 per trein
Passagiers per uur	1200 - 4800 per uur (Vertrekfrequentie: 30 sec tot 2 minuten, 40 passagiers per voertuig)	tot 1,920 per uur	2,296 per uur (Shanghai, 4 treinen per uur)	Afhankelijk van verrekfrequentie: 2000 tot 10000 per uur

Tabel 10: Vergelijking van de transportsystemen volgens capaciteit

3.7.5. Payload (Laadvermogen)

Werner et al. (2016) onderzoekt de toepasbaarheid van de Hyperloop in het goederenvervoer. Zij schatten dat een laadvermogen van 12 000 kg haalbaar is om aan boord van de pods te worden geladen. Dudnikov (2017) schat het laadvermogen in op 21.630 kg per pods. Actieve Hyperloopspelers hebben voorsnog nog geen eigen inschatting gegeven met betrekking tot het laadvermogen van de pods.

	Hyperloop	Lucht	Maglev	Trein
Payload	12,000 – 21,000 kg	154 ton cargo	N/A	12,500 ton cargo

Tabel 11: Vergelijking transportsystemen volgens payloadcapaciteit

3.7.6. Veiligheid

Critici van de Hyperloop wijzen op het huidige gebrek aan veiligheidsnormen. Er bestaat vandaag nog geen internationaal erkende norm met betrekking tot veiligheid voor de bouw. Er zijn inderdaad een aantal veiligheidsuitdagingen waarvoor nog concrete oplossingen moeten worden.

Eerst wordt de noodstop besproken. In het geval van een externe gebeurtenis of een grootschalige drukontlasting, zal de pod vooraan in contact komen met een kolom lucht onder druk, waardoor een snelheidsremmend effect ontstaat. In dat geval zouden in theorie de andere pods in de buis automatisch beginnen te remmen (zij zijn immers geconnecteerd en worden centraal aangestuurd), terwijl de tube over de gehele lengte snel weer onder druk zou worden gezet. In het geval van een vereiste snelle vertraging is de foutmarge relatief klein: het traject zou tientallen pods in omloop hebben die tot maximaal om de 30 seconden vertrekken (tijdens de piekuren). Gezien hun snelheid en vertrekintervallen zouden de pods op redelijke afstanden van elkaar moeten worden gescheiden. De scheidingsafstand tussen twee pods, zodra ze allebei de maximumsnelheid hebben bereikt, zou ongeveer 8,85 km bedragen, en ongeveer 4,5 km zou nodig zijn om volledig tot stilstand te komen van

de maximumsnelheid (bij 1G). De conclusie is dan ook dat de voorgestelde 30 seconden voorsprong vanuit het oogpunt van de stoptijd zeer goed haalbaar is. Echter is het uiteraard van essentieel belang dat het geautomatiseerd foutloos werkt in elke pod.

Ten tweede kunnen passagiers bij een ernstig incident toegang tot zuurstof verliezen. In zo een situatie kunnen in theorie - zoals in vliegtuigen - zuurstofmaskers worden gebruikt. Zodra de pod veilig op de plaats van bestemming is aangekomen, wordt deze uit dienst genomen. De voorziening van luchttoevoer aan boord van een Hyperloop zou zeer vergelijkbaar zijn met die van vliegtuigen. Alle pods zouden in noodgevallen direct radiocontact hebben met de exploitanten van de stations, zodat de passagiers een incident kunnen melden, hulp kunnen vragen en hulp kunnen krijgen. Bovendien zouden alle capsules worden uitgerust met eerstehulpuitrusting. Ondanks deze veiligheidsmaatregelen wordt de kwestie van ziekte tijdens een reis of noodgeval niet strikt behandeld in de beschikbare literatuur.

Hyperloopsystemen zouden – zoals gezegd - volledig geautomatiseerd zijn (zonder piloot, bestuurder of ingenieur). Hyperloopexperts onderstrepen vaak de veiligheidsvoordelen die worden verwacht als gevolg van het verwijderen van menselijke fouten uit het transportsysteem, en zij stellen dat deze automatisering daarom ook stapsgewijs wordt toegevoegd aan de andere vervoerswijzen met positieve effecten, zoals bij treinbesturing (spoor), automatische piloot (luchtvaart) en de automatische snelheidsregelaars (vrachtvervoer).

3.8. Relevantie van het Hyperloopconcept voor goederenvervoer

Naast de potentiële impact van de Hyperloop personenvervoer, zijn er ook een aantal eerste inzichten in de relevantie voor goederenvervoer. Werner (2014) geeft aan dat een Hyperlooppod 87% van de statistisch geïdentificeerde soorten vracht kan vervoeren. Deze sectie geeft een overzicht van publicaties die Hyperloop bestuderen als modus voor goederenvervoer

Werner et al. (2016) onderzoekt het waardepotentieel van een Hyperloop voor goederenvervoer in Noord-Duitsland (Kiel, Bremen, Hamburg). De studie identificeert een aantal factoren die waarde creëren: o.a. reissnelheid, operationele kosten, veiligheid, geluidsoverlast, luchtvervuiling, en rendement. De analyse schat € 660 - € 900 miljoen aan waarde die op jaarbasis zou kunnen worden gecreëerd door een Hyperloop in deze regio. Deze waarde wordt berekend voor 3,2-5,7 miljoen ton goederen die mogelijk door dit Hyperloopnetwerk (op een totaal vervoerd volume van 19 miljoen ton) worden vervoerd tegen een prijs van 1,9 - 6,8 eurocent per ton per kilometer.

Upbin (2016) kondigt een samenwerking aan tussen DP World (een havenoperator) en Virgin Hyperloop One om een vrachtoplossing op basis van Hyperlooptechnologie te ontwikkelen. Het eerste prototype, met een afstand van 29 km, zou de Jebel Ali-haven (Dubai) met een nieuw containerdepot verbinden. Dit zou de eerste toepassing zijn van een Hyperloopsysteem waarbij pods met intervallen van ongeveer 30 seconden met containers worden vervoerd. Dit systeem zou ruimte aan de kade vrijmaken en de filezwaarte in Dubai verlichten.

Turak (2019) beschrijft de intentie van DP World en Hyperloop One om een testproject in India op te zetten. De voorgestelde Hyperloop-route verbindt de haven van Mumbai met Pune, een stad op ongeveer 150 kilometer afstand. Deze route zou gepalleteerde vracht en lichte lading kunnen vervoeren tussen de 2 bestemmingen. Een eerste pre-haikbaarheidsstudie voltooid door Virgin Hyperloop One gaf aan dat de route Pune-Mumbai zou kunnen leiden tot US \$ 55 miljard aan socio-economische voordelen gedurende 30 jaar werking, inclusief tijdsbesparing, emissiereducties en

operationele kostenbesparingen. Gegevens met betrekking tot vrachtschattingen, reistijdsbesparingen en operationele kosten zijn echter niet publiek beschikbaar.

Zoals in meer detail beschreven in hoofdstuk 10 van dit rapport, zou het vervoer van zeecontainers via een Hyperloop een grotere diameter van de tubes vereisen (~5m) dan het vervoer van passagiers en gepalleteerde vracht (~3,5m). Dit zou echter ook de constructiekosten exponentieel doen stijgen. In de impact-analyse later in dit rapport wordt daarom uitgegaan van een diameter van 3,5m.

3.9. Conclusies uit de literatuur

De inzichten hieronder vatten de belangrijkste conclusies samen, op basis van de geanalyseerde literatuur en standpunten van experts.

- De meeste publicaties richten zich op het gebruik van Hyperloop voor personenvervoer. Sommige recente studies erkennen echter ook meer en meer het gebruik van Hyperloop voor vrachtvervoer.
- Uit de literatuur blijkt dat verschillende vragen onbeantwoord blijven met betrekking tot veiligheid, operationele kosten en het regelgevend kader. De exacte socio-economische voorwaarden waaraan moet worden voldaan om de hoge tunnelboor-, implementatie- en exploitatiekosten van Hyperloop te rechtvaardigen zijn nog niet helder. **Vandaar dat verder onderzoek nodig is voordat Hyperloopsystemen gecommercialiseerd zullen worden.**
- Schattingen uit pre-haikbaarheidsstudies tonen aan dat de bouwkosten van Hyperloopsystemen tussen € 24,3 en € 91,7 miljoen (onderwatertunnel) per km bedragen. Dit zijn echter vroege schattingen. Industriedeskundigen en academici zijn het erover eens dat de vroege technologische status van Hyperloop het niet mogelijk maakt om de onderhoudskosten nu reeds exact te schatten.
- De Hyperloop kan tijdwinst, emissiereductie en andere sociaaleconomische voordelen opleveren. Commercialisatie van een Hyperlooptraject kan ook bijdragen aan vermindering van de filezwaarte het indammen van negatieve externe effecten van andere modi, zoals lawaai of ongevallen. Afhankelijk van individuele trajecten, moeten deze voordelen in detail worden ingeschat. **In dit rapport wordt een eerste inschatting gemaakt van een aantal voordelen van een Vlaams Hyperlooptraject.**
- De literatuur toont aan dat Hyperloopsystemen de bestaande transportmodi en sociaaleconomische situatie kunnen beïnvloeden. Hoewel de Hyperloop geschikt is voor gebieden die zich op een afstand van maximaal 1.500 km bevinden, kunnen ook verbindingen van kortere afstanden (300-500 km) waardevol zijn. **Men richt zich in de eerste plaats op het voorstellen van Hyperloopverbindingen waar de bestaande transportcapaciteit momenteel verzadigd lijkt.** De Hyperloop kan een belangrijke rol spelen als substituut of aanvulling voor spoorverbindingen; en het consolideren van de hub-rol van grote (lucht)havens.
- Uit de literatuur blijkt dat, omdat de capaciteit van de pods (en het laadvermogen in het geval van vrachtvervoer) relatief laag is, het **potentieel van Hyperloop als massatransportsysteem vooral ligt in de mogelijkheid om een zeer hoge reissnelheid met te bereiken, in pods met zeer frequente vertrekintervallen.**
- Initiatieven gericht op goederenvervoer onderzoeken onder meer het potentieel van de Hyperloop in het verbinden van zeehavens met hun hinterland, alsook in het vervoer van waardevolle goederen, waarvoor snelheid belangrijk is. Voor het transport van zeecontainers zijn

Studie: Wat is de status en het potentieel voor Vlaanderen van het vervoersconcept "Hyperloop"?

In opdracht van VLAIO

tubes met een grote diameter vereist, Andere soorten goederen (bijvoorbeeld pakketten, waardevolle goederen, enz.) kunnen gebruik maken van dezelfde buizeninfrastructuur en pods als passagiers.

4. Pad naar implementatie en commercialisatie

Om tot een commerciële realisatie van het Hyperloopconcept te komen, moeten verschillende mijlpalen bereikt worden:

Ontwikkeling van de bouwstenen van de Hyperlooptechnologie: Het Hyperloopconcept is opgebouwd uit bewezen en nieuwe technologische componenten en systemen. Al deze componenten dienen een voldoende 'Technology Readiness Level' (TRL) te bereiken vóór de Hyperloop in zijn geheel kan worden gecommmercialiseerd. In hoofdstuk 5 worden deze componenten beschreven. In hoofdstuk 6 wordt geïdentificeerd hoe Vlaanderen kan inspelen op de ontwikkeling van deze componenten.

Sociale aanvaarding en adoptie van het Hyperloopconcept: De invoering van Hyperloop is niet alleen afhankelijk van technologische ontwikkeling, maar vereist ook acceptatie door het bredere publiek. Bekommernissen rond veiligheid en inpassing in de publieke ruimte zijn hiervan voorbeelden.

Standaardisatie en regulering van het Hyperloopconcept: Vóór een implementatie van het Hyperloopconcept mogelijk is op Europees niveau, is het ontwikkelen van standaarden in de technologie en het opzetten van een stabiel regelgevend kader noodzakelijk. In hoofdstuk 7 worden de stappen die momenteel worden genomen richting standaardisering besproken. In hoofdstuk 11 worden de belangrijkste open punten in de huidige regelgeving gedefinieerd.

Planning- en haalbaarheidsevaluatie: Indien een publieke of private entiteit wenst over te gaan tot de effectieve implementatie van een Hyperlooproute, is er uiteraard een grondige evaluatie nodig van de economische, technische, en ruimtelijke haalbaarheid en attractiviteit. Dit valt uiteraard buiten de scope van dit rapport. Hoofdstuk 10 evalueert wel op hoog niveau de mogelijke impacten van een Hyperlooptraject in Vlaanderen.

4.1. Technische Ontwikkeling

Aanzienlijke technische ontwikkeling is nodig om het Hyperloopsysteem op het laatste niveau van volwassenheid te krijgen. De ontwikkeling van een technologie wordt doorgaans bepaald door het **Technology Readiness Level (TRL)**⁵, Deze schaal loopt van 1 tot 9:

- *TRL 1: Basisprincipes geïdentificeerd;*
- *TRL 2: Technologieconcept beschreven;*
- *TRL 3: Experimentele 'proof-of-concept';*
- *TRL 4: Technologie gevalideerd in onderzoekscontext of lab;*
- *TRL 5: Technologie gevalideerd in de relevante omgeving;*
- *TRL 6: Technologie gedemonstreerd in de relevante omgeving;*
- *TRL 7: Demonstratie van Prototype in de operationele omgeving;*
- *TRL 8: Voltooid systeem;*
- *TRL 9: Systeem bewezen in een operationele en commerciële omgeving.*

⁵ Technology Readiness Levels, uitgevonden door NASA. zijn een manier om de ontwikkelingsmaturiteit van een technologie aan te geven: https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html

Om kosten en risico's tot een minimum te beperken, moet een gefaseerde aanpak worden gevolgd om TRL 9 te bereiken. Testfaciliteiten worden gebruikt om de technologieën te bewijzen en hun TRL te verhogen.

Voor het Hyperloopconcept zijn er in principe 3 verschillende testfaciliteiten en fases nodig om TRL 8 te bereiken, waarna de Hyperloop gecertificeerd kan worden en commercieel in gebruik kan worden genomen

1. Full-Scale Low Speed Test Facility

De momenteel wereldwijde ontwikkelde testfaciliteiten van SpaceX, Virgin Hyperloop One, Hyperloop Transportation Technologies (HTT, HyperloopTT) en Hardt Hyperloop hebben als objectief het bewijzen van alle belangrijke sub-componenten op een volledige schaal in een lagedruk omgeving, maar op trage snelheid. Het doel van deze faciliteiten is om kernfuncties zoals levitatie, geleiding en voortstuwing te bewijzen. De meeste actieve partijen zitten momenteel in deze fase. Later in dit hoofdstuk worden de vandaag bestaande of in ontwikkeling zijnde testfaciliteiten beschreven.

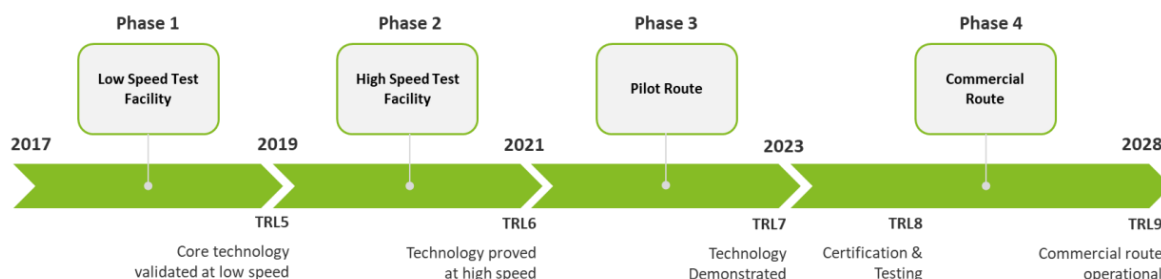
2. High Speed Test Facility

Deze faciliteiten, met een lengte van minimum 3-4 km, laten toe de Hyperlooptechnologieën in hoge snelheden te bewijzen. Dit zou resulteren in TRL 6 voor het Hyperloopconcept. De huidige inschatting is dat deze fase in 2021 kan bereikt worden.

3. Pilot Route

Deze faciliteit laat toe alle ontwikkelde technologieën in een operationele omgeving te demonstreren. Een pilootroute zal naar alle waarschijnlijkheid in een corridor van een potentieel route worden geplaatst om ervoor te zorgen dat deze kan worden uitgebreid naar een commerciële route zodra de tests succesvol zijn voltooid. Een minimale lengte van ongeveer 15 km is hiervoor nodig. TRL 7 wordt bereikt wanneer de technologie op deze schaal wordt gedemonstreerd en TRL 8 wordt bereikt na certificering en goedkeuring door de bevoegde instanties. De meest concrete pilootroute wordt momenteel voorgesteld door Virgin Hyperloop One, namelijk een demonstratiecircuit tussen Mumbai en Pune in Indië, uit te breiden naar een volledige commerciële traject. Huidige schattingen gaan uit van het bereiken van TRL 7 in 2023.

Zodra de pilootroute is uitgebreid naar een eerste commerciële route, wordt TRL 9 bereikt. Dit is het moment waarop de eerste commerciële route live gaat.



Figuur 2: Huidige indicatieve timeline voor de technische ontwikkeling van de Hyperloop.

Hierna volgt een beschrijving van de bestaande en in ontwikkeling zijnde testfaciliteiten.

De testfaciliteit van SpaceX in Hawthorne, Californië was het allereerste Hyperlooptestspoor en werd gebouwd voor de SpaceX Hyperloop Pod Competition. Op dit testparcours zijn ondertussen al drie wedstrijden doorgegaan. De testbaan is gebouwd op halve schaal met een diameter van 1,8 meter. De stalen buis werd gebouwd naast een betonnen zijbaan. Op deze betonnen zijbaan zijn aluminium platen en aluminium I-balken geplaatst. Dit biedt de mogelijkheid om elektrodynamische ophanging in de pods toe te passen.



De Virgin Hyperloop One testbaan, genaamd DevLoop, ligt midden in de Amerikaanse woestijn, kilometers buiten Las Vegas. Het is de eerste volledige (full-scale) testomgeving van het Hyperloopconcept, met een 500 meter lange buis. Het combineert Hyperloopcomponenten zoals vacuüm, voortstuwing, levitatie, controlesystemen, de buis (tube) en bouwkundige

structuren. Virgin Hyperloop One heeft reeds drie demonstraties van zijn systeem uitgevoerd in de woestijn buiten Las Vegas, met een behaalde maximumsnelheid van 387 km/u.

Hyperloop Transportation Technologies, maakte in 2018 beeldmateriaal publiek om te bewijzen dat het 's werelds eerste volledige, passagiersklare Hyperlooptestbaan aan het bouwen is. HyperloopTT kondigde aan dat ze een testtraject zouden bouwen, vlakbij hun R&D centrum in Frankrijk, nabij Toulouse,. De eerste sectie van de tube, die nog in aanbouw is, wordt op maaiveldniveau gebouwd met een lengte van ongeveer 320 meter.



Hardt Hyperloop, oorspronkelijk ontstaan uit een studententeam van de TU Delft heeft een testbaan in de 'TU Delft Green Village' op de campus van TU Delft. Deze testbaan is 30 meter lang en wordt gebruikt om de essentiële levitatie en voortstuwingssystemen bij lage snelheden te testen. Begin 2019 werd hier begonnen met de eerste testen.

4.2. Publieke aanvaarding

De adoptie van innovaties is niet alleen afhankelijk van de mate van technologische ontwikkeling. Ook maatschappelijke acceptatie speelt een sleutelrol in de transitie naar een nieuwe vervoersmodus. Door onderzoeks- en innovatieprocessen open te stellen voor het bredere publiek en gevoelig te zijn voor maatschappelijke bezorgdheden in het gehele ontwikkelingsproces, kan de publieke perceptie worden beheerd.

Het '**Societal Readiness Level**' (SRL) is een manier om de maatschappelijke perceptie van een technologie of een product te beoordelen, en te definiëren wanneer het klaar is voor integratie in het dagelijkse leven. Dit concept werd ontwikkeld naar analogie van het TRL concept⁶

- *SRL 1: Maatschappelijk probleem in de context van de belanghebbenden;*
- *SRL 2: Voorgestelde oplossing in de context van belanghebbenden;*
- *SRL 3: Bewijs van concept van de context van de belanghebbenden;*
- *SRL 4: Validatie van de context van de belanghebbenden;*
- *SRL 5: Gevalideerd in de context van een gesimuleerde stakeholder;*
- *SRL 6: Aangetoond in gesimuleerd stakeholdercontext;*
- *SRL 7: Aangetoond in operationele stakeholdercontext;*
- *SRL 8: Eindbeproeving in echte stakeholdercontext;*
- *SRL 9: Succesvolle inzet in reële stakeholdercontext.*

De beoordeling van SRL en TRL is een gelijktijdig proces, dus het bereiken van de SRL 9 moet een vergelijkbare gefaseerde aanpak volgen als de eerder gedefinieerde TRL.

Passagiersacceptatie:

Onderzoek naar de wensen en bezorgdheden van passagiers, en dit voldoende afstemmen op voertuigen en diensten van het Hyperloopconcept, is nodig om tot maatschappelijke adoptie te komen. Dit kan met behulp van digitale prototyping door middel van een AR- of VR-omgeving die de volledige Hyperloopervaring simuleert. Succesvolle voltooiing van dit onderzoek en het uitwerken van de juiste oplossingen leidt tot SRL6.

Niet-passagiersacceptatie (maatschappelijke acceptatie):

Naast de passagierservaring is ook maatschappelijke acceptatie in zijn geheel essentieel. Bijvoorbeeld de moeilijkheden rond ruimtelijke planning (bv. Het '*Not In My Back Yard*-effect') moeten worden overkomen. Bepaalde kennislacunes moeten hiervoor worden opgevuld: Wat is de invloed van de Hyperloop op de omgeving? Wat is het geluid dat een Hyperloop zal maken?

Het vervoeren van vracht in een High Speed Test Facility heeft tot doel de publieke bezorgdheden rond de Hyperlooptechnologie te verminderen door een veilige en betrouwbare werking aan te tonen. Dit zal, indien succesvol, resulteren in SRL7. Daarna zal getracht worden het veilig en efficiënt vervoeren van passagiers aan te tonen in de testfaciliteit en pilootroute, resulterend in SRL8. Met de opening en operationalisering van een eerste commerciële route zal SRL9 worden bereikt.

⁶ Meer info over SRL, o.a. hier: http://www.dandelion-europe.eu/imagen/IIRS_sensitive_Valorisation_Concept.pdf

5. Bouwstenen van het Hyperloopconcept

De Hyperlooptechnologie kan opgedeeld worden in drie aspecten: de kerntechnologie, de constructie en de logistieke en operationele elementen. In dit hoofdstuk wordt elk van deze aspecten onderzocht: Wat zijn de noden voor elk aspect? Welke expertise is er nodig? Hoe ver staat men vandaag? Om een voldoende granulair beeld te kunnen geven, wordt elk opgesplitst in een aantal 'bouwstenen', die kunnen gezien worden als de set van sub-componenten die samen het gehele aspect vormen

5.1. Kerntechnologie

De kerntechnologie beslaat de elementen van de Hyperloop die **zowel essentieel als uniek** zijn voor het concept. Elementen zoals de stalen buis (tube) en de voertuigen (pods) zijn uniek voor de Hyperloop: ze zijn tot nu toe nergens anders toegepast, maar tevens ook essentieel: ze zijn de 'key drivers' van het concept. Elementen zoals de draagconstructie en de behandeling van de vracht behoren niet tot de kerntechnologie. Deze zijn immers wel essentieel, maar niet uniek tot het concept. Voor de verschillende elementen wordt ook de 'Technology Readiness Level' weergegeven, afgekort met 'TRL', zoals beschreven in sectie 4.1.

De maximaal behaalde TRL op dit moment voor de Hyperloop is 5. Voor een hogere TRL, zoals eerder vermeld, is een testfaciliteit nodig die meer testen op een langere baan kan uitvoeren. Op dit moment is er nog geen zulke faciliteit in gebruik.

Overigens impliceert een 'lage' TRL niet meteen een grote opportuniteit of nood tot innovatie. Het is belangrijker om te analyseren welke elementen een hoge prioriteit hebben voor de bouw van het concept, en de resources die bij deze nodig zijn om een bepaalde TRL te behalen. Het kan bijvoorbeeld zijn dat de poortkleppen gedurende de testfasen een TRL1-3 vertonen, omdat ze tot dan toe niet cruciaal waren voor de ontwikkeling. Echter, omdat het relatief weinig resources vereist om de TRL9 te bewijzen, kan de TRL van de poortkleppen (gate valves) meteen worden behaald in de laatste ontwikkelingsfase. Men moet een TRL dus telkens bekijken in het geheel van het concept, en nooit als een indicator alleen.

Bouwsteen	Nood	Benodigde expertise	TRL
Stalen buis (tube)	Regelmatige stalen en aangevoegde stalen element die een tube vormen	De productie, het transport en de plaatsing van stalen elementen tot één tube. Zeer precieze installatie en vormgeving.	5
Magneten	Magnetische motor en toebehoren	Productie van de magneten en componenten van het maglevmotorsysteem, of het analoge systeem voor voortstuwing van de pods.	5
Luchtsluit (air locks)	Sluizen die vacuüm behouden	Productie en installatie van deze stalen elementen die een fysieke grens tussen ruimtes met verschillende luchtdruk kunnen behouden.	1-5
Rails (siding) en voortstuwing	Magnetische rails	Productie van nieuwe technologie voor de voortstuwing van de pods. De rails werken in tandem met de maglevmotor.	5

Voertuig (pod)	Composietvoertuig	Productie met gebruik van composietmaterialen. Uitwerking van het interieur en de passagierservaring. Gerelateerde expertise als voor vliegtuiggebruik.	1-5
Luchtpomp (air pumps)	Vacuümtechnologie	Pompen die de lucht uit bepaalde ruimtes kunnen pompen om zo een vacuüm te creëren.	1-5
Poortkleppen (gate valves)	Afsluitende kleppen tussen buiselementen.	Deze kleppen moeten buiselementen kunnen afsluiten bij bepaalde situaties (bv. evacuatie) en aldus een drukverschil kunnen weerstaan.	1
Uitzettingsvoegen (Expansion joints)	Voegen die de uitzetting van het staal compenseren	Expertise omtrent uitzetting van grote hoeveelheden staal (de tube) en hoe deze moeten gecompenseerd worden, terwijl een vacuümomgeving wordt bewaard.	2
Switch	Technologie voor wisselen van rails	Een nieuwe technologie om van rail te kunnen wisselen bij bijvoorbeeld een splitsing van de tube. Dit gaat niet om treinsporen, maar om magnetische wisselaars.	1-3

Tabel 12: Bouwstenen: kerntechnologie.

Hieronder wordt elke bouwsteen kort besproken, en worden een aantal locaties en/of organisaties (niet-exhaustief) geïdentificeerd die momenteel het meest gevorderd zijn in de ontwikkeling van de technologie.

Stalen buis (tube)

Het belangrijkste element van de buis zelf is het stalen omhulsel. Zeer regelmatige stalen cilinders moeten aan elkaar bevestigd worden met erg grote precisie. Expertise in de productie van stalen buizen voor de volledige Hyperloop met een diameter rond de 3,5m met een dikte van 35mm tot 40mm is van cruciaal belang om de ontwikkeling van de Hyperloop te faciliteren. Innovaties op het gebied van buisdikte en stijfheid, om de vereiste kwaliteit en sterkte te bereiken, kunnen leiden tot aanzienlijke kostenbesparingen. Ook efficiënte manieren om buizen te vervoeren of oplossingen die transport overbodig te maken (eventuele productie dichtbij een traject) kunnen de kosten van een Hyperloopimplementatie gevoelig verlagen. Een relatief nieuw cruciaal element voor een Hyperloop is de rechtheid en precisie van de buis. Omdat over een lange afstand bochten moeten ingepland worden, moeten buizen met een zeer precieze buiging kunnen geproduceerd worden.

Technology Readiness Level: 5

Locatie: Virgin Hyperloop One DevLoop / Hardt Low Speed Test Facility / HTT Toulouse

Magneten

Een Hyperloopsysteem is een transportsysteem waarbij passagiers en vracht in een pod door een bijna-vacuümbuis kunnen reizen met behulp van een magnetisch levitatie-systeem. De levitatie wordt gerealiseerd door het gebruik van geleidingsmagneten op het voertuig. Massale adoptie van Hyperloop impliceert een grote vraag naar magneetmaterialen en productie. Tevens moet vermeld worden dat de verschillende hyperloopspelers elk eigen oplossingen aan het uitwerken zijn. Bijgevolg is het moeilijk te bepalen welke precieze productie of materialen hierbij van nut zullen zijn.

Technology Readiness Level: 5

Locatie: Virgin Hyperloop One / Hardt Testvoertuig

Luchtsluis (air locks)

Voor het in- en uitstappen van passagiers en/of lading moet het voertuig uit de vacuümomgeving van de buis worden gehaald en naar een atmosferische (niet-vacuüm) omgeving gebracht worden. Een soort van *lock-systeem* moet ontworpen worden om dit mogelijk te maken. Expertise omtrent hyperbare kamers en luchtsluisystemen (air locks) zijn dus erg relevant voor de ontwikkeling van het concept. Bedrijven die ruimtes kunnen creëren die snel onder lage druk komen te staan, kunnen hun expertise toepassen voor de Hyperloop.

Technology Readiness Level: 1-5

Locatie: Virgin Hyperloop One DevLoop

Rails (sliding) en voortstuwing

In de stalen tube worden rails gemonteerd, die de levitatie en voortstuwing van de pods faciliteren. Deze rails zijn erg afhankelijk van welke technologie het concept zal gebruiken: Het concept van Hardt Hyperloop gaat uit van rails bovenaan in de tube waar de pod aan hangt. Andere concepten gebruiken rails waar de pod op steunt. Dit vereist aldus verschillende expertise. Ook wisselaars zouden kunnen geïnstalleerd moeten worden, afhankelijk van de gebruikte technologie.

In navolging van de recentste ontwikkelingen omtrent de voortstuwing van treinen (vb. maglevtreinen⁷) wordt ook bij de Hyperloop een systeem met weinig tot geen contact met het spoor vooropgezet. Dit is alsook nuttig om de onderhoudskosten van het spoor tijdens de exploitatiefase te verlagen. Kennis over goedkope en snelle productie van gelamineerde stalen stacks voor elektromagnetische ophanging (EMS) is van grote waarde. Deze kennis kan afkomstig zijn van industriepartijen die statoren voor elektromotoren produceren, of van bedrijven die transformatoren produceren, beide uit stacked laminaten van elektrisch staal.

Integratie van de track met het aandrijfsysteem van het voertuig door middel van wikkelingen in de track, zodat een voertuig kan worden voortbewogen, is een optie. De stroom door de draden wordt geleverd door elektrische systemen die 'drivers' worden genoemd. Bedrijven als Siemens, Bosch en ABB verkopen deze apparaten over de hele wereld, maar een nieuwe manier van transport gaat gepaard met nieuwe aandrijfseisen. De kennis over het bouwen van aandrijvingen voor elektrische aandrijfsystemen is nuttig voor de ontwikkeling van de Hyperloop.

Technology Readiness Level: 5

Locatie: Virgin Hyperloop One DevLoop / Hardt Low Speed Test Facility

Voertuig (pod)

Een Hyperloopvoertuig zal naar verwachting een orde van grootte minder wegen dan een gewoon treinvoertuig, voornamelijk vanwege innovaties in de lucht- en ruimtevaart op het gebied van composieten. Voor de ontwikkeling van de Hyperloop is dus kennis van productiemethoden voor koolstofvezel en aerodynamica vereist. De lucht- en ruimtevaartindustrie, maar ook de fabrikanten van matrijzen (molds) voor de lucht- en ruimtevaartindustrie en leveranciers van chemicaliën die nodig zijn voor de productie van composieten kunnen profiteren van een Hyperloopmarkt.

De goederen die in zo'n pod vervoerd kunnen worden zijn gelijkaardig aan de huidige goederenstromen voor luchtvracht en expressdiensten. Omwille van de variëteit aan goederen in die stromen zullen de pods intern gecompartmenteerd moeten worden. Een diepere analyse van de

⁷ <https://www.maglevboard.net/en/facts/systems-overview/transrapid-maglev>

goederenstromen moet aan de basis liggen voor een optimaal ontwerp en constructie van cargo pods met mogelijke compartimentering voor temperatuurgevoelige, gevaarlijke goederen of zelfs levende dieren.

