

Onderzoeksplan multimodale corridors



Onderzoeksplan multimodale corridors

Onderzoeksplan multimodale corridors

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	De heer C. van Muiswinkel
Referenties	-
Trefwoorden	Multimodaal, Rotterdam – Ruhr corridor, vaarwegen, wegen, spoor, pijpleidingen, transportnetwerken, beschikbaarheid

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	07-10-2024
Projectnummer	11209212-002
Document ID	11209212-002-GEO-0003
Pagina's	31
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

Sahand Asgarpour Mike Woning Thomas Bles		

Samenvatting

Nederland staat bekend als doorvoerland. Daarmee zijn transportverbindingen van de havens naar het achterland van cruciaal belang voor de economie. We zien dat goederen (bulk, container, stukgoed) worden vervoerd via verschillende modaliteiten (vaarweg, weg, spoor, pijpleidingen). Organisaties zijn gewend om te kiezen voor een bepaalde modaliteit die past bij de te vervoeren goederen en de oorsprong en bestemming van de goederen.

Daarentegen zijn de verschillende vervoersmodaliteiten niet altijd 100% beschikbaar. Overbelasting, onderhoudswerkzaamheden, maar ook extreem weer en klimaatverandering spelen een rol in de beschikbaarheid van de modaliteiten. In principe zou er van modaliteit veranderd kunnen worden als er een uitvalt of minder beschikbaar is. Hierdoor zou inefficiëntie op de ene modaliteit opgevangen kunnen worden door een andere waardoor het transport systeem als geheel beter functioneert. In de praktijk blijkt dit slechts beperkt te gebeuren. Hierin spelen verschillende factoren een rol, waaronder:

- Type en hoeveelheid te vervoeren goederen
- Oorsprong en bestemming
- Flexibiliteit, beschikbaarheid en capaciteit van alternatieve modaliteiten
- Kosten van alternatieve modaliteiten
- Persoonlijke ervaring en gebruiken van vervoerder

Tegelijkertijd wordt vanuit Europa een modal shift naar duurzame transportmodaliteiten gestimuleerd. Transport via water wordt daardoor steeds belangrijker. Echter, door klimaatverandering worden langere periodes van droogte verwacht, waardoor transport via water niet altijd een betrouwbare optie is. Daarom speelt de vraag of in dergelijke situaties de andere modaliteiten gebruikt kunnen worden om transport op die manier, ook in droge situaties, voldoende betrouwbaar te laten zijn.

Er is niet veel onderzoek gedaan naar hoe een multimodaal transportsysteem te optimaliseren. RWS heeft gevraagd om een onderzoeksplan op te stellen om hier meer grip op te krijgen. De Rotterdam – Ruhr corridor wordt hierbij als een geschikte casus gezien.

Het voorgestelde onderzoeksplan richt zich op het beantwoorden van de hoofdonderzoeksvraag: Hoe kan de infrastructuur-specifieke besluitvorming worden ondersteund om toekomstige patronen van het gebruik van wegen, waterwegen en spoorwegen te faciliteren in het licht van klimaatverandering?

Het doel van dit onderzoeksplan is om bij te dragen aan de kennis en het begrip van de weerbaarheid van multimodale transportsystemen tegen extreem weer en klimaatverandering. Dit wordt bereikt door een systemische benadering op systeemniveau, waarbij de kwetsbaarheid van het huidige transportsysteem in kaart wordt gebracht en inzicht wordt verkregen in de adaptatie van transportinfrastructuur.

Door deze aanpak wordt beoogd om besluitvormers te ondersteunen bij het ontwikkelen van een klimaatbestendig transportsysteem dat kan voorzien in toekomstige transportbehoeften, zelfs onder veranderende klimatologische omstandigheden.

Voorliggend document geeft een beschrijving van stappen en activiteiten die hiervoor uitgevoerd kunnen worden, en deels al zijn uitgevoerd:

- Scoping
- Terugkijken, onderbouwen en begrijpen
- Ontwikkeling afweegkader
- Strategieën voor maatregelen
- Toolontwikkeling
- Cases

Naast de inhoudelijke activiteiten zal er een beslissing genomen moeten worden hoe dit te organiseren en uit te voeren. Dit document is opgesteld om een overzicht van de onderzoeksbehoeftes rondom het thema van multimodaal transport op te stellen. Gezien de aard en de omvang zal dit plan naast Deltares ook door andere partijen (Universiteiten, adviesbureaus en onderzoeksinstituten) uitgevoerd moeten worden.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Introductie	8
1.1	Context	8
1.2	Aanpak om te komen tot het voorgestelde onderzoeksplan	9
1.3	Inzichten en kennishiaten uit de interviews	10
1.4	Inzichten en kennishiaten uit de literatuur	10
1.5	Leeswijzer	12
2	Onderzoeksvraag, doelstellingen en impacts van toekomstige studie multimodaal transportnetwerk	13
2.1	Onderzoeksvraag	13
2.2	Hoofd- en subdoelen	13
2.3	Verwachte meerwaarde van het voorgestelde onderzoek voor stakeholders	14
3	Scope van toekomstige studie multimodaal transportnetwerk	15
3.1	Maatregelen en toekomstige ontwikkelingen	15
3.2	Bedreigingen	16
3.3	Geografische scope en modaliteiten	16
3.4	Transportdoel	17
3.5	Tijdhorizon en tijdstappen	17
4	Methodologie en activiteiten van toekomstige studie multimodaal transportnetwerk	18
4.1	Terugkijken, onderbouwen, en begrijpen: cijfermatige onderbouwing	19
4.2	Terugkijken, onderbouwen, en begrijpen: motivatie, processen, en governance	20
4.3	Overzicht en afweging van noodzaak van maatregelen: ontwikkeling afweegkader	21
4.3.1	Het definiëren van indicatoren	21
4.3.2	Het definiëren van een besluitvormingskader voor beleidsbeslissingen rondom de klimaatbestendigheid van transportinfrastructuur	22
4.4	Overzicht en afweging van noodzaak van maatregelen: ontwikkeling maatregelenoverzicht voor verschillende toekomstscenario's	22
4.5	Overzicht en afweging van noodzaak van maatregelen: toolontwikkeling voor lange termijn weerbaarheid van infrastructuur	23
4.5.1	Stakeholderparticipatie	23
4.5.2	Prototyping	23
4.6	Cases analyseren: Doorrekenen casestudies	24
4.6.1	Casus 1	24
4.6.2	Casus 2	24

5	Organisatie	26
6	Referenties	28
A	Bijlage A	30

1 Introductie

1.1 Context

Transport en logistiek zijn een belangrijk onderdeel van en deels ook een voorwaarde voor het functioneren van de Nederlandse economie en maatschappij. Zo is het BBP van Nederland voor 5,5% afhankelijk van de haven van Rotterdam (Lemmers, et al., 2022). Om die rol te kunnen spelen, vormen de achterlandverbindingen van de haven een cruciale rol. Tegelijkertijd heeft nog niet veel onderzoek plaatsgevonden naar hoe een multimodaal transportsysteem functioneert en geoptimaliseerd kan worden richting een onzekere toekomst met een veranderend klimaat. Rijkswaterstaat heeft gevraagd om een onderzoeksplan op te stellen om te begrijpen welke stappen genomen moeten worden om multimodale transportinfrastructuur klimaatbestendig te maken.

De achterlandverbindingen worden gevormd door verschillende netwerken, bijvoorbeeld spoor, vaarweg, weg, pijpleidingen. Deze functioneren niet geïsoleerd maar zijn onderling afhankelijk. Bijvoorbeeld, elke verstoring in één netwerk heeft invloed op de vraag naar het andere netwerk. Bovendien kan men, door het transportsysteem als geheel van de verschillende modaliteiten te beschouwen, ervoor zorgen dat het transport robuuster en weerbaarder wordt, omdat dit flexibiliteit creëert in het gebruik van bestaande transportcapaciteit en efficiënter gebruik mogelijk maakt.

Het transportsysteem is echter onderhevig aan veranderende klimatologische omstandigheden. Alle vier scenario's die zijn doorgerekend door het KNMI voorspellen zeespiegel- en temperatuurstijging, drogere zomers en nattere winters in meer of mindere mate (KNMI, 2023). Dergelijke klimatologische veranderingen hebben aanzienlijke invloed op transportnetwerken en hun functionaliteit. De omvang en frequentie van onderbrekingen zullen in de toekomst toenemen. Zo kan tijdens extreme droogte de totale capaciteit van het binnenvaarttransport met wel 60% afnemen (Vinke, , et al., 2022). Dit benadrukt het belang om te kunnen overschakelen naar alternatieve modaliteiten zoals in dit voorbeeld, spoor of weg. Als alternatief kan er ook gezocht worden naar een oplossing in het domein van een verandering in de toeleveringsketens en voorraadbeheer van industrie en verladers.

Naast klimaat beïnvloeden sociaal-economische, politieke en technologische veranderingen de prestaties en de staat van de transportinfrastructuur. Bijvoorbeeld, de energietransitie vereist het vervoer van andere goederen (bijvoorbeeld waterstof) naar het achterland. Dit kan leiden tot het introduceren van nieuwe typen voertuigen die een bepaalde transportrange en ondersteunende infrastructuur nodig hebben. Daarom is het noodzakelijk om na te gaan hoe beschikbare middelen effectief kunnen worden ingezet, onder wisselende klimatologische omstandigheden en andere veranderingen (zoals gebruik), om het transportsysteem weerbaar te maken als geheel.