- *Bogie (chassis): Technology Readiness Level: 1-5, locatie: Virgin Hyperloop One / Hardt Testvoertuig;*
- *Software: Technology Readiness Level: 1-5, locatie: Virgin Hyperloop One / Hardt Testvoertuig;*
- *Carrosserie: Technology Readiness Level: 1-3, locatie: HTT Testvoertuig*

Luchtpompen (air pumps)

De huidige luchtpompindustrie heeft ervaring op het gebied van hoog vacuüm voor kleine volumes en laag vacuüm voor grote volumes. Hyperlooptechnologie kan al met succes worden toegepast bij een laag vacuüm om de kosten te verlagen ten opzichte van transport onder normale atmosferische omstandigheden. Het efficiënter maken van luchtpompen om een vacuüm in grote volumes mogelijk te maken zal een Hyperloopsysteem met verhoogde operationele efficiëntie toelaten.

Technology Readiness Level: 1-5

Locatie: Virgin Hyperloop One DevLoop / Hardt Testfaciliteit

Poortkleppen (gate valves)

Poortkleppen compartimenteren de tube bij geval van nood of onderhoud. Een belangrijk veiligheidsaspect van de Hyperloop is dat er tussen de buissecties schuifafsluiters/poortkleppen (gate valves) worden gebouwd, zodat deze secties tijdelijk onder atmosferische druk kunnen gebracht worden. Een ander mogelijk concept is om het systeem te allen tijde op lage luchtdruk te houden en de voertuigen te voorzien van voldoende mechanismen en redundantie om te garanderen dat een voertuig altijd in staat zal zijn om een station te bereiken. Ervaring in vacuümvorming en expertise omtrent veiligheid is hier belangrijk.

Technology Readiness Level: 1

Uitzettingsvoegen (expansion joints)

De stalen buizen zullen gebruik maken van afgedichte uitzettingsvoegen (expansion joints) zoals in de minerale olie-industrie. Aan een paar stalen flenzen is een rubber bevestigd dat de systeemspanning, trillingen en het geluid vermindert. Deze technologie moet nog omgezet worden naar die van de Hyperloop.

Technology Readiness Level: 2

Schakelaar (switch)

Een snelwisselconcept (high-speed switch) laat voertuigen toe om een wissel te maken tussen buizen. Deze technologie is geen wissel zoals die gebruikt worden bij treinen, maar een magnetisch systeem dat de connectie tussen het voertuig en de rails verlegt van de ene naar de andere rail. Dit soort technologie staat nog niet op punt, en verschillende partijen werken elk aan een eigen oplossing.⁸

Technology Readiness Level: 1-3

⁸ Ter info, zijn de lopende patenten hieronder te raadplegen:

- Hardt Patent: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2019017775>
- Virgin Hyperloop One Patent: <https://patents.justia.com/patent/20190023285>

5.2. Constructie

<i>Bouwsteen</i>	<i>Nood</i>	<i>Benodigde expertise</i>
Grondwerken	Voorbereiding van de ondergrond voor constructie	Ervaring met grondvoorbereiding voor werken zoals bruggenbouw, treinbouw etc.
Pylonen	Steunpylonen voor de bovengrondse constructie	Expertise analoog bij andere grote bouwkundige projecten voor het ontwerp en de bouw van deze steunelementen.
Fundering	Ondersteuning van de bovengrondse verbinding	Ervaring in het bouwen van fundering voor lange verbindingen.
Tunnelbouw	Tunnelbouw van de tube	Expertise in de bouw, onderhoud en installatie van de tube in een eventuele tunnel.
Ruimtelijke planning	Inpassing in dichtbebouwde omgeving.	Expertise in routeplanning, onteigening, en veiligheid.
Station	Hubs voor passagiers en vracht	Expertise in zowel de bouw als het onderhoud, alsook het design van een multimodale hub, specifiek voor het toekomen van pods in hoge frequentie.
Zonnepanelen	Zonnepanelen op de tube	Expertise rond de bouw en uitbating van zonnepanelen op de stalen buis van de Hyperloop, alsook energiedistributie van de opgewekte energie.

Tabel 13: Bouwstenen: Constructie.

De bouw van de Hyperloop zal enkele elementen delen met de bouw van een boven- of ondergrondse treinverbinding. Zo moeten bouwkundige elementen zoals de fundering en de pylonen gelijkaardig aan de constructie van een hogesnelheidstrein ontworpen worden. Hyperloopstations zullen wel een specifieke inrichting en infrastructuur nodig hebben. Een belangrijk verschil is de grote graad van precisie: door de hoge snelheden en bijna-vacuüm omgeving moet de stalen tube erg gedetailleerd gemonteerd worden, wat ook een impact heeft op de ondersteunende constructie. Daarbij zorgt het tracé voor een complexe inplanting in het ruimtelijk landschap. Bochten moeten immers een zeer ruime curve hebben in een Hyperloop.

Grondwerk

Afhankelijk van het gewicht van de constructie moet het grondwerk op maat gebeuren. Richtlijnen van spoorbouw kunnen toepasbaar zijn, maar zijn niet volledig overdraagbaar. De grond moet echter vlak zijn en de samenstelling van de bodem moet zodanig zijn dat de kans op bodemverzakkingen laag is. Grondwerken en het funderingsontwerp moeten hand in hand gaan.

Pylonen

De pylonen worden ontworpen op basis van de gedragen last: de stalen buis en de reizende pod. De G-krachten en dus geïnduceerde laterale lasten zullen van groot belang zijn in eventuele bochten. De pylonen worden geconstrueerd uit voornamelijk beton, met staal. Eventuele digitale monitoring voor structurele integriteit kan eveneens worden geïmplementeerd.

Fundering

De funderingen worden gedimensioneerd op basis van het gewicht en de locatie binnen een traject. Een combinatie van een betonnen fundering met staalbuizen in de diepte lijkt voor de hand liggend,

maar moet bepaald worden door een studiebureau. Kennis over kosteneffectieve en tijdbesparende funderingen is belangrijk voor het succes van de Hyperloop, gezien de grote schaal van de constructie.

Tunnelbouw

Huidige treinstations of andere hubs zoals luchthavens zouden kunnen worden uitgebreid om ook als Hyperloopstation te dienen. Echter, de ruimte rond deze hubs is vaak sterk bebouwd, wat een verdere uitbouw tot Hyperloopstation bemoeilijkt. Ondergronds een Hyperlooptunnel bouwen kan in dat geval een oplossing bieden. Dit is echter significant duurder dan bovengrond bouwen, waardoor de totale kost van het concept erg vergroot. Tunnelbouw is dus een beperkte oplossing voor bepaalde cruciale secties.

Op dit moment zijn de hoge kosten van tunnelboring vooral te wijten aan de kosten van de tunnelboormachine die op maat moet worden gemaakt voor het bodemtype en de vereiste tunneldiameter. Wanneer de tunneldiameter groot is en de tunnel een aanzienlijke lengte heeft, worden de kosten van de tunnelboormachine overschaduwd door de totale kosten van het bouw materiaal. De kosten voor het bouw materiaal omvatten de tijd dat het materiaal beschikbaar moet zijn en de bemanning om het bouw materiaal te bedienen. De bouw tijd kan als meest bepalende factor gezien worden bij het bepalen van de totale kosten van de tunnelbouw. Samengevat is tunnelbouw een waarschijnlijk noodzakelijke, doch kostelijke operatie binnen het Hyperloopconcept. Uitgebreide expertise om dit element zo tijdsefficiënt mogelijk uit te voeren is cruciaal.

Ruimtelijke planning

De Hyperloop zal waarschijnlijk ingeplant worden op een hoogte van ongeveer 5m (of hoger). Grote krommingen kunnen nodig zijn door de hoge snelheid van het concept. Een korte bocht impliceert namelijk een lagere snelheid om de beleving comfortabel te houden voor de inzittenden. Bovengronds is het NIMBY-probleem ('Not In My Back Yard') een cruciale factor: het proces waarbij men niet negatief ten opzichte van een nieuwe technologie staat, maar dit niet in zijn eigen omgeving wilt zien opduiken door factoren zoals geluid of zicht. In een dichtbevolkte regio als Vlaanderen is dit een veelvoorkomend probleem. Enkele andere vragen zullen eveneens moeten worden beantwoord, zoals de impact van een Hyperloop op het milieu en lokale ecosysteem, alsook de geluidsimpact. Een goede ruimtelijke inplanting is dus essentieel.

Stations

De grote toegevoegde waarde van de Hyperloop ligt in zijn erg hoge snelheid. Een lange wachttijd in de stations zou deze toegevoegde waarde deels teniet kunnen doen. De stations moeten aldus zo gebouwd worden dat de doorstromingssnelheid hoog is. Om de capaciteit van het netwerk voldoende hoog te houden, zal elke pod maar een beperkte tijd in een station kunnen stoppen. Dit wordt in meer detail besproken in de volgende sectie die de operationele bouwstenen beschrijft.

Zonnepanelen

Zonnepanelen zijn een optioneel onderdeel van de Hyperloopinfrastructuur, die dikwijls terugkomt in de conceptuele plannen en studies van de ontwikkelaars. De logica hierachter is dat de fysieke buisstructuur een ideaal oppervlak is om op een goedkope manier zonnepanelen te plaatsen, en deze efficiënt aan te sluiten en te onderhouden. Kennis over de installatie van zonnepanelen, onderhoud ervan en hun koppeling aan het elektriciteitsnet is van grote waarde. In sectie 10.3.6 wordt geconcretiseerd hoeveel energie op deze manier in theorie zou kunnen worden opgewekt.

5.3. Logistieke en operationele elementen

In deze sectie worden de technische vereisten voor het opereren van een Hyperloop besproken, met daarbij een speciale focus op het vervoer van goederen. Een efficiënt goederenvervoer via de Hyperloop vereist immers een verre gaande automatisatie en robotisering, in verschillende deelaspecten. Om de capaciteit van de Hyperloop efficiënt te benutten voor logistieke operaties zijn er drie domeinen waarbinnen nieuwe technologieën en systemen ontwikkeld moeten worden: de aansturing- en planningssystemen de transporteenheden en behandeling van goederen. Elk onderdeel wordt hierna beschreven. Daarnaast wordt ook gekeken naar de operationele vereisten rond grensoverschrijdend management, onderhoud en veiligheid.

Bouwsteen	Nood	Benodigde expertise
Aansturings- en planningssystemen	Operationele aansturing en ondersteunende software	Ticketing, controle van de infrastructuur en dergelijke. Een veelheid aan software-applicaties kunnen relevant zijn.
Transporteenheden en goederenbehandeling	Efficiënte behandeling van goederen (en passagiers)	Behandeling van gestandaardiseerde cargo: efficiënt op- en afladen, controles etc.
Grensoverschrijdend management	Juridische expertise, douanecontrole	Expertise omtrent transport over landsgrenzen heen.
Onderhoud	Inspectie en technisch onderhoud	Technische controle en herstellingen.
Veiligheid	Veiligheidsanalyses- en infrastructuur	Voorzieningen en voorzorgen voor alle risico's: worden: brand, evacuatie, natuurlijke fenomenen etc.

Tabel 14: Bouwstenen: Logistieke en operationele Elementen

Aansturings- en planningssystemen

Systeemoptimalisatie en -integratie

De technologische en operationele specificiteit van het Hyperloopconcept overstijgt de huidige transportlogistieke processen. Zo zullen de veiligheid en beveiliging van het netwerk en/of douaneprocessen uiterst efficiënt georganiseerd moeten worden om de voordelen van het Hyperloopconcept te valoriseren. Een diepgaande en aanwezige kennis van luchtvrachtprocessen moet worden geconverteerd in een Hyperloop-systeemoptimalisering en – integratie vanuit het perspectief dat het Hyperloopnetwerk voornamelijk luchthavens (en steden) zal verbinden.

Integratie van de netwerkknooppunten

Om een optimaal geautomatiseerde en gerobotiseerde goederenbehandeling doorheen de hele keten van het Hyperloopknooppuntennetwerk te garanderen moet deze knooppunten maximaal operationeel geïntegreerd kunnen functioneren. Om deze interconnectiviteit tussen de knooppunten te garanderen moet worden ingezet op het uitrollen van data-uitwisselingsplatformen. Hier zijn in Vlaanderen alvast een aantal initiatieven in dit domein actief zoals bv. BruCloud, NxtPort en Rx/Seaport, en die op hun beurt al integratie nastreven.

Integratie van de Hyperloop in de logistieke operaties

Logistieke operaties en knooppunten zullen in het Hyperloop concept vanwege zijn hoogtechnologisch karakter en de hoge frequenties waarmee pods in het netwerk kunnen inschuiven erg flexibel moeten kunnen omgaan met capaciteit van het Hyperloopnetwerk. Om de aansluiting tussen de logistieke Hyperloopknooppunten met het Hyperloopnetwerk mogelijk te maken zal een aansturingssysteem moeten worden ontwikkeld dat op basis van algoritmes in 'real time' de capaciteitsbenutting kan aansturen. Ook hier zijn de in Vlaanderen reeds opgestarte initiatieven een vertrekbasis.

Transporteenheden en goederenbehandeling

De behandeling van vracht en bagage moet erg efficiënt kunnen uitgevoerd worden, gezien de korte aanwezigheid in het station en de hoge frequentie van pods die doorstromen. Dit is een beduidend anders systeem dan vliegtuigverkeer, waarbij een gevoelig grotere lading als een geheel in het ruim wordt geplaatst. Ook treinvracht wordt in grotere lading vervoerd. Automatisering van het laden en lossen van vracht, intermodaliteit tussen de Hyperloop en andere vervoerswijzen zal cruciaal blijken. Hieronder worden de belangrijkste technologische uitdagingen geïdentificeerd voor de behandeling van hyperloopvracht.

Laad- en lossysteem voor cargo pods

Om een vlotte afhandeling van de goederen via de Hyperloop mogelijk te maken is er nood aan doorgedreven automatisering (gespecialiseerde machines) en robotisering (herprogrammeerbare autonome machines). Dit betekent echter dat ook de laad- en lossystemen in de cargo pods geautomatiseerd en compatibel moeten zijn met de ingezette goederenbehandeling systemen.

Nieuwe gestandaardiseerde vrachttransporteenheden

Een doorgedreven geautomatiseerde en gerobotiseerde omgeving van vrachttransport per Hyperloop zal enkel mogelijk zijn indien de vrachttransporteenheden maximaal worden gestandaardiseerd in functie van zowel de cargo pod als de transportmodi binnen een intermodale oplossing. Hierbij moet worden gedacht aan voor- en natransport via weg, spoor of lucht. Hoe groter de graad van standaardisering van deze Hyperloop 'containers', geïnspireerd door de huidige ULDs (Unit Load Devices) voor luchtvracht bv., hoe groter de mogelijkheden om te automatiseren en robotiseren.

Maximalisatie laadvermogen gestandaardiseerde vrachttransporteenheden

Om het laadvermogen van de gestandaardiseerde Hyperloop 'containers' te maximaliseren dient een maximaal gebruik van nieuwe (composiet) materialen te worden overwogen. Een optimale invulling van dit laadvermogen ('payload') zal de business case van de verschillende Hyperloop transportsenario's versterken.

Pooling systeem voor nieuwe gestandaardiseerde transporteenheden

Net zoals de cargo pods zelf zullen nieuwe gestandaardiseerde transporteenheden ingezet worden in een uitgebreid netwerk van Hyperloopknooppunten waarna deze ook in het netwerk van andere modi worden verspreid. Om optimaal gebruik te maken van deze transporteenheden is het opzetten van een pooling systeem aangewezen.

Nieuwe gestandaardiseerde bagagetransporteenheden

Het Hyperloop knooppuntnetwerk zal voornamelijk luchthavens en steden verbinden en aldus ook aansluiten op het intercontinentaal luchtvervoer van passagiers. Dit betekent ook dat er heel wat persoonlijke bagage zal vervoerd worden. Net zoals bij luchtverkeer is een scheiding van 'ingecheckte' en 'handbagage' denkbaar. In dat geval is het ook aangewezen de 'ingecheckte' bagage te vervoeren in *dedicated* transporteenheden geschikt voor geautomatiseerde of gerobotiseerde afhandeling.

Geautomatiseerde en/of gerobotiseerde behandeling van standaard verpakkingen

In Hyperloop-logistiek zal maximaal worden ingezet op automatisering en robotisering, en in een ideaal scenario wordt dit geïmplementeerd doorheen de hele keten waarin Hyperloop deel van de transportketen uitmaakt. Dit houdt in dat ook voor de behandeling van standaard verpakkingen zoals kartons of paletten maximaal wordt ingezet op het ontwikkelen van hiertoe geschikte technologische oplossingen.

Geautomatiseerde en/of gerobotiseerde behandeling van standaard vrachttransporteenheden

Voor een vlotte goederenbehandeling die aansluit op de hoge efficiënte en frequentie van het Hyperloop-netwerk is een naadloze interconnectiviteit tussen de verschillende knooppunten van essentieel belang. Zo zal een maximale automatisering doorheen heel de keten bijdragen aan een maximale efficiëntie in de overslagpunten zoals in de magazijnen van de expediteurs nabij en afhandelaars op het Hyperloop knooppunt. Hiertoe is de ontwikkeling van geautomatiseerde en gerobotiseerde behandelingssystemen voor standaard vrachttransporteenheden noodzakelijk.

Geautomatiseerde en/of gerobotiseerde behandeling van pods

Het flexibel inzetten en invoegen of uitsorteren van (cargo) pods in het Hyperloopnetwerk zal (zeker in het geval van logistieke scenario's) uiterst vlot en efficiënt mogelijk moeten zijn. Rekening houdend met de technische specificiteit van het Hyperloopconcept is de ontwikkeling van een geautomatiseerde procedure hiervoor aangewezen.

Geautomatiseerde en/of gerobotiseerde laden en lossen van cargo pods

In functie van de wijze waarop cargo pods zullen worden ingezet in het Hyperlooptransportsysteem dient de operationele stilstand absoluut beperkt te worden. Een volledig geautomatiseerd of gerobotiseerde belading en lossing van de cargo pods moet dit ondersteunen. Hiertoe dient een volgende stap te worden gezet op technologisch vlak. De effectieve implementatie van gestandaardiseerde vrachttransporteenheden is hierbij cruciaal.

Elektrificatie en vergroening van alle magazijnoperaties

De sterke automatisering en robotisering heeft een hoge graad tot elektrificatie als gevolg. Dit is een opstap naar een verdere vergroening van de magazijnoperaties en bij voorkeur ook de realisatie van CO₂-neutrale operaties en magazijnen. Het feit echter dat het Hyperloopnetwerk vooral luchthavens en steden zal verbinden impliceert wel dat opgewekte energie niet of nauwelijks van een lokaal windmolenpark afkomstig kan zijn.

Organisatie van Hyperloopgoederenbehandelingsprocessen

Uit de eerder beschreven topics onder goederenbehandeling voor Hyperlooplogistiek blijkt reeds dat de organisatie van de processen naast het tijdskritisch karakter dat ten dele kan vergeleken worden met luchtvrachtprocessen en/of expressdienstprocessen, ook een grote technologische component rechtstreeks invloed heeft op de operationele omgeving. Het zal een

hoogtechnologische omgeving betreffen waarin quasi het hele behandelingsproces geautomatiseerd en gerobotiseerd zal verlopen. Dit zal een volledig nieuwe aanpak vergen van de organisaties die zich hierin specialiseren waarbij ook het personeel over een bijzondere set van vaardigheden zal moeten beschikken. Een hoog inzicht in het gehele Hyperloop (transport)netwerk zal hierbij van primordiaal belang zijn.

Grensoverschrijdend management

Gezien dat de Hyperloop over verschillende landen zal spannen, is expertise omtrent het juridische aspect en douanekwesties van groot belang voor het concept. Binnen de EU is dit een efficiënt proces, maar een Europees netwerk zou ook buiten de grenzen van de Unie kunnen vallen (Zwitserland, Balkan etc.)

Cargo (en passagier) pod onderhoudsdiensten

Onderhoud is een erg belangrijk aspect bij elk transportsysteem. Ook hier zullen verschillende expertises moeten samengebracht worden: staalonderhoud, onderhoud van de tubes, de stations, ...

Welk exploitatiesysteem voor pods ook zal worden ingezet, of nu één of meerdere operatoren betrokken zullen zijn, de cargo- en passagierspods zullen in operationeel en technisch geschikte staat moeten zijn om de hoogtechnologische transportoplossing van de Hyperloop in veilige en optimale omstandigheden te gebruiken. Dit betekent dat hiervoor een onderhoudsdienst op de verschillende knooppunten en stations aanwezig zal moeten zijn omdat individuele collectie en onderhoud van deze pods op individueel bedrijfsniveau moeilijk haalbaar zal zijn in een netwerkopstelling.

Veiligheid

Analyses rond de veiligheid voor alle inzittenden, noodsituaties, brandveiligheid en evacuatie moeten onderzocht worden. Ook monitoring tijdens de operaties zijn essentieel. Hier wordt een scala aan expertises noodzakelijk: zowel voor de veiligheid en integriteit van tunnels, bruggen, stalen constructies, alsook het vervoer van personen en vracht.

6. Relevant ecosysteem in Vlaanderen voor het Hyperloopconcept

6.1. Industrie

Zowat alle onderdelen die nodig zijn om het Hyperloopconcept operationeel te maken hebben nog een zekere doorontwikkeling nodig, zoals aangehaald in hoofdstuk 5. Hieronder worden voor alle bouwstenen bedrijven vermeld die een rol zouden kunnen spelen in de ontwikkeling. De bedrijven zijn telkens ofwel Vlaamse bedrijven, ofwel internationale bedrijven met een belangrijke tewerkstelling in Vlaanderen. Gerelateerde bouwstenen worden gegroepeerd opgelijst en besproken.

Voor de opstelling van deze indicatieve (niet-exhaustieve) lijst werd tevens beroep gedaan op de expertise van sectorfederatie Agoria⁹.

6.1.1 Kerntechnologie

De kerntechnologie van de Hyperloop wordt hieronder weergegeven, samen met het aantal bedrijven gerelateerd tot dat onderdeel, enkele voorbeelden van die bedrijven en opmerkingen.

Bouwstenen	Bedrijven
Stalen buis (tube)	<i>Revimaxx, ArcelorMittal, Aperam, Allard-Europe, Fabricom, Smulders, Victor Buyck, Voestalpine Sadef</i>
Poortkleppen (gate Valves)	<i>Allard-Europe</i>
Luchtsluis (air locks)	<i>Allard-Europe</i>
Luchtpomp (air pumps)	<i>Atlas Copco, Ensival-Moret (Sulzer), Flowserve SIHI, Festo, SMC Pneumatics</i>
Rails (siding) en voortstuwing	<i>Fabricom, Siemens, Besix, Allard-Europe, Voest Alpine Sadef, Victor Buyck</i>
Magneten	<i>Siemens, Techspace Aero</i>
Voertuig (pod)	<i>AeroGo Europe NV, Acrosoma, Sabca (& Sabca Limburg), Sonaca, ASCO, Devan, Solvay, Barco, Moss Composites, Materialise, Exel Composites, Busbouwers zoals Van Hool, VDL Fibertech</i>
Uitzettingsvoegen (Expansion joints)	
Switch	

Tabel 15: De onderdelen van de Hyperloop qua kerntechnologie, en selectie van relevante Vlaamse bedrijven.

Vlaanderen heeft een erg grote staalindustrie, en verschillende staalbedrijven zouden een rol kunnen spelen bij de productie, de afwerking, het transport en de installatie van **de stalen tube**, alsook de daarbij horende elementen zoals **de poortkleppen, de luchtsluis en de luchtpomp**.

Startend met de productie van het ruwe staal zouden bijvoorbeeld *ArcelorMittal, Aperam en Allard-Europe* hun expertise en productietechnieken kunnen toepassen. Andere bedrijven kunnen werken op de productie van de elementen zelf: zo heeft het bedrijf *Revimaxx* een innovatieve nieuwe productie omtrent het buigen en plooiën van grote stalen elementen. Gezien de precisie waarmee de

⁹ Er werden geen Vlaamse bedrijven gevonden die vandaag reeds actief bijdragen aan de ontwikkeling van de Hyperloop. Het Brusselse TUC Rail is een financiële sponsor van het Nederlandse Hyperloop studententeam van de TU Delft. <https://delfthyperloop.nl/en/partners>

stalen buis zou moeten ontwikkeld worden om bochten op een lange afstand mogelijk te maken, is deze technologie erg relevant. *Fabricom* levert wereldwijd gasleidingen. Hun jarenlange ervaring kan relevant zijn om een bijna-vacuüm tube mogelijk te maken. *Smulders* bouwt off-shore platformen en andere complexe staalstructuren. Tevens werken zijn samen met *Fabricom* voor de installatie van elektronica. *Smulders* heeft een diepe expertise omtrent verwerking van staal, veiligheidseisen en de complexe installatie. Deze bedrijven zouden hun expertise ook kunnen uitbreiden om zo een additionele elementen die benodigd zijn voor de tube te kunnen produceren. De poortkleppen, luchtsluis en luchtpomp zorgen dat de tube naar behoren vacuüm kan blijven, en vereisen een doorgedreven en precieze productie. Op dit moment kan er niet met zekerheid verteld worden welke bedrijven in Vlaanderen deze elementen aangepast voor de Hyperloop zouden kunnen produceren. Ze vereisen immers nog een sterke technologische ontwikkeling.

De technologie die zal toegepast worden in de Hyperloop om de voertuigen voort te sturen zijn nog niet concreet vastgelegd, laat staan gestandaardiseerd. Wel is er een duidelijke focus op het gebruik van **elektromagnetische aandrijving**. Magneten en magnetische rails, alsook elektromotoren kunnen aldus tot mogelijke elementen van de Hyperloop gaan behoren. Bijgevolg kan een breed scala aan bedrijven hieraan werken, zoals bijvoorbeeld *Siemens*. De brede expertise omtrent motoren en mobiliteit alsook elektronica biedt een uitstekende basis om de technologie te ontwikkelen. Ook bedrijven in de ruimtevaart zoals *Techspace Aero* kunnen hier een rol spelen. Zowel de staalbedrijven als bedrijven als *Siemens* kunnen zich richten op de ontwikkeling van de **rails**.

Vlaanderen bezit veel bedrijven die een diepe expertise hebben in composietmaterialen, waaruit de **Pods** zouden gemaakt worden. Spelers zoals *Materialise* horen bij de wereldtop qua productie en onderzoek. Er zijn heel wat bedrijven in Vlaanderen gevestigd die unieke expertise hebben in gebruik van composietmateriaal of in de Aerospace-industrie: *AeroGo Europe NV*, *Acrosoma*, *Sabca (Sabca Limburg)*, *Sonaca*, *ASCO*, *Solvay*, *Moss Composites*. Daarnaast kunnen bedrijven als *Barco* (visualisatie) en *Devan* (inrichting) mee voor het interieur instaan. Zoals in hoofdstuk 4 besproken, is ook de acceptatie en het comfort van de passagiers belangrijk voor de implementatie van Hyperloop. Deze spelers kunnen hier innovatieve oplossingen voor bieden.

Voor de **uitzettingsvoegen en de switches blijft** is het momenteel moeilijk om bedrijven te identificeren die hierin een duidelijke expertise hebben.

6.1.2 Constructie

De onderdelen voor de constructie van de Hyperloop worden hieronder weergegeven, samen met het aantal bedrijven gerelateerd tot dat onderdeel, enkele voorbeelden van die bedrijven

Bouwstenen	Bedrijven	Opmerkingen
Grondwerken	<i>Besix, JDN, Hyundai Construction Equipment Europe, Volvo Construction Equipment, Komatsu Europe International</i>	België bezit een sterke bouwsector. Besix en Jan De Nul zijn koplopers, maar Vlaanderen bezit een veelvoudigheid aan kleine KMO's die ook betrokken kunnen worden.
Pylonen	<i>Besix, JDN, Smulders, Victor Buyck</i>	Hetzelfde geldt hier. Voor de pylons zal evenwel meer ervaring nodig zijn, en zijn de grotere bedrijven zoals Besix en JDN een meer aangewezen keuze.
Fundering	<i>Besix, JDN</i>	Hetzelfde geldt hier. Voor de fundering zal evenwel meer ervaring nodig zijn, en zijn de grotere bedrijven zoals Besix en JDN een meer aangewezen keuze.

Tunnelbouw	<i>Besix, JDN, Denys, Hyundai Construction Equipment Europe, Volvo Construction Equipment, Komatsu Europe International, Fabricom, Vinci Energies, Spie Belgium, Smet</i>	Tunnelling expertise is zeer sterk aanwezig bij Besix en JDN, maar ook bij kleinere spelers.
Ruimtelijke planning		De bouwsector kan hier een grote rol spelen.
Station	<i>Besix, Interbeton, Vinci, CG Power Systems, Fabricom, Vince Energies, Spie Belgium</i>	De bouwsector kan hier een grote rol spelen. Besix bezit een specifieke expertise in dit veld.
Zonnepanelen	<i>Tractebel-Engie (management), Agfa, Solvay, Bosch, Siemens, CG Power Systems, Umicore</i>	Agfa en Solvay maken deelmaterialen.

Tabel 16: De onderdelen van de Hyperloop qua constructie en een selectie van relevante Vlaamse bedrijven

Vlaanderen heeft een traditioneel sterke bouwsector, en bezit zowel wereldspelers zoals *Besix en Jan De Nul*, alsook vele kleinere aannemers en KMO's. Verschillende bedrijven zijn in staat om **grondwerken** uit te voeren die als voorbereiding voor de constructie van een Hyperlooptraject dienen. Dezelfde redenering geldt voor de bouw van de **pylonen en de fundering**. Verschillende bouwbedrijven hebben ervaring met de constructie van metalen en stalen pylonen voor infrastructuurprojecten. Er zijn voldoende Vlaamse bedrijven die deze activiteiten kunnen uitvoeren, maar hun expertise is wellicht niet differentiërend in een Europese of globale context voor de Hyperloop.

Een degelijke expertise in de **tunnelbouw** is vereist voor een grootschalig project als de Hyperloop en de eventuele inplanting in stadscentra. Bedrijven als *Denys, Jan De Nul en Besix* hebben deze expertise in huis. Ook hier is het zo dat de Vlaamse bedrijven deze opdrachten kunnen uitvoeren, maar zij zijn niet noodzakelijk differentiërend.

Stationsbouw en de **ruimtelijke inplanting** van de loop vereist een brede samenwerking van verschillende soorten bedrijven, op vlak van elektronica, signalisatie, bouw etc. Hier kunnen de grote spelers *Jan De Nul* en *Besix* mee aan de infrastructuur werken, alsook de *Vinci* groep, Een speler als *CG Power Systems* kan mee bouwen aan de elektronica. Doch lijkt het moeilijk om hier te kunnen spreken van een differentiërende Vlaamse kennis. De fabricatie van de **zonnepanelen** lijkt een zone waar Vlaanderen minder kennis in bezit. Er zijn uiteraard bedrijven die zonnepanelen kunnen installeren op industriële sites, doch is er geen echte expertise in het innovatief verwerken of plaatsen van panelen in bestaande bouwcomponenten.

6.2. Academische instellingen

In sectie 7.1 identificeert dit rapport dat de huidige Europese Hyperlooporganisaties in veel gevallen hun oorsprong vonden in universitaire initiatieven, waarbij technische faculteiten hun studenten en onderzoekers samenbrengen om elementen van de Hyperlooptechnologie te ontwikkelen door aan de internationale Hyperlooptechnologie-competitie van ruimtevaartbedrijf SpaceX deel nemen¹⁰. Zij

¹⁰ De Hyperloop Pod Competition is een event in de Verenigde Staten dat plaatsvindt sinds 2015, gesponsord door SpaceX, waarbij onderzoeksteams van over heel de wereld worden uitgenodigd om hun prototype's te demonstreren. Zij nemen deel aan diverse competities en sub-competities waarin de prototype's geëvalueerd worden op technische functionaliteit en haalbaarheid. Meer info op <https://www.spacex.com/hyperloop>.

hebben bovendien vaak een ecosysteem van relevante ontwikkelingspartners uit de industrie. Deze universitaire initiatieven creëerden een sneeuwbaaleffect en groeiden verder uit tot onafhankelijke ondernemingen, die dankzij hun oorsprong, kunnen blijven rekenen op financiële en technologische steun van de universiteit en van geïnteresseerde industriepartners. Dit is dan ook één van de primaire doelen van de SpaceX competitie: het aanmoedigen van de ontwikkeling van lokale Hyperloop-initiatieven overheen de wereld.