Vanwege deze complexe en samenhangende factoren is het nodig om mogelijke impacts en aanpassingsstrategieën te onderzoeken. Deze analyses omvatten de gevoeligheid voor klimaatdreigingen per asset en de gevolgen op netwerk- en systeemniveau. De analyses bepalen onder andere schade, verlies (voor de gebruiker/ vervoerder) en kritieke netwerkelementen. Het resultaat zou idealiter een set van adaptatiestrategieën op hoofdlijnen zijn voor alle bedreigingen, met een kwantitatieve onderbouwing voor sommige bedreigingen.

Hierbij is het van belang om een duidelijk en gemeenschappelijk begrip te ontwikkelen van weerbaarheid¹, de benodigde prestatieniveaus en bijbehorende indicatoren. Daarnaast is ook inzicht nodig in brede kosten en maatschappelijke baten. Deze inzichten zouden moeten bepalen welke prestaties gewenst zijn, wat we als klimaatbestendig beschouwen, hoeveel het mag kosten en wat de maatschappij ervoor terugkrijgt. Op die manier kunnen de behoeften, lacunes en vereisten van de eindgebruiker worden geprioriteerd en kan de ontwikkeling van 'gemeenschapsweerbaarheid' voor de transportinfrastructuur worden gefaciliteerd (Comité technique / Technical Committee / Comité Té, 2023).

Om bij te dragen aan een robuust en weerbaar transportsysteem dat operationeel blijft onder externe omstandigheden, ook met socio-economische en klimatologische veranderingen in de toekomst, is het noodzakelijk om verschillende perspectieven van de stakeholders in overweging te nemen. Denk hierbij aan beleidsmakers, beheerders van transport- en energieinfrastructuur, gebruikers en markt, en financiers. Kwantitatieve en kwalitatieve instrumenten en kaders zijn nodig om inzicht te krijgen in de cascade-effecten en impact, en om de effectiviteit van aanpassingsmaatregelen te evalueren langs aspecten (bedrijfswaarden) zoals milieu, maatschappelijk welzijn, toegankelijkheid en veiligheid. Dit draagt bij aan een soepelere overgang tussen modaliteiten, een verbeterd zakelijk klimaat en verantwoorde investeringskeuzes, evenals geoptimaliseerd en betaalbaar assetmanagement over alle modaliteiten (van Marle, 2022).

1.2 Aanpak om te komen tot het voorgestelde onderzoeksplan

Dit document beschrijft een onderzoeksplan voor meer inzicht in de prestaties van multimodale transportcorridors. Dit onderzoeksplan is tot stand gekomen op basis van literatuur, expertoordeel en tien interviews met stakeholders. Daarnaast is er een workshop (19 maart 2024) gehouden met gebruikers, beleidsmakers en infrastructuurbeheerders van spoorweg-, weg-, binnenwater- en havennetwerken in Rotterdam en Twente. De interviewvragen zijn vertoond in bijlage A .

In de workshop werden de resultaten van de interviews, literatuurstudie en ideeën voor het onderzoek naar klimaatbestendige netwerken gepresenteerd en verder verkend. Dit is gebeurd door de deelnemers te betrekken bij discussies en vragen specifiek voor het onderwerp. Tijdens de interviews werden de respondenten gevraagd hun definitie van weerbaarheid te delen, gebruikte indicatoren voor het beoordelen van weerbaarheid, uitdagingen en kennislacunes op het gebied van klimaatbestendigheid, hun voorkeursdoel, reikwijdte en methoden van een studie om de klimaatbestendigheid van de transportinfrastructuur te vergroten.

Tabel 1-1 toont de betrokken stakeholders bij de interviews en workshops.

Tabel 1-1: Het overzicht van de betrokken stakeholders²

Organisatie	Geïnterviewden
IenW	Basam Barakat Jaap Kolpa Herman Jan Wijnants Maurijn van Witsen
RWS	Richard v.d. Elburg Nathaly Dasburg
ProRail	Stefan Jak
Havenbedrijf Rotterdam	Johan Gille

¹ In de Engelstalige literatuur wordt "weerbaarheid" vertaald als "resilience".

² BAST: Bundesanstalt für Straßenwesen

Port of Twente	Anne Ruth Scheijgrond
Koninklijk Binnenvaart Nederland (KBN)	Geert Snoeij Leendert Korving
NPRC	Femke Brenninkmeijer
BASt	Marvin Stell

1.3 Inzichten en kennishiaten uit de interviews

Er bestaat een aanzienlijk tekort aan kennis, inzichten en tools die nodig zijn om effectief te werken aan klimaatbestendig transport en om te bepalen waar de beste investeringen kunnen worden gedaan voor optimale multimodale prestaties. De impact van klimaatverandering op de beschikbaarheid van transportmodaliteiten, mogelijke modale verschuivingen en de capaciteit van netwerken om met deze veranderingen om te gaan, is nog onvoldoende in kaart gebracht. Bijvoorbeeld, droogte kan leiden tot een verschuiving van vrachtvervoer over vaarwegen naar weg- en spoorvervoer.

Om deze uitdagingen aan te pakken, is er brede consensus over de noodzaak van een systemische benadering die verder gaat dan het enkel adresseren van modale verschuivingen. Deze systemische aanpak in de praktijk ontbreekt nog. Die houdt in dat men rekening moet houden met onderlinge afhankelijkheden en een heroverweging van transportgebruikersgedrag. Er is een erkende behoefte aan toegang tot betrouwbare gegevens, waarvan de beschikbaarheid momenteel beperkt is. Het verkrijgen van dergelijke gegevens is cruciaal voor het ontwikkelen van effectieve strategieën.

Deskundigen benadrukken tevens het belang van het betrekken van commerciële belanghebbenden en het toepassen van een winstgerichte benadering bij het formuleren van maatregelen. Dit kan bijdragen aan een meer geïntegreerde aanpak van de problematiek. Een ander belangrijk aspect is het tekort aan kennis over de toekomstige levensvatbaarheid van verschillende transportmodaliteiten. Het ontwikkelen van strategieën om langetermijn onzekerheden te hanteren, zoals voor de periode tussen 2050 en 2150, is essentieel voor het formuleren van robuust beleid.

Daarnaast is er behoefte aan een dieper begrip van cascade-effecten veroorzaakt door klimaatverandering, zoals de impact op telecommunicatie- en signaleringssystemen. Het ontbreken van een centraal register voor klimaatgerelateerde incidenten in het vrachtvervoer wordt als een aanzienlijk probleem beschouwd.

Ook is er een dringende oproep voor meer gedetailleerde gegevens over de impact van extreme weersomstandigheden. Het ontbreken van consistente klimaatdata, ook over de landsgrenzen heen, volledig en met een voldoende, kwaliteit, frequentie en intensiteit van de impact, vormt een bijkomende zorg. Het verbeteren van deze gegevens zou bijdragen aan een beter onderbouwd beleid en effectievere aanpassingsstrategieën.

1.4 Inzichten en kennishiaten uit de literatuur

De infrastructuur van Nederland staat voor grote uitdagingen als gevolg van klimaatverandering. Volgens KiM (Tillema, Moorman, van der Hors, & Boonstra, 2021) hebben extreme weersomstandigheden zoals droogte, hitte en hevige neerslag een groeiende invloed op de fysieke staat en functionaliteit van wegen, spoorwegen en vaarwegen. Deze risico's worden verder vergroot door het samenvallen van verschillende klimaatgerelateerde effecten, zoals bodemdaling en laagwater in de rivieren, die de infrastructuur kunnen beschadigen of beperken in functionaliteit. Bovendien leiden weersextremen tot toenemende schade, bijvoorbeeld met een verviervoudiging van de verzekerde schade tot €886M in de droge periode van 2022 (Sweco, 2022). Vooral het hoofdvaarwegennet loopt risico's door droogte en

bodemerosie, wat kan leiden tot verminderde bevaarbaarheid van de rivieren en problemen met de vaardiepte. Maar ook de weg- en spoorinfrastructuur zijn gevoelig voor negatieve effecten zoals wateroverlast, hitte en verzakkingen (Tillema, Moorman, van der Hors, & Boonstra, 2021).

Vanwege de recente droogteperiodes in 2018 en 2022, staat dit fenomeen en de gevolgen ervan de afgelopen jaren centraal in studies. Het Nederlandse transportlandschap staat voor aanzienlijke uitdagingen als gevolg van lage waterstanden, schutbeperkingen en zoutindringing in rivieren (Koninklijke Binnenvaart Nederland (KBN), 2023). De toenemende droogte vormt een specifiek risico voor de binnenvaart, waardoor vaardieptes verminderen, congestie op rivieren ontstaat en transportkosten stijgen (omdat minder lading vervoerd kan worden), met name voor Duitse industrieën langs de rivieren. Bovendien dragen bodemerosie en profielveranderingen van vaarwegen bij aan deze uitdagingen, terwijl het huidige systeem tekortschiet in dieptemetingen en prognoses (Koninklijke Binnenvaart Nederland (KBN), 2023). Deze risico's hebben niet alleen directe gevolgen voor de transportsector, maar ook voor het vestigingsklimaat van Nederland als veiligste delta ter wereld en gidsland op het gebied van water.

Het verminderen van de impact van deze uitdagingen vereist een beter begrip van cascade-effecten en onzekerheden in de waterbeschikbaarheid. Het identificeren en aanpakken van deze kennishiaten is essentieel om de weerbaarheid van het transportsysteem te vergroten en Nederland voor te bereiden op toekomstige klimaatgerelateerde verstoringen (Sweco, 2022). Volgens KBN (2023), is het essentieel om te investeren in betere dieptemetingen, prognosemiddelen en flexibilisering van het goederenstromen. Het ontwikkelen van een betrouwbare meerweekse prognose van waterstanden en het creëren van een 'digitale tweeling'-omgeving voor vaarwegen biedt veelbelovende mogelijkheden. Een systemische benadering en nauwe samenwerking tussen alle betrokken partijen zijn cruciaal om de weerbaarheid van het transportsysteem te vergroten en Nederland voor te bereiden op toekomstige uitdagingen.

Volgens KiM, betreffen belangrijke kennishiaten de impact van klimaatverandering op de infrastructuur, het gebruik ervan en het transportpatroon, evenals vragen over ruimtelijke inrichting en gedragsaanpassingen. Early warning-systemen en communicatie zijn van toegevoegde waarde in het omgaan met de impact van klimaatverandering op de infrastructuur, terwijl beleidsdiscussies zich richten op strategische afwegingen zoals het al dan niet klimaatbestendig maken van hele corridors en de differentiatie van maatregelen naar netwerkbelang (Tillema, Moorman, van der Hors, & Boonstra, 2021).

Recent onderzoek door TNO richtte zich op de uitdagingen van het spoorwegvervoer om zijn vervoersaandeel te behouden onder verstoringen en als gevolg van toekomstige technologische veranderingen in andere modaliteiten (Chen, et al., 2023). Ze concludeerden dat paradigma-veranderende innovaties moeten worden geïmplementeerd in het spoorstelsel om zijn concurrentiepositie te verbeteren. Dergelijke oplossingen omvatten geautomatiseerde treinbediening, real-time verkeersmanagement, inzet van korte en gemengde goederentreinen, en niet-kraanbare trailer op treinen.

De verwachting is dat tijdens een periode van ernstig laagwater van 10 dagen, 35% van het volume dat per schip wordt vervoerd onhaalbaar wordt en 10% haalbaar is tegen hoge kosten. Van dit volume wordt verwacht dat 78% wordt verschoven naar het spoor. In de praktijk hebben verschillende transportoperators aangegeven dat de *modal shift* slechts in beperkte mate is gebeurd door schaarste in capaciteit (Van Meijeren & Harmsen, 2020). Daardoor, en vanuit het perspectief van bestendigheid, zijn ingrepen nodig om snel en flexibel vrachtcapaciteit te creëren tijdens verstoringen, vooral tijdens perioden van laagwater waarin het spoor transport kan aantrekken van de binnenvaartnetwerken.

Bovendien kan het ontwikkelen en inzetten van een platform om extra capaciteit te faciliteren tussen belanghebbenden, het aanleggen van verschillende spoorwegtrajecten tussen bepaalde belangrijke locaties, en de ontwikkeling van een escalatieprotocol om systemisch maatregelen te treffen, de effectiviteit van de respons tijdens en vlak voor verstoringen verbeteren. Volgens Van Meijeren en Harmsen (2020) is er behoefte aan verdere ontwikkeling en verkenning van de technische en organisatorische haalbaarheid van het implementeren van dergelijke maatregelen.

In een andere studie heeft TNO sets van maatregelen geïdentificeerd om de capaciteit van het spoorwegnet te vergroten om te reageren op de verwachte *modal shift* tijdens periodes van laag water (Van Meijeren & Harmsen, 2020). De belangrijkste maatregelen omvatten maximale benutting van bestaande wagonsets, verhoging van de frequentie met bestaand materieel, extra treinen met aanvullende uitrusting of het gebruik van langere treinen op tijdelijke basis. Hoewel het organiseren en implementeren van dergelijke maatregelen tijd en middelen vereist, zijn deze middelen de moeite waard om te investeren gezien de hoge schade (2,7 miljard euro in 2018 in Nederland en Duitsland samen). Toch is er behoefte om de kwantitatieve impact van dergelijke maatregelen op het goederenvervoer verder te identificeren.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 1 staat de achtergrond voor het opstellen van het onderzoeksplan beschreven. In de hierna volgende hoofdstukken, staat het onderzoeksplan uitgewerkt.

In hoofdstuk 2 worden de onderzoeksvraag, de hoofd- en subdoelen, en de verwachte meerwaarde van het voorgestelde onderzoek voor stakeholders besproken.

Hoofdstuk 3 definieert de scope van de studie, inclusief de wijze van adresseren van de onderzoeksvragen, de identificatie van mogelijke hazards, en de geografische scope en modaliteiten. Het transportdoel en de tijdshorizon worden ook besproken, waarbij de focus ligt op lange termijn planning en implementatie.

In hoofdstuk 4 wordt de methodologie van de voorgestelde studie uiteengezet, inclusief cijfermatige onderbouwing en de motivatie achter de gekozen processen en governance. Er wordt voorgesteld om een afweegkader te ontwikkelen voor beleidsbeslissingen rondom de klimaatbestendigheid van transportinfrastructuur. Stakeholderparticipatie en prototyping zijn cruciale onderdelen van deze hoofdstuk in dit onderzoeksplan.

Hoofdstuk 5 beschrijft de organisatorische structuur en de verantwoordelijkheden binnen het onderzoeksteam. Het omvat de planning, coördinatie en uitvoering van de onderzoeksactiviteiten, evenals de communicatie met stakeholders en de rapportage van de onderzoeksresultaten.

2 Onderzoeksvraag, doelstellingen en impacts van toekomstige studie multimodaal transportnetwerk

Dit hoofdstuk beschrijft de onderzoeksvraag en doelen die met toekomstig onderzoek en uitvoering van de activiteiten in dit onderzoeksplan beantwoord moeten worden.

2.1 Onderzoeksvraag

Het onderzoeksplan is gericht op het beantwoorden van de volgende hoofdonderzoeksvraag:

Hoe kan de infrastructuur-specifieke besluitvorming worden ondersteund om de toekomstige patronen van het gebruik van wegen, waterwegen en spoorwegen te faciliteren in het licht van klimaatverandering?

We beogen om met dit onderzoeksplan bij te dragen aan kennis en begrip rondom de weerbaarheid van multimodale transportsystemen tegen extreem weer en klimaatverandering.

2.2 Hoofd- en subdoelen

Het hoofddoel van deze studie is het realiseren van een klimaatbestendig transportsysteem dat kan voorzien in de transportbehoefte in de toekomst, zelfs onder veranderende klimatologische omstandigheden. Door een systemische benadering op systeemniveau wordt de kwetsbaarheid van het huidige transportsysteem in kaart gebracht, waardoor inzicht ontstaat hoe je richting kan geven aan de adaptatie van transportinfrastructuur als geheel.

Dit onderzoeksplan streeft ernaar bij te dragen aan het verbeteren van de klimaatbestendigheid van transportinfrastructuur door te werken aan de kennislacunes die in de literatuur en door experts zijn genoemd (via uitgevoerde interviews en workshops). De subdoelen volgen:

- Het ontwikkelen van kennis met als doel om meer begrip te vormen bij besluitvormers rondom de mogelijkheden en onmogelijkheden van modaal shift tijdens verstoringen. Dit levert voor de vervoerders meer begrip of wat er kan. De infrastructuurbeheerders kunnen hierdoor efficiënter en besluitvaardiger maatregelen nemen om de transportinfrastructuur meer weerbaar te maken (verder toegelicht in 4.1 en 4.6).
- Het begrijpen van de organisatiestructuren en regels die beslissingen in eerdere gevallen van extreme droogte hebben geleid. Dit effent het pad voor het ontwerp van processen om modale verschuivingen te vergemakkelijken of aanpassingsmaatregelen over infrastructuurnetwerken te definiëren en toe te passen (verder toegelicht in 4.2).
- Het co-creëren van benodigde indicatoren en middelen om de bredere maatschappelijke kosten en baten van verschillende aanpassingsmethoden te evalueren (verder toegelicht in 4.3 en 4.4).
- Ontwikkeling van tools om de impact van extreme klimaatomstandigheden op het vrachtvervoer over verschillende modaliteiten te begrijpen. Dergelijke tools zijn niet bedoeld om real-time informatie te verstrekken, maar zijn bedoeld om besluitvormers te helpen besluiten te nemen voor langetermijnbeleids- en infrastructuurplanning (10 jaar en langer) om de gevolgen van extreem weer op het multimodale transportnetwerk te beperken, bijvoorbeeld door het vergroten van capaciteit op transportnetwerken of op het multimodale niveau (verder toegelicht in 4.5 en 4.6).

2.3 Verwachte meerwaarde van het voorgestelde onderzoek voor stakeholders

Het voorgestelde onderzoek beoogt de volgende effecten:

- Het vormen en betrekken van een groep belanghebbenden, bestaande uit beleidsmakers, infrastructuurbeheerders en gebruikers, voor kennisuitwisseling tijdens de verschillende fasen van het onderzoek over systemen en domeinen. Dit vergemakkelijkt het creëren van een gemeenschappelijk begrip en de mede-definitie van de systeemgrenzen, de gevolgen van klimatologische gevaren, aanpassingsmaatregelen en "good-enough" interventies voor het transportsysteem.
- Een beter begrip van de gevolgen van klimaatverandering op transportsystemen en hoe deze gevolgen zich door het hele systeem kunnen verspreiden.
- Het vergemakkelijken van het onderzoek naar oplossingen voor individuele netwerken (bijv. het verbeteren van de redundantie of robuustheid van het netwerk om schokken op te vangen) en oplossingen voor verschillende netwerken (bijv. door de ontwikkeling van knooppunten), met als overkoepelend doel de weerbaarheid van het hele multimodale systeem te maximaliseren.
- Het evalueren van de effecten van aanpassingsmaatregelen via het ontwikkelde afwegingskader en het vergemakkelijken van het selecteren van effectieve maatregelen die voldoen aan gedefinieerde eisen.
- Het richten van investeringen die het transportsysteem robuuster en toegankelijker maken onder klimatologische gebeurtenissen, zoals tijdens droogte. Dit stelt ons in staat om te reageren op vereiste modale verschuivingen, om de bedrijfsvoering met minimale onderbrekingen voort te zetten, waardoor het ondernemingsklimaat verbetert.
- Het faciliteren van de implementatie van het Green Deal-beleid door inzicht te creëren in de modale verschuivingen naar duurzamere transportmodaliteiten.
- Het minimaliseren van de ecologische achteruitgang, wat resulteert in een duurzame en toekomstbestendige leefomgeving.