In de tabel hieronder werd een (niet-exhaustieve) analyse gemaakt van het relevante Vlaamse onderzoekslandschap. Hieruit blijkt dat er voor de meeste bouwstenen relevante onderzoeksgroepen in België bestaan die een bijdrage kunnen leveren aan de ontwikkeling. Het is echter moeilijk in te schatten of er een echte unieke, differentiërende kenniscluster, relevant voor de Hyperloop, aanwezig is. Uit deze initiële screening blijkt alvast dat momenteel geen academisch onderzoek wordt gedaan, noch naar technologische, noch naar socio-economische elementen van het Hyperloopconcept.

Bouwstenen	Aantal onderzoeksgroepen	Relevante universiteiten/KC	Relevante departementen/onderzoeksgroepen
Kerntechnologie			
Tube	3+	<i>KU Leuven, U Gent</i>	Verschillende departementen binnen KUL: Mechanical Engineering Materials Engineering, ... Vakgroep Materialen, Textiel en Chemische Proceskunde, Ugent
Airlocks			Geen onmiddellijke expertise werd gevonden
Rails (siding)	2	<i>KU Leuven, U Gent</i>	KU Leuven:Materials Engineering, Faculteit Ingenieurswetenschappen,
Pod	5+	<i>U Gent, KU Leuven, SIRRIS</i>	A lot of knowledge on composite materials U Gent, Dept. of Mechanical Construction and Production. KU Leuven, Materials Engineering SIRRIS, Leuven, Gent Composites application Lab (SCL-lab)
Motor/Maglev	1+	<i>KU Leuven</i>	<i>Research on Hybrid and Full Electric Vehicles</i> Departement Chemie, Afdeling Moleculair Design en Synthese, KU Leuven Afdeling Toegepaste Mechanica en Energieconversie, KU Leuven
Air pumps	2	<i>U Antwerpen, KU Leuven</i>	Faculteit Toegepaste Wetenschappen , KU Leuven Elementary Particle Physics research group, U Antwerpen
Gate Valves	3+	<i>U Gent, KU Leuven, VUB</i>	Vanuit onderzoek voor kernenergie
Switch	1+	<i>U Gent</i>	UGent, Robotics research Group
Constructie			
Grondwerken	1	<i>KU Leuven</i>	Afdeling Bouwmechanica, KU Leuven
Pylonen	3+	<i>U Gent, KU Leuven</i>	KU Leuven, Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen KU Leuven, Depart. Of Civil engineering, Division of structural Mechanics UGent, Dept. of Civil Engineering,

Fundering	3+	-	Idem as Pylons
Tunnelbouw	2+	<i>U Gent, KU Leuven</i>	Vakgroep Geografie, U Gent Vakgroep Civiele Techniek, U Gent Departement Burgerlijk Bouwkunde KU Leuven
Ruimtelijke planning	2	<i>U Hasselt, U Antwerpen</i>	School voor Mobiliteitswetenschappen (SvM), U Hasselt Transport and Maritime Management, UA
Station	8+	<i>U Antwerpen, VUB, Solvay Business School UHasselt</i>	Institute for Transport en Maritime Management (ITMMA) UA Transport en ruimtelijke economie, UA Mobiliteit, Logistiek en Automotive Technology Onderzoekscentrum, VUB Bedrijfstechnologie en operationeel beheer, VUB Faculteit Economische en Sociale Wetenschappen VUB Solvay Business School Bedrijfseconomische Wetenschappen, U Hasselt Instituut voor Mobiliteit en logistiek, U Hasselt
Zonnepanelen	3+	<i>Imec, KU Leuven en UHasselt</i>	EnergyVille
Logistieke en operationele Elementen			
Veiligheid	2+	Sirris, U Hasselt	Fire-resistant coatings for composites. SLC-Lab and the Smart Coating Application Lab, Sirris Traffic Safety (TS), Transportation Sciences, U Hasselt
Operaties	1	U Antwerpen	Transport and Maritime Management
Behandeling van vracht	2+	IMEC UGENT,UA	Department of Information Technology, Department of Mathematics
Behandeling van bagage	1	U Antwerpen	Transport and Maritime Management
Grensoverschreidend management	2	U Gent	European Projects
Onderhoud	2	KU Leuven	KU Leuven CENTRE FOR INDUSTRIAL MANAGEMENT / TRAFFIC AND INFRASTRUCTURE
Software en aansturing- en planningssystemen	2	U Antwerpen, KU Leuven	Internet Data Lab (IDLab) (IDLab), Computerwetenschappen, Campus Kulak Kortrijk

Tabel 17: Overzicht van relevante onderzoeksdepartementen en groepen in Vlaanderen voor de verschillende bouwstenen (niet-exhaustief)

6.3. Mapping van de opportuniteiten voor Vlaanderen

Deze analyse capteert welke bouwstenen van het Hyperloopconcept interessant kunnen zijn voor Vlaanderen.

De eerste factor die wordt in rekening gebracht is de ‘ruimte voor technologische ontwikkeling’. Hieronder worden 3 subcriteria samengebracht:

1. Elke technologie-component heeft, zoals eerder besproken, een *Technology Readiness Level*. Deze **TRL** wordt hier mee in acht genomen.
2. Daarnaast wordt voor deze oefening ook gekeken naar **de nood en het belang van de ontwikkeling van dat element** voor het Hyperloopconcept. Hoe cruciaal een element voor het totaalconcept is, staat immers los van zijn TRL.
3. Ten slotte wordt gekeken naar ‘de **transferability**’: de mogelijkheid tot het overbrengen van gelijkaardige technologieën uit andere industrieën naar de Hyperloop. Indien technologieën makkelijk overdraagbaar zijn, is de nood aan innovatie op dit moment minder hoog, ook al heeft een bepaald product een lage TRL.

De andere factor beslaat de ‘**expertise die Vlaanderen bezit**’, zoals beschreven in sectie 6.1. Hieronder worden 2 subcriteria samengebracht:

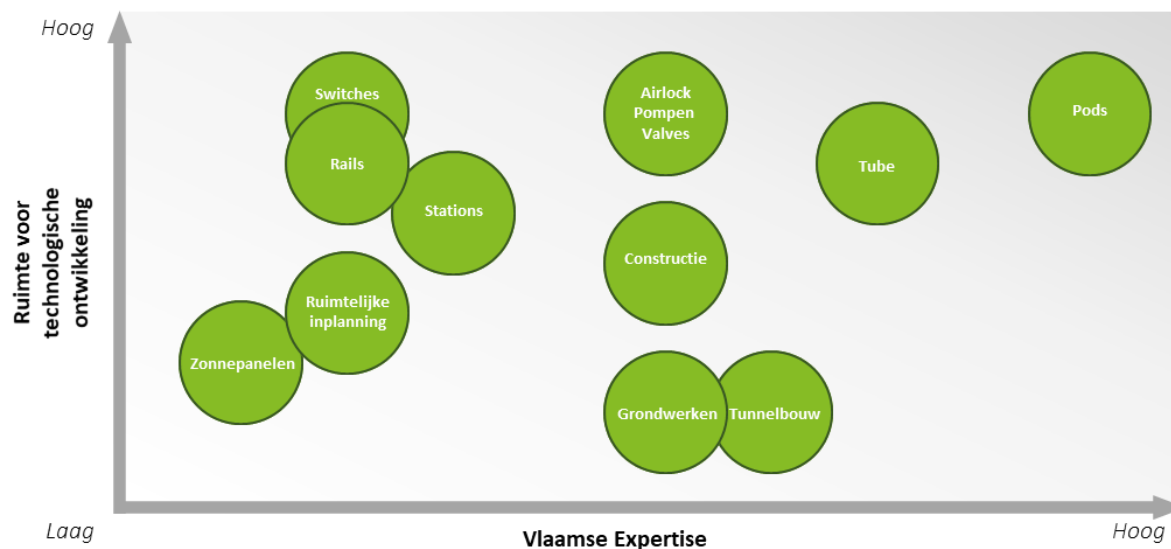
1. De **mate van aanwezigheid van expertise** en industriële capaciteit in Vlaanderen
2. De mate waarin de Vlaamse expertise een **onderscheidende rol** op Europees niveau zou kunnen spelen. Een combinatie van sterk industriële alsook academische expertise is cruciaal.

De technische bouwstenen worden hieronder geëvalueerd op de bovenstaande 2 factoren. Hierbij wordt gefocust op technologie en constructie-elementen

Bouwstenen	Vlaamse Expertise	Ruimte voor technologische ontwikkeling
Pods	Zeer sterk	Zeer groot
Tube	Sterk	Groot
Tunnelbouw	Sterk	Klein
Grondwerken	Matig	Klein
Constructie	Matigk	Klein
Airlock, Pompen, Valves	Matig	Zeer groot
Station	Matig	Matig
Zonnepanelen,	Beperkt	Klein
Ruimtelijke Inplanning	Beperkt	Klein
Rails	Beperkt	Groot
Switches	Beperkt	Zeer groot

Tabel 18: Inschatting van de Vlaamse expertise en de ruimte voor ontwikkeling van de Hyperloop

De evaluatiescores uit bovenstaande tabel worden gevisualiseerd in de onderstaande figuur. Deze mapping geeft de 'ruimte voor technologische ontwikkeling' weer op de verticale schaal, en 'de Vlaamse expertise' op de horizontale schaal.



Figuur 3: Mapping van de opportuniteiten voor Vlaanderen

Men kan besluiten dat de **Pods** een attractieve bouwsteen lijkt voor Vlaanderen. Allereerst is de TRL voor pods nog vrij laag, maar is het element ook uiterst cruciaal voor de ontwikkeling van de Hyperloop. Ook overdracht uit andere industrieën lijkt moeilijk, gezien de specifieke eisen van de pod zoals de hoge G-krachten, de afmetingen en het vervoer in vacuüm. Daarnaast bezit Vlaanderen een uitzonderlijke kennis omtrent composietmaterialen, de materialen waaruit de pod voornamelijk zou bestaan. Dit zowel op universitair als op industrieel vlak. Vlaanderen zou aldus zijn kennis omtrent composietmaterialen kunnen toepassen voor het ontwerp en de eventuele bouw van het omhulsel van deze pod, of andere elementen die in kunststof zullen vervaardigd worden.

De **tube** is ook een interessant element voor Vlaanderen. Er is nog onderzoek vereist voor een correcte uitvoering en bouw van de tube. Vlaamse gespecialiseerde bedrijven kunnen bijdragen aan het onderzoek en eventuele bouw van onderdelen. Vlaanderen bezit ook bedrijven die zo'n tube in zijn volledigheid zouden kunnen produceren. Als kanttekening kan wel gemaakt dat men hier sterk afhankelijk is van economische overwegingen, waarbij productie in Vlaanderen voor standaardonderdelen mogelijk niet de meest attractieve optie is. Daarom ligt hier de opportuniteit eerder in precisie-onderdelen en sub-componenten (vb. buisstukken met uiterst precieze curves).

De **airlock, switch, pompen en valves** zijn bouwstenen waar nog steeds onderzoek naar moet gedaan worden. Ondanks dat er een zekere overdraagbaarheid van andere technologieën mogelijk zou kunnen zijn, moeten de elementen nog steeds specifiek voor Hyperloop doorontwikkeld worden. Alhoewel in de analyse uitgevoerd voor dit rapport weinig differentiërende expertise in Vlaanderen gevonden werd, wordt er aangenomen dat gezien de sterke staalexpertise, Vlaanderen toch een rol kan spelen bij onderzoek en productie van deze elementen. Ze zijn immers sterk verbonden aan het ontwerp van de tube en zullen voornamelijk uit staal vervaardigd worden, waarbij precisie en kwaliteit essentieel is.

De bouw van **Hyperloopstations** zal erg afhankelijk zijn van hoe de andere technologieën worden ontwikkeld. Vlaanderen bezit de nodige bedrijven om deze bouw op zich te nemen, maar heeft op dit vlak geen uitzonderlijke en onderscheidende kennis in vergelijking met buitenlandse spelers. Hetzelfde geldt voor de **tunnelbouw en de grondwerken**, waar Vlaanderen meer dan voldoende expertise bezit, maar niet per se een differentiërende positie kan claimen. Hier is ook weinig verdere ontwikkeling vereist voor het Hyperloopconcept

Voor de **rails en switches** moet duidelijk nog heel wat onderzocht worden. Op dit vlak lijkt het moeilijker voor Vlaanderen om mee te innoveren: op dit moment is er geen uitzonderlijke expertise in Vlaanderen omtrent dit thema gevonden. Voor de overige bouwstenen is er noch een duidelijk onderscheidende expertise in Vlaanderen, noch een grote nood aan innovatie. Deze elementen blijken op dit moment minder sterk qua prioriteit.

In conclusie lijkt Vlaanderen het best gepositioneerd om bij te dragen tot de ontwikkeling (en uiteindelijke productie) van de pods. Daarnaast zijn er mogelijk voor ook opportuniteiten voor de ontwikkeling van hoogtechnologische elementen van de tubes, airlocks, pumps en valves. Vlaanderen heeft voldoende capaciteiten voor de concrete aanleg van een Hyperlooptraject, maar het is onduidelijk in welke mate Vlaamse bouwbedrijven op globaal niveau kunnen bijdragen aan de realisatie van Hyperloopnetwerken.

7. Analyse van de wereldwijde en Europese context

De ontwikkeling en realisatie van een Europees Hyperloopnetwerk is een enorme uitdaging, die onmogelijk vanuit één enkel land geleid kan worden. Samenwerking op Europees niveau in de industrie, kennisinstellingen en overheden is wellicht een vereiste om het ontwerpen en testen van alle bouwstenen van de Hyperlooptechnologie te bewerkstelligen.

Nieuwe technologieën

Zoals beschreven in hoofdstuk 4, is er een aanzienlijke technologische ontwikkeling nodig om het Hyperloopsysteem tot een commercieel maturiteitsniveau te brengen. Verschillende initiatieven binnen en buiten Europa zijn hieraan reeds aan het werk.

Nieuwe diensten

Een nieuw UX- en serviceontwerp is nodig voor deze nieuwe manier van reizen. De pods zijn immers volledig gesloten: specifiek servicedesign moet oplossingen bieden om de reiziger een aangenaam gevoel tijdens het rijden te geven.

Nieuwe normen

Om de veiligheid en interoperabiliteit te waarborgen en de groei van de Hyperloopindustrie te ondersteunen is het ontwikkelen van duidelijke technische- en veiligheidsnormen essentieel. Onderzoek en ontwikkeling, testen en implementatie van de Hyperloop, kan een kans zijn voor zowel Vlaanderen als voor de bedrijven die deelnemen en de ontwikkeling van de Hyperloop coördineren. De huidige initiatieven richting standaardisering van het Hyperloopconcept worden later in sectie 7.2 besproken.

7.1. Overzicht van relevante Spelers in de Hyperloopwereld

Op dit moment wordt de globale media-aandacht rond het concept voornamelijk gedomineerd door de grotere Amerikaanse partijen Virgin Hyperloop One en (in mindere mate) Hyperloop Transportation Technologies. Daarna volgen middelgrote spelers als TransPod (Canada) en Hardt Hyperloop (Nederland) en een serie kleine of pas opgestarte organisaties of studententeams. Gezien de grote publieke interesse voor het Hyperloopconcept is er, zeker voor de grootste spelers, veel media-aandacht. Een aantal spelers hebben ook een erg assertieve PR-strategie, met geregelde partneraankondigingen en nieuwe persberichten. Het is belangrijk deze strategie te erkennen en de verschillende spelers en hun plannen dus op een kritische manier te benaderen waarbij vooral concrete realisaties en realistische toekomstplannen waardevol zijn. De grote media-aandacht betekent echter ook dat een onvoorziene stopzetting van de activiteiten van één van de grote spelers een serieuze klap zou betekenen voor de geloofwaardigheid van het concept en verdere investeringen in de markt kan doen opdrogen.

Tabel 19 lijst de wereldwijde initiatieven en onderzoeksgroepen op. De tabel duidt tevens de grootte qua financiering van de projecten, hun status en waar deze actief zijn. Ook de focus op vracht of passagiers wordt geduid. Daarna worden de belangrijkste actieve spelers in meer detail besproken.

Bedrijf	Opgestart	Financiering	Focus (vracht/personen)	Locatie	Status	Link webpagina
Virgin Hyperloop One	2014	\$196.2 miljoen	Beiden	Wereldwijd, gebaseerd in VS	R&D, testing en partnerships. Gevorderd in planning commerciële route (Indië)	Hyperloop One
Hyperloop Transportation Technologies (HTT)	2013	\$31.2 miljoen	Beiden	Wereldwijd, gebaseerd in VS	R&D, testing en partnerships	HTT
TransPod	2015	\$15 miljoen	Beiden	Canada, Frankrijk	R&D, testing en partnerships	TransPod
Hardt Hyperloop	2016	€ 6.9 miljoen	Beiden	Nederland	R&D, testing en partnerships	Hardt
Zeleros	2016	€ 150 000	Personen	Spanje	R&D naar pod, partnerships	Zeleros
Continuum Industries	2018	€ 250 000	Personen	Verenigd Koninkrijk	Onderzoek naar IT-oplossingen (FTE + studenten)	Continuum Industries
Hyper Poland	2017	Onbekend	Personen	Polen	Onderzoek naar diverse elementen (FTE + studenten)	Hyper Poland
Eurotube	2018	Onbekend	Personen	Zwitserland	Onderzoek naar diverse elementen, plannen voor testsite in CH	Eurotube
Hyperloop UC	2017	N/A	Personen	Verenigde Staten	Studentenonderzoeksgroep naar podconstructie	Hyperloop UC
Hyperloop Connected (Delft)	Sept 2017	N/A	Personen	Nederland	Studentenonderzoeksgroep naar podconstructie	Delft Hyperloop
Hyped (University of Edinburgh)	2015	N/A	Personen	Verenigd Koninkrijk	Studentenonderzoeksgroep naar podconstructie en potentiële route in VK	HYPED
Swissloop	2018	N/A	Personen	Zwitserland	Studentenonderzoeksgroep naar podconstructie	Swissloop
Mexloop	2017	N/A	Personen	Guadalajara – Mexico City	Promotie van potentieel traject in Mexico	Mexloop

Tabel 19: Overzicht van de wereldwijde Hyperloopstartups en actieve organisaties.

Virgin Hyperloop One



Virgin Hyperloop One is de grootste en meest geavanceerde wereldwijde speler in de Hyperloopindustrie. Met een financiering van \$275 miljoen en ondertussen 250 werknemers heeft Virgin Hyperloop One de grootste financiering en aantal werknemers. Ondertussen heeft het bedrijf 30 patenten in omloop. Hyperloop One werd in oktober 2017 deel van het conglomeraat Virgin, waarmee ze de steun kregen van ondernemer Richard Branson. Dit gaf een grote boost aan de geloofwaardigheid van deze startup.

Virgin Hyperloop One heeft de grootste testfaciliteit wereldwijd in Nevada, VSA. De 'DevLoop' heeft een lengte van 500m en een diameter van 3,3m, en het bedrijf heeft in oktober 2018 een eerste concept van hun voertuig voorgesteld.¹¹ Jaarlijks wordt 'The Global Challenge' gehouden, waarbij universiteiten, bedrijven, overheden en anderen voorstellen kunnen ontwikkelen om de technologie van het bedrijf in hun regio in te zetten voor het vervoer van passagiers en vracht. Virgin Hyperloop One heeft ook al een haalbaarheidsstudie gepubliceerd voor een link tussen Helsinki en Stockholm, een route in Missouri in de VSA en een studie rond milieu-impact in Ohio, VSA.

De Indische staat Maharashtra heeft tevens aangekondigd een route tussen Pune Navi Mumbai International Airport en Mumbai centrum te overwegen. In 2019 zou men kunnen beginnen aan de bouw van een demonstratietraject van 15km¹². Virgin Hyperloop One zou de testtrack volledig zelf financieren, waarbij de lokale overheid de gronden zou voorzien. Na de succesvolle bouw en operationalisering van dit pilootproject zou een volledige commerciële route kunnen worden uitgebouwd tegen 2025-2028. In november 2018 verklaarde de lokale overheid de Pune-Mumbai Hyperloop als een publiek infrastructuurproject. **Dit lijkt voorsnog het Hyperlooptraject met de meest concrete plannen voor implementatie.**

Ook in cargo investeert Virgin, via de aankondiging van een samenwerking met DP World, een globale havenuitbater. DP World Cargospeed wil het vervoer van gestandaardiseerde cargopaletten via Hyperloop mogelijk maken.

Hyperloop Transportation Technologies (HTT, HyperloopTT)



Hyperloop Transportation Technologies is een Amerikaanse speler, gebaseerd in Los Angeles. HTT werkt door 'crowd collaboration': individuen kunnen bijdragen aan het concept zonder zelf voltijds werknemer te zijn (crowdsourcing). Met 50 voltijds werknemers en 220 deeltijdse hebben zij alvast een stevige equipe die aan het concept werkt. Tevens hebben zij een financiering van \$30 miljoen opgebouwd, samen met 4 patenten. HTT heeft de laatste jaren erg veel ambitieuze aankondigingen gemaakt, die een erg strakke planning inhielden en geen concrete opvolging kregen. Dit lijkt een bewuste PR-strategie te zijn om de organisatie in de aandacht te houden. Enkele projecten worden hieronder beschreven.

HTT heeft, in navolging van Virgin, een pod op volledige schaal voorgesteld, die kan gebruikt worden in een testfaciliteit. De 'Quintero One' is 32m lang, en is gefabriceerd door Spaanse fabrikanten

¹¹ <https://Hyperloop-one.com/our-story#dubai-pod-unveil>

<https://www.khaleejtimes.com/news/transport/video-rta-unveils-Hyperloop-prototype-in-uae-innovation-month->

¹² <https://www.hindustantimes.com/pune-news/pune-mumbai-Hyperloop-project-former-cm-prithviraj-chavan-ajit-pawar-raise-questions/story-VnGoGQqU3jaA7jqyLg5HL.html>


Carbures en Inypsa. Deze twee bedrijven zijn actief in de luchtvaartindustrie en werken samen onder het merk 'Airtificial'. Het voertuig is vervaardigd uit een zelfontwikkeld materiaal genaamd 'vibranium', wat een soort van koolstofvezel (*re-inforced carbon fiber*) is. Dit materiaal werd uitgebouwd met c2i, een Slovaaks bedrijf dat carbon fiber voor de auto- en vliegindustrie vervaardigt.

HTT heeft sterke vooruitgang geboekt op vlak van verzekering en risicoanalyse: de wereldwijde speler 'Munich Re' verklaarde na een grondige risicoanalyse HTT's technologie haalbaar en mogelijk om te verzekeren. In september 2018 heeft HTT vervolgens een concreet verzekeringssysteem aangekondigd, samen met veiligheidsvereisten en standaardisatierichtlijnen.

HTT heeft verschillende haalbaarheidsstudies en samenwerkingen aangekondigd. Een testfaciliteit in Toulouse, Frankrijk wordt op dit moment gebouwd op de oude militaire basis 'Francazal'. 320m aan track is al gebouwd, met 16 stalen buizen van telkens 20m met 4m in diameter. Deze stalen elementen zijn gebouwd door de Spaanse Haizea Group. Tegen eind 2019 wilt HTT 1km in lengte bereiken op pylonen van 5,8m hoog. Tevens zijn er enkele aankondigingen gebeurd omtrent volgende routes, maar zonder verdere opvolging:

- Samenwerking met de overheid van Slowakije;
- Consortium met HTT onderzoekt een Hyperlooprouten tussen Cleveland en Chicago in The Great Lakes in de VSA. Ze trachten een functioneel concept te realiseren tegen 2021-2023;
- Haalbaarheidsstudie in Abu Dhabi;
- Haalbaarheidsstudie in Tsjechië;
- Samenwerking met Hamburger Hafen und Logistik Aktiengesellschaft (HHLA), een grote containerverhandelaar in de haven van Hamburg, om cargo binnen de haven te transporteren. Er werd meteen ook een testterminal van 100m aangekondigd.

TransPod

TRANSPD Het Canadese TransPod is een van de grotere spelers, met een financiering van \$15 miljoen, 12 werknemers en 2 patenten. In Januari 2019 werd aangekondigd dat TransPod een partnerschap gaat uitbouwen met ArcelorMittal en EDF en la Sade. Ze gaan tevens een kantoor uitbouwen in Frankrijk.

TransPod heeft aangekondigd een testfaciliteit te bouwen in Droux (nabij Limoges), Frankrijk met een lengte van 3km en een diameter van 2m. In samenwerking met de Universiteit van Limoges wordt een oud treinspoor omgevormd tot een testtraject. In december is de bouwvergunning goedgekeurd dankzij sterke steun van de lokale overheid. Eind deze zomer zou 500m aan tube moeten geleverd worden, in samenwerking met ArcelorMittal en la Sade.

Hardt Hyperloop



Hardt Hyperloop is een Nederlandse speler met een opgehaald kapitaal van enkele miljoenen euro en hebben ondertussen 28 werknemers in dienst. Hardt ontstond uit een studententeam van de Universiteit Delft dat succesvol participeerde aan de Hyperloopcompetitie van SpaceX in 2016. In mei 2018 is Hardt een samenwerking aangegaan met bouwgroep BAM, staalbedrijf Tata Steel en met maritiem gereedschapsbouwer IHC. Hardt Hyperloop kondigde tevens in juni 2018 een

nauwere samenwerking aan met TransPod, Hyper Poland en Zeleros om een samenwerking op Europees niveau qua standaardisatie te verzekeren (zie sectie 7.2).

Hardt Hyperloop is de eerste Europese startup die een testfaciliteit heeft kunnen realiseren op het Europese continent. In Delft hebben zij met behulp van BAM een stalen tube van 30m gebouwd, dit met een diameter van 3.3m. Hierin testen zij met het team hun eigen systeem voor voorstuwing en vacuümtechnologie. Hoge snelheden kunnen nog niet bereikt worden door de korte lengte van de tube. Ook qua ontwikkeling van het voertuig hebben zij nog geen definitief ontwerp voorgesteld.

Hardt Hyperloop staat in nauw contact met de Nederlandse overheid (Rijkswaterstaat) om een nieuwe, langere testfaciliteit te bouwen in Flevoland, Nederland. De Nederlandse Overheid, Minister van Infrastructuur en Milieu, Schultz van Haegen, bestelde immers een studie: 'Onderzoek naar de haalbaarheid van een testtraject voor de Hyperloop in Nederland' in 2017, uitgevoerd door TNO, BCI, VINU en Arup. Deze studie gaf aan dat Nederland wel zou kunnen varen bij de bouw van een testfaciliteit¹³.

In deze studie wordt een testtraject van 5km voorgelegd op de Vogelweg in Flevoland. Een buisdiameter van 3m zou hierbij gehanteerd worden. De testfaciliteit zou gebruikt kunnen worden door zowel Hardt Hyperloop als Virgin Hyperloop One, die beide vragende partijen waren bij de Nederlandse Overheid. **De testbaan zou volgens de onderzoekers kunnen gerealiseerd worden voor ongeveer €120 miljoen. In december 2017 stemde de Tweede Kamer unaniem vóór deze testfaciliteit¹⁴.** Dat betekent dat verder zal gezocht worden naar financiering om dit project effectief te realiseren.

In 2018 onderzocht Hardt Hyperloop het potentieel Hyperlooptraject tussen Amsterdam en Frankfurt (met haltes in o.a. Eindhoven en Düsseldorf). De totale kost van dit traject zou €14 miljard zijn, waarbij Hardt Hyperloop becijferde dat dit traject een positief rendement van 4% (IRR) zou hebben. Deze studie kwam tot stand in samenwerking met onder meer BAM, KLM, de Nederlandse Spoorwegen en Schiphol Airport.

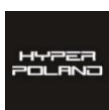
Hardt Hyperloop werkte ook mee aan de opmaak van dit rapport, in een rol als onafhankelijke 'subject matter expert'.

Zeleros



Zeleros is gebaseerd in Valencia, Spanje met 19 werknemers en een financiële geldophaling van €500 000. Zeleros ontstond uit een studententeam van de Universiteit van Valencia dat participeerde aan de Hyperloop competitie van SpaceX in 2016. Voorlopig zijn er geen concrete projecten bekend.

Hyper Poland



Hyper Poland is een Poolse speler met 26 werknemers dat ontstond uit een studententeam van de Universiteit van Warschau dat participeerde aan de Hyperloopcompetitie van SpaceX in 2017. Het werkt aan de ontwikkeling van een pod,

¹³ <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2017/10/09/onderzoek-Hyperloop-biedt-kansen-voor-nederland>

¹⁴ <https://www.rtlnieuws.nl/economie/artikel/3755461/onderzoek-Hyperloop-krijgt-unanieme-steun-uit-tweede-kamer>

magnetische levitatie en de lineaire motor. Het bedrijf heeft nog geen technologische patenten aangevraagd, en heeft zover geweten nog geen opkomende concrete projecten.

Continuum Industries



Continuum Industries is de meest recent opgestarte startup, met een focus op software voor het Hyperloopconcept (o.a. inplanting van de routes). Gebaseerd in het VK en ontstaan in 2018 uit voormalige studenten van een Hyperloopstudententeam van de universiteit van Edinburgh, heeft Continuum Industries ondertussen al €250 000 opgehaald. Negen werknemers werken op dit moment bij het bedrijf. Voorlopig zijn er nog geen projecten van dit bedrijf bekendgemaakt.

7.2. Initiatieven richting standaardisatie en regelgeving

Om de realisatie van het Hyperloopconcept mogelijk te maken, is een duidelijke standaardzetting nodig. In 2018 startten 4 Europese Hyperloopontwikkelaars een samenwerking rond het uitdenken van de gemeenschappelijke normen: (Zeleros (Spanje), TransPod (Canada & Frankrijk), Hyper Poland (Polen) en Hardt Hyperloop (Nederland)).

Het **doel** van de samenwerking is om:

- Standaardisatie-initiatieven van de verschillende partners te integreren;
- Gemeenschappelijke testinfrastructuur te ontwikkelen waar de normen kunnen worden uitgetest en gedemonstreerd;
- Samen met regelgevende instanties en de EU-lidstaten de weg naar Hyperloopcertificatie en de inclusie in de EU-directieven bewerkstelligen.

De **voordelen** van een dergelijke samenwerking zijn:

- De kosten en risico's van het standaardisatieproces te delen;
- De Hyperloopmarktpositie te verbeteren en handelsbelemmeringen weg te nemen;
- De samenwerking tussen bedrijven en instellingen op EU-niveau te bevorderen;
- De time-to-market te verkorten.

Aangezien een Europees Hyperloopnetwerk grensoverschrijdend zal zijn, is het belangrijk om de interoperabiliteit van de Hyperloopsystemen te waarborgen. Dit is niet alleen belangrijk voor het optimaliseren van de operationele efficiëntie, maar ook voor het verzekeren van de veiligheid en een adequaat comfort.

Deze 4 Europese Hyperlooppartijen adviseerden dat de vorming van duidelijke Europese normen, via het CEN/CENELEC-kader, een goed startpunt zou zijn. In de huidige planning wordt de realisatie van de eerste EU-normen in 2021 verwacht.



Figuur 4: Huidige roadmap voor de implementatie van EU-normen voor het Hyperloopconcept.

Het European Committee for Standardization (CEN) en de European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) brengen de nationale standaardzettingagentschappen van 34 Europese landen samen. CEN en CENELEC bieden een platform aan voor de ontwikkeling van Europese standaarden voor een grote verscheidenheid aan sectoren. Zij werken nauw samen met de Europese Commissie, om te verzekeren dat alle standaarden overeenkomen met relevante EU-wetgeving.

Door het opmaken van gemeenschappelijke standaarden voor de gehele Europese Eenheidsmarkt, verzekeren CEN en CENELEC de bescherming van consumenten, de interoperabiliteit van producten, en stimuleren zij grensoverschrijdende innovatie. Het netwerk van CEN en CENELEC omvat industriefederaties, consumentenorganisaties, milieugroepen en andere maatschappelijke stakeholders. Meer dan 60 000 technische experts uit de industrie en academische instellingen zijn betrokken bij het werk van CEN en CENELEC.

CEN en CENELEC werken nauw samen, en zijn gevestigd in het CEN-CENELEC Management Centre in Brussel.

Binnen CEN/CENELEC wordt het normeringsproces uitgewerkt in Technische Comités (TC) en een Sector Forum Working Group (SFWG). Zodra de EU-normen van kracht zijn, worden alle lidstaten (en hun bedrijven) die een Hyperloopsysteem of -technologie op de markt brengen, geadviseerd om aan deze normen te voldoen.

***Technische Comités (TC's)** bestaan uit een groep van deskundigen die kennis hebben van de verschillende standaardisaties in de industrie. In dit geval kunnen dit deskundigen zijn op het vlak van de infrastructuur, het voertuig of het besturingssysteem van de Hyperloop. Het TC voor Hyperloop zal bestaan uit experts uit meerdere bedrijven en/of landen. Tijdens het standaardisatieproces schenkt met extra aandacht aan het gebruik van de reeds bestaande standaarden die direct of indirect van toepassing zijn op de Hyperloop (vb. tunnelstandaarden). Relevante industrieën hierin kunnen zijn: auto-industrie, luchtvaart, defensie, spoorwegen, verkeersleiding en de logistieke sector. Het in kaart brengen van de van relevante entiteiten zal worden uitgevoerd door het CEN Sector Forum.*

***Een Sector Forum Working Group (SFWG)** binnen de CEN-gemeenschap voert ondersteunende activiteiten uit voor de technische comités en bestaat uit een ruimere groep van stakeholders. Hierbij kan het gaan om industriële vertegenwoordigers, vertegenwoordigers van eindgebruikers en overheden. Zij worden uitgenodigd om een dialoog op gang te brengen over hoe de Hyperloop in de toekomst van de mobiliteit zal passen en hoe deze moet voldoen aan de verwachtingen op het gebied van veiligheid, comfort... Een SFWG publiceert beleidsaanbevelingen, en brengt de behoeften en verwachtingen van zijn deelnemers in kaart. Dit kan worden teruggekoppeld naar de Europese Commissie en het Technisch Comité voor de Hyperloop. De SFWG kan ook externe belanghebbenden en experts consulteren (vb. academici) en hierrond aanbevelingen terugkoppelen naar het TC.*

Het hierboven beschreven proces van standaardzetting wordt geïnitieerd door de industrie, waarbij overheden en industrie hun input kunnen geven in bovenstaande structuren. De resulterende standaarden kunnen vervolgens opnieuw worden gebruikt door een bevoegde certificeringsinstantie voor het certificeren van gerealiseerde Hyperloopsystemen. Deze regelgeving zal hoogstwaarschijnlijk worden opgesteld door individuele lidstaten, waarbij de EU een lokaal opgesteld regelgevend kader overneemt en deze voor de gehele EU zal implementeren. Landen die het voortouw nemen bij het definiëren van deze regelgeving genereren dus aanzienlijke specifieke kennis over de technologie, en vormen zodoende ook een attractieve bestemming voor private spelers in de Hyperloopmarkt. **Vóór een relevante bijdrage kan worden geleverd aan dit standaardzettingsproces, is het uiteraard noodzakelijk dat een regio of land voldoende academische of industriële kennis van het Hyperloopconcept heeft.**

7.3. Conclusies rond de Europese context.

De markt wordt voorlopig grotendeels gedomineerd door Noord-Amerikaanse initiatieven. De grootste en meest mature speler vandaag is het Hyperloop One. Zij staan ook het verst met het testen en met de concrete implementatie van een potentiële route (in Indië). Hyperloop Transportation Technologies is de andere dominante Amerikaanse partij, maar hun concrete realisaties zijn voorlopig beperkt. De derde speler qua kapitaal, TransPod, is oorspronkelijk Canadees. Zowel HTT als TransPod werken momenteel echter aan de bouw en opstart van testfaciliteiten in Frankrijk.

Daarna volgen een aantal Europese spelers, in de eerste plaats het Nederlandse Hardt Hyperloop, dat momenteel het verst lijkt te staan van deze kleinere Europese spelers. Zij hebben ook een kleine testfaciliteit in Delft. **Het is interessant om op te merken dat alle relevante Europese partijen (Hardt, Zeleros, Hyper Poland, Continuum Industries) ontstaan zijn uit universitaire studententeams, na participatie aan de Hyperlooppodcompetitie georganiseerd door ruimtevaartbedrijf SpaceX van Elon Musk.**

In 2018 starten de belangrijkste Europese spelers (Hardt, Zeleros, Hyper Poland, TransPod) een samenwerking van voor het uitwerken van gemeenschappelijke standaarden voor een Hyperloopnetwerk in Europa, waarbij het doel is om 2021 een eerste kader van EU-normen formeel te kunnen goedkeuren. Landen die een relevante Hyperloopcompetentie hebben opgebouwd zouden de komende jaren dus kunnen bijdragen aan dit proces.

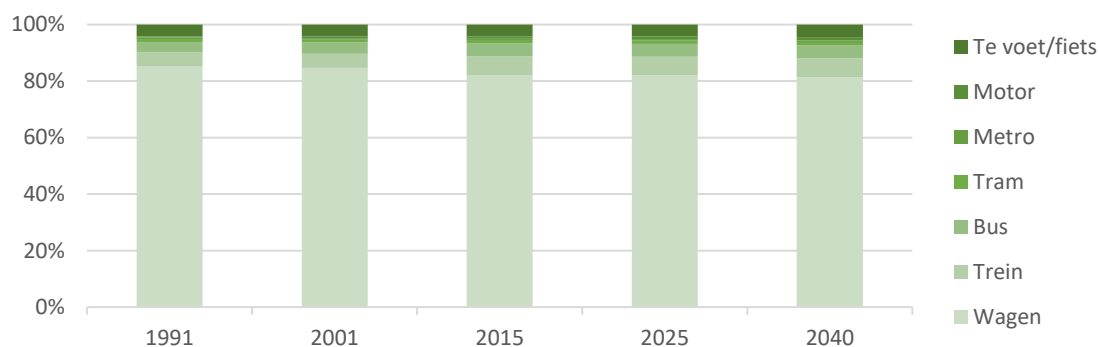
8. Huidig en toekomstig beeld van het Vlaamse vervoerslandschap

Om een goede inschatting te maken van de impact die de Hyperloop kan hebben op het Vlaamse vervoerslandschap, is het nuttig om te starten vanuit een duidelijk beeld van de huidige situatie. Dit laat ook toe om te schetsen op welke relevante manieren de transportvraag in Vlaanderen zal veranderen in de komende decennia.

8.1. Personenvervoer

Het aantal personenverplaatsingen in België bedroeg 10,3 miljard in 2015. Dat aantal zal met 9,5 % stijgen tegen 2040. Deze groei is nagenoeg volledig het gevolg van te verwachten demografische evoluties, aangezien het aantal verplaatsingen per persoon per week stabiel zal blijven op 17,7¹⁵.

Volgens de vooruitzichten van het Federaal Planbureau zal de modale verdeling van het personenvervoer stabiel blijven, **waarbij personenwagens het dominante aandeel behouden in het totaal aantal reizigerskilometers (82%) in 2040.**



Figuur 5: Modale verdeling van de reizigerskilometers voor personenvervoer in België

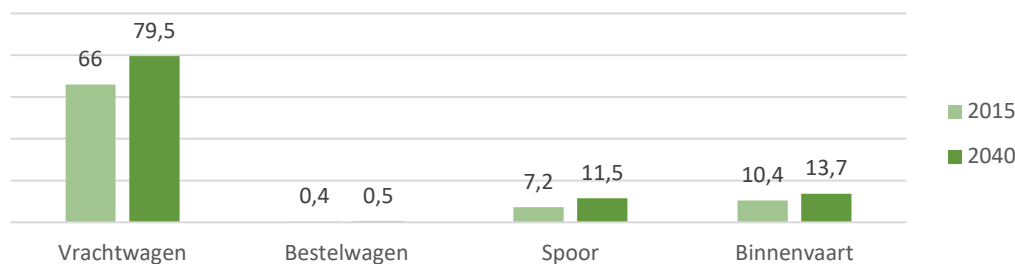
Hierbij moet wel vermeld worden dat de impact van technologische evoluties in personenvervoer niet verwerkt is in de prognoses van het Planbureau. 'Future of Mobility' trends zoals 'mobility-as-a-service' oplossingen zullen mogelijk het modaal aandeel van personenwagens doen afnemen in de toekomst.

8.2. Goederenvervoer

In de logistieke transportsector is een sterkere groei te verwachten. Het totale goederenvolume zal in 2040 met 27% gestegen zijn ten opzichte van de situatie in 2015. Het belang van vrachtwagens in de logistieke sector blijft enorm, met een modaal aandeel van 77% in 2040.

Inspanningen om het aandeel van binnenvaart en spoorvervoer te vergoten zullen leiden tot een sterke groei van beide modi, respectievelijk 32% en 61%. Echter blijft hun totale aandeel in het totale aantal tonkilometers in 2040 beperkt tot 13% voor binnenvaart en 10% voor spoorvervoer. **Volgens de huidige prognoses van het Federaal Planbureau blijft vrachtvervoer dus veruit de belangrijkste modus voor logistiek transport.**

¹⁵ Federaal Planbureau: Vooruitzichten van de transportvraag in België tegen 2040 – Januari 2019



Figuur 6: Aantal miljard tonkilometer per vrachtvervoermodus in België

Daarnaast zijn er een aantal belangrijke technologische evoluties die de logistieke sector richting 2040 sterk zullen beïnvloeden, waarbij deze dus ook een impact kunnen hebben op het logistiek potentieel van een Hyperloop in Vlaanderen. Hieronder worden enkele evoluties samengevat.

On-Demand Economie

Toegenomen gebruik van het internet en ontwikkeling van de e-commerce markt zorgen voor veranderingen in de transportnaden voor vrachtvervoer. Waar voordien goederen in grote volumes werden geleverd vanuit regionale distributiecentra aan winkellocaties, wordt hetzelfde volume van goederen steeds meer diffuus geleverd bij consumenten thuis of op kantoor. In 2018 gaven Belgische consumenten 10,67 miljard euro uit aan online aankopen, voor een gemiddeld totaalbedrag van 1273 euro¹⁶. Bovendien zal het belang van on-demand aankopen ook in de nabije toekomst blijven groeien. In de Verenigde Staten, één van de pioniers op het vlak van e-commerce en on-demand aankopen, gaven consumenten bijvoorbeeld in 2016 reeds aan voor hun kerstaankopen evenveel online te spenderen als in fysieke winkellocaties¹⁷.

Deze trend zal een grote impact hebben op de het logistieke ecosysteem en op de nodige infrastructuur voor goederenvervoer, enerzijds door de noodzaak van een sterk uitgebouwd last-mile logistiek systeem, anderzijds door een verhoogde focus op snelle levering voor een steeds groter deel van de vervoerde goederen.

Physical Internet

In het komende decennium zal goederentransport sterk evolueren, onder meer door de toenemende mate van digitalisering van logistieke processen en een verhoging van de interconnectiviteit van spelers en infrastructuur doorheen de waardeketen. Het 'Physical Internet' wordt omschreven als een 'hyper geconnecteerd wereldwijd logistiek systeem dat naadloos en open delen van activa en goederenstroomconsolidatie toelaat middels gestandaardiseerde inkapseling, modularisering, protocollen en interfaces. Een systeem wordt als hyper geconnecteerd beschouwd wanneer alle componenten (vertegenwoordigers, dingen, ..) intensief op verschillende lagen met elkaar verbonden zijn. De lagen die de interconnectieve logistieke netwerken verbinden omvatten onder meer digitale, fysieke, operationele, business, wettelijke en interpersoonlijke componenten¹⁸.

In zulk netwerk zijn verschillende vervoersmodi beter op elkaar afgestemd en kan op een meer granulaair niveau worden afgestemd hoe het vervoertraject van elk pakket er moet uitzien en het meest efficiënt kan verlopen.

¹⁶ <https://www.retaildetail.be/nl/news/algemeen/belgen-spenderen-1067-miljard-euro-online>

¹⁷ <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/future-of-mobility/future-of-freight-simplifying-last-mile-logistics.html>

¹⁸ Bron en meer info: B Montreuil: Towards a physical internet, Meeting the Global Logistics Sustainability Grand Challenge - <https://www.cirrelt.ca/DocumentsTravail/CIRRELT-2011-03.pdf>

Nieuwe vervoersmodi

De evolutie naar een meer efficiënt en milieuvriendelijk vervoersecosysteem is volop aan de gang. Vlaanderen en België zijn momenteel zeker geen pionier zijn in de uitbouw van een elektrisch aangedreven wagenpark. In 2018 waren in Vlaanderen slechts 0,6% van de nieuw aangekochte personenwagens volledig elektrisch aangedreven, terwijl in Nederland dit aandeel reeds 5,4% was. Toch zal de toenemende groei ervoor zorgen dat tegen 2030 20% van het Belgische wagenpark volledig elektrisch aangedreven is¹⁹. Ook voor goederenvervoer is een toename van de elektrificatie te verwachten. In eerste instantie zal deze transformatie plaatsvinden in stedelijke gebieden, waar toenemende 'last-mile' leveringen steeds meer schadelijke impacten hebben. Daarnaast zullen technologieën als sterk geautomatiseerde of zelfs autonome goederenlevering een nieuwe aanvulling vormen op stedelijke logistieke systemen.

Autonoom transport

Autonome technologie zal een significante impact hebben op de transportsector. Arbeid vertegenwoordigt ongeveer driekwart van de totale kost van vrachtwagenvervoer op lange afstand²⁰. Autonome voertuigen moeten bovendien geen tussenstops maken en kunnen langer blijven rijden, wat de kost per kilometer verder verlaagt. Grootschalige adoptie van autonoom goederenvervoer op publieke wegen is echter niet te verwachten in de eerstvolgende jaren. Dit vereist sterke aanpassingen in de infrastructuur en in de organisatie van de transportsector, waarvoor significante investeringen nodig zijn. De precieze timing voor het creëren van de juiste randvoorwaarden voor een grootschalige adoptie is vooralsnog moeilijk in te schatten en kan bovendien verschillen van land tot land, afhankelijk van de snelheid van politieke en juridische beslissingsvorming. **Toch kan autonoom goederenvervoer op lange termijn zorgen voor een sterke kostendaling ten opzichte van de huidige kosten voor vrachtwagen- en treinvervoer. Dit heeft op zijn beurt ook een invloed op het logistiek potentieel van een Hyperloopnetwerk.**

¹⁹ Febiac, Deloitte Future of Mobility Analyse

²⁰ Deloitte Future of Freight study (2017)

9. Potentieel Hyperloop traject in Vlaanderen

Om een objectief beeld te kunnen geven van de potentiële impacten van het Hyperloopconcept in Vlaanderen is het nuttig om te vertrekken vanuit een specifiek scenario. Indien de Hyperloop in de komende decennia gecommmercialiseerd wordt in Vlaanderen zal dit in eerste fase gebeuren door de realisatie van een weloverwogen route. In die zin is het logisch om op basis van een aantal strategische criteria een aantal mogelijke routes op te lijsten en de meest attractieve route uit deze lijst te selecteren. Voor dit potentieel traject kan daarna een high-level impact-analyse gemaakt worden in hoofdstuk 10.

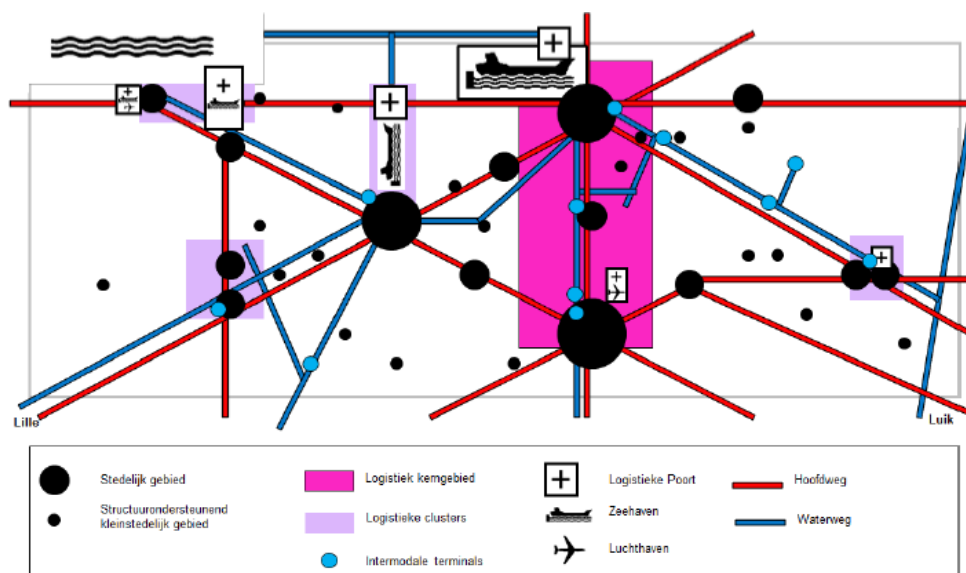
Hierbij moet benadrukt worden dat deze lijst van mogelijke routes, alsook de weerhouden route voor de impact-analyse in dit rapport geenszins moeten worden opgevat als een volledige haalbaarheidsstudie of aanbeveling naar implementatie toe. Hiervoor is uiteraard verder gefocust onderzoek nodig op technisch, ruimtelijk en economisch vlak.

9.1. Mogelijke Hyperlooptrajecten in Vlaanderen

Elke mogelijke Hyperlooproute moet zijn afgestemd op de Vlaamse Ruimtelijke Strategie voor logistiek vervoer en transport. De voornaamste Vlaamse onderdelen van het logistieke netwerk zijn:

- De internationale logistieke knooppunten: de luchthaven Brussels Airport (Zaventem) en de zeehavens Antwerpen, Gent, Zeebrugge en Oostende;
- De continentale verbindingen in het trans-Europese vervoersnetwerk;
- Het Economisch Netwerk Albertkanaal, inclusief de Albertknoop en de poort Genk;
- De Seine-Schelde verbinding;
- De regionale logistieke knooppunten.

Het Vlaamse logistieke landschap kan dus als volgt op een schematische manier worden voorgesteld:



Figuur 7: Schematische voorstelling van het Vlaamse logistieke landschap²¹.

²¹ Bron figuur: Beleidsrapport STORE-B-13-011: Logistiek en Locatie 2: enkele relevante elementen voor een ruimtelijk economisch beleid met betrekking tot de logistiek (2014) – Thomas, Vanoutrive, Ann Verhetsel, Thierry Vanelslander (Universiteit Antwerpen)

De Strategische Visie van het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen definieert ook een aantal prioritaire beleidslijnen. Hun impact en relevantie voor het Hyperloopconcept worden opgelijst in de volgende tabel.

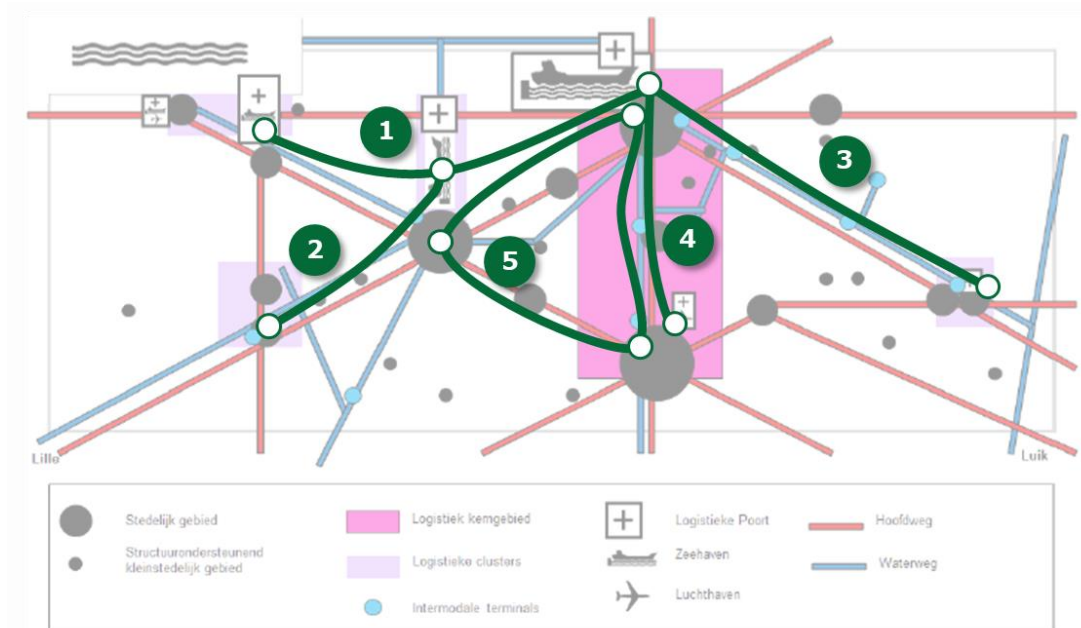
Beleidslijn	Beschrijving	Relevantie voor Hyperloopconcept
De groei van internationale knooppunten in Vlaanderen ondersteunen	Internationale knooppunten zijn de luchthaven Brussels Airport Zaventem en de zeehavens Antwerpen, Gent, Zeebrugge en Oostende,	Groot: Het Hyperloopconcept verbindt in de eerste plaats internationale knooppunten, zowel voor logistiek als personenvervoer
Regionale logistieke knooppunten ontwikkelen	De regionale knooppunten zijn bijvoorbeeld het Economisch Netwerk Albertkanaal, de As Brussel-Antwerpen, de As Gent-Rijsel	Beperkt: De Hyperloop richt zich minder op regionale clusters. In het geval van een gunstige geografische ligging tussen internationale knooppunten kunnen zij mogelijk wel bediend worden
Territoriale performantie van knooppunten verhogen	<ul style="list-style-type: none"> • Opdrijven van het aantal jobs, en de toegevoegde waarde per hectare • Versterken van circulaire economiesystemen en de innovatiekracht van logistieke -en productieactiviteiten 	Mogelijk: Het Hyperloopconcept kan een aantrekkingspool vormen voor nieuwe logistieke en industriële activiteit
Leefkwaliteit in de omgeving van logistieke activiteiten verbeteren	<ul style="list-style-type: none"> • Logistieke activiteit ontwikkelen met sterke waarborgen voor de leefkwaliteit • Versnippering van logistieke activiteit tegenhouden en waar mogelijk terugdringen 	Mogelijk: Een succesvolle implementatie van een Hyperlooptraject kan het volume van wegvervoer doen afnemen, alsook een sterkere clustering van logistieke activiteiten aanmoedigen

Tabel 20: Evaluatie van de beleidslijnen van het BRV en de relevantie voor het Hyperloopconcept

Binnen het kader van deze Vlaamse ruimtelijke strategie en huidige logistieke structuur werden 5 mogelijke trajecten geïdentificeerd:

	Traject	Beschrijving
1	Antwerpen – Gent - Zeebrugge	Verbinding van de 3 grote Vlaamse zeehavens en de grootsteden Antwerpen en Gent
2	Antwerpen – Gent - Kortrijk	Verbinding van havens van Antwerpen en Gent en de logistieke cluster rond Kortrijk
3	Antwerpen – Genk/Hasselt	Verbinding van Antwerpse haven met de logistieke cluster Genk/Hasselt (langs het Albertkanaal)
4	Antwerpen – Brussel	Verbinding van Antwerpen met Brussel (Luchthaven en stadsgebied)
5	Lus 'Vlaamse Ruit'	Verbinding van Antwerpen, Brussel en Gent in een lus

Tabel 21: Lijst van geïdentificeerde mogelijke Hyperlooptrajecten



Figuur 8: Mapping van geïdentificeerde trajecten op schematische voorstelling van het Vlaamse logistieke landschap.

9.2. Evaluatie van mogelijke trajecten

Om deze trajecten te evalueren en te vergelijken, zijn er 4 belangrijke criteria:

1. Logistiek potentieel van het traject

In welke mate kan het traject:

- Bestaande goederenstromen vervangen;
- Bestaande logistieke activiteiten versterken en nieuwe logistieke activiteiten aantrekken.

2. Potentieel van het traject voor passagiersvervoer

In welke mate kan het traject een relevante rol opnemen in zowel internationaal als regionaal passagiersvervoer.

3. Strategische fit met de ruimtelijke strategie van Vlaanderen

In welke mate past het traject binnen de huidige Vlaamse strategische visie:

- Versterken van internationale knooppunten;
- Aansluiten en ontwikkelen van regionale knooppunten.

4. Potentieel in een grensoverschrijdend Hyperloopnetwerk

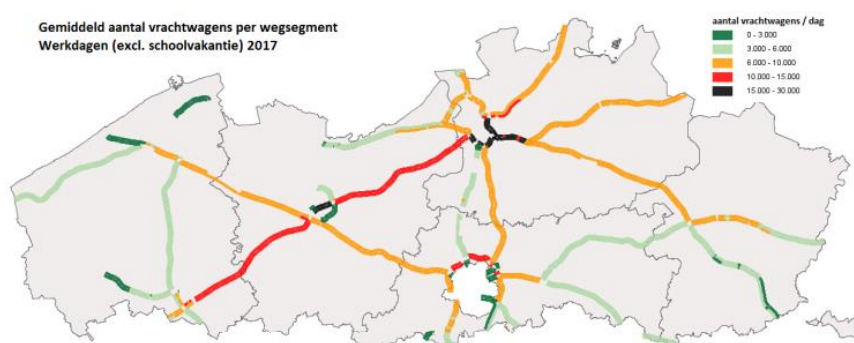
Ervan uitgaande dat de Hyperloop een netwerk op Europees niveau zal vormen, in welke mate verbindt het traject de Vlaamse knooppunten op een efficiënte manier met andere belangrijke Belgische en Europese knooppunten

De opgelijste trajecten worden geëvalueerd op elk van de 4 criteria.

9.2.1. Logistiek potentieel van het traject

Op dit moment zijn er in Vlaanderen weinig recente bronnen die een duidelijk overzicht kunnen geven van het logistieke vervoersvolume op trajectniveau. Op basis van een aantal literatuurbronnen kan wel een beeld worden geschetst van het logistiek potentieel van de verschillende routes.

Om te evalueren in welke mate er **potentieel is voor een Hyperlooptraject om bestaande goederenstromen te vervangen** kan er worden gekeken naar de huidige goederenvervoersvolumes in Vlaanderen. Gezien wegvervoer vandaag 80% uitmaakt van alle goederenvervoer in Vlaanderen, wordt voor deze oefening hierop gefocust²². Onderstaande figuur toont het huidige vrachtverkeersvolume op de Vlaamse snelwegen²³



Figuur 9: Gemiddeld volume van goederenvervoer op de Vlaamse snelwegen.

De as Antwerpen-Kortrijk draagt het meeste vrachtverkeer. Toch is er ook op de assen Antwerpen-Brussel en Antwerpen-Genk een significant volume. Bovendien kennen al deze wegtrajecten een hoge verzadigingsgraad.

Arrondissement	Aandeel
Brussel Hoofdstad	17%
Antwerpen	17%
Halle-Vilvoorde	15%
Gent	7%
Turnhout	6%
Hasselt	6%
Mechelen	5%
Sint-Niklaas	4%
Brugge	3%
Leuven	3%
Kortrijk	3%
Andere	13%

Om te evalueren in welk traject bestaande logistieke activiteiten kunnen worden versterkt en nieuwe logistieke activiteiten kunnen worden aangetrokken, kan worden gekeken naar de geografische verdeling van de logistieke activiteiten in Vlaanderen. De tabel hiernaast toont aan, op basis van de tewerkstellingscijfers in de logistieke sector, dat deze sterk geconcentreerd zijn rond de polen Antwerpen en Brussel.

Tabel 22: Aandeel van de tewerkstelling in de logistieke sector in Vlaanderen en Brussel²⁴.

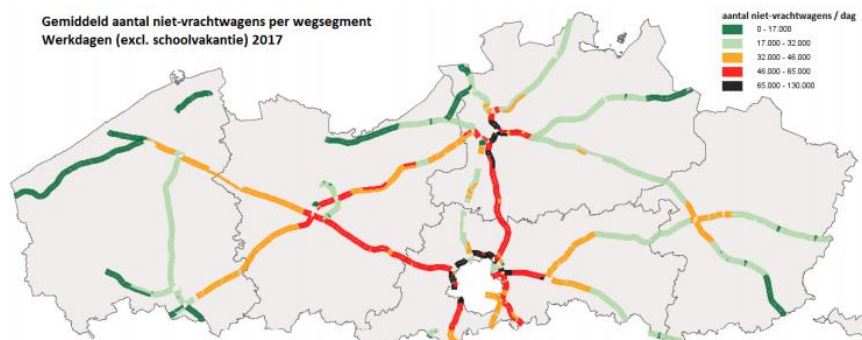
²² Vlaamse Milieumaatschappij: Tonkilometers goederenvervoer, laatst bijgewerkt Februari 2018

²³ Vlaams verkeerscentrum: Rapport verkeersindicatoren (2017)

²⁴ Rijksdienst voor Sociale Zekerheid: Verdeling van de arbeidsplaatsen naar plaats van tewerkstelling, Laatst bijgewerkt Oktober 2018

9.2.2. Potentieel van het traject voor passagiersvervoer

Om te evalueren in welke mate er een potentieel is **voor een Hyperlooptraject om bestaande passagiersstromen te vervangen**, kan er worden gekeken naar het huidige niet-vrachtvervoer volume op de Vlaamse snelwegen. Gezien personenwagens meer dan 70% uitmaken van alle woon-werkverkeer in Vlaanderen (Trein <6%) wordt hierop gefocust in deze oefening²⁵. Onderstaande kaart toont het gemiddeld aantal niet-vrachtwagens op de Vlaamse snelwegen²⁶.



Figuur 10: Gemiddeld volume van personenvervoer op de Vlaamse snelwegen

Vooraf de ringsnelwegen rond Antwerpen en Brussel zij sterk bezet. Daarnaast zijn de assen Antwerpen-Brussel en Brussel-Gent het meest gebruikt.

9.2.3. Strategische fit met de ruimtelijke strategie van Vlaanderen

Bij de selectie van de lijst van mogelijke Hyperlooptrajecten werd reeds sterk rekening gehouden met de Vlaamse ruimtelijke strategie. Toch passen enkele trajecten meer in de Vlaamse strategische prioriteiten dan anderen. Zo verbindt het traject Antwerpen-Gent-Zeebrugge de 3 grote zeehavens (96,5% van het goedervolume), die elk als internationaal knooppunt staan aangeduid in het Logistiek Beleidskader van het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen. Het traject Antwerpen-Brussel verbindt het Vlaamse logistieke kerngebied en de 2 grootste economische knooppunten: de Antwerpse Haven en Brussels Airport.

Het traject Antwerpen-Gent-Kortrijk en het traject Antwerpen-Genk/Hasselt hebben in die zin een relatief mindere fit met de prioriteiten van het Beleidsplan, omdat zij slechts doorverbinden naar eerder regionale logistieke knooppunten in Vlaanderen.