3 Scope van toekomstige studie multimodaal transportnetwerk

In dit hoofdstuk wordt de voorgestelde scope van het voorgestelde onderzoek gepresenteerd. De onderzoekselementen omvatten te overwegen hazards, geografische schaal, transportdoel, modaliteiten en tijdshorizon en tijdstappen. Deze scope is bepaald naar aanleiding van de interviews en workshops. Zie Tabel 1-1 voor de deelnemers en hoofdstuk 1.2 voor de aanpak van de inzichtverzameling.

3.1 Maatregelen en toekomstige ontwikkelingen

De onderstaande tabel illustreert hoe maatregelen op het gebied van transportinfrastructuur en vervoer ingezet kunnen worden om de bestendigheid te verhogen. Infrastructuurmaatregelen betreffen aanpassingen aan de fysieke assets van transportinfrastructuur, vervoersmaatregelen zijn de maatregelen die worden genomen door actoren in de supply chain (bijvoorbeeld vervoerders).

Dit onderzoeksplan concentreert zich op de infrastructuurmaatregelen.

Tabel 3-1: Invloed van maatregelen om de klimaatbestendigheid te vergroten bij elke fase van de weerbaarheid cyclus

Fase van de <i>weerbaarheid</i> cyclus	Invloed transportinfrastructuur-maatregelen	van	Invloed van vervoersmaatregelen
Voorkomen (Prevent)	+++		+
Vorbereiden (Prepare)			++
Reageren (Respond)			+++
Herstellen (Recover)	+		++

Deze studie richt zich op maatregelen die nu worden genomen met het oog op de lange termijn om de functionaliteit van de transportinfrastructuur als geheel op het gewenste niveau te houden. De korte termijn-maatregelen (voorbereiden, reageren en herstellen) die door gebruikers worden genomen om te reageren op veranderingen in de staat van de infrastructuur moeten worden meegenomen.

Omdat dergelijke korte-termijn-reacties de infrastructuurnetwerken beïnvloeden en door deze worden beïnvloed, die zijn gecreëerd door maatregelen met langdurige effecten. Dit zorgt voor een realistischer begrip van mogelijke veranderingen in vraag en capaciteit en inzicht in de mogelijke noodzaak om infrastructurale oplossingen te zoeken. Zo kunnen maatregelen worden geïdentificeerd om de infrastructuur aan te passen op die plaatsen waar transport zich niet of onvoldoende kan aanpassen.

Bij het klimaatbestendig maken van het transportsysteem moeten ook andere aspecten worden meegenomen, zoals economie, brede welvaart en de energietransitie. De voordelen en het rendement van investeringen in maatregelen moeten worden bestudeerd om de juiste keuzes te maken en financiering aan te trekken. Toekomstige veranderingen, zoals socio-economische ontwikkelingen, worden als randvoorwaarden in het onderzoek meegenomen.

3.2 Bedreigingen

Dit onderzoeksplan beveelt aan om droogte en laagwater als triggers van verstoringen te bestuderen. Ook is het belangrijk om mogelijke verstoringen op andere netwerken tijdens droge periodes te onderzoeken, zoals bos- en bermbranden en verstoringen van het spoorwegverkeer. Op deze manier kan het voorgestelde onderzoek de effecten van samengestelde klimatologische gevaren op transportnetwerken onderzoeken.

Daarnaast is tijdens georganiseerde rondes van interviews en een workshop met de stakeholders ook naar voren gekomen dat in de nattere maanden, gezien de verwachte toename in frequentie en intensiteit van de neerslag in deze periodes, ook de effecten van hoogwater en wateroverlast moeten worden bestudeerd.

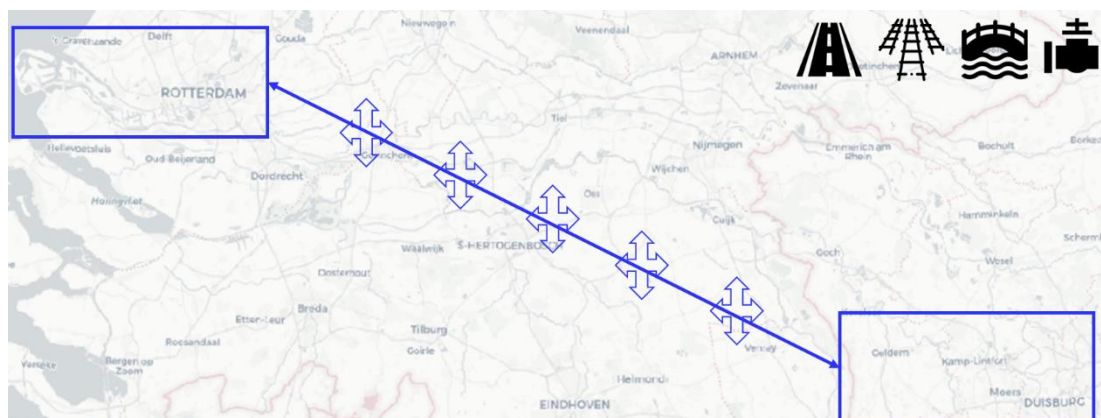
3.3 Geografische scope en modaliteiten

Alle experts benadrukken het cruciale belang van een uitgebreide geografische scope in het onderzoek naar klimaatbestendig transport. Zij zijn het erover eens dat een corridorbenadering geschikt is om naar multimodaal transport te kijken. De Rotterdam-Ruhr-corridor is naar voren gekomen als een geschikte focus voor een corridorstudie naar klimaatbestendig transport. Specifieke knelpunten en corridors moeten zorgvuldig worden overwogen om een holistisch begrip te verkrijgen. Bovendien verbindt deze corridor de drukste haven van Europa met de rest van het continent, wat het belang ervan vergroot om weerbaarder te worden tegen klimaatverandering.

Voor een grondiger inzicht te krijgen in de dynamiek van de corridor moet de geografische scope zich uitstrekken tot voorbij de nationale grenzen en ook naburige landen zoals Duitsland en België omvatten. Dit is essentieel omdat de hele corridor wordt beïnvloed door de omstandigheden in deze regio's. Niet alleen hoofdtransportnetwerken, maar ook hun vertakkingen moeten worden meegenomen, die gebieden bedienen zoals de Port of Twente, regio Eindhoven of industriële zones waarnaar of waarvandaan een aanzienlijke hoeveelheid transport plaatsvindt.

Alle experts in de interviews en workshop zijn het erover eens dat de corridorstudie een multimodale scope moet hebben. Het onderzoek moet zich richten op de functionaliteit van de modaliteiten weg, spoor, vaarwegen en pijpleidingen, met speciale aandacht voor de effecten van klimaatverandering op deze systemen. Pijpleidingen worden beschouwd als de meest gunstige modaliteit voor het transport van grondstoffen vanwege de afwezigheid van congestie, maar de initiële aanlegkosten zijn aanzienlijk.

Figuur 3-1 toont de voorgestelde geografische scope en modaliteiten.



Figuur 3-1: Geografische scope en modaliteiten corridorstudie Rotterdam-Ruhr

3.4 Transportdoel

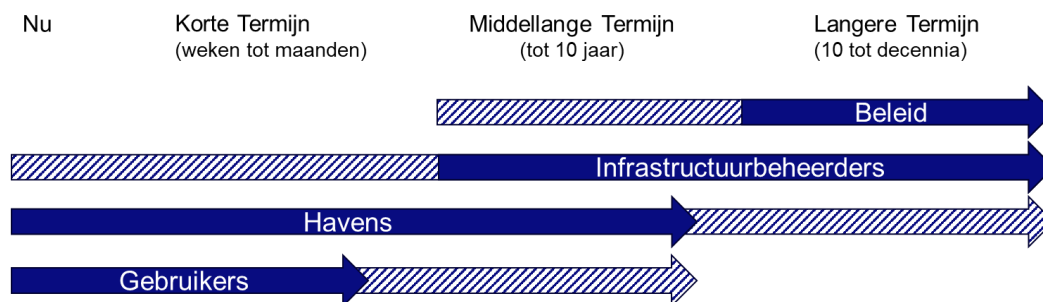
In dit onderzoek wordt het goederenvervoer als kern beschouwd binnen de scope, waarbij het personenvervoer als randvoorwaarde wordt beschouwd. Hoewel het goederenvervoer de hoofdaandacht heeft, wordt personenvervoer ook beïnvloed door klimaatverandering, wat op zijn beurt weer effect heeft op het goederenvervoer. Bovendien kan het personenvervoer interessant zijn om beleidsinstrumenten te identificeren voor aanpassing in het systeem, zoals de verschuiving van personenvervoer tussen verschillende vervoerswijzen (*modaal shift*).