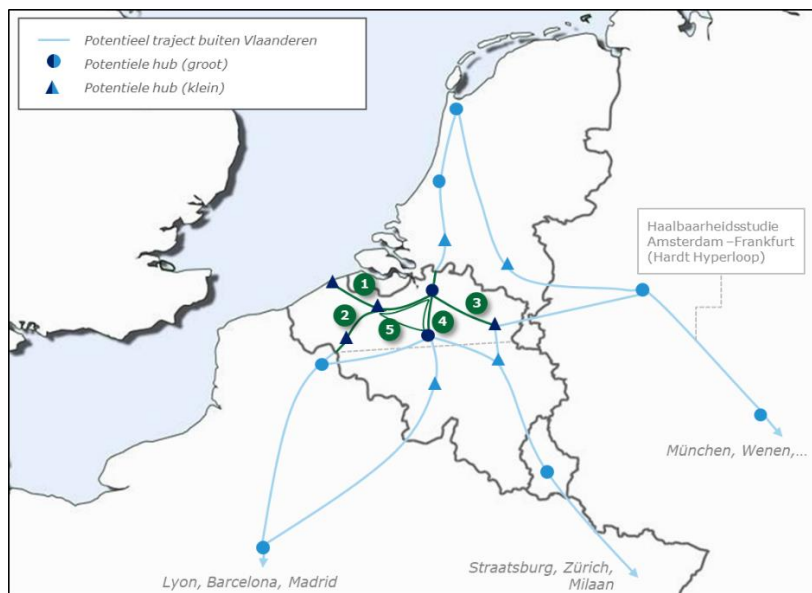
Het lustraject tussen Antwerpen-Brussel en Gent verbindt uiteraard ook de eerdergenoemde belangrijkste knooppunten, kan worden beschouwd als een minder sterke strategische fit omdat het een grotere aanwending van middelen vraagt dan de directionele trajecten. Een lustraject is met andere woorden een minder efficiënte investeringskeuze, zeker in de eerste fase van de mogelijke uitbouw van een Europees Hyperloopnetwerk.

²⁵ Vlaamse MilieuMaatschappij: Modale verdeling van woon-werk en -schoolverkeer, Laatste bijgewerkt Maar 2018 (auto-bestuurders + auto-passagiers)

²⁶ Vlaams verkeerscentrum: Rapport verkeersindicatoren (2017)

9.2.4. Potentieel in een grensoverschrijdend Hyperloopnetwerk

Het Hyperloopconcept is in de eerste plaats een potentiële vervoersmodus voor middellange afstanden tot 1500km. In het geval van Vlaanderen betekent dit dat een traject doorheen het Vlaamse grondgebied zal moeten passen in een grensoverschrijdende Europese context. De mogelijke trajecten kunnen daarom ingepast worden in een Europese topografische logica, met de potentiële verbindingen met buitenlandse knooppunten.



Figuur 11: Kaart van mogelijke grensoverschrijdende verbindingen in een Hyperloopnetwerk

Belangrijke bemerkingen bij deze analyse:

- Het traject Antwerpen– Gent –Zeebrugge is op zichzelf moeilijk in te passen in een Europees netwerk. Vanuit Antwerpen kan worden doorverbonden richting Nederland. In de andere richting is Zeebrugge eerder een eindterminal. In die zin is dit traject minder interessant in de uitbouw van een Europees Hyperloopnetwerk in de eerste fase.
- Het traject Antwerpen – Gent – Kortrijk kan een verbinding vormen tussen Noord- en Zuid-Europa, maar zou de ontsluiting van Brussel en Brussels Airport moeilijk maken in de uitbouw van het initiële netwerk.
- Het traject Antwerpen – Genk/Hasselt maakt een doorverbinding naar Luik en het Ruhrgebied mogelijk, welke geen oninteressante knooppunten zijn zowel voor vracht- als passagiersvervoer. Vandaag ligt de Nederlandse prioriteit echter op het verder onderzoek van het Hyperlooptraject Amsterdam – Frankfurt. Vanuit strategisch perspectief, maakt deze Nederlandse focus dit traject dus minder relevant en attractief op dit moment.
- Het traject Antwerpen – Brussel biedt een aantal mogelijkheden tot verdere verbindingen richting Frankrijk en Zuid-Europa, waardoor dit traject een belangrijke corridor vormt voor de verbinding van Noord- en Zuid-Europa, waarin bovendien de Antwerpse haven en Brussels Airport op kunnen worden aangesloten.
- Het lustrajet in de Vlaamse Ruit is, zoals eerder reeds besproken, op zichzelf niet ingepast in een Europese context. Een additionele grensoverschrijdend traject vanuit Antwerpen en/of Brussel zou daarvoor nodig zijn. In een eerste fase is deze piste daarom minder efficiënt vanuit financieel en strategisch perspectief.

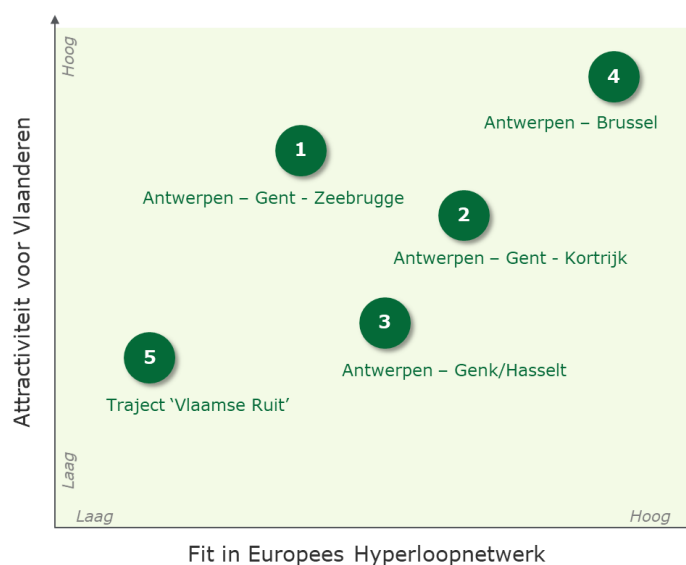
9.2.5. Conclusie van de evaluatie van de mogelijke trajecten

Onderstaande tabel vat de analyse van de 4 criteria samen.

Trajecten	Logistiek Potentieel van traject	Passagiers-vervoer: potentieel van traject	Strategische fit	Grens-overschrijdend potentieel
1 Zeebrugge – Gent - Antwerpen	+	-	+	-
2 Antwerpen – Gent - Kortrijk	+	-	-	+
3 Antwerpen – Genk/Hasselt	+	--	-	+
4 Antwerpen – Brussel	++	++	++	++
5 Lus ‘Vlaamse Ruit’	-	++	--	--

Tabel 23: Vergelijking van de trajecten op basis van strategische criteria.

De eerste 3 criteria samen geven een indicatief beeld van de ‘Attractiviteit voor Vlaanderen’ van de trajecten. Deze ‘Attractiviteit voor Vlaanderen’ kan in een prioriteitsmatrix worden afgezet tegen de ‘Fit in een Europees Hyperloopnetwerk’:



Figuur 12: Indicatieve vergelijking van de mogelijke trajecten.

Het traject Antwerpen – Brussel lijkt momenteel het meest relevant voor Vlaanderen vanwege zijn alignering met de Vlaamse ruimtelijke strategie en beleidslijnen. Het lijkt ook de beste opportuniteit om Vlaanderen te positioneren als een belangrijk knooppunt in een Europees Hyperloopnetwerk, en om het Vlaamse kerngebied effectief te ontsluiten in dat netwerk. **Daarom zal in de verdere impactanalyse in dit rapport zich richten op dit traject.**

10. Impactanalyse

10.1. Inleidend kader

De route Antwerpen – Brussel omvat een traject van ongeveer 40km, afhankelijk van de exacte inplanting van de stations. Daarnaast gaat deze impactanalyse ervan uit dat het Hyperlooptraject grensoverschrijdend zou doorlopen in noordelijke en zuidelijke richting. De concrete hypothesen waarvan wordt uitgegaan:

- Het traject bestaat uit 2 buizen, 1 in elke richting. Bovendien wordt er gewerkt switches richting de terminals (aftakkingen van het hoofdtraject)²⁷. De buizen hebben diameter van ~3,5m, wat zowel transport van zowel passagiers als niet-gecontaineriseerde goederen mogelijk maakt.²⁸
- In Antwerpen zal één terminal voor zowel goederen- als passagiersvervoer worden ingepland. Logischerwijze zou deze zich wellicht ten noorden van de stadskern bevinden, om zowel de haven als de stadskern adequaat te kunnen connecteren met de terminal
- In Brussel zal één voor zowel goederen- als passagiersvervoer worden ingepland op of nabij Brussels Airport. De luchthaven is nu reeds multimodaal verbonden met het stadscentrum en is uiteraard een centrum voor logistieke activiteit. Hierbij kan vermeldt worden dat in buitenlandse studies vaak voor luchthaven wordt gekozen als goede Hyperloopterminal²⁹
- Een additionele terminal in Mechelen wordt ingepland, vanwege zijn directe ligging in de corridor van het traject
- In noordelijke richting loopt het traject verder naar Amsterdam (Schiphol) en in zuidelijke richting naar Parijs (Paris Charles de Gaulle Airport). Additionele buitenlandse stops zijn waarschijnlijk (noord: Breda, Rotterdam, Utrecht,... - zuid: Charleroi, Rijsel,...) maar deze worden niet meegenomen in deze eerste impact-analyse
- **Het totale traject in Vlaanderen**, inclusief aftakkingen richting terminals, noordelijke connectie richting Nederland vanuit Antwerpen (~35km) en zuidelijke connectie richting Wallonië vanuit Brussels Airport (~20km), wordt zodoende ingeschat zodoende op **100 km**.
- De theoretische maximumsnelheid van de Hyperloop bedraagt ~1200 km/u. De snelheid in gebogen trajectstukken zal echter significant lager liggen. Aangezien het onmogelijk is de exacte gemiddelde snelheid op het traject te voorspellen, **wordt hier uitgegaan van een gemiddelde snelheid van 500 km/u**

²⁷ Dit concept is in analogie met bestaande haalbaarheidsstudies, onder meer de studie naar het traject Amsterdam-Frankfurt vanwege Hardt Hyperloop

²⁸ De diameter van ~3,5m werd door experts bevestigd als de meest-kosteneffectieve afmeting die zowel passagiersvervoer als goederenvervoer mogelijk maakt. Veel van de actieve spelers ontwikkelen hun technologie momenteel gebaseerd op deze of een soortgelijke afmeting

²⁹ Haalbaarheidsstudie van Hardt Hyperloop gaat uit van een Hyperloopverbinding van Schiphol (Amsterdam) naar Frankfurt Airport.

Huidige afstanden en indicatieve reistijden worden samengevat in de onderstaande tabel³⁰:

	Afstand vanaf vorige stop	Reistijd (vracht)wagen	Reistijd trein	Reistijd vliegtuig	Reistijd Hyperloop ³¹
Amsterdam Schiphol					
Antwerpen	160 km	105 min	56 min (HST)		18 min
Mechelen	25 km	25 min	17 min		3 min
Brussels Airport	20 km	20 min	15 min	45 min van Schiphol	3 min
Paris CDG Airport	295 km	180 min	150 min (HST)	75 min van Schiphol 55 min van Brussel	37 min

Tabel 24: Overzicht van afstanden en reistijden

Enkele belangrijke inzichten op basis van deze tabel:

- Het traject Antwerpen-Brussel zou kunnen afgelegd worden in 6 min, een vermindering van de duurtijd met ~80% in vergelijking met de trein (32 min)
- Het volledige traject Schiphol-Parijs CDG zou kunnen worden afgelegd in 61 min, een vermindering van de duurtijd met ~75% in vergelijking met de trein (238 min)
- Het volledige traject Schiphol-Paris CDG zou ook ~20% sneller zijn dan dezelfde vliegroute (75min). Bovendien is het waarschijnlijk dat de incheck, veiligheids- en ontschepingsprocedures voor passagiers significant minder tijd innemen in vergelijking met vliegen.

Aanpak van deze impact-analyse

Deze analyse bestaat uit 3 onderdelen. In het eerste deel wordt een indicatieve inschatting gemaakt van de initiële en operationele kosten van een Hyperlooptraject in Vlaanderen

Daarna worden een aantal directe impacten van het geselecteerde Hyperlooptraject geëvalueerd. Dit wordt gedaan op basis van een objectieve inschatting van de procentuele modal shift richting de Hyperloop die mogelijk is voor de huidige vervoersmodi. Dit geeft een indicatie van de mate van verschuiving van passagiers- en goederenvolume van deze huidige modi naar de Hyperloop.

Tot slot worden ook de indirecte economische en ruimtelijke impacten van een Hyperlooptraject in Vlaanderen gedefinieerd.

³⁰ In de tabel wordt voor alle modi abstractie gemaakt van de tijdsduur van tussenstops voor instap en ontscheping. Ook wordt er geen rekening gehouden met rechtstreekse verbindingen tussen 2 punten (zonder tussenstop) die mogelijk een kortere tijdsduur hebben.

³¹ Reistijden Hyperloop gebaseerd op ratio minuten per kilometer zoals gebruikt door Hardt Hyperloop in haalbaarheidsstudie Amsterdam-Frankfurt.

Beperkingen van deze impact-analyse

Vanwege de zeer beperkte data die beschikbaar over passagiers- en goederenvolumes op trajectniveau, wordt deze impact-analyse gemaakt op basis van de beschikbare geaggregeerde data en een aantal onderbouwde assumpties en hypothesen. De analyse is op die manier richtinggevend, maar is zeker niet te beschouwen als een volledige gedetailleerde haalbaarheidsstudie van het traject.

Gezien de Hyperloop voorlopig slechts een niet-gecommercialiseerd concept is, zijn de huidige inschattingen naar kosten, snelheid, capaciteit en andere technische en economische parameters steeds onder voorbereid. Door een grondige analyse van bestaand onderzoek en samenwerking met technische expertisen werd geprobeerd steeds een zo accuraat mogelijke evaluatie te maken.

10.2. Inschatting van de kosten

Mits inachtneming van de beperkingen inzake beschikbaarheid van data en gerealiseerde projecten, wordt in deze sectie een indicatieve inschatting gemaakt van de initiële en recurrente kosten van een eventueel Hyperlooptraject in Vlaanderen.

Hiertoe wordt in eerste instantie een overzicht van de samenstelling van dit kostenplaatje opgebouwd. Van hieruit wordt de vertaalslag gemaakt naar het traject Antwerpen-Brussel, rekening houdende met de gehanteerde assumpties. Tenslotte wordt een aanzet gegeven rond mogelijke financieringsopties en uitbatingsmodellen, kaderend in de nood aan investeringen en de uitdaging hier een positief verdienmodel rond op te bouwen.

10.2.1. Overzicht kostelementen

Op basis van de bestaande literatuur en de in deze studie aangewende technische expertise, wordt het kostenplaatje in grote lijnen samengesteld door een investeringskost enerzijds, en een recurrente kost anderzijds bestaande uit de financieringskost en de operationele kost. Elk van deze kan verder worden uitgesplitst in verschillende elementen, en kent een zekere variabiliteit in lijn met parameters zoals levensduur, afstand, aantal passagierskilometers, enz.

Investeringskost

Het uitbouwen van een transportnetwerkconcept zoals Hyperloop vereist uiteraard een serieuze initiële investering. Het betreft voornamelijk de kosten verbonden aan het voorbehouden of herbestemmen van de noodzakelijke ruimte in het landschap en de uitgebreide infrastructuurkosten.

Hierbij wordt zowel zogenaamde niet-hernieuwbare infrastructuur - de constructie van pylonen, tubes, tunnels, en tracks – als hernieuwbare infrastructuur - de constructie van pods, vacuümpompen, switches, enz. - in beschouwing genomen. De investeringskost voor beide types infrastructuur wordt uiteraard gedreven door de afstand van het traject en de levensduur van de activa. Daarnaast zijn onder ander de gewenste diameter en positionering onder- en/of bovengronds cruciaal voor de kost van de niet-hernieuwbare infrastructuur. Voor de hernieuwbare infrastructuur speelt vooral de gewenste capaciteit en frequentie op het traject mee in het bepalen van de noodzakelijke investering.

Recurrente kost

Een dergelijke investering gaat vanzelfsprekend gepaard met een nood aan financiering en de hieraan verbonden kosten. De precieze modaliteiten hangen uiteraard sterk af van het gekozen

financieringsmechanisme en de balans tussen kapitaalinjectie en schuldopbouw enerzijds, en de balans tussen private en publieke financiering anderzijds. Naast de levensduur en restwaarde van de verschillende types activa, spelen deze aspecten sterk mee in het bepalen van de rentevoet en dus financieringskosten op jaarlijkse basis.

Eens de noodzakelijke investeringen gebeurd zijn en de constructietijd doorlopen, zal er uiteraard ook een recurrente kost verbonden zijn aan de operaties. Het betreft enerzijds kosten gerelateerd aan de inzet van personeel en het voorzien van allerhande voorzieningen voor de passagiers. Aangezien de pods zelf autonoom reizen worden deze kostelementen voornamelijk gedreven door de omvang en het aantal hubs of stations voorzien in het netwerk. Anderzijds gaat het ook om energie- en onderhoudskosten gerelateerd aan de lengte van het traject en de hierop afgelegde passagierskilometers.

Hieronder worden de voornaamste kostelementen samengevat en in wat volgt wordt de vertaalslag gemaakt naar het bestudeerde traject Antwerpen - Brussel.

Kostelement	Beïnvloedende parameters (niet exhaustief)
Investeringskost	
Land / ruimte	Afstand, inplanning, eigendomsrechten
Niet-hernieuwbare infrastructuur	Afstand, levensduur, diameter, positionering
Hernieuwbare infrastructuur	Afstand, levensduur, frequentie, capaciteit
Recurrente kost	
Financieringskost	
Financieringskost niet-hernieuwbare infrastructuur	Levensduur, schuldgraad, rentevoet, restwaarde activa
Financieringskost hernieuwbare infrastructuur	Levensduur, schuldgraad, rentevoet, restwaarde activa
Operationele kost	
Personeel	Salaris, FTEs, hubs/stations
Voorzieningen	Retail, catering,...
Energie	Kost per eenheid, verbruik, passagierskilometers
Onderhoud	Afstand, capaciteit, passagierskilometers

Tabel 25: Overzicht van de meegenomen kostenelementen

10.2.2. High-level inschatting kosten voor het bestudeerde traject

Gebaseerd op deze samenstelling van het kostenplaatje en de vooraan in dit hoofdstuk opgenomen assumpties, kan de kost voor het bestudeerde traject Antwerpen-Brussel worden ingeschat. Hierbij wordt zodoende uitgegaan van een Europees ontsloten traject, goed voor om en bij de 100km. Teneinde de aftakkingen op het traject in functie van het bereiken van deze stations te realiseren, wordt gewerkt met een assumptie van 10% tunnelwerk op de volledige afstand³².

Investeringskost

Aangezien wordt uitgegaan van grotendeels gelijkaardige vereisten voor de constructie van het bestudeerde Hyperlooptraject, met name 3,5m diameter en positionering grotendeels bovengronds,

³² Om de kwantitatieve invulling te ondersteunen, wordt er deels gewerkt met de assumpties en uitkomsten gehanteerd in de conceptstudie van Hardt Hyperloop voor het traject Amsterdam-Frankfurt.

wordt de gemiddelde kost per kilometer op net geen €33 miljoen geschat, wat ook door de literatuur ondersteund wordt. **Voor een traject van 100km betekent dit een totale investering van dichtbij de €3,3 miljard. Daarin heeft de constructie van de niet-hernieuwbare infrastructuur veruit het grootste aandeel.**

Wat betreft de kost van de ruimtelijke inpassing dient te worden opgemerkt dat het hierbij bijzonder moeilijk is om in te schatten wat de directe kost van landaankopen en eventuele onteigeningen zouden betekenen, net als de indirecte kost van de duur van de politieke besluitvorming en de noodzakelijke procedures inzake vergunningen en aanbestedingen. De complexiteit van de ruimtelijke inpassing komt verderop ook aan bod in sectie 10.4 rond indirecte impacten.

Recurrente kost

Een eerste belangrijk deel van de jaarlijkse kosten is gelinkt aan de financiering van de benodigde investering, en de precieze modaliteiten van de financieringskeuze. Mits wordt uitgegaan van een schuldgraad van 80% en een gemiddelde rentevoet van 5%, leidt deze investering tot een gemiddelde jaarlijkse financieringskost van om en bij de €12 miljoen aan interestlasten, naast de afbetaling van de hoofdsom. Hierbij wordt eveneens uitgegaan van een levensduur van 50 jaar voor de niet-hernieuwbare infrastructuurelementen, en 25 jaar voor de hernieuwbare infrastructuurelementen, beide met een restwaarde van 25%.

Wat betreft de inschatting van de operationele kosten, worden de kostelementen rond energie en onderhoud - gerelateerd aan afstand en gebruik - afgestemd op de lengte van het hier bestudeerde traject, uitgaande van een gelijkaardige frequentie en capaciteit op het traject en dus een pro rata aantal passagierskilometers. Samen zijn deze kostenelementen op die manier goed voor €50-60 miljoen op jaarbasis, aangevuld door de kostenelementen personeel en voorzieningen die minder nadrukkelijk gelinkt zijn aan de lengte en gebruik van het traject, maar eerder aan de inrichting van de stations. **Bijgevolg wordt de jaarlijkse operationele kost van dit traject geschat op €170 miljoen**, met hierin een aanzienlijk aandeel voor kosten van personeel en onderhoud. Energiekosten spelen omwille van de efficiënte technologie en transportcondities slechts een zeer bescheiden rol in deze operationele kost.

10.2.3. Financieringsopties en terugverdienmodellen

Vanzelfsprekend zou de precieze samenstelling en omvang van het kostenplaatje en de hieraan gekoppelde terugverdienmodellen in realiteit sterk afhangen van verschillende keuzes inzake financieringsopties, uitbatingmodellen en prijszetting. Hierin bestaan tal van mogelijkheden en vrijheidsgraden, en is het voorlopig bijzonder moeilijk inschatten welke

Op het vlak van financiering zou het bijvoorbeeld voor de hand liggen dat het kapitaal tot stand komt op basis van een privaat-publieke samenwerking, met een nader te bepalen/onderhandelen aandeel voor elk van beide. De overheid zou met een dergelijke investering voornamelijk kunnen inzetten op het ondersteunen van de industrie en innovatie, en het realiseren van de in wat volgt beschreven positieve directe en indirecte impacten op socio-economisch vlak. Private spelers daarentegen zouden eerder aangetrokken kunnen worden door het vooruitzicht van interessante terugverdieneffecten, mits een efficiënte uitbating en correcte prijszetting op een voldoende groot volume aan passagiers en cargo gerealiseerd kan worden.

Equivalent bestaan voor wat betreft de uitbating van een eventueel Hyperlooptraject eveneens verschillende mogelijke modellen in het publiek-private spectrum, gaande van een volledig beheer in handen van een publiek monopolie over een systeem van licenties/concessies tot een volledig open

markt verhaal. Factoren die hier een nadrukkelijke rol spelen in de keuze voor de meest aangewezen vorm, zijn onder andere de standaardisatie en systeemintegratie, financiering en hieraan verbonden controle en risico's, flexibiliteit en het effect van concurrentie op kwaliteit, veiligheid en prijszetting. Hierbij dient ook rekening gehouden te worden met de druk vanuit de EU richting een liberalisering van de transportmarkt.

De uitkomsten op vlak van financiering en uitbatingsmodel zullen in sterke mate mee het uiteindelijk aangewezen terugverdienmodel vormgeven. Wat betreft prijszetting zijn hier opnieuw verschillende opties mogelijk, waaronder een klassiek afstandsgerelateerd tarief (zoals op het nationale treinnetwerk), een meer marktgedreven prijsvariatie (zoals in de luchtvaart) of integratie in bundels op basis van maandelijkse inschrijvings- of abonnementskosten (zoals bij innovatieve *Mobility as a Service* aanbieders). Het is voorlopig te vroeg om deze mechanismen voldoende gefundeerd met elkaar te vergelijken en de rentabiliteit op basis hiervan te gaan inschatten.

10.3. Directe impacten van Hyperlooptraject

In deze sectie worden een aantal directe impacten van het geselecteerd Hyperlooptraject ingeschat. De volgende directe impacten werden geselecteerd, op basis van eerdere wereldwijde studies en literatuur:

- Impact van tijdsbesparing
- Mogelijke daling van (totaal) energieverbruik
- Vermindering van CO2 uitstoot
- Ontlasting van bestaande infrastructuur

De richtinggevende omvang van deze impacten kan worden geëvalueerd na het inschatten van de modal shift richting Hyperloop voor zowel passagiers- als vrachtvervoer. Deze methodiek laat toe om te definiëren waar en waarom de impact van de Hyperloop het grootst zijn en zodoende, welke verschuivingen in passagiersvervoer en goederenvervoer het meest significant zijn.

10.3.1. Capaciteit van traject

Zoals in sectie 3.7.4 besproken, is de capaciteit van een Hyperlooproute sterk afhankelijk van de vertrekintervallen van de voertuigen. Verschillende studies gaan uit van intervallen tussen de 30 seconden en 2 minuten. Aangezien de concrete technische implementatie nog onduidelijk is, en de vertrekintervallen uiteraard ook zeer afhankelijk zijn van een stipte aanvoer van zowel passagiers en goederen, gaan we voor dit traject uit van een interval van 2 min.

De capaciteit per (passagiers)pod werd door 'Hyperloop Alpha' van Musk ingeschat op 28 personen³³. Andere studies gaven sindsdien aan dat grotere pods haalbaar zijn. Daarom gaan we hier uit van een capaciteit van 40 passagiers. Het laadvermogen van een pod voor goederen wordt ingeschat op 12 000 kg, naar analogie met Werner et al. (2016).

Daarnaast gaan we uit van een gemiddelde operationele activiteit van 95% op jaarbasis, gedurende 20u per dag. Dit geeft een potentiële jaarlijkse capaciteit zoals aangegeven in onderstaande tabel

Type	Interval	Capaciteit	% dagen in operatie	Uren in operatie per dag	Capaciteit op jaarbasis
Enkel passagiers	2 min	40 personen	95%	20u	15,64 miljoen passagiers
Enkel goederen	2 min	12 000kg	95%	20u	4,99 miljoen ton

Tabel 26: Jaarlijkse gemodelleerde capaciteit van Vlaams Hyperlooptraject

Dit komt neer op een passagierscapaciteit van 15,64 miljoen per jaar (2400 per uur) indien het traject enkel wordt gebruikt voor personenvervoer, en op 4,99 miljoen ton goederen per jaar indien het enkel wordt gebruikt voor logistiek. Dit is de totale capaciteit voor transport in beide richtingen. De capaciteit in één richting is dus half zo groot

In deze impact-analyse gaan we echter uit van een Hyperloop die zowel passagiers als goederen kan vervoeren. Een gelijke verdeling van de capaciteit resulteert dus in een **passagierscapaciteit van 8,32 miljoen per jaar (gemiddeld 1200 per uur)** en een **goederencapaciteit van 2,5 miljoen ton per jaar**.

³³ https://www.spacex.com/sites/spacex/files/Hyperloop_alpha.pdf

Uiteraard zal het in de praktijk logisch en wenselijk zijn om de verdeling tussen passagiers en goederen af te stemmen op de maatschappelijke noden. Zo kan tijdens piekuren de volledige capaciteit van 2400 passagiers per uur aangewend worden voor passagiersvervoer, en in daluren een groter deel gebruikt worden voor goederenvervoer. De hierboven berekende capaciteit betreft dus richtinggevende jaarlijkse maximale volumes. **Deze maximale capaciteit is belangrijk om mee te nemen naar de volgende secties, waar we de potentiële modal shift richting Hyperloop analyseren, aangezien de grootte van deze modal shift steeds gebonden zal zijn door de beschikbare Hyperloopcapaciteit**

10.3.2. Modal shift van passagiersvervoer

Rechtstreekse passagiersvluchten tussen Schiphol en Paris-CDG vervoerden in 2017 meer dan 1,25 miljoen personen in (>8000 vluchten). Tussen Brussel en Schiphol werden meer dan 250 000 passagiers vervoerd en tussen Brussel en Paris-CDG werden nog eens meer dan 170 000 passagiers vervoerd³⁴. Dat brengt het totale aantal passagiers vervoerd via vliegverkeer op het geïdentificeerde Hyperlooptraject op ongeveer 1,7 miljoen per jaar. Indien het Hyperloopnetwerk een competitieve prijszetting kan bieden in vergelijking met vliegverkeer, is het waarschijnlijk dat een zeer groot aandeel van dit volume zou kunnen verschuiven naar de Hyperloop, omwille van verschillende redenen:

- Vandaag is reistijd is de belangrijkste keuzefactor voor passagiers in hun keuze tussen vliegtuig en trein. Zoals hierboven geïdentificeerd is de totale reistijd minstens 20% korter in de Hyperloop (waarbij inscheping- en onschepingsprocedures wellicht ook korter zijn)³⁵
- De frequentie van vertrekmomenten is de 2^e belangrijkste keuzefactor. Een Hyperloop heeft 'by design' een erg hoge vertrekfrequentie in vergelijking met vliegen
- Bovendien zou een verdere extensie van het Hyperloopnetwerk (vanuit één van de terminals) naar andere Europese grootsteden het potentieel voor modal shift van passagiersvluchten nog vergroten.

230 miljoen reizigers stapten in 2017 in België op een binnenlandse trein. Volumegegevens per traject zijn niet publiek beschikbaar, maar enkele relevante datapunten kunnen worden aangehaald. Uit telling blijkt dat 35 000 passagiers per dag opstappen en/of afstappen in Antwerpen-Centraal, het 5^e grootste aantal in België. Meer dan 8000 reizigers per dag maken gebruik van het treinstation op Brussels Airport. Bovendien is de luchthaven steeds beter multi-modaal ontsloten op de hoofstad, waar in de 3 grootste stations van het land (Brussel Noord, Centraal en Zuid) dagelijks samen meer dan 180 000 passagiers passeren³⁶. Daarnaast is er het internationale treinverkeer, in de eerste plaats via de HST Thalys tussen Amsterdam en Parijs. In 2017 gebruikten 7,2 miljoen passagiers de Thalys. 55,6% van de inkomsten kwam uit de route Parijs-Brussel en 21,3% uit de route Parijs-Nederland, samen goed voor 76,9%. Indien men dit percentage spiegelt aan het passagiersvolume gebruiken ongeveer **5,5 miljoen passagiers per jaar het Thalys-traject tussen Amsterdam en Parijs**³⁷. Zoals eerder geïdentificeerd, zou een Hyperloop tot 75% sneller kunnen zijn dan de huidige HST. Een sterke interesse van huidige treinpassagiers in het gebruik van een Hyperloopverbinding is dus waarschijnlijk.

Uit sectie 9.2.2 bleek reeds dat op werkdagen tussen 45 000 en 65 000 personenwagens in elke richting de belangrijkste wegverbinding tussen Antwerpen en Brussel (E19) gebruiken. Indien men veronderstelt dat elke wagen slechts door 1 persoon wordt gebruikt (bestuurder) betekent dit tussen

³⁴ Eurostat: Air passenger transport between main airports in each reporting country and partner reporting countries – Laatste bijgewerkt op 4 januari 2019

³⁵ Dobruszkes et al (2011) High-speed rail and air transport competition in Western Europe: A supply-oriented perspective

³⁶ NMBS: <https://www.belgiantrain.be/nl/about-sncb/enterprise/publications/travellers-counts> - tellingen oktober 2017

³⁷ Thalys: <https://www.thalys.com/be/fr/a-propos-de-thalys/une-entreprise-a-taille-humaine>

de 16,425 miljoen en 23,725 miljoen verplaatsingen per jaar tussen Antwerpen en Brussel met de wagen (in elke richting) tijdens de werkweek alleen.

Uit bovenstaande analyse van de modi voor personenvervoer op het geïdentificeerd traject blijkt het potentieel beschikbare volume vele malen groter is dan de maximale capaciteit van het Hyperlooptraject voor personenvervoer (8,32 miljoen passagiers per jaar). Bovendien kan deze maximale capaciteit niet volledig worden toegekend tijdens de piekuren voor reizigersverplaatsingen. Dit betekent dat een prioritering van verschuiving van de huidige modi richting de Hyperloop moet worden gemaakt. Hierbij gaan we uit van volgende assumpties:

Vliegverkeer krijgt de hoogste prioriteit omdat de modal shift van deze modus naar de Hyperloop het meest waarschijnlijk en wenselijk is:

- De Hyperloop kan het grootste voordeel van vliegverkeer, de snelheid, eveneens aanbieden en nog verbeteren
- Vliegverkeer is niet milieu-vriendelijk. Vluchten van korte afstand staan ook steeds meer onder politieke druk om te worden verminderd of afgeschaft³⁸. Hyperloop is een milieu-efficiënter alternatief.