3.5 Tijdhorizon en tijdstappen

Dit onderzoeksplan stelt voor om een lange termijn horizon, vanaf 2080, te hanteren, omdat dan de extreme effecten van klimaatverandering tastbaarder worden in het goederenvervoer. Aangezien investeringscycli in infrastructuur doorgaans langer zijn dan 50 jaar, moeten de effecten van klimaatverandering en de genomen maatregelen gedurende de levensduur van de assets worden inbegrepen.

De uitgevoerde interviews en workshops tonen aan dat de meeste actoren in de sector, behalve beleidsmakers en infrastructuurbeheerders, operationele beslissingen nemen die kortere termijnen hebben, variërend van enkele weken tot maanden, als het gaat om het kiezen van transportmodaliteit. Dit is een belangrijk aspect om in gedachten te houden bij het ontwikkelen van ons onderzoeksplan voor een klimaatbestendig transportsysteem. In de (markt)sector hebben de beslissingen rondom benodigde investeringen middeltijdspanne van 7-10 jaar. Aan de andere kant hebben de investeringsbeslissingen van infrastructuurbeheerders een langeretijdspan tot decennia.

Daarom moeten de belangrijkste korteretermijn beslissingen van de betrokken actoren opgenomen worden en tegelijkertijd een langetermijn analyse van het multimodale transportsysteem gemaakt worden. Het kiezen van de geschikte tijdstap is essentieel om relevante dynamiek vast te leggen en de nauwkeurigheid van de analyse te waarborgen. Figuur 3-2 geeft een indicatief beeld van de tijdsperioden waarin de belanghebbenden opereren en beslissingen nemen.



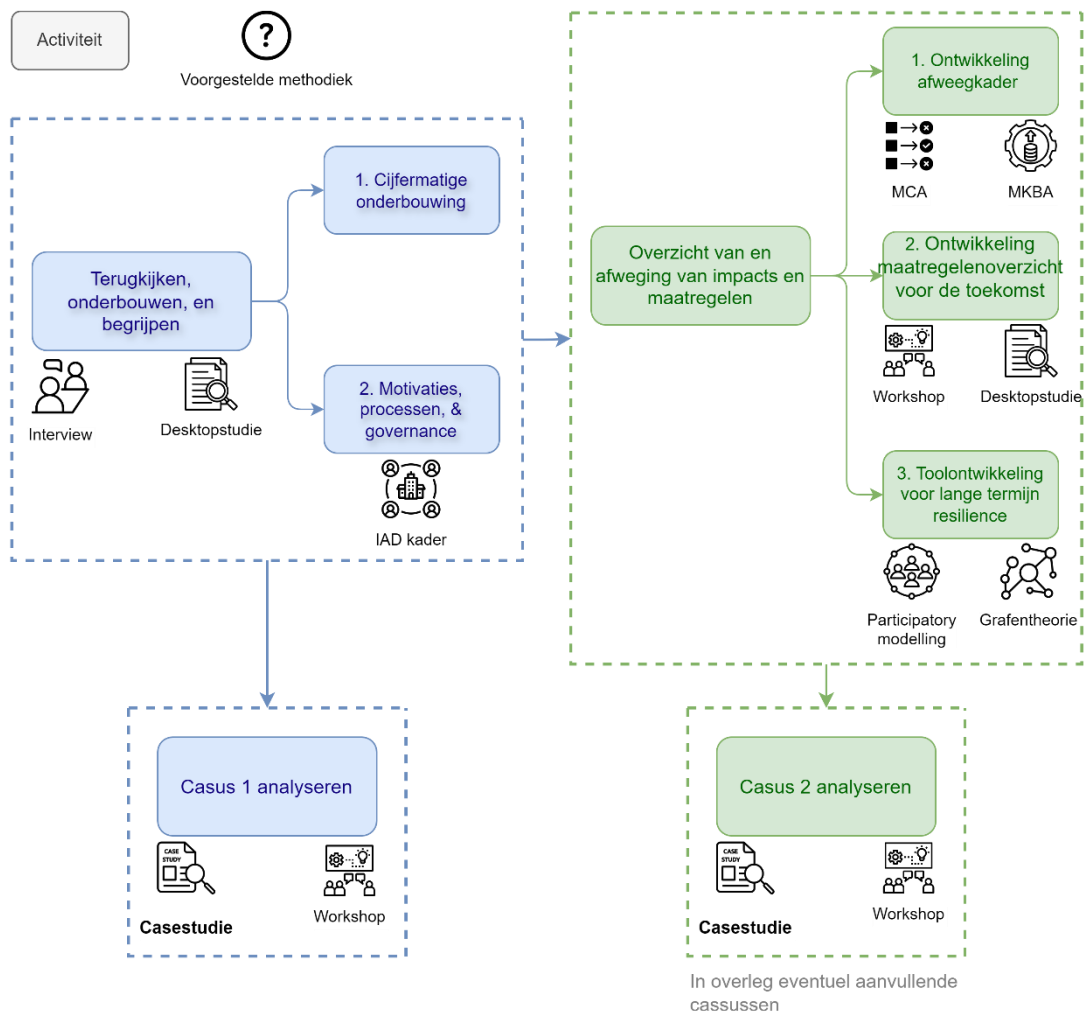
Figuur 3-2: Tijdshorizon zoals gedefinieerd door stakeholders

4 Methodologie en activiteiten van toekomstige studie multimodaal transportnetwerk

In deze sectie worden de voorgestelde onderzoeksfasen en methodologieën nader uiteengezet. Het onderzoeksplan stelt drie hoofdactiviteiten, en in totaal vijf subactiviteiten, voor:

- **Terugkijken, onderbouwen, en begrijpen:** Dit omvat het inventariseren van maatregelen en het kwantificeren van de impact van eerdere extreme gebeurtenissen op de modaliteiten weg, spoor, en vaarweg. De eerste hoofdactiviteit (subactiviteiten beschreven in secties 4.1 en 4.2) resulteert in de analyse van de eerdere ervaringen met droogte en hittegolf in 2018 en 2022 in de vorm van een rapport. Deze analyses omvatten zoveel mogelijk kwantitatieve informatie over de modale aandelen per vrachttipe in termen van volume en km-volume. Bovendien zullen de opgelopen kosten zoveel mogelijk worden opgenomen in het resultaat, waarbij het deel dat door de droogte en hittegolf is veroorzaakt, wordt geïdentificeerd.
- **Overzicht van en afweging van impacts en maatregelen:** Deze activiteit omvat het ontwikkelen van tools om mogelijke toekomstige klimaatveranderingen en de impact van aanpassingsmaatregelen te kwantificeren. Het bestaat uit drie stappen:
 - a. het ontwikkelen van een kader voor beoordeling van adaptatiemaatregelen,
 - b. het creëren van een overzicht van aanpassingsmaatregelen en
 - c. toolontwikkeling voor het afwegen van lange termijn *weerbaarheid*.De tweede hoofdactiviteit resulteert in een rapport dat het ontwikkelde afweegkader beschrijft; een rapport dat de lijst met maatregelen (korte en lange termijn) biedt om de gevolgen van het klimatologische evenement aan te pakken, en; een open-source tool (opgeslagen op een online repository platform, zoals GitHub) met de bijbehorende documentatie voor de subactiviteit beschreven in secties 4.3, 4.4 en 4.5 respectievelijk.
- **Cases analyseren:** Deze activiteit richt zich op de toepassing van ontwikkelde kennis en tools op twee casestudies. Het omvat twee casussen die de impact van klimaatverandering op infrastructuurnetwerken concreet maken (relevant voor het terugkijken, onderbouwen en begrijpen) en een grondige analyse uitgevoerd met behulp van de te ontwikkelen tool (relevant voor het overzicht en de afweging van impacts en maatregelen). Tenslotte levert de derde hoofdactiviteit een rapport op dat de resultaten van de toegepaste casestudies in relatie tot de ontwikkelde tools (sectie 4.5) presenteert. Deze stap betreft stakeholders bij het gezamenlijk creëren van de casussen, het verzamelen van hun feedback en het delen van inzichten met hen tijdens een reeks workshops.

Elke activiteit bestaat uit specifieke stappen, gericht op een systemische aanpak van het onderzoeksproces. Figuur 4-1 toont de voorgestelde stappen en methodologieën.



Figuur 4-1: Voorgestelde schematisch overzicht onderzoeksplan³.

4.1 Terugkijken, onderbouwen, en begrijpen: cijfermatige onderbouwing

Bij het literatuuronderzoek en de interviews is duidelijk geworden dat er behoefte is aan inzicht in zoveel mogelijk kwantitatieve historische gegevens over de verschillende modaliteiten en goederenstromen. Door te begrijpen hoe multimodaal transport eruit ziet in cijfers en hoeveel *modal shift* daadwerkelijk plaatsvindt tijdens verstoringen, wordt een gefundeerde basis gevormd voor vervolgonderzoek. Ook worden zo (betere) argumenten verkregen om te investeren in een multimodale benadering van de klimaatbestendigheid van het transportsysteem.

De volgende vragen worden in deze stap gesteld:

- Het moment waarop problemen ontstaan: bijvoorbeeld, bij welke (laag)waterstand treden transportproblemen op?
- Een kwantitatief overzicht van goederenstromen per modaliteit,
- De hoeveelheid modal shift die plaatsvond in droogtejaren,
- De capaciteit van de verschillende modaliteiten en wat dit zou betekenen bij een multimodale benadering. Bijvoorbeeld, wat het zou betekenen als 60% van al het containervervoer per trein zou moeten worden uitgevoerd? Hoeveel treinen zouden er dan moeten rijden en hoe verhoudt dit zich tot de huidige capaciteit?

³ IAD kader: Institutional Analysis and Development framework, MKBA: Maatschappelijke kosten-batenanalyse, MCA: Multi-criteria analyse. Iconen van Flaticon (2024)

- De robuustheid van de verschillende modaliteiten (en de manier waarop dit wordt gedefinieerd, wat zijn de KPI's?) en hun aanpassingsvermogen (de schaal waarop en tijd waarbinnen op de veranderingen werd gereageerd) om op korte termijn op te schalen,
- De kosten op bedrijfs- en operationeel niveau: bijvoorbeeld, hoeveel zijn de kosten van schutbeperkingen bij laagwater?

De cijfermatige onderbouwing is voornamelijk een desktopstudie, indien nodig aangevuld met interviews. Dit resulteert in een rapport waarin zover mogelijk kwantitatief antwoord wordt gegeven op onder andere bovenstaande punten.

De resultaten zijn belangrijke input voor de afwegingskader- en instrumentontwikkelingsstap (secties 4.3 en 4.5), door te verduidelijken welke belangrijke indicatoren in deze instrumenten moeten worden opgenomen.

4.2 Terugkijken, onderbouwen, en begrijpen: motivatie, processen, en governance

Naast de cijfermatige onderbouwing van de gebeurtenissen in het verleden, is het belangrijk om inzicht te krijgen in de dynamiek, motivaties en redenen voor de besluitvormings- en interactieprocessen van de stakeholders in het vrachtvervoer (bijvoorbeeld verladers), ook onderling, worden gevolgd. Dit deel van het onderzoek helpt om een grondig begrip te krijgen van de complexiteit en de vele factoren die een rol spelen in het vrachtvervoer tijdens extreme droogtegevallen. In deze stap van het onderzoeksplan worden de volgende elementen en vragen beantwoord, uitgaande van de situaties van extreme droogte in het verleden:

- **Stakeholders en hun rol:** Wie zijn de betrokken stakeholders in het vrachtvervoer en wat is hun hoofdrol in het vrachtvervoer?
- **Gedrag van stakeholders:** Welk gedrag vertoonden de stakeholders en waarom? Hoe verschillend waren deze gedragingen ten opzichte van de niet-verstoorde situatie?
- **Governance structuur:** Wat zijn de governance structuren die bepaalde eisen stellen voor het toestaan van multimodaal vrachtvervoer? Wat zijn dergelijke eisen? Hoe beïnvloedden ze het gedrag van de stakeholders?
- **Bevorderende factoren en belemmeringen voor multimodaal transport:** In welke mate waren modale verschuivingen vereist en geoperationaliseerd? Waarom? Klopt het dat er geen behoefte is aan infrastructurele aanpassingen?

Voor deze stap maken de desktopstudie naar reeds bekende informatie en workshops het mogelijk om een zogenaamd IAD-kader⁴ te definiëren en te implementeren om de genoemde vragen te beantwoorden. Een Institutionele Analyse en Ontwikkeling (Institutional Analysis and Development, IAD) kader kan het beste worden gezien als een systemische methode voor institutionele en beleidsanalyse. Deze methode maakt het mogelijk om het werk van meerdere deelnemers te synthetiseren, waaronder degenen die betrokken zijn bij het definiëren of reageren op beleid en degenen die belang hebben bij beleidsresultaten (Polski & Ostrom, 1999). Dit kader behandelt instellingen als systemen van regels en normen die zijn ingebed in de dagelijkse praktijk en die het gedrag en de resultaten sturen (Crawford & Ostrom, 1995). Daarom maakt een dergelijk kader het mogelijk om de eerder genoemde elementen te identificeren.

De resultaten van deze stap worden gebruikt als basis voor 4.4, waarin de aanpassingsmaatregelen zullen worden geïdentificeerd.

⁴ Institutional Analysis and Development framework

4.3 Overzicht en afweging van noodzaak van maatregelen: ontwikkeling afweegkader

Deze stap is gericht op het ontwikkelen van een afwegingskader dat de basis vormt voor beleidsbeslissingen rondom de klimaatbestendigheid van transportinfrastructuur. Daarnaast moeten de wettelijke kaders als randvoorwaarden vanuit wet- en regelgeving worden opgenomen in dit afwegingskader. Deze kaders definiëren de milieu-, veiligheids-, gezondheids- en functionele eisen die investeringen in de transportinfrastructuur mogelijk maken of weerleggen, bijvoorbeeld geluidsnormen die de frequentie en snelheid van treinen kunnen beperken.

Uit de interviews die het voorgestelde onderzoeksplan vormgeven blijkt dat niet alleen de economische, maar ook de bredere maatschappelijke gevolgen geanalyseerd moeten worden om de klimaatbestendigheid van een transportsysteem op de lange termijn (in de orde van 100 jaar) te onderzoeken. Dit vraagt om het verder ontwikkelen van meetbare criteria die deze bredere dimensies van maatschappelijke kosten en baten omvatten. Ook moet zo duidelijk worden welke prestaties geambieerd moeten worden in tijden van lage rivierafvoeren of andere klimaatextremen.

De volgende vraag is leidend bij het ontwikkelen van het afweegkader:

Welke maatschappelijke kosten en baten moeten op welke manier worden meegewogen bij de keuze voor maatregelen?

Deze stap bestaat uit twee subactiviteiten:

1. Het definiëren van indicatoren
2. Het definiëren van een beoordelingsbenadering

Deze stap maakt gebruik van de inzichten die zijn verzameld uit de stappen "Cijfermatige onderbouwing" en "Retrospectie" (secties 4.1 en 4.2) om de gevolgen te begrijpen en relevante indicatoren dienovereenkomstig op te nemen. Bovendien ondersteunt de stap "Toolontwikkeling voor lange termijn weerbaarheid" (4.5) door sommige van de indicatoren te kwantificeren die in het afweegkader moeten worden opgenomen.

4.3.1 Het definiëren van indicatoren

Dit onderzoeksvorstel stelt voor om de ontwikkeling van het afwegingskader te baseren op de dimensies en indicatoren die zijn gedefinieerd voor de brede welvaart-beoordelingen in de context van klimaatbestendigheid van transportinfrastructuur. Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL, 2021) heeft een uitgebreide verkenning gemaakt van de implicaties van brede welvaart voor mobiliteit en mobiliteitsbeleid. Deze studie omvat toegankelijkheid, veiligheid, gezondheid en leefomgeving als de brede welvaart-dimensies. Bovendien heeft TNO (2021) een uitgebreide lijst van ongeveer 50 indicatoren, sub-indicatoren en hun meeteenheid geleverd om de impact van mobiliteit op brede welvaart te karakteriseren. Een selectie van de relevante indicatoren moet worden gemaakt.

De belangrijkste focus van deze studies van PBL en TNO is op de impact van de mobiliteit op de samenleving, wat van onschatbare waarde is voor het nu gepresenteerde onderzoeksplan. Echter de uitkomsten van de studies van PBL en TNO moeten verder worden toegesneden op de impact van klimaatverandering op de economie en de samenleving als gevolg van mogelijke verstoringen van het goederenvervoer. Deze gevolgen moeten worden inbegrepen in situaties met en zonder aanpassingsmaatregelen met oog op klimaatverandering op de lange termijn.

4.3.2 Het definiëren van een besluitvormingskader voor beleidsbeslissingen rondom de klimaatbestendigheid van transportinfrastructuur

De belangrijkste afwegingsmethodieken die in de literatuur worden voorgesteld, zijn maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) en multi-criteria analyse (zoals AHP, ANP, of Fuzzy-AHP⁵).

De huidige beoordelingsbenaderingen kunnen niet voldoende inspelen op de bredere impact van aanpassingsmaatregelen op de samenleving. Daardoor de volgende uitbereidingen zijn voorgesteld:

1. effecten op te nemen die nationale grenzen overschrijden, zich uitstrekken tot langere tijdshorizonten, verdeling van effecten op verschillende groepen, en gevolgen die moeilijk te kwantificeren (of te monetariseren) zijn;
2. expliciet beleidsdoelstellingen rondom de klimaatbestendigheid van transportinfrastructuur te formuleren en beleidseffectiviteit van de bijbehorend adaptatiemaatregelen te meten voor indicatoren van brede welvaart. Zo wordt antwoord gegeven op de vraag: wanneer is het transport klimaatbestendig genoeg?;
3. Effectief ontwerp van sociale processen (bijv. tijdens interviews en workshops) die de analyse structureren, zoals het proces van het definiëren van belangrijkheidsgewichten van indicatoren voor de evaluatie van adaptatiemaatregelen met de stakeholders; en
4. het bieden van een multidimensionale evaluatie, bijvoorbeeld langs economische en milieudimensies, in plaats van de reductionistische benadering van het weergeven van de beoordeling door een enkel getal (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2021; PBL, 2021; Kujawski, 2003; Saarikoski, et al., 2016; de Boer & Asgarpour, 2023). Met andere woorden, het gebruik van één geaggregeerd getal voor de scores of netto-voordelen van adaptatiemaatregelen kan de bredere impact van de maatregelen niet volledig weergeven.