In dit rapport wordt uitgegaan van een modal shift van 90% van alle passagiersvluchten.³⁹

Treinverkeer krijgt de 2^e hoogste prioriteit. Hierbij wordt – om een degelijke analyse mogelijk te maken – enkel gekeken naar een verschuiving vanuit het passagiersverkeer van de Thalys, en naar binnenlandse (NMBS) passagiers op het traject. Aangezien de Hyperloop net zoals een HST een directionele 'point-to-point' transportmodus is, gelden dezelfde voordelen en beperkingen voor passagiers (vb. nood aan andere modus richting eindbestemming). Vanwege de veel hogere snelheid van de Hyperloop wordt hier uitgegaan van een modal shift van 70% richting de Hyperloop.

Wegverkeer krijgt de laagste prioriteit. Het is waarschijnlijk dat niet alle gebruikers van personenwagens willen of kunnen overstappen van een andere modus. Zij kunnen bijvoorbeeld hun werkplaats moeilijk bereiken zonder wagen, of hebben deze net nodig voor hun professionele activiteiten. Een modal shift van ongeveer 8% van het huidige personenwagenverkeer tussen Antwerpen en Brussel is nodig om de gemodelleerde passagierscapaciteit te vullen.

De modal shift van passagiersvervoer wordt samengevat in de volgende tabel

Reizigersmodus	Reizigers per jaar op traject	Modal shift	Reizigers per jaar op Hyperloop	Aandeel in volume reizigers Hyperloop
Vliegverkeer	1,7 miljoen	90%	1,53 miljoen	18%
Treinverkeer (HST)	5,5 miljoen	70%	3,85 miljoen	46%
Wegverkeer	32,85 miljoen	~8%	2,49 miljoen	36%
Totaal			8,32 miljoen	100%

Tabel 27: Modal shift van huidige passagiersvervoermodi op het gemodelleerd Hyperlooptraject

³⁸ VRTnws: <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2019/03/06/groen-vliegverkeer/> - opgehaald op 6 maart 2019

³⁹ Deze assumptie werd bevestigd door experts werkzaam op strategisch niveau in de Belgische luchtvaartsector

10.3.3. Modal shift van goederenvervoer

De vooropgestelde diameter van 3,5m voor de Hyperloopbuizen betekent dat een diversiteit aan verschillende soorten cargo kan worden vervoerd. Enkel zeecontainers passen niet in deze diameter (deze vereisen een diameter van ~5m, maar dit zou de totale kosten van de Hyperloopinfrastructuur exponentieel doen stijgen) Het grootste voordeel van de Hyperloop ligt ook voor goederenvervoer in de snelheid. Daarom is ook hier het potentieel voor de vervanging van luchtvervoer het grootst. In een Hyperloopnetwerk is het potentieel echter ook afhankelijk van de goederenvolumes van de geconnecteerde luchthavens. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de drukste cargoluchthavens in Europa.

Luchthaven		Cargo Volume 2017 (ton)
1	Frankfurt/Main Airport	2.263.039
2	Paris Charles De Gaulle Airport	2.161.317
3	London Heathrow Airport	1.788.815
4	Amsterdam/Schiphol Airport	1.778.168
5	Leipzig Airport	1.144.652
6	Luxembourg Airport	893.588
7	Koeln/Bonn Airport	854.366
8	Liege Airport	717.411
9	Milano/Malpensa Airport	589.534
10	Brussels Airport	504.304

Tabel 28: Grootste goederenluchthavens in Europa⁴⁰

Zowel Paris CDG, Schiphol als Brussels Airport staan in de top 10 van Europese cargoluchthavens. Wanneer men echter kijkt naar de goederenvolumes binnen Europa en tussen deze luchthaven, vindt men een belangrijke nuance. Slechts 27 000 ton goederen wordt momenteel vervoerd tussen de 3 luchthaven in het traject⁴¹. Dit kan worden verklaard door het feit dat luchtcargo de duurste modus voor goederenvervoer is en zodoende vooral voor grote afstanden wordt gebruikt. Hierbij kunnen wel 2 opmerkingen worden gemaakt. Ten eerste zou een Hyperlooptraject een aantrekkingspool kunnen vormen voor logistieke activiteit nabij geconnecteerde luchthavens, waardoor de volumes sterk zouden stijgen. Ten tweede kan een uitbreiding van het Hyperlooptraject naar bestemmingen op grotere afstand een netwerkeffect creëren waardoor het vervangbaar luchtcargo-volume sterk vergroot.

Luchthaven	Bestemmingen buiten EU	Bestemmingen binnen EU	Naar andere bestemmingen in traject
Paris CDG	~80%	~20	18 500 ton
Schiphol	~93%	~7%	5 500 ton
Brussels Airport	68%	~32%	3000 ton
Totaal			27 000 ton

Tabel 29: Volume van goederentransport tussen luchthavens op traject

Naast dit directe cargovolume is het ook belangrijk goederen die exclusief tussen deze luchthavensites per vrachtwagen wordt vervoerd mee in rekening te nemen. Over het volume van deze stromen zijn geen publieke gegevens beschikbaar maar is - volgens geconsulteerde experts - een veelvoud van bovenstaand gevlogen goederenvolume. De specifieke kenmerken van het Hyperloopnetwerk in

⁴⁰ Eurostat: Freight and mail air transport by main airports in each reporting country, laatst bijgewerkt Maart 2019: https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=avia_gooa

⁴¹ Eurostat: Air passenger transport between main airports in each reporting country and partner reporting countries, laatst bijgewerkt Maart 2019: https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=avia_paoac

gedachte, lijken dit bij uitstek volumes te zijn die 1 op 1 in aanmerking komen om de shift naar Hyperloop te maken, dit vanwege de toegang tot het netwerk en tot een strikt minimum beperkt voor- en natraject van deze verplaatsingen. De Hyperloop cargo hubs op de luchthavens in het gemodelleerd traject in kwestie bevinden zich naar alle waarschijnlijk in de onmiddellijke nabijheid van de activiteiten van de luchtvaartmaatschappijen en integratoren (vb. DHL, UPS, FedEx, TNT...). Deze nuance verhoogt verder de attractiviteit van luchthavens als potentiële Hyperloophubs en versterkt hun positie als multimodale en duurzame transportknooppunten.

Vrachtwagenvervoer heeft vandaag een aandeel van 80% van alle goederenvervoer. Bovendien zal dankzij autonome technologie en gerelateerde innovaties de kost van vrachtwagenvervoer significant afnemen, terwijl de snelheid toeneemt (minder stops nodig)⁴². Verschuiving naar de Hyperloop zal dus slechts relevant zijn voor een specifiek gedeelte van het vrachtvervoer. Zoals geïllustreerd in sectie 9.2.1 maken 6000 tot 10000 vrachtwagens per werkdag gebruik van de belangrijkste verkeersas tussen Antwerpen en Brussel (E19). Als het gemiddelde laadvermogen van elke vrachtwagen gelijk wordt gesteld aan 15 ton, wordt elke werkdag 90 000 tot 150 000 ton goederen vervoerd door vrachtwagen tussen Antwerpen en Brussel, of 23,4 miljoen tot 39 miljoen ton per jaar. Voor deze analyse gaan we uit van het middelpunt tussen deze 2 getallen, 31,2 miljoen ton per jaar.

Naast het beperkte volume van directe luchtcargo (27 000 ton) tussen de luchthavens op het gemodelleerde traject, en het exclusieve vrachtwagenvervoer tussen deze luchthavens (wellicht enkele honderduizenden ton) is er dus nog ongeveer 2,2 tot 2,4 miljoen ton beschikbare capaciteit voor de vervanging van vrachtverkeer via de weg (Ter herinnering: totale cargocapaciteit van gemodelleerde Hyperloop is 2,5 miljoen ton). Dit betekent dat in totaal ongeveer 8% van het huidige vrachtvolume op de as Antwerpen – Brussel kan verschuiven naar het Hyperlooptraject. Dit is een significante, doch plausibele modal shift.

10.3.4. Totale volume-impact

Uit de analyse in bovenstaande secties lijkt het waarschijnlijk dat een Hyperlooptraject in Vlaanderen tussen Antwerpen en Brussel op termijn zijn volledige capaciteit zal kunnen benutten. Onderstaande tabel vat het totale volume samen.

Type	Modus	Vervangen Volume	Aandeel van capaciteit
Reizigers	Luchtvaart	1,53 miljoen personen	9%
	Treinverkeer (HST)	3,85 miljoen personen	23%
	Wegverkeer	2,49 miljoen personen	18%
	Totaal Reizigers	8,32 miljoen personen	50%
Goederen	Luchtvaart	27 000 ton	1%
	Wegverkeer	2, 473 miljoen ton	49%
	Totaal Goederen	2,5 miljoen ton	50%

Tabel 30: Totaal volume van huidige modi vervangen door het gemodelleerd Hyperlooptraject

⁴² Deloitte: Future of Freight study (2017) <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/future-of-mobility/future-of-freight-simplifying-last-mile-logistics.html>: Tot 75% van de operationele kost van vrachtwagenvervoer komt uit arbeid, autonome voertuigen kunnen dus een zeer significante daling van deze kost veroorzaken

10.3.5. Impact van tijdsbesparing

Een belangrijk voordeel van een Hyperlooptraject op andere vervoersmodi is de significante tijdsbesparing voor zowel personen- als goederenvervoer. De Vlaamse Milieumaatschappij maakte in 2016 een overzicht de monetaire waarde van tijdsverlies voor de verschillende vervoersmodi⁴³. Deze inschattingen worden doorgaans gemaakt op basis van de gemiddelden van bevragingen waarin de 'willingness-to-pay' van reizigers of transporteurs wordt gepeild.

Personenvervoer

- Luchtvaart (korte afstand): € 55,89 per persoon per uur
- Trein: € 9,99 per persoon per uur
- Personenwagen: € 9,72 per persoon per uur

Goederenvervoer

- Luchtvaart (korte afstand): € 242,21 per ton per uur
- Vrachtwagen € 4,45 per ton per uur

Dit geeft de onderstaande inschatting voor de waarde van tijdsbesparingen dankzij een Hyperlooptraject. Voor alle modi wordt de berekening gemaakt op basis van het Vlaamse traject tussen Antwerpen en Brussel, behalve voor luchtvaart, waar arbitrair wordt gekozen voor de route tussen Schiphol en Brussels Airport.

Type	Modus	Tijdsbesparing op traject	Waarde van tijdsbesparing
Reizigers	Luchtvaart	21 minuten (Schiphol-Brussels Airport)	€ 29,97 miljoen
	Treinverkeer (HST)	26 minuten	€ 16,67 miljoen
	Wegverkeer	39 minuten	€ 15,73 miljoen
	Totaal Reizigers		€ 62,37 miljoen
Goederen	Luchtvaart	21 minuten (Schiphol-Brussels Airport)	€ 2,29 miljoen
	Wegverkeer	39 minuten	€ 7,15 miljoen
	Totaal Goederen		€ 9,44 miljoen

Tabel 31: Waarde van tijdsbesparing dankzij Hyperlooptraject in Vlaanderen

Dit geef een indicatieve totale waarde van € 71,81 miljoen per jaar voor de bespaarde tijd dankzij een Hyperlooptraject. Uiteraard moet hierbij de bemerking wordt gemaakt dat dit een theoretische, richtinggevende besparing, die enkel indirect kan worden gerealiseerd door het geheel van reizigers en vervoerders in Vlaanderen

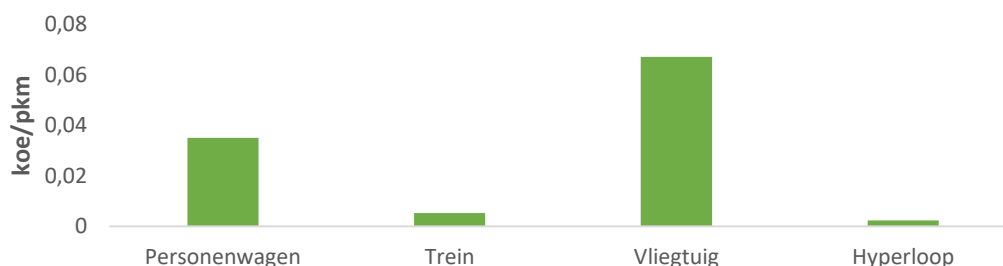
10.3.6. Energieverbruik

De Hyperloop zou theoretisch gezien 17 tot 38 Wh (gemiddeld 27 Wh) per passagier per kilometer verbruiken⁴⁴. Dit cijfer omvat zowel de lineaire aandrijfmotor, die de pods accelereert en deaccelereert, als de luchtpompen die de luchtledigheid moeten bewaren. Op het volledige Vlaamse traject zou dit een energieverbruik van 42 GWh per jaar betekenen.

De Hyperloop is in theorie een stuk efficiënter dan de bestaande transportmodi, van 2 maal zo efficiënt als treintransport, tot 30 maal zo efficiënt als luchtvaart, zoals geïllustreerd in onderstaande figuur.

⁴³ VMM: Internalisering externe kosten transport 2016 - <https://www.milieuraapport.be/publicaties/2017/onderzoeksrapport-internalisering-van-externe-kosten-van-transport-in-vlaanderen-actualisering-2016>

⁴⁴ Inschatting op basis van input experten van Hardt Hyperloop



Figuur 13: Energie-efficiëntie van verschillende transportmodi, uitgedrukt in Kg olie-equivalenten per passagierskilometer (koe/pkm)⁴⁵

Dankzij deze hoge energie-efficiëntie zou een Hyperlooptraject het energieverbruik van transport in Vlaanderen kunnen doen afnemen. **Dankzij de modal shifts van bestaande modi richting de Hyperloop zou het totaal energieverbruik met 520,1 GWh afnemen. Dit is een vermindering van 0,9% ten opzichte van de huidige totale energieconsumptie van de transportsector in Vlaanderen (56305 GWh)⁴⁶.**

Modus	Energie - besparing/jaar	Energiegebruik Hyperloop/jaar	Totaal verschil
Luchtvaart	-119,6 GWh		
Treinverkeer (HST)	-23,7 GWh		
Wegverkeer	-418,8 GWh		
	-562,1 GWh	+42 GWh	-520,1 GWh

Tabel 32: Totaal verschil in energieverbruik na modal shift richting Hyperlooptraject

In deze analyse wordt abstractie gemaakt van de energiebron die de verschillende modi aandrijft. Het is duidelijk dat een modal shift van luchtverkeer en wegverkeer naar de Hyperloop zal leiden tot een afname van het gebruik van fossiele brandstoffen (zoals blijkt uit de hieropvolgende analyse naar de CO₂-uitstoot). Het netto-effect van een Hyperlooptraject op de vraag naar elektriciteit is moeilijk te voorspellen, voornamelijk vanwege de gelijktijdige elektrificatie van het wegverkeer. 42 GWh is ongeveer 0,05% van de totale Belgische elektriciteitsproductie⁴⁷, **dus de te verwachten impact van de Hyperloop op de totale elektriciteitsvraag is relatief beperkt, en mogelijk zelfs negatief indien elektrische wagens in de toekomst een significant aandeel van het wagenpark zullen voorstellen.**

De Hyperloopstructuur biedt een goed oppervlak om op een efficiënte manier zonnepanelen te installeren en aan te sluiten. In studies wordt daarom vaak deze opportuniteit mee in rekening genomen. Het traject van 100km in Vlaanderen zou toelaten maximaal 140 000 zonnepanelen te plaatsten. Met een maximale opwekcapaciteit van 300W en een gemiddelde efficiëntie van 80%, zou dit tot 50 GWh per jaar kunnen opleveren⁴⁸. Met andere woorden, het traject zou in theorie zijn eigen consumptie volledig kunnen compenseren met eigen productie. Dit houdt uiteraard geen rekening met de wisselvallige beschikbaarheid van zonne-energie, en de nood aan opslagcapaciteit om het aanbod op de continue vraag af te stemmen.

⁴⁵ Cijfers voor bestaande modi uit 2015, bron: <http://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by-sector/transport/specific-consumption.html>

⁴⁶ Energieverbruik per sector (VMM), conversie van PJ naar GW - <https://www.milieurapport.be/systemen/energie/systeemkenmerken/energiegebruik-per-sector>

⁴⁷ FEBEG, Statistieken elektriciteit (2017) - <https://www.febeg.be/statistieken-elektriciteit>

⁴⁸ Vlaanderen heeft gemiddeld 1500 zonne-uren per jaar.

10.3.7. CO₂-uitstoot

Het bouwen van een Hyperlooptraject zou leiden tot een uitstoot van 9 000 ton CO₂ per aangelegde kilometer. In het Vlaamse traject van ongeveer 100 kilometer zou dit dus leiden tot een additionele, eenmalige uitstoot van 900 000 ton CO₂. De geschatte uitstoot van de bestaande modi en de geschatte uitstoot van de Hyperloop op het geselecteerde traject is als volgt⁴⁹:

- Luchtvaart: 199 gram CO₂ per passagier per kilometer
- Treinverkeer: 18 gram CO₂ per passagier per kilometer
- Wegverkeer: 115 gram CO₂ per passagier per kilometer
- Hyperloop: 7-15 gram CO₂ per passagier per kilometer (gemiddeld 12 gram)⁵⁰

Aangezien het zeer moeilijk is om in te schatten welke CO₂-uitstoot verbonden is aan goederenvervoer voor de verschillende modi, wordt in de tabel hieronder de vermindering van de uitstoot ingeschat op basis van een Hyperlooptraject van 100km op het Vlaamse grondgebied, waarbij enkel passagiers worden vervoerd.

Modus	CO ₂ uitstoot modus	CO ₂ uitstoot Hyperloop	Volume CO ₂ vermindering
Luchtvaart	199g CO ₂ /pkm	12 gram CO ₂ per passagier per kilometer	28 611 ton per jaar
Treinverkeer (HST)	18g CO ₂ /pkm		2310 ton per jaar
Wegverkeer	115g CO ₂ /pkm		105 678 ton per jaar
Totaal			136 599 ton per jaar

Tabel 33: Inschatting CO₂-vermindering dankzij modal shift richting Hyperlooptraject

De jaarlijkse uitstoot van de transportsector in Vlaanderen bedraagt ongeveer 16 miljoen ton CO₂ per jaar⁵¹. Dit Hyperlooptraject zou de totale uitstoot met 0,8% kunnen verminderen. De waarde van Europese CO₂-certificaten schommelt vandaag tussen €20 en €25. Tegen 2040 wordt echter een waarde van € 70 per certificaat voorspeld⁵². **De CO₂ besparing dankzij de Hyperloop zou in dat scenario ongeveer € 9,6 miljoen per jaar bedragen. Het zou dus 7 jaar duren om de kost van de CO₂-uitstoot veroorzaakt door de constructie van het traject terug te verdienen.**

Net zoals bij de adoptie van elektrische wagens, is de uitstootvermindering afhankelijk van de primaire electriciteitsproductiemix. Indien het belang van hernieuwbare energiebronnen, kan de Hyperloop de totale uitstoot van schadelijke stoffen in Vlaanderen nog verder doen afnemen. Dit effect valt echter buiten de scope van dit rapport.

10.3.8. Ontlasting van bestaande infrastructuur

De modal shift van bestaande vervoersmodi richting een Hyperlooptraject zou mogelijk kunnen leiden tot een minder intensief gebruik van de infrastructuur voor deze modi. In deze sectie worden enkele impacten van deze ontlasting gedefinieerd.

⁴⁹ De CO₂-uitstoot van de verschillende bestaande modi werd ingeschat met behulp van de website EcoPassenger: <http://ecopassenger.hafas.de>

⁵⁰ Inschatting op basis van input experten Hardt Hyperloop

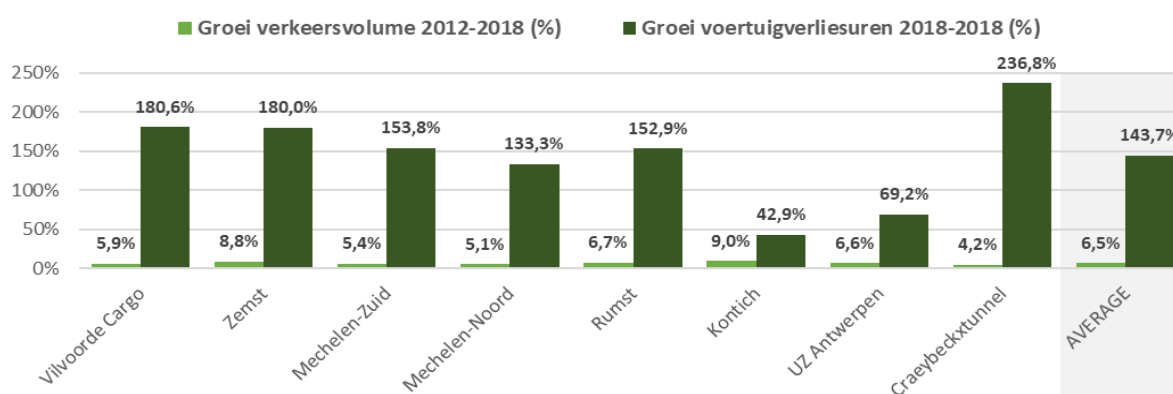
⁵¹ Vlaamse Milieumaatschappij- Emissie broeikasgassen per sector, cijfers 2016 - <https://www.milieuraapport.be/milieuthemas/klimaatverandering/broeikasgassen/emissies-broeikasgassen-per-sector> - laatst bijgewerkt oktober 2018

⁵² Handbook on estimation of external costs in the transport sector (2008) - https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/sustainable/doc/2008_costs_handbook.pdf

Weginfrastructuur

Indien we uitgaan van de modal shift voor personenwagen- en vrachtwagenverkeer zoals eerder besproken kunnen op jaarbasis ongeveer 2,49 miljoen personenwagentrips en 165 000 vrachtwagentrips tussen Antwerpen en Brussel verdwijnen. Dit is een vermindering van ongeveer 8% van alle volume op de E19 snelweg (in beide richtingen). De directe impact van een daling van het verkeersvolume op filezwaarte en file-uren op een specifiek wegtraject is zeer moeilijk in te schatten, en is afhankelijk van de verzadigingsgraad van de weg, de verzadigingsgraad van aansluitende wegen, de staat van de infrastructuur en tal van andere indirecte factoren. Bovendien is het een welbekend verkeerskundig fenomeen dat een verlaging van de verzadiging van een wegtraject (o.a. door het verhogen van de capaciteit), een aanzuigefect heeft op het totale volume, en zodoende vaak tijdelijk van aard is⁵³. Het modelleren van deze impact valt daarom buiten de scope van deze analyse.

In de figuur hieronder wordt enkel een indicatie gegeven van de significantie van een verschil van 8% in het jaarlijkse verkeersvolume, door de historische evolutie van het verkeersvolume van verschillende wegsegmenten op de E19 snelweg van Brussel naar Antwerpen te vergelijken met de evolutie van de voertuigverliesuren te wijten aan file en vertraagd verkeer op die segmenten. Een verandering in volume van enkele procenten, kan dus, in theorie, een significante invloed hebben op de voertuigverliesuren op het traject.



Figuur 14: Groei van het verkeersvolume en de voertuigverliesuren op geselecteerde wegsegmenten van de E19 snelweg van Brussel naar Antwerpen⁵⁴

Luchthavens

De modal shift van luchtverkeer op de as Amsterdam-Brussel-Parijs richting de Hyperloop, zal het aantal vluchten tussen deze bestemming in theorie grotendeels of zelfs volledig kunnen vervangen. Tussen Brussel en Schiphol werden in 2017 meer dan 250 000 passagiers vervoerd en tussen Brussel en Paris-CDG werden nog eens meer dan 170 000 passagiers vervoerd. Dit komt overeen met ongeveer 2800 vluchten per jaar dit aankomen of vertrekken op Brussels Airport vanuit Schiphol of Paris-CDG. Er wordt aangenomen dat deze vluchten ook de kleine hoeveelheid cargo op deze routes (3000 ton) vervoerd. Deze 2800 vluchten stellen ongeveer 1,1% van alle vliegbewegingen op Brussels Airport voor.

⁵³ Dit effect wordt bijvoorbeeld zichtbaar gemaakt door de evolutie van de verzadigingsgraad van wegsegmenten waar een spitsstrook werd aangelegd in het rapport 'Verkeersindicatoren Snelwegen Vlaanderen 2018, p46' van het Vlaams Verkeerscentrum. <http://www.verkeerscentrum.be/pdf/rapport-verkeersindicatoren-2018-v1-2.pdf>

⁵⁴ Data Vlaams Verkeerscentrum via <http://indicatoren.verkeerscentrum.be>

De Europese Commissie schat de marginale indirecte kost van geluidsoverlast op € 76,9 per vliegbeweging⁵⁵. Een daling van 2800 vluchten zou op jaarbasis ongeveer € 215 000 indirecte kosten uitsparen. Dit is uiteraard een zeer hypothetische benadering, aangezien er geen enkele garantie is dat deze vluchten niet zouden worden vervangen door vluchten naar andere bestemmingen. Het voordeel voor de luchthaven ligt in die zin eerder in het vrijmaken van additionele capaciteit voor andere vluchten.

⁵⁵ Ricardo-AEA- Update of the Handbook on External Costs of Transport, Report for the European Commission (2014)
https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/handbook_on_external_costs_of_transport_2014_0.pdf

10.4. Indirecte impacten van Hyperlooptraject

Naast de hierboven beschreven directe impacten verbonden aan een mogelijke implementatie van het bestudeerde Hyperlooptraject, zijn er ook nog tal van meer indirecte impacten denkbaar. Gezien de complexiteit en onzekerheid rond de precieze omvang en kwantificering van deze effecten, wordt in wat volgt een beschrijvend overzicht gegeven van mogelijke indirecte impacten.

10.4.1. Economische impact

In de vorige sectie kwam de directe economische impact reeds uitvoerig aan bod, met focus op de logistieke aspecten zoals tijd, volumes, verbruik en congestie. Bij uitbreiding kan ook gekeken worden naar de toegevoegde waarde voor de Vlaamse economie en de hiermee gepaard gaande tewerkstelling.

Toegevoegde waarde voor de Vlaamse economie

In lijn met de in hoofdstuk 5 en 6 beschreven bouwstenen van het Hyperloopconcept en de relevante spelers in het ecosysteem, is het aannemelijk dat – naast de inzet van kennisinstellingen en industrie op de ontwikkeling van kennis en infrastructuur of technische componenten voor toepassing in het buitenland – de investering in een eigen traject heel wat toegevoegde waarde zou kunnen creëren voor de Vlaamse economie. Het is moeilijk deze impact correct in te schatten, maar in een Nederlandse studie naar een mogelijke Hyperloop-testfaciliteit wordt tijdens de constructiefase gewag gemaakt van een positieve impact op het binnenlands product ten belope van iets meer dan 50% van de investeringskost, door het laten uitvoeren van de ontwikkeling en de constructie door Nederlandse bedrijven.⁵⁶ Dit lijkt in eerste instantie een erg ambitieuze inschatting, en voor een kleinere regio als Vlaanderen zal het aandeel van de eigen bedrijven allicht een stuk lager liggen. Mits een sterke betrokkenheid van de Vlaamse industrie in de constructie en technologische ontwikkeling en productie van het materiaal, zou echter toch een significant bedrag tijdens constructie- en operationele fases kunnen terugvloeien naar Vlaamse high-tech en constructiebedrijven.

Hierbij kan bovendien worden opgemerkt dat de benodigde stations of hubs in een eventueel Hyperloopnetwerk aanleiding zouden kunnen geven tot de ontwikkeling van innovatieve *high value* clusters van technologisch betrokken bedrijven en logistieke spelers in het algemeen. De zones in en rond deze hubs zouden op die manier verder kunnen uitgroeien tot attractiepolen voor binnen- en buitenlandse investeerders, met additionele positieve 'spillover effecten' die gunstig zijn voor de Vlaamse economie en het innovatielandschap.

Tewerkstelling

Teneinde deze toegevoegde waarde te realiseren kan ook verwacht worden dat de ontwikkeling en uitbating van een Hyperlooptraject een positieve impact heeft op de tewerkstelling in de betrokken sectoren. In eerste instantie gaat het dan om directe tewerkstelling in en rond het Hyperlooptraject en zijn stations. Zo zal er nood zijn aan werknemers voor tal van operationele en onderhoudstechnische taken, gaande van monitoring van de besturingssoftware over veiligheid en goederenbehandeling tot herstel- en onderhoudswerken. Deze tewerkstelling kan als structureel worden beschouwd en onmiddellijk gelinkt aan de exploitatie van het traject. In de eerder

⁵⁶ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2017/10/09/rapport-Hyperloop-in-the-netherlands>

aangehaalde Nederlandse studie werd uitgegaan van een schatting van 100 FTE voor operationele en routinematige onderhoudsactiviteiten voor een commerciële route.

Daarnaast dient ook de werkgelegenheid in de betrokken kennisdomeinen en industrietakken te worden meegenomen. Deze kan voornamelijk worden gesitueerd in de fase van onderzoek, testing, design en constructie van een dergelijk traject, met aandacht voor technologische innovaties en constructietechnieken. Echter, ook hier lijkt het niet ondenkbaar een structureel tewerkstellingseffect te realiseren op basis van recurrente productieorders van verschillende onderdelen en verder onderzoek en innovatie in deze domeinen. Verder zal er ook een permanente nood zijn aan werknemers voor de uitbating van de in de stations aanwezige voorzieningen en commerciële activiteiten dienstenleveranciers (catering, veiligheid, parking). Voor deze activiteiten zouden 200 FTE kunnen worden gegenereerd bij technische partners en dienstenleveranciers.

Dit zou neerkomen op een totaal van 300 structurele FTE, vaak in hoogopgeleide rollen. Dit is momenteel echter slechts een ad-hoc inschatting. Meer diepgaande analyse en duidelijkheid is nodig om deze impact op tewerkstelling concreet te kunnen analyseren..

10.4.2. Ruimtelijke en maatschappelijke impact

Naast het economische aspect spelen er uiteraard ook tal van ruimtelijke en maatschappelijke factoren in de beslissing en de precieze modaliteiten voor een eventueel Hyperlooptraject. De impact op deze vlakken dient mee in rekening te worden gebracht in een meer uitvoerig onderzoek naar de haalbaarheid, sociale aanvaarding, en zodoende rentabiliteit van het Hyperloopconcept.

Ruimtelijke inpassing

Op ruimtelijk vlak zal de complexiteit van de inpassing van een traject met bijhorende hubs/stations een belangrijke uitdaging vormen, en de politieke slagkracht en sociale bereidheid van doorslaggevend belang zijn om tot een effectieve realisatie te komen. Zo is het niet moeilijk in te denken dat in het dichtbevolkte en -bebouwde Vlaanderen, het geen evidentie zal blijken om een Hyperlooptraject of -netwerk uit te bouwen zonder tal van omslachtige en langdurende onteigenings- en vergunningsprocedures.

Naast de complexiteit inzake eigendomsrechten speelt ook de reeds aanwezige infrastructuur een belangrijke rol in een vlotte ruimtelijke inpassing. Het bestudeerde traject tussen Antwerpen en Brussel zou op dit vlak dan ook tal van uitdagingen moeten overkomen. Hoewel de aanwezige noord-zuid assen van de autosnelwegen E19 en A12 en de spoorverbinding op zich mogelijkheden zouden moeten bieden, herbergen deze assen ook tal van infrastructuurobstakels in de vorm van bruggen, tunnels, bermen, en dergelijke meer die een vlotte inpassing kunnen bemoeilijken. Hierbij dient ook opgemerkt te worden dat deze assen op tal van punten reeds zeer kortbij woongebieden gelegen zijn, **wat uiteraard vragen oproept rond de wenselijkheid en het typische "NIMBY-effect" bij zulke grote infrastructuuringrepen enkel versterkt.**

Verder staat of valt het succes van een eventueel Hyperlooptraject als *point-to-point* systeem met een optimale multimodale ontsluiting voor zowel passagiers als cargo, afhankelijk van de prioriteiten en precieze locatie van de hub in kwestie. Dit vereist mogelijk bijkomende investeringen in multimodale transportinfrastructuur, en additionele complexiteit gegeven de ruimtelijke inpassing in of rond een verstedelijkt gebied. Een volwaardige multimodale ontsluiting moet ervoor zorgen dat het Hyperloopnetwerk en de beschikbare *first & last mile* opties voldoende aantrekkelijk zijn inzake gebruiksgemak en reistijd van een dergelijke verplaatsing in zijn totaliteit. Het voorliggende traject met assumptie rond inpassing van hubs in de zones Antwerpen-Noord en Brussel-Zaventem, dient een

efficiënte set aan opties voor connectie naar de respectievelijke stadscentra voldoende te garanderen om zich ook als interessant alternatief voor passagiers - inclusief pendelaars en toeristen - aan te dienen.