4.4 Overzicht en afweging van noodzaak van maatregelen: ontwikkeling maatregelenoverzicht voor verschillende toekomstscenario's

In deze stap wordt een lijst van maatregelen samengesteld die genomen kunnen worden om het multimodale transportsysteem weerbaarder en flexibeler te maken, in het licht van klimaatdreigingen. De vier deltasenarior's (NB met oog op waterbeheer, niet waterveiligheid) bieden onder meer een goede kapstok om maatregelen te identificeren en classificeren, aangezien deze scenario's een beeld geven van hoe Nederland er in de toekomst uit zou kunnen zien. Bovendien moeten toekomstige scenario's, zoals gedefinieerd door het Planbureau Leefomgeving (PBL), op een consistente manier worden overwogen met de genoemde scenario's om mogelijke toekomstige sociaal-economische veranderingen te omvatten. Volgens van Eck en Hilbers (2022) zal PBL in 2024 nieuwe WLO⁶-scenario's publiceren.

De basis voor het overzicht kan worden gelegd met een literatuuronderzoek om mogelijke maatregelen tegen de gevolgen van klimaatverandering te identificeren. Een storytelling workshop met stakeholders kan worden gebruikt om het maatregelenoverzicht aan te vullen en verder te valideren. Voor de afzonderlijke modaliteiten zijn maatregelen redelijk goed bekend (modaliteit-specifieke maatregelen). Deze zijn echter nog nooit in 1 overzicht centraal verzameld. Daarnaast, om te spreken van een weerbaar multimodaal systeem, is het vooral ook nodig om te kijken waar, wanneer en hoe naar andere modaliteiten kan worden overgestapt (multimodale maatregelen). Zowel de netwerkspecifieke maatregelen als de multimodale maatregelen zullen worden geïdentificeerd en beschreven in een database waarin belangrijke parameters van de maatregelen zoveel mogelijk worden benoemd.

⁵ Analytical Hierarchical Process, Analytic Network Process, en Fuzzy-logic Analytical Hierarchical Process

⁶ Welvaart en Leefomgeving

Daarnaast worden maatregelen geclassificeerd op basis van relevante criteria zoals:

- Effectiviteit: baten en brede baten
- Kosten
- Betrokken stakeholders
- Fase in de DRM-cyclus waarin de maatregel kan worden genomen
- Flexibiliteit en robuustheid ten aanzien van een onzekere toekomst

4.5 Overzicht en afweging van noodzaak van maatregelen: toolontwikkeling voor lange termijn weerbaarheid van infrastructuur

In deze stap wordt door middel van participatieve modellering (participatory modelling) een multimodale weerbaarheids- en adaptatiebeoordelingstool ontwikkeld om de impact van klimatologische bedreigingen en aanpassingsmaatregelen op de vraag en prestaties van transportinfrastructuur in te schatten. Deze tool moet worden ontwikkeld om de lange termijn *impacts* van klimaatverandering en strategieën voor adaptatiemaatregelen te omvatten, naast de gedetecteerde korte termijn adaptatiemaatregelen (met of zonder precedent).

Voordat deze stap wordt genomen wordt afgestemd met lopende onderzoeken van PhD's bij TU Delft en Eindhoven.

De beoogde tool maakt het mogelijk om kwetsbare locatie (hotspots) in het multimodale transportsysteem te identificeren, de gevolgen van falen van die locaties door te rekenen en om de effectiviteit van adaptatiemaatregelen te onderzoeken. De volgende stappen worden hiervoor doorlopen:

1. Stakeholderparticipatie
2. Prototyping

4.5.1 Stakeholderparticipatie

Het Stakeholderparticipatieproces wordt tijdens de conceptuele en ontwikkelingsfasen van het prototypen (4.5.2) ingezet en zorgt ervoor dat de noodzakelijke systeemcomponenten, hun kenmerken en prestatie-indicatoren, evenals de geïdentificeerde en ontworpen aanpassingsmaatregelen worden opgenomen.

Hiervoor kunnen 'Participatieve benaderingen' worden gebruikt: *"Participatory modeling is an approach for including a broad group of stakeholders in the process of formal decision analysis. It generally includes the development or use of a computer model, although some "soft" approaches, such as cognitive mapping are considered"* (Stave, 2010, p. 2766).

In de participatieve modelleringsaanpak formuleren stakeholders en experts in beleid, assetmanagement en de operatie van transportinfrastructuur gezamenlijk het probleem en de onderdelen ervan. Deze participatieve modelleringsaanpak zorgt voor een integralere ontwikkeling en grotere acceptatie van de te implementeren tooling die groepsbesluitvorming en actieplanning informeert (Voinov, et al., 2018).

4.5.2 Prototyping

Dit deel van de stap zal worden uitgevoerd binnen het CLARION-project⁷ door Deltares, in samenwerking met de Technische Universiteit Delft en de Haven van Rotterdam. Het doel, de scope en de betrokken stakeholders van CLARION sluiten goed aan bij het vereiste prototype van dit onderzoeksvorstel. Binnen het project wordt een Multimodaal Hinterland Resilience Model (MHRM) ontwikkeld, dat zich verplaatst van enkelvoudige weerbaarheidsbeoordelingen

⁷ CLARION is een samenwerkingsproject, gefinancierd door het Horizon Europa-programma, dat gericht is op het versterken van de resilience, duurzaamheid en veiligheid van Europese havens in het licht van klimaatverandering (CLARION, 2024).

naar multimodale analyses, met een focus op de langetermijn aanpassing van infrastructuur. Dit omvat het identificeren van hotspots, het evalueren van maatregelen en het uitvoeren van kosten-batenanalyses voor het achterland van Rotterdam, via binnenvaart, wegen en spoorwegen.

Dit deel richt zich op de ontwikkeling van een prototype dat nauw samenhangt met het geavanceerde MHRM dat:

- Klimaatrisico hotspots identificeert op het niveau van het geïntegreerde transportsysteem door alle onderling afhankelijke netwerken samen te voegen,
- Infrastructuurmaatregelen simuleert die de weerbaarheid van het transportsysteem verbeteren en socio-economische kosten-batenanalyses bieden.

MHRM maakt gebruik van grafentheorie en stroommodellering, die voortbouwen op het RA2CE-framework (Bles, van Marle, Boonstra, van Muiswinkel, & de Bel, 2022), oorspronkelijk ontworpen voor de beoordeling van de weerbaarheid van wegen. In het CLARION-project zal het worden uitgebreid om spoorwegen en binnenwateren te omvatten.

4.6 Cases analyseren: Doorrekenen casestudies

In dit onderzoeksplan zijn twee casussen (respectievelijk casus 1 en 2) voorgesteld om context te bieden aan de twee volgende fasen:

1. Terugkijken, onderbouwen, en begrijpen (4.1 en 4.2)
2. Toolontwikkeling (4.5)

Het aantal en scope van de casussen worden in overleg vastgesteld.

4.6.1 Casus 1

Casus 1 heeft als doel om:

- te laten zien hoe een dergelijke klimatologische gebeurtenis (bijv. droogte van 2018) het transportnetwerk beïnvloedt.
- meer begrip te vormen bij besluitvormers rondom de mogelijkheden en onmogelijkheden van modaal shift tijdens verstoringen op een concrete manier,
- meer inzicht voor de infrastructuurbeheerders voor het nemen van efficiënter en besluitvaardiger maatregelen om de transportinfrastructuur meer weerbaar te maken.

Voor casus 1 zal een klimatologische gebeurtenis (in overleg, bijv. droogtegebeurtenis) in een specifiek deel van de goederencorridor worden overwogen. Een dergelijke casus kan worden gedefinieerd om de volgende vragen te beantwoorden: Wat zijn de logische keuzes voor multimodale hubs bij laagwater? Waar moeten deze hubs worden ontwikkeld en wanneer? Welke rol spelen de verschillende stakeholders hierin, zoals de markt, de beheerders en de overheid?

Een voorbeeld hiervan zou de casestudy rondom Nijmegen kunnen zijn. Bij laagwater op de rivieren ontstaat daar een knelpunt dat de scheepvaart belemmert, waardoor schepen niet meer volledig beladen kunnen varen. Een transferiumhub zou in dit geval kunnen helpen om bij laagwater een deel van het transport per schip over te zetten naar weg- of spoorvervoer.

Onderzoek in stap 4.1 levert input met betrekking tot het goederenvolume en de samenstelling ervan, de capaciteit van de netwerken, droogte en de mogelijke impact op de waterwegen.

4.6.2 Casus 2

Casus 2 heeft als doel om:

- Begrip te krijgen voor functionele eisen aan de tooling. Hier zijn de eisen geverifieerd op basis van de casus. Dit vormt een extra laag van verificatie en levert input voor de

functionele eisen aan de hand van een actuele casus die de ontwikkelingen concreet maakt.

- Het ontwikkelde prototype te kalibreren en valideren. Omdat de casus context biedt aan de ontwikkelingen of een deel van een historische gebeurtenis kunnen simuleren.
- Verschillende lange termijn adaptatiemaatregelen te evalueren, inclusief korte termijn adaptatiemaatregelen (in de orde van weken) door entiteiten die betrokken zijn bij het goederenvervoer,
- Besluitvormers te helpen voor langetermijnbeleids- en infrastructuurplanning besluitvorming (10 jaar en langer) voor het beperken van de gevolgen van extreem weer op het multimodale transportnetwerk.

De tweede casus richt zich op een bredere goederencorridor, zoals de Rotterdam-Ruhr-corridor, en onderzoekt een reeks gevaren en de verwachte impact van klimaatverandering en adaptatiemaatregelen in de toekomst. Een voorbeeld hiervan is het definiëren van drie scenario's: droogte en hittegolven, zware regenval en hoge rivierafvoer, en de gecombineerde effecten van klimaatverandering over een lange periode (bijvoorbeeld de komende 100 jaar).