Maatschappelijke impact

Naast de hierboven beschreven directe impacten inzake onder andere tijdswinsten en verminderde congestie en uitstoot, dienen nog enkele bijkomende factoren en impacten op maatschappelijk vlak mee in rekening te worden gebracht.

Een Hyperlooptraject kan leiden tot een gewijzigde perceptie van bereikbaarheid als gevolg van de sterk verminderde reisafstand binnen een dergelijk netwerk. Zo zouden bijvoorbeeld woon-werkafstanden die voorheen als onmogelijk werden ingeschat, door een eventuele Hyperloopverbinding plots wel als aanvaardbaar en realistisch kunnen worden beschouwd. Dit met eventueel wijzigend keuzegedrag inzake woonplaats tot gevolg, en een ruimere geografische toegankelijkheid tot de arbeidsmarkt. Een korte conceptstudie naar het traject Helsinki-Stockholm geeft bijvoorbeeld aan dat wonen Helsinki en werken in Stockholm perfect mogelijk wordt⁵⁷ Eenzelfde mogelijkheid zou kunnen ontstaan tussen bijvoorbeeld Amsterdam en Brussel (24 min met de Hyperloop) en Parijs en Brussel (37 min de Hyperloop). Echter moet hier wel meteen bij vermeld worden dat gezien de theoretische capaciteit (max. 4800 passagiers per uur in het beste geval) van het traject, dit waarschijnlijk enkel een mogelijkheid zou zijn voor enkelingen, en in eerste instantie niet voor een grote massa aan pendelaars.

De mogelijke impact van een Hyperloopnetwerk - en de inpassing van de benodigde hubs - op de woonmarkt nader te worden ingeschat. **Het is niet ondenkbaar dat door Hyperloop ontsloten steden of wijken verder gesterkt worden in hun aantrekkelijkheid op vlak van mobiliteit en aldus een stijgend effect op de prijzen op de woonmarkt ondervinden.** Afhankelijk van de precieze inpassing en veelheid aan stations zou dit effect wel verzacht en uitgespreid kunnen worden naar meer voorstedelijke of zelfs landelijke gebieden.

Ook dient bijvoorbeeld de nodige aandacht geschonken te worden aan de toegankelijkheid van een Hyperloopnetwerk voor minder mobiele personen, gaande van het design van de pod zelf over de in- en uitstapprocedure en de multimodale ontsluiting van de hubs in hun totaliteit. Indien de Hyperloop zijn theoretisch sterke waardepropositie in de praktijk kan waarmaken, zou de groei van de vraag naar Hyperloopvervoer het beschikbare aanbod (capaciteit) kunnen overstijgen. Aangezien het moeilijk is om de piekcapaciteit op korte termijn verder te verhogen, moet hier nagedacht worden hoe men passagierssegmenten (en/of goederen) zal prioriteren op een duurzame manier. Het is aan de overheid om de discussie rond dit soort sociale correcties mee te voeren en te sturen, rekening houdend met de gekozen publiek-private samenwerkingsvorm en bijhorende financierings- en uitbatingsmodellen.

⁵⁷ <https://home.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2016/07/fs-links-pre-feasibility-study-summary.pdf>

11. Overzicht van de drempels in het brede regelgevende kader

In dit onderdeel van de studie worden eventuele juridische hinderpalen of belemmeringen om een succesvolle *roadmap* voor de Hyperloop uit te rollen in Vlaanderen in kaart gebracht.

Uit de literatuurstudie (samengevat in hoofdstuk 3 van dit rapport) blijkt reeds dat er tot op heden weinig focus ligt op wetgeving. De onderstaande bevindingen ambiëren – gelet op de verscheidenheid van de mogelijke toekomstige scenario’s – dan ook geenszins een gedetailleerd en exhaustief overzicht te willen geven.

Gelet op het innovatieve en grensoverschrijdende karakter van het Hyperloopconcept, werpt deze leverbaarheid wel een aantal potentiële drempels op en er worden een aantal mogelijkheden aangereikt in het kader van innovatieve regelgeving.

11.1. Impactanalyse op basis van de huidige regelgeving

11.1.1. Ruimtelijke ordening en stedenbouw – Een complexe ruimtelijke inpassing met een grensoverschrijdend karakter

Ruimtelijke projecten die de landsgrenzen overschrijden, brengen vaak heel wat complicaties met zich mee. Zo worden dossiers die soms inhoudelijk weinig met elkaar te maken hebben, in internationale onderhandelingen aan elkaar gekoppeld. Dit heeft tot gevolg dat niet alleen direct met het project verbonden belangen en overwegingen het projectverloop bepalen, maar ook het verloop van andere dossiers die tussen buurlanden spelen zijn van invloed. Daarnaast kunnen onderhandelingen bemoeilijkt worden door de aanzienlijke bestuursculturele verschillen tussen landen. Een zorgvuldige afweging van het nut en de noodzaak van projecten – en van verschillende alternatieven binnen projecten – wordt nog moeilijker dan ze binnenslands al is.

Te denken valt aan de hogesnelheidslijn die doorheen Frankrijk, België en Nederland werd aangelegd. Aan het einde van de jaren tachtig van de vorige eeuw werden hierover reeds afspraken gemaakt, waarna jaren van onderhandelingen volgden tussen Nederland aan de ene kant en België en Vlaanderen aan de andere kant over het tracé tussen Antwerpen en Rotterdam.⁵⁸ De bouw van het hogesnelheidsnetwerk in België was daarenboven minder evident dan aanvankelijk gedacht: qua ruimtelijke ordening en infrastructuur is ons land immers zeer “gecondenseerd”.⁵⁹

De aanleg van een Hyperlooptraject zal nopen tot mogelijke planwijzigingen en vergunningen, waarbij klachten en/of beroepen het vergunningsproces aanzienlijk kunnen verlengen. Zoals aangehaald in hoofdstuk 4 en hoofdstuk 10, zal bij de aanleg van de Hyperloop, zal ongetwijfeld het “NIMBY”-gevoel sterk spelen. De problematiek wordt daarenboven versterkt door de huidige *knowledge gaps* van de Hyperloop, rond bijvoorbeeld technische haalbaarheid en milieu-impact.

⁵⁸ Jochem DE VRIES, Arjan HARBERS, Femke VERWEST, Grensoverschrijdende projecten in Nederland en Vlaanderen – leren van HSL-Zuid, Schelde en IJzeren Rijn, Rotterdam, NAI Uitgevers, 2007, p. 10.

⁵⁹ X., *HSL, 300 km/u op het Belgische spoor, VOL. 2: De geschiedenis van een uitdaging*, Oostende, Goekint Graphics N.V., 2009, beschikbaar online via: https://www.infrabel.be/sites/default/files/legacy/documents/082405_historisch_boek_nl_infrabel-6_0.pdf, p. 9

Nochtans zal – in alle Europese landen – rekening moeten worden gehouden met de MER-plichtigheid. Artikel 3 van de Richtlijn 2001/42/EG betreffende de beoordeling van de gevolgen voor het milieu van bepaalde plannen en programma's bepaalt dat er een milieubeoordeling wordt gemaakt van alle plannen en programma's:⁶⁰

- die voorbereid worden met betrekking tot landbouw, bosbouw, visserij, energie, industrie, vervoer, afvalstoffenbeheer, waterbeheer, telecommunicatie, toerisme en ruimtelijke ordening of grondgebruik en die het kader vormen voor de toekenning van toekomstige vergunningen voor de in bijlagen I en II bij Richtlijn 85/337/EEG genoemde projecten (waaronder begrepen bijvoorbeeld verscheidene infrastructuurprojecten); of
- waarvoor, gelet op het mogelijk effect op gebieden, een beoordeling vereist is uit hoofde van de artikelen 6 of 7 van Richtlijn 92/43/EEG (ofwel de Habitatrictlijn⁶¹).

Het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen legt daarenboven de nadruk op het afremmen van bijkomend ruimtegebruik. Zo wordt onder meer de focus gelegd op ondergrondse tracés. Als specifiek aandachtspunt, wordt het beter benutten van het bestaand ondergronds ruimtegebruik en het beleidsmatig verkennen van nieuwe ondergrondse potenties, met respect voor de bestaande bodemfuncties en met oog voor het versterken van de relatie tussen bovengrond en ondergrond, aangemerkt.⁶² Met betrekking tot goederenvervoer, dient het ruimtelijk beleid in te zetten op de concentratie en optimalisering van de logistieke goederenstromen via vernieuwende modi zoals ondergronds transport. Van daaruit kunnen goederen op een kwalitatieve, duurzame, niet-hinderlijke en frequente wijze verder doorgestuurd worden.⁶³ Nochtans lijkt ondergrondse ruimtelijke planning op zich nog te onduidelijk om effectief aan de slag te kunnen gaan.

In bestaande conceptstudies wordt gesuggereerd dat er maximaal gebruik zou kunnen worden gemaakt van bestaande erfdiensbaarheden. Hierbij zouden zowel bestaande trajecten van de spoorwegen, als van autosnelwegen worden gevat. Hardt Hyperloop geeft bijvoorbeeld onderstaande aan als visie op inplanting en adoptie:

*"It can be integrated into existing rights of way such as highway and rail and could supplement the 50.000 km of core railway of TEN-T by 2050."*⁶⁴

Reeds in 2017 werd een parlementaire vraag in die zin gesteld aan Dirk Van Mechelen: *"Kan op basis van de vandaag beschikbare gegevens een inschatting worden gemaakt of een Hyperloop kan worden aangelegd ter vervanging van de huidige tracés, zowel inzake verbindingen als inzake beschikbare ruimte binnen de vandaag voorziene erfdiensbaarheden voor spoorwegen?"*⁶⁵ Het antwoord luidde

⁶⁰ Richtlijn 2001/42/EG van het Europees Parlement en de Raad van 27 juni 2001 betreffende de beoordeling van de gevolgen voor het milieu van bepaalde plannen en programma's, P.B. L 197, 21.7.2001.

⁶¹ Richtlijn 92/43/EEG van de Raad van 21 mei 1992 inzake de instandhouding van de natuurlijke habitats en de wilde flora en fauna, P.B. L 206, 22.7.1992.

⁶² Beleidsplan Ruimte Vlaanderen – Strategische visie, beschikbaar online via: https://www.ruimtevlaanderen.be/Portals/108/BRV_StrategischeVisie_VR20181307DOC.pdf, p. 23-24.

⁶³ Beleidsplan Ruimte Vlaanderen – Strategische visie, beschikbaar online via: https://www.ruimtevlaanderen.be/Portals/108/BRV_StrategischeVisie_VR20181307DOC.pdf, p. 69-70.

⁶⁴ European Investment Project Portal, "European Hyperloop Program", beschikbaar online via: <https://ec.europa.eu/eipp/desktop/en/projects/project-9401.html>.

⁶⁵ Bulletin nr : B124, Schriftelijke vraag en antwoord nr : 2350, Zittingsperiode 2016-2017, beschikbaar online via: <https://www.dekamer.be/kvvcr/showpage.cfm?section=qrva&language=nl&cfm=qrvaXml.cfm?legislat=54&dossierID=54-b124-940-2350-2016201716406.xml>.

dat – hoewel alle ontwikkelingen op spoorweggebied aandachtig worden opgevolgd door Infrabel – er op dat moment geen enkel concreet project ontwikkeld werd in België.

Gelet op de technische specificiteit van de Hyperloop – waarbij een zo recht mogelijk traject lijkt te moeten worden aangehouden en er idealiter specifieke stations zouden moeten worden voorzien om overstappen zo efficiënt mogelijk te maken – lijkt er op het eerste gezicht niet zomaar gebruik te kunnen worden gemaakt van bestaande erfdienstbaarheden (voor significante delen van het traject). Bijgevolg kan worden verwacht dat de aanleg van een tracé noodzakelijkerwijze zal leiden tot onteigeningen, dan wel nieuwe erfdienstbaarheden van openbaar nut waarbij bepaalde lasten zullen moeten worden geduld.

Onteigeningen zullen leiden tot schadeloosstellingen. Artikel 16 van de Grondwet luidt namelijk: *"Niemand kan van zijn eigendom worden ontzet dan ten algemenen nutte, in de gevallen en op de wijze bij de wet bepaald en tegen billijke en voorafgaande schadeloosstelling."*

Erfdienstbaarheden van openbaar nut vereisen in beginsel een duidelijke wettelijke basis. Het zijn onroerende eigendomsbeperkingen die door of krachtens de wet in het algemeen belang worden opgelegd, gaan dikwijls gepaard met verregaande eigendomsbeperkingen. Ook de vraag naar vergoeding voor particulieren die zulke eigendomsbeperkingen ondervinden is een *hot topic*. Wat betreft de vergoeding van erfdienstbaarheden van openbaar nut geldt als uitgangspunt dat deze erfdienstbaarheden niet voor vergoeding in aanmerking komen, behoudens wanneer de wet of het reglement expliciet in een vergoeding voorziet.

Hoewel dit principe van niet-vergoeding al sinds een cassatiearrest van 27 juni 1845 vaste rechtspraak is,⁶⁶ is nuancering aangewezen. In bepaalde gevallen zou namelijk een vergoeding kunnen worden gevraagd op basis van een andere grondslag. Zo lijkt artikel 1 van het Protocol bij het Verdrag tot bescherming van de Rechten van de Mens en de Fundamentele Vrijheden⁶⁷ – inzake bescherming van eigendom – en het beginsel van de gelijkheid van de burgers voor de openbare lasten een mogelijke grondslag bieden om aanspraak te maken op schadevergoeding.⁶⁸ Volgens , is het principe van de vergoedingsplicht in geval van verbreking van het evenwicht tussen algemeen en privaat belang bij eigendomsbeperkingen van (onder meer) stedenbouwkundige aard aan een onstuitbare opmars begonnen.⁶⁹

⁶⁶ Cass. 27 juni 1845, *Pas.* 1845, I, 392.

⁶⁷ Protocol van 20 maart 1951 bij het Verdrag tot bescherming van de Rechten van de Mens en de Fundamentele Vrijheden, *B.S.* 19 augustus 1955.

⁶⁸ Marlies LERNOUT, "De vergoeding van erfdienstbaarheden van openbaar nut: Grondwettelijk Hof brengt opnieuw verduidelijking", *Tijdschrift voor Bestuurswetenschappen en Publiekrecht* 2016, 304 *et seq.*

⁶⁹ Bruno INDEKEU, "Bescherming tegen eigendomsbeperkingen van stedenbouwkundige aard, gezien door de bril van het EHRM en van de hoogste Belgische rechtscolleges", *Rechtskundig Weekblad* 2018-19, 60.

11.1.2. Mobiliteit, interoperabiliteit en veiligheid – Nood tot ontwikkeling van internationale/Europese standaarden en aandachtspunten inzake aansprakelijkheid

Elke vervoermodus – zoals vervoer over de weg en spoorwegvervoer – beschikt op internationaal/Europees/nationaal/regionaal niveau over een eigen set van regels. Er stelt zich de vraag of de Hyperloop onder één van de bestaande modi zal worden gecatalogeerd (waarbij de set regels desgevallend zal moeten worden aangepast/afgestemd om ook de Hyperloop te vatten), dan wel of er een volledig nieuwe set regels – specifiek gecreëerd voor de Hyperloop – noodzakelijk is.

Het lijkt vooralsnog niet geheel duidelijk onder welke modus de Hyperloop kan worden gekwalificeerd. Spoorwegvervoer lijkt het nauwst aan te sluiten bij de technische specificaties van de Hyperloop.

Titel VI van het Verdrag betreffende de werking van de Europese Unie (VWEU), bevat de bepalingen inzake vervoer en is van toepassing op het vervoer per spoor, over de weg en over de binnenwateren.⁷⁰ Het doel van een gemeenschappelijk Europees vervoersbeleid is het garanderen zowel van de mededinging als van de vrijheid van dienstverlening.

Dit vereist dat de technische, administratieve en veiligheidsvoorschriften worden geharmoniseerd, hetgeen essentieel is voor de interoperabiliteit van de nationale spoorwegsysteem. Er zijn hierbij zowel Europese richtlijnen voor het trans-Europese conventionele spoorwegsysteem, als voor het trans-Europese hogesnelheidsspoorwegsysteem.

De huidige Europese en Belgische regelgeving inzake spoorwegvervoer lijkt evenwel niet afgestemd te zijn op het Hyperloopsysteem. Zoals in hoofdstuk 7.2 besproken zijn Hardt Hyperloop (NL), Transpod (CA, FR), Zeleros (SP) en HyperPoland (PL) momenteel dan ook betrokken in een Europees standaardisatie programma onder het gezag van de Europese Commissie. Nieuwe standaarden vergen niet enkel de ontwikkeling en toetsing, maar ook de aanvaarding door de industrie en de implementatie ervan in de regelgeving, met o.m. de nodige certificatiemogelijkheden. Aangezien de industrie zelf nauw betrokken is bij de ontwikkeling van de standaarden, wordt er getracht om zo snel mogelijk voortgang te boeken, zoals sectie 7.2 aangeeft.

Er wordt tevens getracht om de Europese standaarden op internationaal vlak te introduceren, via het "Vienna Agreement" van 1991 dat beoogt te verhinderen dat de Europese en de internationale normalisatie zich van elkaar zouden verwijderen.⁷¹ Tevens wilde men tegenstrijdige bepalingen in de Europese en internationale standaarden én ook dubbel werk vermijden.

Europa wenst inderdaad actief voorstellen voor internationale normen te doen op gebieden waarop zij wereldwijd de leiding heeft om het Europese concurrentievoordeel te maximaliseren. De EU erkent het primaat van internationale normen, daar zij in het bijzonder bijdragen tot de opheffing van handelsbelemmeringen die het gevolg zijn van verschillen tussen de technische voorschriften van landen en zijn een krachtig hulpmiddel om convergentie van regelgeving te bevorderen.⁷²

Doch niet enkel de technische aspecten kunnen een drempel vormen. Zeker in geval van een autonoom rijdende Hyperloop, kan worden verwacht dat andere aansprakelijkheidssystemen dan de klassieke foutaansprakelijkheid aan belang zullen winnen, zoals de productaansprakelijkheid. Bij

⁷⁰ Verdrag betreffende de werking van de Europese Unie (VWEU), P.B. C 326, 26.10.2012.

⁷¹ *The Agreement on technical cooperation between ISO and CEN (Vienna Agreement), 27 juni 1991, Wenen.*

⁷² Zie: Mededeling van de Commissie aan het Europees Parlement, de Raad en het Europees Economisch en Sociaal Comité, *Een strategische visie voor Europese normen: de duurzame groei van de Europese economie tussen nu en 2020 bevorderen en versnellen*, COM(2011) 311 definitief.

werkelijke schade veroorzaakt door zelfrijdende riji tuigen, kunnen zich evenwel al snel toepassingsproblemen stellen. Welke schade moet worden vergoed? Wat met schade veroorzaakt tijdens testritten? Gedurende welke termijn geldt de aansprakelijkheid? Het antwoord op deze vragen is nog steeds niet duidelijk. Er is zelfs nog geen eenduidige definitie van het begrip “zelfrijdend”. De rol die een bestuurder speelt en de graad van autonomie van het voertuig, kan immers variëren.⁷³

11.2. Future of Regulation

11.2.1. De verschillende mechanismen

Op vlak van ruimtelijke ordening bestaat er een duidelijke interesse voor experimenten en regelluwe zones.⁷⁴ Immers, via een aanpassing van/uitzondering op de regelgeving kunnen nieuwe ideeën rond energie, technologie, water en mobiliteit getest worden. Meer bepaald kan worden mogelijk gemaakt dat van voorschriften van vergunningen, verordeningen en plannen – in bepaalde mate – kan worden afgeweken.

Regelluwe zones worden meer bepaald gecreëerd om innovaties vanuit of binnen de samenleving mogelijk te maken. Bij experimentenregelgeving daarentegen liggen innovaties binnen de overheid aan de grondslag. In beide gevallen gaat het in beginsel om regelgeving die beperkt is in de tijd.

Bij regelluwe zones is vooral het gelijkheidsbeginsel een aandachtspunt. Het gelijkheidsbeginsel (vervat in artikel 10 van de Grondwet) vereist dat iedereen – die zich in eenzelfde situatie bevindt – op gelijke wijze moet worden behandeld. Alleen als er een objectieve en redelijke rechtvaardiging voor bestaat, kan worden afgeweken van de plicht tot gelijke behandeling. Het gelijkheidsbeginsel verbiedt bijgevolg niet iedere gedifferentieerde behandeling, doch wel een willekeurige gedifferentieerde behandeling.⁷⁵

Er moet m.a.w. kunnen worden verantwoord waarom de regelluwte bijvoorbeeld enkel en alleen geldt voor een bepaalde zone en niet voor iedereen. Een gebiedsgerichte differentiatie in de context van ruimtelijke ordening vereist een belangrijke motivering van specificiteit van de situatie om het gelijkheidsbeginsel te respecteren.

Experimentenregelgeving zal tevens dienen te voldoen aan het beginsel van rechtmatigheid. Ook het rechtszekerheidsbeginsel is bijgevolg een bekommernis. Het rechtszekerheidsbeginsel vertrekt vanuit algemene regels, die rechtsgevolgen vastknopen aan welbepaalde omstandigheden.⁷⁶ Het rechtszekerheidsbeginsel behelst onder andere dat men in elke situatie het recht kan kennen dat op zijn/haar zaak of handelen toepasselijk is en dat men het vertrouwen kan hebben in de overheid dat dit recht zal gerespecteerd worden.⁷⁷

⁷³ Zie in dit verband bijvoorbeeld (inzake motorvoertuigen): Jarich WERBROUCK, ‘De productaansprakelijkheid voor zelfrijdende motorrijtuigen’, *TPR* 2018, 553.

⁷⁴ Zie: SERV, Advies Experimentwetgeving en regelluwe zones, Brussel, 31 oktober 2016, p. 51.

⁷⁵ Zie: Jan THEUNIS, “Het gelijkheidsbeginsel”, in Ingrid OPDEBEEK en Marnix VAN DAMME, *Beginselen van behoorlijk bestuur*, Brugge, Die Keure, 2006, 201-234.

⁷⁶ Marnix VAN DAMME en Aube WIRTGEN, “Het rechtszekerheids- en vertrouwensbeginsel”, in Ingrid OPDEBEEK en Marnix VAN DAMME (Eds.), *Beginselen van behoorlijk bestuur*, Brugge, die Keure, 2006, 141-160.

⁷⁷ Bart VAN DEN BERGH, “Recht zoekt zekerheid”, *R.W.* 2010-2011, 346.

Een onoordeelkundige inzet van regelluwe zones en experimentenregelgeving dient bijgevolg te worden vermeden, aangezien dit niet de enige instrumenten zijn om innovatie te stimuleren. De Sociaal-Economische Raad van Vlaanderen (SERV) wijst daarenboven op de nadelen en risico's verbonden aan hun gebruik. Zo zouden regelluwe zones en experimentenregelgeving de aandacht afleiden van het werkelijke probleem, met name dat de onderliggende regelgeving zelf niet (langer) is aangepast aan nieuwe ontwikkelingen of belemmerend werkt voor nieuwe initiatieven. Experimentenregelgeving en regelluwe zones zouden zelfs noodzakelijke aanpassingen kunnen vertragen, bepaalde grondrechten, rechtsprincipes of beschermingsniveaus kunnen uithollen of ethische bezwaren kunnen oproepen.⁷⁸

In sommige Europese regio's worden regelluwe zones vermeden door alle vergunningsvoorschriften, ook bestaande, onder te brengen in een “aanpassingskader”, zoals door middel van een toekomst- en innovatiebestendige bouwvergunning. Dit is zogenaamde “agile” regelgeving: niet “reguleren en vergeten”, maar streven naar iteratief reguleren waar noodzakelijk. Dergelijk “aanpassingskader” dat bestaat uit twee delen:

1. een inleiding met intenties, doelstellingen en te bereiken resultaten;
2. een epiloog waarin wordt aangegeven dat een alternatieve aanpak die deels buiten de betreffende regels treedt, maar die de beoogde doelstellingen minstens even goed of beter bereikt, toch aanvaard kan worden op voorwaarde van één bijkomende validatie door een kwaliteitskamer.

In Nederland wordt het op die manier mogelijk gemaakt om een bouwvergunning bekomen die niet meer gebonden is aan één programma, maar die een waaier van verschillende programma's toelaat die vrij kunnen aangepast worden zonder nieuwe bouwvergunningen te moeten aanvragen. Dit leidt tot een toekomst- en innovatiebestendige bouwvergunning.⁷⁹

In dit verband ligt er in de Vlaamse Codex Ruimtelijke Ordening van 15 mei 2009 (B.S. 20 augustus 2009, kortweg VCRO) een “sunset/sunrise” regeling vervat. Artikel 2.2.6. VCRO bepaalt: “De stedenbouwkundige voorschriften kunnen van die aard zijn dat ze een tijdelijk ruimtegebruik toelaten, na verloop van tijd in werking treden, dat de inhoud op een bepaald tijdstip verandert of dat een onderdeel van een voorschrift in werking treedt als de opgenomen voorwaarde vervuld is.” De bepaling lijkt bijvoorbeeld de mogelijkheid te bieden om inrichtingsvoorschriften tijdelijk te maken.

Tot slot is er ook regelgeving op basis van resultaat – waarbij de focus ligt op resultaten en prestaties, eerder dan het opleggen van vormvereisten – en regelgeving in functie van risico's. Bij deze laatste wordt geen “one-size-fits-all” aanpak beoogd, doch wel een doelgerichte aanpak in functie van reële risico's onderbouwd door data.

Er gaan stemmen op om bepaalde aspecten inzake zelfrijdende voertuigen te reguleren op basis van resultaat. Voor wat betreft de productaansprakelijkheid, zou de *consumer expectations*-test bijvoorbeeld kunnen aangewend worden om te beoordelen of er sprake is van een gebrek: een product is gebrekkig wanneer het niet de veiligheid biedt die het grote publiek gerechtigd is daarvan te verwachten. Een probleem met zelfrijdende voertuigen is evenwel dat de technologie zodanig nieuw is, dat ze slechts in zeer beperkte mate is aangewend, en dan nog steeds in een testfase.

⁷⁸ SERV, Advies Experimentwetgeving en regelluwe zones, Brussel, 31 oktober 2016, p. 10-11.

⁷⁹ Nota van de Vlaamse Regering, “Conceptnota over een algemeen beleidskader voor het gebruik van experimentwetgeving en regelluwe zones”, 1403 (2017-2018) – Nr. 1, 6 december 2017, p. 19.

Bijgevolg is het publiek er geenszins vertrouwd mee, zodat nog geen concrete verwachtingen gevormd zijn. Pas wanneer een nieuw product voldoende gekend en verspreid is, kan er zich een beeld gevormd worden van wat wel en niet te verwachten is.⁸⁰ Dezelfde bemerking kan worden gemaakt bij de Hyperloop.

11.2.2. Europa

Regelgeving kan een product zijn van samenwerking en kan nationaal en internationaal afgestemd worden door een brede waaier van actoren binnen het hele ecosysteem te betrekken.

Binnen het EU-beleid rond innovatievriendelijke regelgeving staat “het innovatieprincipe” voorop, dat van toepassing is wanneer de EU beleid of regelgeving overweegt of ontwikkelt.⁸¹ Gedurende het gehele proces van ontwikkeling en evaluatie van regelgeving zal rekening worden gehouden met de effecten voor innovatie. Dit veronderstelt tevens een systematisch en nauwkeurig onderzoek van de impact van regelgevingsvoorstellen op innovatieactiviteiten.⁸²

Regelgeving kan in de praktijk namelijk een belangrijke impact innovatie hebben, positief dan wel negatief. Zo dienen wettelijke standaarden door hun interoperabiliteit niet alleen de mededinging vergemakkelijken, maar ook de diffusie van innovatie mogelijk maken.⁸³

De Europese Unie kan dus een grote rol spelen en stelt zelf ook innovatie voorop, waarbij kan worden verwezen naar het voorbeeld van de ontwikkeling van Europese standaarden in het kader van de Hyperloop.

11.2.3. Nederland

In Nederland werd een regelluw kader gecreëerd voor de TU Delft Green Village, waar Hardt Hyperloop zijn eerste testfaciliteit heeft. Het terrein van The Green Village valt onder de Crisis- en herstelwet, een wet gericht op de versnelling van infrastructurele vernieuwende en duurzame projecten die inwerking trad op 31 maart 2010. De wet – die erop gericht is om grote bouwprojecten en projecten inzake duurzaamheid, energie en innovatie te realiseren – fungeert als “test” voor de transitie naar de toekomstige Omgevingswet.

Artikel 6m Besluit uitvoering Crisis- en herstelwet luidt meer bepaald:

“Voor het project The Green Village in de gemeente Delft, zoals aangegeven op de kaart in bijlage 89, geldt tot 24 september 2026 dat:

a. kan worden afgeweken van het Bouwbesluit 2012, met uitzondering van de hoofdstukken 1 en 2 en de afdelingen 6.5 tot en met 6.8;

b. de artikelen 2.4, tweede lid, en 2.14, eerste lid, onderdeel c, onder 1°, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht niet van toepassing zijn;

⁸⁰ Jarich WERBROUCK, “De productaansprakelijkheid voor zelfrijdende motorrijtuigen”, *TPR* 2018, 553

⁸¹ Raad van de Europese Unie, “Onderzoeks- en innovatievriendelijke regelgeving”, Brussel, 27 mei 2016.

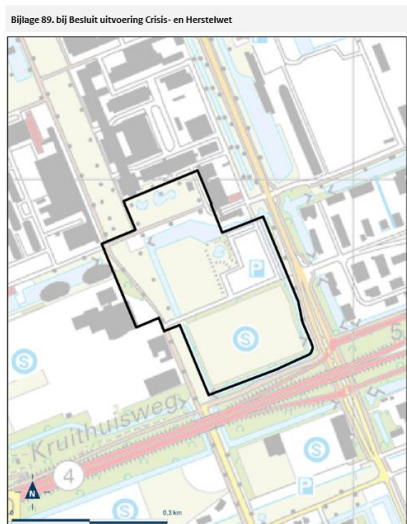
⁸² SERV, Advies Betere Regelgeving: Prioritaire Voorstellen, Brussel, 31 oktober 2016, p. 42.

⁸³ Nota van de Vlaamse Regering, “Conceptnota over een algemeen beleidskader voor het gebruik van experimentwetgeving en regelluwe zones”, 1403 (2017-2018) – Nr. 1, 6 december 2017, p. 14-15.

c. *het bepaalde krachtens artikel 2.8 van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht juncto artikel 4.1 van de Regeling omgevingsrecht niet van toepassing is voor zover die artikelen een omschrijving van de activiteiten of mogelijke maatregelen vereisen;*

d. *het verbod uit artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder a, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht voor een bouwactiviteit niet geldt.*"⁸⁴

Op basis van voormeld artikel, zijn er afwijkingen mogelijk van de bouwtechnische voorschriften (Bouwbesluit), evenals afwijkingen van de verplichting een omgevingsvergunning (Wet algemene bepalingen omgevingsrecht en Regeling omgevingsrecht).



Figuur 15: Locatie van testfaciliteit van Hardt in TU Delft Green Village⁸⁵

Zoals te zien is op figuur 15, gelden de afwijkingen evenwel voor een beperkt grondgebied. Ten aanzien van de uitkomst van procedures over een langer tracé geldt nog steeds onzekerheid en het is de vraag is of de nieuwe Omgevingswet hier verandering in gaat brengen.

11.2.4. België

Het nieuwe Vlaams Bestuursdecreet van 7 december 2018 (B.S. 19 december 2018) brengt niet enkel twaalf bestaande bestuurlijke decreten samen in één overkoepelend geheel – met als uitgangspunt het recht op kwaliteitsvolle (digitale) dienstverlening – maar bevat ook een aantal vernieuwingen die een moderne, open en wendbare overheid mee moeten realiseren. Zo wordt er voorzien in een minimumregeling voor experimentenregelgeving en regelluwe zones. Deze algemene decretale regeling sluit echter een decretale regeling *ad hoc* of per beleidssector, niet uit. In veel gevallen zal immers toch nog maatwerk noodzakelijk blijken. Het zijn dan ook zogenaamde "suppletoire" regels, die enkel gelden voor de experimenten en regelluwe zones waarvoor geen afwijkende decretale regeling bestaat.⁸⁶

In België wordt er momenteel bijvoorbeeld volop getest met autonome voertuigen. Het Europese project rond geautomatiseerde voertuigen en "platooning"⁸⁷ – waarbij de eerste vrachtwagen in het konvooi de snelheid en de route bepaalt en de andere vrachtwagens automatisch volgen zonder dat de chauffeur moet ingrijpen – noopte tot een uitzondering op de Wegcode zodat proefprojecten voor

⁸⁴ Besluit uitvoering Crisis- en herstelwet, beschikbaar online via: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0027929/2019-02-16>.

⁸⁵ Bron: Bijlage 89 bij het Besluit uitvoering Crisis- en herstelwet

⁸⁶ Memorie van Toelichting bij het ontwerp van Bestuursdecreet, VI. Parl. St. 1656 (2017-2018), p. 212.

⁸⁷ Voor meer informatie over het Europese CONCORDA (Connected Corridor for Driving Automation) project, zie: <https://trimis.ec.europa.eu/project/connected-corridor-driving-automation>.

autonome voertuigen tijdelijk en onder strikte voorwaarden mogen afwijken van het verkeersreglement.⁸⁸ Daarnaast zijn er ook verscheidene regelluwe zones ingevoerd, bijvoorbeeld in het kader van het concept basisbereikbaarheid en de proefvervoerregio's.^{89,90}

11.2.5. Andere buurlanden

In Frankrijk werd de mogelijkheid om te experimenteren met wetgeving in de Grondwet van 4 oktober 1958 ingeschreven. Artikel 72, alinea 4 van die Grondwet omvat de toekenning van het recht op uitvaardiging van experimentele wetgeving aan de Franse territoriale lichamen:⁹¹

"Dans les conditions prévues par la loi organique, et sauf lorsque sont en cause les conditions essentielles d'exercice d'une liberté publique ou d'un droit constitutionnellement garanti, les collectivités territoriales ou leurs groupements peuvent, lorsque, selon le cas, la loi ou le règlement l'a prévu, déroger, à titre expérimental et pour un objet et une durée limités, aux dispositions législatives ou réglementaires qui régissent l'exercice de leurs compétences."

Het artikel voorziet dus niet alleen dat een wet of een reglement een bepaling kan omvatten met experimenteel karakter en dit voor een precies doel en een beperkte tijd, maar ook dat elke publieke overheid bepaalde algemene wetgeving of reglementen kan opheffen voor een specifieke doelgroep gedurende een beperkte tijdsduur. De bepaling is het gevolg van een wijziging maakte deel uit van een grotere grondwetsherziening richting decentralisatie. Experimenten werden, in een context van toegenomen maatschappelijke complexiteit, gezien als middelen voor elke politieke macht om competenties op het correcte niveau in te zetten.⁹²

Zoals in hoofdstukken 4 en 7 besproken, worden nabij Toulouse en Limoges worden momenteel testgebied ingericht om te experimenteren met de Hyperloop.

Hoewel in Duitsland tijdelijke wetten en experimentenregelgeving eerder uitzonderlijk blijken te zijn, laten de Duitse "*standardöffnungsklauseln*" wel toe om bepaalde federale of lokale regulering buiten werking te stellen in een experimentele context. Nog in Duitse context is er sprake van "*Regulierungsfreistellung*".⁹³

11.3. Conclusies rond het regelgevende kader

Tot op heden ligt weinig focus op wetgeving voor de uitrol van de Hyperloop. Nochtans zijn er wel degelijk een aantal cruciale juridische hinderpalen of belemmeringen te detecteren. Net zoals bij andere grote en grensoverschrijdende infrastructuurprojecten, zal de complexe ruimtelijke inpassing uitdagingen met zich meebrengen op vlak van ruimtelijke ordening en stedenbouw. De aanleg van een

⁸⁸ Koninklijk Besluit van 1 december 1975 houdende algemeen reglement op de politie van het wegverkeer en van het gebruik van de openbare weg, B.S. 9 december 1975, artikel 59/1: "De minister bevoegd voor het Wegverkeer of diens afgevaardigde kan, bij wijze van uitzondering, voor de testvoertuigen die gebruikt worden in het kader van experimenten met geautomatiseerde voertuigen, onder de door hem vastgestelde voorwaarden en beperkt in de tijd, afwijkingen toestaan op de bepalingen van dit reglement."

⁸⁹ Speerpuntcluster VIL heeft alvast ervaring met het KB van 18 maart 2018, Koninklijke besluit betreffende experimenten met geautomatiseerde voertuigen (in voege 1 mei 2018), en in het bijzonder met het effectief tot stand komen van testen in de openbare ruimte en met de Belgische specificiteit tussen de opsplitsing van federale en gewestelijke bevoegdheden.

⁹⁰ Decreet van 8 juli 2016 houdende de invoering van een regelluw kader in functie van de proefprojecten basisbereikbaarheid, B.S. 4 augustus 2016.

⁹¹ Constitution de la République française, beschikbaar online via: http://www.assemblee-nationale.fr/connaissance/constitution.asp#titre_12.

⁹² SERV, Advies Experimentwetgeving en regelluwe zones, Brussel, 31 oktober 2016, p. 83.

⁹³ SERV, Advies Experimentwetgeving en regelluwe zones, Brussel, 31 oktober 2016, p. 87.

Hyperlooptraject zal nopen tot mogelijke planwijzigingen en vergunningen, waarbij klachten en/of beroepen het vergunningsproces aanzienlijk kunnen verlengen. Het eerder vermelde 'NIMBY'-gevoel zal ongetwijfeld sterk spelen, wat nog wordt versterkt door de huidige *knowledge gaps*. Zo kan de precieze impact op het milieu niet exact worden ingeschat, bijvoorbeeld door gebrek aan kennis over het geluid dat de Hyperloop zal genereren.

Gelet op de technische specificiteit van de Hyperloop – waarbij een zo recht mogelijk traject lijkt te moeten worden aangehouden en er idealiter specifieke stations zouden moeten worden voorzien om overstappen zo efficiënt mogelijk te maken – lijkt er op het eerste gezicht niet zomaar gebruik te kunnen worden gemaakt van bestaande erfgoedbaarheden (voor significante delen van het traject). Onteigeningen en het vestigen van nieuwe erfgoedbaarheden van openbaar nut voor de aanleg van het tracé, zullen dus eveneens tijd in beslag nemen en nopen tot schadeloosstellingen.

Op vlak van mobiliteit, interoperabiliteit en veiligheid, is er nood tot ontwikkeling van standaarden en een eigen set van regels voor deze nieuwe modus en zijn er aandachtspunten inzake aansprakelijkheid. Op vlak van mobiliteit, interoperabiliteit en veiligheid, is er nood tot ontwikkeling van standaarden en een eigen set van regels voor deze nieuwe modus en zijn er aandachtspunten inzake aansprakelijkheid. Zeker in geval van passagiersvervoer, moet de veiligheid van de hyperloop te allen tijde kunnen worden gegarandeerd. Dit geldt evenzeer voor testritten met passagiers. Europese standaarden inzake veiligheid, zijn dan ook een eerste cruciale stap. Daarnaast zal men ook gewapend moeten zijn met een crisisplan bij ongevallen.

Hoewel er van start is gegaan om Europese standaardisatie te bewerkstelligen, zal dit proces nog een aantal jaren in beslag nemen. Zeker in geval van een autonoom rijdende Hyperloop, kan tevens worden verwacht dat andere aansprakelijkheidssystemen dan de klassieke foutaansprakelijkheid aan belang zullen winnen, zoals de productaansprakelijkheid.

De nood tot aanpassing van de huidige regelgeving lijkt dan ook evident, maar lijkt zich in Nederland bijvoorbeeld tot op heden enkel te beperken tot het testgebied voor de Hyperloop. Op basis van deze regelgeving zijn er afwijkingen mogelijk van de bouwtechnische voorschriften, evenals afwijkingen van de verplichting een omgevingsvergunning te bekomen. Voor de effectieve aanleg van een gans traject, kan evenwel niet zomaar worden teruggegrepen naar regelluwte of experimentenregelgeving. Het uithollen van grondrechten moet worden vermeden. Daarenboven lijkt de effectieve aanpassing van de regelgeving pas aan de orde van zodra er bijvoorbeeld Europese standaarden ontwikkeld zijn. Op korte termijn is nauwgezette opvolging hiervan aangewezen, evenals de verdere ontwikkelingen in andere landen.

12. Beleidsaanbevelingen en Roadmap

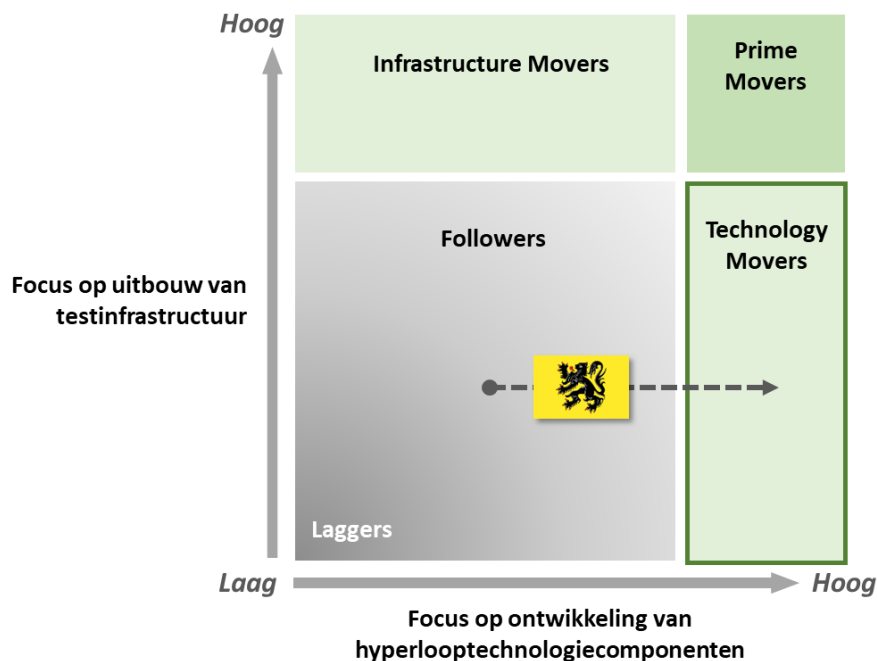
De Hyperloop kan een significante impact hebben op passagiers- en goederenvervoer in Vlaanderen, en de strategische positie van de Vlaamse grootsteden en logistieke knooppunten binnen West-Europa verder versterken. Enkele belangrijk inzichten die de aanbevelingen in dit hoofdstuk kaderen:

- Vlaanderen heeft specifieke relevante industriële- en onderzoekscompetenties, maar er is vooralsnog weinig tot geen activiteit in Vlaanderen rond het Hyperloopconcept.
- Het concept biedt – in theorie – een aantal concrete voordelen als sneller en meer efficiënt alternatief voor de huidige vervoersmodi, maar effectieve commercialisatie van de technologie op grote schaal is zeker 10 jaar verwijderd, waardoor er nog veel onzekerheid bestaat op vlak van bijvoorbeeld kosten en regelgeving.
- Een Hyperlooptraject op Vlaams grondgebied is enkel haalbaar binnen een Europese grensoverschrijdende context. Vlaanderen positioneert zich als logistiek centrum en als 'poort naar en van Europa' vanwege zijn gunstige ligging en sterk uitgebouwde infrastructuur. Om deze attractiepool voor binnen- en buitenlandse industriële investeringen in Vlaanderen te bestendigen moet Vlaanderen verzekeren dat het gezien wordt als strategisch onderdeel van het Europees netwerk (en m.a.w. niet wordt 'overgeslagen' wanneer de technologie matuur genoeg is voor een West-Europese implementatie).
- In Vlaanderen zijn de uitdagingen rond ruimtelijke inplanning en investering mogelijk groter dan in andere landen, vanwege de hoge bebouwingsdichtheid- en versnippering, en de andere prioriteiten op het vlak van transportinfrastructuur.
- Een aantal Europese landen heeft momenteel een voorsprong op Vlaanderen, dankzij de aanwezigheid van privéondernemingen die de Hyperloop ontwikkelen. In Nederland en Frankrijk bestaan reeds Hyperlooptestfaciliteiten, en er zijn plannen om deze verder uit te breiden.

Omwille van deze redenen lijkt een strategie als **'Technology Mover'** aangewezen, **waarbij Vlaanderen zich focust op het bijdragen aan de ontwikkeling van de componenten van het Hyperloopconcept waarvoor het een sterke industriële capaciteit en academische kennis heeft.**

De uitbouw van (test)infrastructuur wordt in eerste instantie overgelaten aan andere landen, omdat dit zeer kostelijk is en zodoende duurzame politieke steun op het hoogste niveau vereist. Bovendien staan andere landen hier al enkele stappen verder, waardoor dit momenteel strategisch minder waardevol is voor Vlaanderen.

Deze 'Technology Mover' strategie laat Vlaanderen toe om een aantal belangrijke 'no-regret moves' te maken op korte termijn (met beperkt financieel risico), en klaar te zijn voor grotere investeringen wanneer het concept op lange termijn meer matuur wordt. Gezien de lange voorbereidingstermijnen en brede kennis die een complex infrastructuurconcept als de Hyperloop vereisen, is het echter belangrijk om reeds op korte termijn een aantal concrete acties op te starten in Vlaanderen. Dit is nodig om te vermijden dat de regio een strategisch nadelige achterstand ontwikkelt op naburige regio's en landen. Om een rol te kunnen waarmaken binnen een eventueel Europees netwerk, moet Vlaanderen de komende jaren reeds actief aan kennis- en product/dienstenontwikkeling beginnen werken.



Figuur 16: Schematische voorstelling van het strategisch speelveld voor de ontwikkeling van de Hyperloop

De concrete aanbevelingen voor Vlaanderen kunnen worden opgesplitst in 3 tijdshorizonten: korte termijn, met prioritaire *no-regret* acties (0-6 maanden), middellange termijn (6 maanden -5 jaar) en lange termijn (+5 jaar).

Aanbevelingen op korte termijn

- **Het integreren in het beleid van de initiële intentie tot verder onderzoek en opvolging van het Hyperloopconcept in Vlaanderen, vanwege het potentieel voor zowel publieke als private sector**

Rationale: Om het afspreken van concrete acties en verantwoordelijkheden te verankeren, is het aangewezen om deze te formaliseren. Initieel kan dit gaan om slechts een bevestiging van de intentie tot verdere opvolging van het concept. Dit kan leiden op termijn tot een duidelijk beleidskader. Een onderdeel hiervan van dit kader is bijvoorbeeld een periodieke overlegstructuur (rondetafels) om de agenda te vertalen naar concrete activiteiten. Een soortgelijk initiatief is reeds door de Nederlandse Ministeries opgezet om publiek en privaat bijeen te brengen rondom de hyperloop ontwikkelingen, met als doel een Nationale Hyperloopagenda op te stellen.

Potentiële actoren: Vlaamse Regering

- **Ondersteunen van de Vlaamse universiteiten en onderzoeksinstituten in het verkennen van het Hyperloopconcept** en de bijdrage die zij hieraan kunnen en willen bieden. Alsook onderzoeken van de mogelijkheden om studententeams te laten participeren aan internationale Hyperloopcompetities.

Rationale: In alle Europese landen waar momenteel actief gewerkt wordt aan de Hyperloop en de industrie actief betrokken wordt, is dit ecosysteem gegroeid uit universitaire studententeams. Dit is een laagdrempelige katalysator om het concept Hyperloop dichterbij industrie, academici en

overheden⁹⁴ te brengen en kennis te ontwikkelen in relevante technologische aspecten (zie hoofdstuk 7). Dit kan ook leiden tot relevante spin-offs en IP.

Potentiële actoren : VLAIO, MOW, FWO i.s.m. Vlaamse universiteiten

- **Aanduiden van een verantwoordelijke 'thema-manager'** die op een structurele manier de technische en commerciële ontwikkeling van het Hyperloopconcept kan opvolgen en initiatieven opzet om industrie en onderzoeksinstellingen beter bekend te maken met het concept.

Rationale: Het responsabiliseren van een relevante expert voor het Hyperloopconcept is essentieel om acties te ondernemen (o.a. deze uit dit rapport) zodat Vlaanderen op relatief korte termijn meer kennis en activiteit ontwikkelt rond de Hyperloop. Deze expert heeft een coördinerende en connecterende rol. Op deze manier wordt het fundament gecreëerd van het Vlaamse ecosysteem rondom Hyperloop ontwikkelingen. Eens deze basis is gelegd, kunnen meer ambitieuze objectieven en projecten worden opgesteld die de bestending van het ecosysteem ten goede komen (vb. Vlaamse studentencompetities, specifieke studies (zie hieronder)).

Potentiële actoren: VLAIO, MOW, VIL

- **Coördineren met de industrie en relevante logistieke spelers** om het potentieel van de Hyperloop te signaleren aan relevante bedrijven.

Rationale: Momenteel is er in de Vlaamse bedrijfswereld weinig kennis over het Hyperloopconcept. Door op een concrete manier sectoren te gaan informeren (informatiesessies, site visits in het buitenland, kennisuitwisselingssessies) worden de eerste stappen gezet. Hierbij kunnen Vlaamse spelers ook in contact worden gebracht met (buitenlandse) bedrijven en testfaciliteiten, waarbij bijvoorbeeld het initiatief kan genomen worden voor het aangaan van 'Memorandums of Understanding', met buitenlandse partijen waar Vlaanderen als regio (of bepaalde industrieclusters), een wederzijdse waarde in samenwerking ziet.

Een voorbeeld is de studie naar de conceptroute Amsterdam-Frankfurt in Nederland. Binnen deze studie zijn publieke en private partijen uit verschillende sectoren uitgenodigd voor een aantal workshops, begeleid door Hardt Hyperloop waarin de technische, financiële en economische haalbaarheid van een conceptroute werd onderzocht. Dit resulteerde in de kennisontwikkeling van verschillende stakeholders omtrent het hyperloop concept, en een vervolgproject door luchthaven Schiphol. Een dergelijke conceptstudie, voor logistiek en/of passagiers kan bijdragen aan het verkrijgen van extra inzichten omtrent het potentieel van de hyperloop binnen de Vlaamse logistieke sector, bijvoorbeeld voor Port of Antwerp en Brussels Airport. Benodigde financiering voor een dergelijke studie is wellicht beperkt en zou gecoördineerd kunnen worden door de thema-manager.

De initiële focus kan daarbij liggen op sectoren of industrieën waar momenteel het meeste interesse en/of draagvlak is voor de Hyperloop. Bijvoorbeeld, indien de interesse vanuit de logistieke sector vandaag het grootst blijkt, kan voornamelijk daarop worden ingezet in een eerste fase.

Potentiële actoren: VIL, Agoria, Vlaamse Confederatie Bouw,...

⁹⁴ Dit is het zogenaamde 'Triple Helix Model of Innovation', waarbij innovatie wordt ondersteund door een model van triadische samenwerking tussen overheid, industrie en academische instellingen

Middellange termijn

- **Ondersteunen van de ontwikkeling van het Hyperloopecosysteem in Vlaanderen, door middel van financiering en subsidies, en door het gradueel wegwerken van regelgevende drempels.**

Rationale: De overheid kan Hyperloopbedrijven en start-ups accelereren in hun ontwikkeling door hen financieel te ondersteunen, op basis van een duidelijk en realistisch business plan. Dit versterkt de Vlaamse positie in het Hyperlooplandschap en verhoogt ook de (inter)nationale credibiliteit van deze ondernemingen, naar industriepartners en naar het publiek toe. Dit kan de opstap vormen naar de verdere ondersteuning van een Vlaams ecosysteem door middel van financiering en subsidies.

Hierbij kunnen de financiële investeringen gradueel worden opgeschaald naar meer significante bedragen, indien de eerste resultaten bevredigend zijn. Een voorbeeld van een mogelijk ondersteund programma kan een logistieke onderzoekshub voor de Hyperloop zijn., waarbij het specifiek logistiek potentieel van het concept verder wordt onderzocht, en de sterke Vlaamse logistieke competentie en industriële en academische kennis kan worden aangewend. Op termijn kan dit ook leiden tot (co-)investering in een testfaciliteit voor het logistieke potentieel van de Hyperloop.

Potentiële actoren: MOW, VLAIO, VIL

- **Participeren aan discussies op Europees niveau over de standaardzetting en potentiële uitbouw van een Europees grensoverschrijdend Hyperloopnetwerk.** De belangen en attractiviteit van Vlaanderen in dit Europese netwerk behartigen.

Rationale: Wanneer er enige tractie is gecreëerd rond de Hyperloop bij de Vlaamse industrie en onderzoeksinstituten, is het belangrijk dit momentum ook aan te wenden op Europees niveau. Dit kan op zijn beurt een versterkende werking hebben op het 'Hyperloopecosysteem' in Vlaanderen.

Potentiële actoren: VLAIO, Industriefederaties, VIL, Mobiliteitsexperten

- **Uitvoeren van een gedetailleerde technische en economische haalbaarheidsstudie naar een Hyperloop in Vlaanderen,** eventueel in een grensoverschrijdende samenwerking met buurregio's en landen.

Rationale: Wanneer het concept over enkele jaren in een meer mature fase van ontwikkeling zit (indien de huidige roadmaps van de Hyperloopspelers kunnen worden gevolgd) en een aantal van de huidige onzekerheden rond kosten, technologie en economische haalbaarheid verder zijn verduidelijkt, en er bovendien voldoende tractie is bij publieke en private actoren in Vlaanderen, is het een goed moment om een diepgaande studie te voeren naar een traject binnen Vlaanderen, idealiter in samenwerking met andere overheden. Hierbij kan in meer detail gekeken worden naar potentiële routes en corridors en de haalbaarheid hiervan.

Potentiële actoren: MOW, VIL, ism. Universiteiten, Mobiliteitsexperten,...

Lange termijn

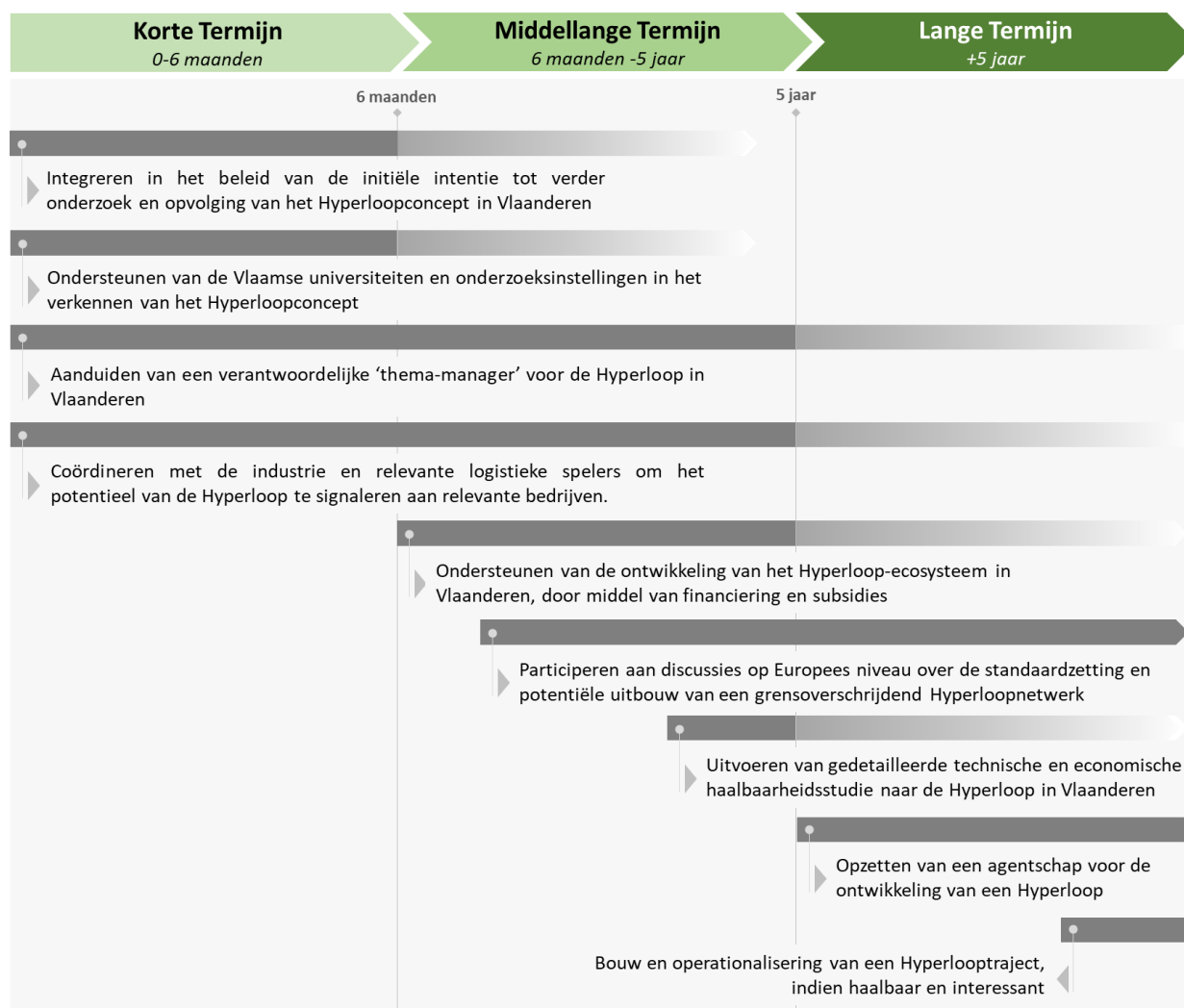
➤ **Opzetten van een agentschap voor de ontwikkeling van een Hyperloop in Vlaanderen.**

Rationale: Wanneer de technologie de commercialiseerbare fase nadert, kan Vlaanderen een versnelling hoger schakelen door een apart agentschap op te zetten dat de evoluties verder opvolgt, connecteert met buitenlandse overheden en spelers, een Vlaamse strategie afbakt en deze operationeel vertaalt in concrete impactstudies en aanbevelingen naar wetgeving toe. Dit agentschap zou kunnen worden uitgesponnen uit VLAIO, VIL of een andere entiteit die tot dan de leiding heeft genomen in de ontwikkeling van het Hyperloopconcept in Vlaanderen.

➤ **Bouw en operationalisering van een Hyperlooptraject, indien haalbaar en interessant.**

Rationale: Indien de Hyperloop als technologie haalbaar en relevant blijkt (op basis van eerste (piloot)implementatie in het buitenland) kan Vlaanderen, onder leiding van het opgericht agentschap, beginnen aan het uitvoeren van gemaakte plannen. Hier bepaalt de dan uitgezette strategie of Vlaanderen een leidende of volgende rol speelt in de bouw van een grensoverschrijdend traject op het in Vlaanderen, en welke tijdslijn daarvoor wordt vooropgezet.

Onderstaande figuur vat de aanbevelingen van dit rapport samen in een roadmap.



Figuur 17: Voorgestelde roadmap van acties voor Vlaanderen

Studie: Wat is de status en het potentieel voor Vlaanderen van het vervoersconcept "Hyperloop"?
In opdracht van VLAIO

13. Lijst van figuren

Figuur 1: Samenstelling bronnen literatuuronderzoek.	14
Figuur 2: Huidige indicatieve timeline voor de technische ontwikkeling van de Hyperloop.....	32
Figuur 3: Mapping van de opportuniteiten voor Vlaanderen.....	51
Figuur 4: Huidige roadmap voor de implementatie van EU-normen voor het Hyperloopconcept.	59
Figuur 5: Modale verdeling van de reizigerskilometers voor personenvervoer in België	62
Figuur 6: Aantal miljard tonkilometer per vrachtvervoermodus in België	63
Figuur 7: Schematische voorstelling van het Vlaamse logistieke landschap.	65
Figuur 8: Mapping van geïdentificeerde trajecten op schematische voorstelling van het Vlaamse logistieke landschap.....	67
Figuur 9: Gemiddeld volume van goederenvervoer op de Vlaamse snelwegen.	68
Figuur 10: Gemiddeld volume van personenvervoer op de Vlaamse snelwegen	69
Figuur 11: Kaart van mogelijke grensoverschrijdende verbindingen in een Hyperloopnetwerk	70
Figuur 12: Indicatieve vergelijking van de mogelijke trajecten.	71
Figuur 13: Energie-efficiëntie van verschillende transportmodi, uitgedrukt in Kg olie-equivalenten per passagierskilometer (koe/pkm)	84
Figuur 14: Groei van het verkeersvolume en de voertuigverliesuren op geselecteerde wegsegmenten van de E19 snelweg van Brussel naar Antwerpen.....	86
Figuur 15: Locatie van testfaciliteit van Hardt in TU Delft Green Village	98
Figuur 16: Schematische voorstelling van het strategisch speelveld voor de ontwikkeling van de Hyperloop .	102
Figuur 17: Voorgestelde roadmap van acties voor Vlaanderen	105

14. Lijst van tabellen

Tabel 1: Hyperooppotentieel volgens verschillende publicaties	15
Tabel 2: Eigenschappen van Hyperloop pods	16
Tabel 3: Onduidelijkheden geïdentificeerd in literatuur	18
Tabel 4: Geschatte gemiddelde bouwkost voor een Hyperloopsysteem	19
Tabel 5: Vergelijking van de infrastructuurkost voor de verschillende transportmodi	24
Tabel 6: De maximale en gemiddelde snelheid voor de verschillende transportmodi	24
Tabel 7: Benodigde tijd en afstand om de maximale snelheid te behalen	25
Tabel 8: Representatieve reistijd voor de verschillende transportmodi	25
Tabel 9: Vergelijking transportmodi volgens frequentie (aan maximale capaciteit)	26
Tabel 10: Vergelijking van de transportsystemen volgens capaciteit	27
Tabel 11: Vergelijking transportsystemen volgens payloadcapaciteit	27
Tabel 12: Bouwstenen: kerntechnologie	36
Tabel 13: Bouwstenen: Constructie	39
Tabel 14: Bouwstenen: Logistieke en operationele Elementen	41
Tabel 15: De onderdelen van de Hyperloop qua kerntechnologie, en selectie van relevante Vlaamse bedrijven.	45
Tabel 16: De onderdelen van de Hyperloop qua constructie en een selectie van relevante Vlaamse bedrijven	47
Tabel 17: Overzicht van relevante onderzoeksdepartementen en groepen in Vlaanderen voor de verschillende bouwstenen (niet-exhaustief)	49
Tabel 18: Inschatting van de Vlaamse expertise en de ruimte voor ontwikkeling van de Hyperloop	50
Tabel 19: Overzicht van de wereldwijde Hyperloopstartups en actieve organisaties	54
Tabel 20: Evaluatie van de beleidslijnen van het BRV en de relevantie voor het Hyperloopconcept	66
Tabel 21: Lijst van geïdentificeerde mogelijke Hyperlooptrajecten	66
Tabel 22: Aandeel van de tewerkstelling in	68
Tabel 23: Vergelijking van de trajecten op basis van strategische criteria	71
Tabel 24: Overzicht van afstanden en reistijden	73
Tabel 25: Overzicht van de meegenomen kostenelementen	75
Tabel 26: Jaarlijkse gemodelleerde capaciteit van Vlaams Hyperlooptraject	78
Tabel 27: Modal shift van huidige passagiersvervoermodi op het gemodelleerd Hyperlooptraject	80
Tabel 28: Grootste goederenluchthavens in Europa	81
Tabel 29: Volume van goederentransport tussen luchthavens op traject	81
Tabel 30: Totaal volume van huidige modi vervangen door het gemodelleerd Hyperlooptraject	82
Tabel 31: Waarde van tijdsbesparing dankzij Hyperlooptraject in Vlaanderen	83
Tabel 32: Totaal verschil in energieverbruik na modal shift richting Hyperlooptraject	84
Tabel 33: Inschatting CO ₂ -vermindering dankzij modal shift richting Hyperlooptraject	85