De cijfermatige onderbouwing in stap 4.1, het ontwikkelde afwegingskader en de inventarisatie van maatregelen (secties 4.3 en 4.4) zullen input leveren voor deze stap. Dit zal helpen om de impact van klimaatverandering op de transportinfrastructuur en mogelijke adaptatiemaatregelen te analyseren en te kwantificeren.

5 Organisatie

Het voorgestelde onderzoek heeft betrekking op verschillende typen stakeholders:

- Infrastructuurbeheerders (bijv. RWS, ProRail)
- Infrastructuurgebruikers (bijv. verladers, schippers)
- Beleidsmakers

Binnen deze verschillende stakeholdertypen zijn er verschillende organisaties direct of indirect betrokken. Door de veelheid van stakeholders als hun verschillende belangen, ligt het voor de hand om een stuurgroep in te richten waarin de stakeholders voldoende representatief zijn verdeeld. Dit helpt om sneller te schakelen en beslissingen te nemen dan dat elke stakeholder individueel hoeft te worden geconsulteerd.

Daarnaast vraagt het onderzoek ook verschillende soorten kennis en expertise. Hiervoor geldt dat het onderzoek niet bij 1 partij belegd kan worden maar dat het onderzoek door meerdere partijen uitgevoerd zal moeten worden.

De volgende stakeholders zijn voor het voorgestelde onderzoek relevant:

- Onderzoeksinstituten, universiteiten
- Port of Rotterdam
- ProRail
- Rijkswaterstaat
- Vertegenwoordiging verladers via EVO

Potentiële overige stakeholders:

- Stichting CAS
- Schippers
- Verladers
- Banken/ organisaties die leningen verstrekken (denkend aan hoe op een praktische manier de vloot gemakkelijk te kunnen aanpassen)
- Koninklijke Binnenvaart Nederland
- Ministerie van I&W

De hierna volgende tabel geeft een indicatie waar we een rol verwachten voor de verschillende stakeholders:

Tabel 5-1: Activiteiten en te betrekken stakeholders

Activiteit	Te betrekken stakeholders	Uitvoering van de onderzoeksstap
Cijfermatige onderbouwing	PoR, transporteurs, verladers, CBS	Deltares, logistieke adviesbureaus
Governance van multimodaal transport tijdens verstoringen	PoR, transporteurs, verladers,	Universiteiten, Deltares
Ontwikkeling afweegkader	beleid, beheerders, Deltares	Advies: Deltares, PBL, CPB, Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM), logistieke adviesbureaus
Overzicht van maatregelen	In een workshop: alle stakeholders	Ingenieursbureau, Deltares, Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)
Toolontwikkeling	Deltares, TUD, beheerders en PoR	Stakeholderpart.: Deltares, TUD Toolontwikkeling: CLARION project (Deltares, TUD)
Cases, nu ingeschat case hub Nijmegen	Transporteurs, verladers, beheerders	Deltares, TUD

6 Referenties

- Bles, T., van Marle, M., Boonstra, H., van Muiswinkel, K., & de Bel, M. (2022). Multi-hazard resilience assessments and adaptation planning for the Dutch highway network. *proceedings of the TRA conference*. Lisbon: Transport Research Arena.
- Chen, T. M., Charoniti, E., Gerritse, E. J., van de Lande, P. J., van Meijeren, J. C., & Devoldere, B. &. (2023). *Mobility and Built Environment A paradigm shift in rail freight transport Study in the framework of the JDol for rail freight innovations on the corridor Rotterdam-Ruhr area*. TNO.
- CLARION. (2024). *Climate Resilient Port Infrastructure*. Opgehaald van About: <https://projectclarion.eu/about/>
- Comité technique / Technical Committee / Comité Té. (2023). *PIARC International Climate Change Adaptation Framework 2023 - Technical Report*. PIARC.
- Crawford, S., & Ostrom, E. (1995). A grammar of institutions. *American political science review*, 89(3), 582--600.
- Dal Fiore, F., Mokhtarian, P., Salomon, I., & Singer, M. (2014). Nomads at last? A set of perspectives on how mobile technology may affect travel. *Journal of Transport Geography*, 41, 97-106. doi:doi:10.1016/j.jtrangeo.2014.08.014
- de Boer, W., & Asgarpour, S. (2023). *Implications of broad prosperity for infrastructure (transport) systems*. Delft: Deltares.
- Flaticon. (2024). *Flaticon*. Opgehaald van Flaticon: <https://www.flaticon.com/free-icons>
- Geurs, K., & Van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12, 127-140.
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid. (2021). *Uitwerking van brede welvaart voor de monitoring en evaluatie van mobiliteitsbeleid*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid. (2021). *Uitwerking van brede welvaart voor de monitoring en evaluatie van mobiliteitsbeleid*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- KNMI. (2023). *KNMI'23-klimaatscenario's voor Nederland*.
- Koninklijke Binnenvaart Nederland (KBN). (2023). *Laagwatervisie voor de binnenvaart in Nederland en op de Rijn*. KBN.
- Kujawski, E. (2003). 4.7. 3 Multi-Criteria Decision Analysis: Limitations, Pitfalls, and Practical Difficulties. *NCOSE International Symposium*, (pp. 1169-1176).
- Lemmers, O. S., Bohn, T., Bouhuijs, I., Kuipers, B., Ramaekers, P., Walker, A., & en Wong, K. (2022). *Economische betekenis zeehavengebieden: Vestigingsplaatsfunctie, knooppuntfunctie en*. CBS en Erasmus UPT.
- PBL. (2021). *Brede Welvaart en Mobiliteit*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Polski, M., & Ostrom, E. (1999). An institutional framework for policy analysis and design. 1999.
- Saarikoski, H., Mustajoki, J., Barton, D., Geneletti, D., Langemeyer, J., Gomez-Baggethun, E., . . . Antunes, P. (2016). Multi-Criteria Decision Analysis and Cost-Benefit Analysis: : Comparing alternative frameworks for integrated valuation of ecosystem services. *Ecosystem Services*, 22. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.10.014
- Stave, K. (2010). Participatory system dynamics modeling for sustainable environmental management: Observations from four cases. *Sustainability*, 2(9), 2762-2784.
- Sweco. (2022). *Beleidsprioriteiten Focuspunt Klimaatadaptatie RWS*. Sweco.
- 't Hoen, M. (2017). *Wat kunnen we nog leren van de BreVer-wet?* Delft: CE Delft.
- Tillema, T., Moorman, S., van der Hors, M., & Boonstra, H. a. (2021). *Klimaatverandering en het mobiliteitssysteem*. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

- TNO. (2021). *Indicatoren voor brede welvaart in het mobiliteitsdomein – een vertrekpunt voor discussie gebaseerd op een quickscan*. Den Haag: TNO.
- van Eck, J., & Hilbers, H. (2022). *WLO 2024: Hoe combineren we de klimaattransitie in de mobiliteit met een bruikbare bandbreedte?* PBL.
- van Marle, M. (2022). *Whitepaper: From network to system analyses*. Deltares.
- Van Meijeren, J., & Harmsen, J. (2020). *RAIL AS CONTINGENCY MODE FOR BARGE IN SITUATIONS WITH LOW WATER LEVELS ON THE RHINE FINAL REPORT*. TNO.
- Vinke, , F., Van Koningsveld, M., Van Dorsser, , C., Baart, F., Van Gelder, P., & Vellinga, T. (2022). Cascading effects of sustained low water on inland shipping. *Climate Risk Management*, 35(102159). doi:100400
- Voinov, A., Jenni, K., Gray, S., Kolagani, N., Glynn, P., Bommel, P., . . . others. (2018). Tools and methods in participatory modeling: Selecting the right tool for the job. *Environmental Modelling & Software*, 109, 232--255.

A Bijlage A

Klopt het dat 'klimaatbestendig transport' het doel is van de studie?
Welke uitdagingen ziet u voor een klimaatbestendig transport in de toekomst?
Welke rol heeft uw organisatie om klimaat-/toekomstbestendig transport mogelijk te houden/maken?
Hoe meten jullie of een netwerk klimaatbestendig is? Welke indicatoren of criteria worden daarvoor gebruikt of vinden jullie belangrijk?
Welke kennis, inzichten of tools missen nog om te werken aan klimaatbestendig transport?
Waarom is een corridorstudie belangrijk?
Wat is het einddoel van de studie?
Wat zijn belangrijke afhankelijkheden tussen netwerken in verband met het klimaatbestendig transport?
Welke keuzes zou uw organisatie voorstellen? Waar moet de nadruk van een studie liggen?
<ul style="list-style-type: none"> Geografische scope - corridor, gebied, nationaal, internationaal, hoofdwegennet, onderliggend wegennet, TEN-T
<ul style="list-style-type: none"> Tijdshorizon - korte termijn (morgen), middellange termijn (seizoen, jaren), lange termijn (tientallen jaren, eind van de eeuw, en verder)
<ul style="list-style-type: none"> Perspectief - infrastructuurbeheerder, infrastructuurgebruiker, gebiedsbeheerder, maatschappij
<ul style="list-style-type: none"> Doel - klimaatbestendig transport, welvaart, brede welvaart, ecologie
<ul style="list-style-type: none"> Veranderingen - klimaat (welke klimaatdreigingen specifiek?), energie, technologie, maatschappij
<ul style="list-style-type: none"> Modaliteiten - weg, spoor, binnenvaart, pijpleidingen
<ul style="list-style-type: none"> Aanpak - top-down (abstract, analytisch), bottom-up (case)
Met wie moeten we nog meer spreken?
Welke onderzoeken moeten we kennen en lezen?

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl