

Een brug naar circulariteit

Een onderzoek naar de implementatie van kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen



Figuur 1. Plaatsing van liggers bij de bouw van een viaduct (Rijkswaterstaat, 2023e).

Naam: Pedram Pishahang
Studienummer: 5357284
Begeleider: Dr. M.L.C. de Bruijne
Datum: 26-01-2024

Voorwoord

Voor u ligt het onderzoek “Een brug naar circulariteit”, in het kader van de afronding van de bachelor Technische Bestuurskunde aan de Technische Universiteit Delft. Ik ben van september 2023 tot en met januari 2024 bezig geweest met het onderzoeken en schrijven van mijn scriptie.

Hierbij wil ik ten eerste mijn begeleider, Mark de Bruijne, bedanken voor de begeleiding en ondersteuning tijdens het proces en voor de beantwoording van mijn vele vragen. Ook wil ik graag de respondenten vanuit Rijkswaterstaat bedanken voor hun onmisbare bijdrage aan dit onderzoek en voor de vele nieuwe inzichten die ik dankzij hen heb verkregen. Hiernaast wil ik graag de andere collega's bij Rijkswaterstaat bedanken die hebben meegedacht over de keuze voor een casus en mij hebben geholpen bij de totstandkoming van dit onderzoek.

Ik wens u veel leesplezier toe,
Pedram Pishahang
Utrecht, 26 januari 2024

Samenvatting

Er is sprake van achterstallig onderhoud van verkeersbruggen en negatieve gevolgen van klimaatverandering op Nederlandse infrastructuur, waardoor de beschikbaarheid, betrouwbaarheid en veiligheid van het Nederlandse (vaar)wegennet in het geding komt. Om deze kernwaarden te borgen en de klimaatdoelen te halen, is een transitie naar circulair asset management van verkeersbruggen noodzakelijk. Echter bestaan hier nog geen uitvoerbare en toetsbare kaders voor. Het doel van dit onderzoek is om te bepalen hoe dergelijke kaders kunnen worden geïmplementeerd. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: *Hoe kunnen uitvoerbare en toetsbare kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen door Nederlandse infrastructuurbeheerders worden geïmplementeerd?*

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden, is eerst een literatuuranalyse uitgevoerd om tot een theoretisch kader te komen voor het onderzoek naar de implementatie van circulair asset management van verkeersbruggen. Vervolgens is een case-study uitgevoerd van het hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht door Rijkswaterstaat. Dit is gedaan door middel van observaties, secundair literatuuronderzoek en zes semi-gestructureerde interviews met medewerkers uit het middenkader en de uitvoerende kern bij Rijkswaterstaat. Vervolgens zijn de resultaten van de case-study vergeleken met het theoretisch kader om tot een antwoord op de hoofdvraag te komen.

Uit het onderzoek blijkt dat circulair asset management beschreven kan worden als het kijken naar meerdere levenscycli bij de onderhoud, vervanging en aanleg van kunstwerken, waarbij wordt ingezet op waardebehoud door CO₂-emissies en primair grondstofgebruik te minimaliseren en herbruikbaarheid van materialen en onderdelen te maximaliseren. Ook blijken er losse kaders te bestaan voor bijvoorbeeld circulair inkopen of hergebruik van bruggen en liggers vanuit verschillende partijen, maar zijn veel kaders nog in een vroege fase van implementatie en zijn deze kaders niet actief toegepast bij het hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht. Om uitvoerbare en toetsbare kaders voor circulair asset management te implementeren, zijn de thema's (1) "beleidsdoelen en besluitvorming", (2) "kennis en ervaring met implementatie van circulariteit" en (3) "draagvlak, motivatie en samenwerking" geïdentificeerd als hoofdthema's. Hierbij is er sprake van een wisselwerking tussen de drie hoofdthema's. De thema's (4) "financiën, capaciteit en tijd" en (5) "geïntegreerde en uniforme data en databases" blijken minder relevant te zijn, omdat de uitdagingen en kansen binnen deze thema's voortkomen uit de hoofdthema's. Door de uitdagingen en kansen binnen deze thema's te benutten, kunnen uitvoerbare en toetsbare kaders opgesteld worden.

Aan medewerkers in de strategische top en het middenkader bij infrastructuurbeheerders wordt aangeraden om (1) meer besluitvorming op zich te nemen bij de implementatie en financiën van innovatieve circulaire maatregelen, (2) concrete beleidsdoelen op te stellen, (3) medewerkers uit alle lagen te betrekken bij het maken van strategische keuzes, (4) uniforme en bewezen werkwijzen en standaarden op te stellen, en (5) meer onderwijs en onderzoek op te stellen rondom circulair asset management van verkeersbruggen. Aan opdrachtgevende overheidsinstanties en opdrachtnemende marktpartijen wordt aangeraden om (1) de kennisdeling met betrokkenen te borgen door gezamenlijke kennisdeling te organiseren en (2) de projectbeheersing van circulaire projecten niet te onderschatten. Aan opdrachtgevers wordt aangeraden om (1) vroegtijdig af te stemmen met bevoegd gezag en (2) eigenaarschap te nemen van innovatieve circulaire projecten. Aan overheidsinstanties in de rol van bevoegd gezag wordt aangeraden om een flexibele houding aan te houden bij de implementatie van circulair asset management.

In het vervolg wordt aangeraden om onderzoek te doen naar circulaire asset management projecten die minder bevorderd zijn en/of door andere infrastructuurbeheerders zijn geïnitieerd. Ook wordt aangeraden om te onderzoeken hoe het proces van totstandkoming van kaders voor circulair asset management loopt of kan lopen.

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Samenvatting	2
Inhoudsopgave	3
1. Inleiding	4
1.1. Aanleiding.....	4
1.2. Literatuurverkenning.....	6
1.2.1. Duurzaam en innovatief asset management.....	6
1.2.2. Duurzaamheid en innovatie van bruggen.....	6
1.2.3. Duurzaam en innovatief asset management van bruggen.....	6
1.2.4. Synthese.....	7
1.3. Onderzoeksrelevantie.....	7
1.4. Onderzoeksaanpak.....	8
1.4.1. Onderzoeksvragen.....	8
1.4.2. Onderzoeksmethode.....	8
1.5. Leeswijzer.....	8
2. Onderzoeksmethodiek	9
2.1. Theoretisch kader.....	9
2.1.1. Keuze en onderbouwing methode.....	9
2.1.2. Conceptualisatie.....	9
2.1.3. Operationalisatie.....	9
2.2. Case-study.....	10
2.2.1. Keuze en onderbouwing methode.....	10
2.2.2. Conceptualisatie.....	10
2.2.3. Operationalisatie.....	11
2.3. Data management plan.....	11
3. Theoretisch kader	12
3.1. Implementatie van kaders.....	12
3.2. Asset management van bruggen.....	13
3.3. Circulariteit.....	15
3.4. Synthese.....	17
4. Case-study: hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht (Rijkswaterstaat)	24
4.1. Achtergrond: totstandkoming en opschaling van hergebruik van liggers.....	24
4.2. Resultaten.....	25
4.2.1. Van thema's naar variabelen naar thema's.....	25
4.2.2. Beleidsdoelen en besluitvorming.....	26
4.2.3. Kennis en ervaring met implementatie van circulariteit.....	27
4.2.4. Draagvlak, motivatie en samenwerking.....	29
4.2.5. Financiën, capaciteit en tijd.....	30
4.2.6. Geïntegreerde en uniforme data en databases.....	30
4.2.7. Hoofddresultaten.....	31
4.3. Discussie.....	34
5. Conclusie	36
5.1. Inleiding.....	36
5.2. Conclusies.....	36
5.3. Aanbevelingen.....	37
5.4. Reflectie.....	38
Literatuurlijst	39
Appendix A. Zoekstrategie wetenschappelijke literatuur	44
A.1. Literatuurverkenning.....	44
A.2. Theoretisch kader.....	44
Appendix B. Interviews	46
B.1. Respondenten (Rijkswaterstaat).....	46
B.2. Interviewscript.....	46
Appendix C. Ethische review en informed consent	48

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

Nederland heeft volgens het World Economic Forum het beste infrastructuurnetwerk van Europa dankzij decennia aan innovaties, maar een aantal signalen wijzen erop dat de grenzen van het huidige systeem in zicht komen (IT Exponential, 2020). Volgens Rijkswaterstaat (2022) zijn veel verkeersbruggen sterk verouderd en is het effect van achterstallig onderhoud steeds zichtbaarder. Hierdoor komt de beschikbaarheid, betrouwbaarheid en veiligheid van het Nederlandse (vaar)wegennet in het geding. Zo zijn er in 2023 bijna dertig locaties op snelwegen en vijftig bruggen waar beperkingen gelden of nodig kunnen zijn (Niewold, 2022). Ook veel lokale wegen en verkeersbruggen vertonen achterstallig onderhoud (VNG, 2022).

Tegelijkertijd worden de effecten van klimaatverandering elk jaar steeds zichtbaarder, met negatieve effecten op de Nederlandse infrastructuur als gevolg. Zo is volgens het KNMI (2023) de jaargemiddelde temperatuur in het afgelopen honderd jaar meer dan twee graden Celsius toegenomen en zal dit blijven stijgen, net als het aantal dagen met extreme temperaturen of neerslag. Als gevolg kunnen beweegbare bruggen vast komen te zitten door extreme hitte (Kennisportaal Klimaatadaptatie, z.d.) en ontstaat er overlast door extreme neerslag. Zo is er volgens Tradowsky et al. (2023) een direct verband tussen klimaatverandering en de overstromingen van 2021 in Limburg.

Om te voorkomen dat deze milieueffecten verergeren zijn er door de Rijksoverheid klimaatdoelen opgesteld in het kader van de Klimaatakkoord, waarbij de Rijksoverheid zich heeft gecommitteerd aan het doel om in 2030 55% minder broeikasgassen te emitteren in Nederland en om in 2050 netto geen broeikasgassen uit te stoten. (Rijksoverheid, z.d.). Om deze doelen te behalen en de beschikbaarheid, betrouwbaarheid en veiligheid van het Nederlandse (vaar)wegennet te borgen, is het nodig om te kijken naar mogelijkheden voor duurzaam en innovatief asset management van verkeersbruggen. Hiervoor kan exploratief onderzoek verricht worden naar duurzaam en innovatief asset management van verkeersbruggen vanuit een neutrale wetenschappelijke bril. Bij het incorporeren van duurzaamheid en innovatief asset management in de asset management van bruggen zijn er echter een aantal uitdagingen.

Ten eerste kan in de context van dit onderzoek “**asset management**” beschreven worden als het proces van beheer, aanleg, onderhoud en vervanging van bruggen, maar is er **geen breed gangbare definitie** voor de concepten “**innovatie**” en “**duurzaamheid**” (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023). Zo definieert Rijkswaterstaat “**innovatie**” als “het ontwikkelen en toepassen van nieuwe producten, processen, diensten en systemen voor Rijkswaterstaat” (Rijkswaterstaat, 2023a; Rijkswaterstaat, z.d.-a). Echter wordt ook “een product dat afwijkt van gangbare oplossingen” gehanteerd (Rijkswaterstaat, 2023a). Ook voor “**duurzaamheid**” zijn er meerdere losse definities. Enerzijds hanteert het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (z.d.-a) bijvoorbeeld een “reductie van de emissies”, maar anderzijds worden (1) “klimaatneutraliteit” en (2) “circulariteit” gehanteerd in plaats van “duurzaamheid”. Dit houdt in dat er (1) evenveel energie wordt opgewekt als het eigen verbruik en dat er geen broeikasgassen worden uitgestoten, en dat (2) grondstoffen zo hoogwaardig mogelijk hergebruikt worden en er zo min mogelijk afval wordt geproduceerd (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, z.d.-b). Voor het borgen van de beschikbaarheid, betrouwbaarheid en veiligheid van verkeersbruggen en het behalen van de klimaatdoelen is het echter wenselijk om een **breed gangbare definitie van “innovatie” en “duurzaamheid”** te hanteren die **gelijkvormig** is voor alle soorten verkeersbruggen gezien de diversiteit van de asset portfolios van infrastructuurbeheerders. Hierbij wordt een indeling van verkeersbruggen gebruikt zoals ontwikkeld door Rijkswaterstaat (2022), waarbij vijf soorten bruggen worden gecategoriseerd: (1) vaste betonnen bruggen, (2) vaste stalen bruggen, (3) beweegbare bruggen, (4) aquaducten en (5) viaducten. Dit

onderzoek richt zich verder enkel op verkeersbruggen. Dit zijn bruggen waar lichte, middelzware of zware motorvoertuigen op rijden.

Ten tweede bestaan er **geen integrale, breed gangbare kaders of standaarden voor duurzaam en innovatief asset management van verkeersbruggen**. Er zijn standaarden voor innovatiemanagement (ISO 56000, ISO/TS 56010) en voor assetmanagement (ISO 55000, ISO 55001, EN 16646) waarin er concrete definities en werkwijzen worden gehanteerd (NEN, 2015; NEN, 2021a; NEN, 2021b; NEN, 2023b). Ook zijn er standaarden voor duurzaam management (UIT 68) en duurzaamheid in constructieve werken (EN 17680, CEN/TC 350) en zijn er standaarden voor circulaire economie in asset management in ontwikkeling (CEN, z.d.; Institute of Asset Management, z.d.; NEN, 2014; NEN, 2023a). Hiernaast kan ook gebruik worden gemaakt van “ESG’s”, criteria voor het bepalen van de maatschappelijke effecten en milieueffecten van investeringen (Grove & Clouse, 2018). Echter zijn er geen kaders of standaarden die het concept van duurzaam en innovatief asset management van bruggen betreffen.

Door enerzijds een overvloed aan informatie rondom de concepten “duurzaamheid”, “innovatie” en “asset management” en anderzijds een gebrek aan integrale kaders en standaarden rondom duurzaam en innovatief asset management van verkeersbruggen is de **toetsbaarheid van de mate van duurzaamheid en innovatie in asset management van Nederlandse verkeersbruggen** gelimiteerd. Beheerders kunnen zelf projecten bestempelen als voorbeelden van “duurzaam en innovatief assetmanagement”, maar deze claim is vaak niet wetenschappelijk onderbouwd en kan niet getoetst worden. Hierdoor is een **goede inventarisatie en classificatie van projecten** nog niet mogelijk. Er zijn veel technische oplossingen voor het bevorderen van duurzaam en innovatief beheer van bruggen. Voorbeelden hiervan zijn de Bruggenbank, een platform waarop beheerders bruggen kunnen uitwisselen die zijn niet meer nodig hebben, of het programma Datagedreven Assetmanagement, om de samenwerking tussen Rijkswaterstaat en aannemers te versterken door meer data uit te wisselen (Rijkswaterstaat 2021; Rijkswaterstaat 2023d). Door het gebrek aan een wetenschappelijk onderbouwd toetsingskader is het echter moeilijk om technische innovaties te classificeren en om te bepalen in hoeverre technische innovaties een bijdrage leveren aan de borging van de beschikbaarheid, betrouwbaarheid en veiligheid van verkeersbruggen.

Om een goede inventarisatie en classificatie van projecten rondom duurzaam en innovatief asset management van verkeersbruggen mogelijk te maken, is het wenselijk om te onderzoeken hoe een kader opgesteld kan worden die **voor alle infrastructuurbeheerders uitvoerbaar en toetsbaar** is en waarom dit nog niet is gedaan. Dit is nodig vanwege de heterogeniteit van publieke infrastructuurbeheerders. Zo heeft een gemeente als Nieuwegein maar acht beweegbare bruggen, terwijl Rijkswaterstaat meer dan duizend verschillende bruggen beheert (Gemeente Nieuwegein, z.d.; Rijkswaterstaat, z.d.-b). Bij het opstellen van een toetsingskader moet met infrastructuurbeheerders met verschillende capaciteiten, kennisniveaus en organisatievormen rekening gehouden worden. Een toetsingskader moet immers door alle beheerders van bruggen gebruikt kunnen worden zonder de ene infrastructuurbeheerder zwaarder te belasten dan de ander. Hierbij zijn Rijkswaterstaat, ProRail, provincies, waterschappen en gemeenten de betrokken infrastructuurbeheerders (Platform Bruggen, z.d.; ProRail, z.d.; Rijkswaterstaat, z.d.-b). Ook zijn er andere **stakeholders** in het proces van infrastructuurbeheer waar rekening mee gehouden moet worden, namelijk aannemersbedrijven zoals VolkerWessels, ingenieursbureaus zoals Movares, brancheverenigingen zoals de Nederlandse Bruggenstichting, en kennisplatforms zoals de NEN (Platform Bruggen, z.d.).

De kennislacune is dus de afwezigheid van een **gangbaar, uitvoerbaar, toetsbaar en wetenschappelijk onderbouwd kader voor duurzaam en innovatief asset management van Nederlandse verkeersbruggen**. Idealiter wordt hierbij rekening gehouden met de heterogene eigenschappen van infrastructuurbeheerders, stakeholders en bruggen. Infrastructuurbeheerders worden geacht om via duurzaam en innovatief asset management de beschikbaarheid,

betrouwbaarheid en veiligheid van verkeersbruggen te borgen. Zolang er geen toetsingskader voor duurzaam en innovatief asset management van verkeersbruggen is, kunnen projecten op het gebied van duurzaam en innovatief asset management van verkeersbruggen onvoldoende geclassificeerd worden en blijft het onduidelijk of infrastructuurbeheerders hun beoogde doelen halen.

1.2. Literatuurverkenning

De algemene kennislacune is het gebrek aan een **gangbaar, uitvoerbaar, toetsbaar en wetenschappelijk onderbouwd kader voor duurzaam en innovatief asset management van Nederlandse verkeersbruggen**. Om dit te specificeren is een literatuurverkenning uitgevoerd, waarbij de kennis en wetenschappelijke “gaps” uit wetenschappelijke artikelen zijn geanalyseerd (Van Wee en Banister, 2015). De gebruikte zoekstrategie is weergegeven in appendix A.1.

1.2.1. Duurzaam en innovatief asset management

Klimaatverandering en de daarbij behorende versnelde verslechtering van de staat van transportinfrastructuur kan een groot risico zijn bij de asset management van bruggen (Sinha et al., 2017). Een manier om dit te mitigeren is het toepassen van duurzaamheid in de asset management van infrastructuur, bijvoorbeeld door gebruik te maken van een beoordelingssysteem (Shaw et al., 2014). Bij een dergelijk beoordelingssysteem kunnen volgens Shaw et al. (2014) zes thema's worden geïdentificeerd: (1) management en governance, (2) gebruik van natuurlijke hulpbronnen, (3) uitstoot, vervuiling en afval, (4) ecologie, (5) mensen en plekken, en (6) innovatie. Tegelijkertijd kunnen innovaties die leiden tot duurzame infrastructuur worden gezien als kans en is het belangrijk om niet alleen in risico's te denken. Hierbij wordt aangeraden om kritieke uitdagingen voor transport asset management, waaronder klimaatverandering, verder te onderzoeken (Sinha et al., 2017). Het is dus belangrijk om te onderzoeken hoe de negatieve effecten van risico's zoals klimaatverandering gemitigeerd kunnen worden door middel van duurzaam en innovatief asset management.

1.2.2. Duurzaamheid en innovatie van bruggen

Bij het beheer van bruggen wordt volgens Penadés-Plà et al. (2016) idealiter rekening gehouden met de drie pilaren van duurzaamheid, namelijk (1) economie, (2) maatschappij en (3) milieu. Echter kunnen deze factoren tegenstrijdige perspectieven hebben. Bij de planning en ontwerp van een brug is het belangrijk om deze factoren in alle fases van de levenscyclus van een brug mee te nemen. Dit omvat de fases van (1) planning en ontwerp, (2) beheer en onderhoud en (3) sloop en recycling. Bij bruggen die bijna aan het einde van hun levensduur zijn en zich dus in fase 2 of 3 bevinden, kan het toepassen van circulaire economie volgens Anastasiades et al. (2020) zorgen dat materiaalverlies wordt voorkomen. Echter worden concepten uit de circulaire economie onvoldoende toegepast door een gebrek aan eenduidige definities voor “duurzaamheid” en “circulaire economie” (Anastasiades et al., 2020). Een manier om deze concepten toe te passen in de context van bruggen is door “circulaire economie” als een middel te zien om “duurzaamheid” te bereiken. Hierbij kunnen dan een aantal thema's met bijbehorende acties gebruikt worden om circulariteit toe te passen: (1) technische oplossingen, (2) gebruikersgedrag en eigendom, (3) biobased bouwen, en (4) circulariteitsbeoordeling. Het is belangrijk om te onderzoeken of een dergelijke toepassing realistisch is en hoe dit geïmplementeerd kan worden, bijvoorbeeld in de vorm van een kader voor duurzaam en innovatief asset management van bruggen.

1.2.3. Duurzaam en innovatief asset management van bruggen

Alhoewel eigenaren en beheerders van bruggen duurzame oplossingen zoeken voor het beheer en onderhoud van bruggen, hechten zij er volgens Jensen (2019) belang aan dat de beschikbaarheid, betrouwbaarheid en veiligheid van bruggen hierbij goed geborgd wordt. Om een framework voor duurzaam beheer en onderhoud van bruggen te implementeren waarbij de beschikbaarheid,

betrouwbaarheid en veiligheid worden geborgd, kunnen volgens Ivanković et al. (2020) twee belangrijke punten geïdentificeerd worden:

1. Het beheer van bruggen wordt idealiter op component-, systeem- en netwerkniveau geanalyseerd vanwege de interdependenties van bruggen met andere infrastructuren. Echter is er weinig onderzoek gedaan naar duurzaam asset management op systeemniveau (Anastasiades et al., 2020). Een voorbeeld van een dergelijke integrale beheermethodiek is de toepassing van een datagedreven monitoringssysteem en asset management systeem (Jensen, 2019).
2. Er zijn veel verschillende prestatie-indicatoren per infrastructuurbeheerder, waarvan idealiter alleen de meest relevante worden meegenomen bij de totstandkoming en implementatie van kaders.

Bij de implementatie van kaders voor duurzaam asset management van bruggen is het volgens Jensen (2019) verder van belang om alle stakeholders te betrekken zodat er genoeg draagvlak is. Uit deze onderzoeken blijkt dat er meerdere frameworks bestaan voor duurzaam en innovatief asset management van bruggen, maar dat de implementatie hiervan weinig onderzocht is.

1.2.4. Synthese

Uit de literatuurverkenning blijkt dat er geen eenduidige kaders voor duurzaam en innovatief asset management van bruggen bestaan en dat er meerdere manieren zijn waarop kaders beschreven en geïmplementeerd kunnen worden. Geconcludeerd kan worden dat het belangrijk is om te onderzoeken welke uitdagingen er zijn bij de implementatie van kaders. De specifieke kennislacune is daarom het gebrek aan **uitvoerbare, toetsbare en wetenschappelijk onderbouwde kaders voor circulair asset management van Nederlandse verkeersbruggen**. Circulariteit kan hierbij gezien worden als een middel om duurzaamheidsdoelen te bereiken (Anastasiades et al., 2020). Om tot een dergelijke systeemverandering te komen is het essentieel om met innovatieve oplossingen te werken zoals geïllustreerd door Jensen (2019), waarmee innovatie impliciet als onderdeel van circulariteit wordt beschouwd. Door onderzoek uit te voeren naar de implementatie van kaders voor circulair asset management van bruggen zal de wetenschappelijke kennislacune rondom dit onderwerp versmald worden en zullen er mogelijkheden ontstaan voor vervolgonderzoek in het veld van circulair asset management van bruggen.

1.3. Onderzoeksrelevantie

Er is sprake van achterstallig onderhoud van verkeersbruggen en negatieve gevolgen van klimaatverandering op Nederlandse infrastructuur, waardoor de beschikbaarheid, betrouwbaarheid en veiligheid van het Nederlandse (vaar)wegennet in het geding komt. Om deze kernwaarden te borgen en de klimaatdoelen te halen, is een transitie naar circulair asset management van verkeersbruggen noodzakelijk. Om dit te bereiken is het nodig om te onderzoeken hoe een uitvoerbaar, toetsbaar en wetenschappelijk onderbouwd kader en definitie voor circulair asset management van verkeersbruggen in Nederland geïmplementeerd kan worden.

Het verrichten van onderzoek naar de implementatie van kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen is ook wetenschappelijk relevant. Uit de literatuurverkenning blijkt dat er al onderzoek verricht is naar circulaire bouw van bruggen en naar duurzaamheid en innovatie in de asset management van bruggen. Echter blijkt ook dat er nog geen publicaties zijn over de implementatie van circulair asset management van bruggen, als een vorm van duurzaam en innovatief asset management. De uitkomsten van dit onderzoek zullen de wetenschappelijke kennislacune rondom de implementatie van kaders voor circulair asset management van bruggen versmallen en zullen mogelijkheden creëren voor vervolgonderzoek in het veld van circulair asset management van bruggen.

1.4. Onderzoeksaanpak

1.4.1. Onderzoeksvragen

De **hoofdvraag** is: *Hoe kunnen uitvoerbare en toetsbare kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen door Nederlandse infrastructuurbeheerders worden geïmplementeerd?*

Dit kan onderverdeeld worden in drie **deelvragen**:

- (1) *Hoe wordt circulariteit beschreven in asset management van Nederlandse verkeersbruggen?*
- (2) *Welke kaders zijn geïmplementeerd of in ontwikkeling voor circulariteit en/of asset management van Nederlandse verkeersbruggen?*
- (3) *Tegen welke uitdagingen lopen infrastructuurbeheerders aan bij implementatie van bestaande kaders voor circulariteit en/of asset management van Nederlandse verkeersbruggen?*

1.4.2. Onderzoeksmethode

Om de hoofdvraag en deelvragen te beantwoorden, wordt een **literatuuranalyse** uitgevoerd om tot een **theoretisch kader** voor het onderzoek naar de implementatie van kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen te komen. Hiermee wordt een up-to-date overzicht van de bestaande wetenschappelijke literatuur gemaakt (Van Wee en Banister, 2015). Vervolgens wordt een **kwalitatieve case-study** uitgevoerd waarbij het **hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht door Rijkswaterstaat** als case geanalyseerd wordt. Dit wordt uitgevoerd door middel van **observaties**, **secundaire literatuur** en **semi-gestructureerde interviews**, om tot een integraal beeld te komen van uitdagingen en kansen rondom de implementatie van kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen. Volgens Yin (2009) is de case-study geschikt als methode, omdat het een exploratief onderzoek betreft met een onderzoeksvraag in "hoe"-vorm, omdat er hedendaagse gebeurtenissen worden onderzocht en omdat de onderzoeker huidige gedragsfactoren van datgene wat onderzocht wordt niet kan manipuleren. Deze case is geselecteerd omdat dit een case betreft die doorontwikkeld is op het gebied van circulair asset management en mogelijk opgeschaald gaat worden, terwijl dit een nieuw veld is waarin veel initiatieven nog in de ontwikkelingsfase zitten volgens interne correspondentie bij Rijkswaterstaat. Volgens Gerring (2006) zou dit daarom kunnen worden gezien als een **afwijkende case**. Zo wordt praktisch duidelijk wat er nodig is om de implementatie van kaders voor circulair asset management te bevorderen en welke uitdagingen en kansen er hierbij zijn. Volgens Knott et al. (2022) zijn semi-gestructureerde interviews hierbij geschikt omdat er relatief uitgebreide gesprekken gevoerd kunnen worden om tot nieuwe inzichten te komen, terwijl er wel enige structuur is waardoor de informatie goed verwerkt kan worden.

1.5. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de onderzoeksmethodes verder toegelicht, geconceptualiseerd en geoperationaliseerd. In hoofdstuk 3 wordt een theoretisch raamwerk opgesteld voor de implementatie van kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen. Hiermee worden duidelijke criteria en definities bepaald voor circulair asset management van verkeersbruggen en worden thema's en criteria bepaald voor de implementatie van kaders hiervoor. In hoofdstuk 4 wordt achtergrondinformatie gegeven over het hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht door Rijkswaterstaat en worden de resultaten van het onderzoek weergegeven. In hoofdstuk 5 worden de conclusies, aanbevelingen en reflectie van dit onderzoek weergegeven. In appendix A wordt de zoekstrategie voor de literatuurverkenning en het theoretische kader beschreven. In appendix B wordt een lijst van geïnterviewden en een interviewsript gepresenteerd. In appendix C wordt als laatste het formulier voor informed consent getoond.

2. Onderzoeksmethodiek

Om de hoofdvraag en deelvragen te beantwoorden, wordt een **literatuuranalyse** uitgevoerd om tot een **theoretisch kader** te komen voor het onderzoek naar de implementatie van kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen. Vervolgens wordt een **kwalitatieve case-study** uitgevoerd van het **hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht door Rijkswaterstaat**. Dit wordt door middel van **observaties, secundaire literatuur en semi-gestructureerde interviews** geanalyseerd en vergeleken met het theoretisch kader om tot een integraal beeld te komen van de implementatie van kaders voor circulair asset management van bruggen. In dit hoofdstuk worden de methoden toegelicht en worden de conceptualisatie en operationalisatie per methode uitgewerkt.

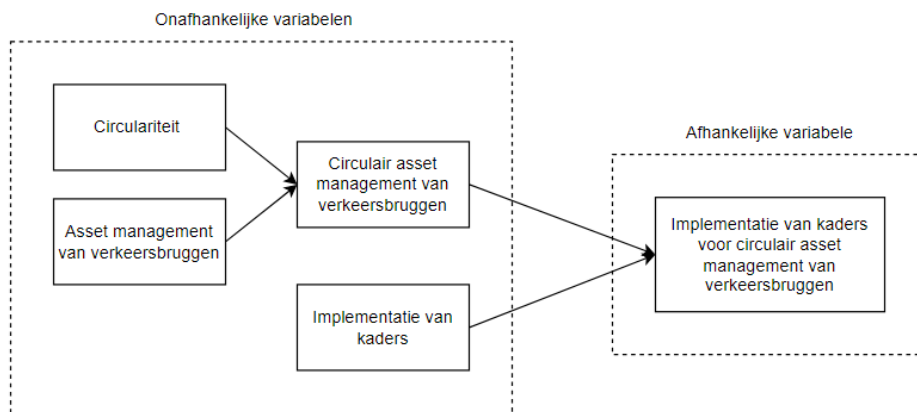
2.1. Theoretisch kader

2.1.1. Keuze en onderbouwing methode

Met een literatuuranalyse kan een up-to-date overzicht van de bestaande wetenschappelijke literatuur worden gemaakt (Van Wee en Banister, 2015). Hiermee wordt een theoretisch kader voor het onderzoek naar de implementatie van kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen opgesteld, waarmee deelvraag (1) volledig en deelvraag (3) gedeeltelijk wordt beantwoord.

2.1.2. Conceptualisatie

De kernbegrippen bij het opstellen van een theoretisch kader voor circulair asset management van verkeersbruggen en de implementatie van kaders zijn (1) de implementatie van kaders (governance), (2) circulariteit, (3) asset management van verkeersbruggen en (4) circulair asset management van verkeersbruggen. Een visualisatie hiervan is gepresenteerd in figuur 2.1.



Figuur 2.1. Conceptueel model.

2.1.3. Operationalisatie

Dit onderzoek beoogt om 10 tot 15 wetenschappelijke artikelen te analyseren, waarbij gebruikgemaakt wordt van Scopus en Web of Science om wetenschappelijke artikelen te vinden. Ook zal gebruikgemaakt worden van de sneeuwbalmethode, waarbij referenties van artikelen worden gebruikt om andere relevante artikelen te vinden. Hierbij zal er gezocht worden naar wetenschappelijke literatuur over circulariteit, asset management van infrastructuur of bruggen, implementatie van kaders en standaarden en circulair asset management van infrastructuur en/of bruggen. De zoekstrategie hiervoor is toegelicht in appendix A.2.

2.2. Case-study

2.2.1. Keuze en onderbouwing methode

Er zal na het literatuuronderzoek een **kwalitatieve case-study** worden uitgevoerd, waarbij **directe observaties** uit de werkomgeving (waar de onderzoeker toegang toe heeft als medewerker bij Rijkswaterstaat), **secundaire literatuur** zoals standaarden, beleidsdocumenten en (interne en externe) kaders, en **semi-gestructureerde interviews** gebruikt worden om tot een beeld van de stand van zaken rondom de implementatie van kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen te komen. Volgens Yin (2009) is de case-study geschikt als methode, omdat het een exploratief onderzoek betreft met een onderzoeksvraag in "hoe"-vorm, omdat er hedendaagse gebeurtenissen worden onderzocht en omdat de onderzoeker huidige gedragsfactoren van datgene wat onderzocht wordt niet kan manipuleren.

2.2.2. Conceptualisatie

Bij de case-study zal het **hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht door Rijkswaterstaat** geanalyseerd worden. Volgens Gerring (2006) kan dit worden gezien als een **afwijkende case**, omdat dit een casus betreft die doorontwikkeld is op het gebied van circulair asset management en mogelijk opgeschaald gaat worden, terwijl dit volgens interne correspondentie bij Rijkswaterstaat een nieuw veld is waarin veel initiatieven nog in de ontwikkelingsfase zitten. Het is nuttig om deze case te onderzoeken, omdat zo praktisch geanalyseerd kan worden wat er nodig is om verder te komen in de implementatie van kaders voor circulair asset management en welke uitdagingen er zijn geweest bij de implementatie van het hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht tot dusver. De kernbegrippen en het conceptueel model voor de case-study zijn gelijk aan dat van het theoretische kader, zoals gevisualiseerd in figuur 2.1.

Er zal een analyse gemaakt worden van de aanpak rondom de implementatie van kaders voor circulair asset management en de uitdagingen die Rijkswaterstaat hierbij ervaart. Door middel van een inventarisatie van kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen wordt deelvraag (2) beantwoord en door middel van een analyse van de uitdagingen en kansen bij de implementatie van kaders voor circulair asset management wordt deelvraag (3) aangevuld en beantwoord. Ook dient de case-study hierbij als validatie van het theoretische kader.

Bij deze case-study zullen relevante **observaties** verzameld worden door het maken van aantekeningen binnen de werkomgeving en zal er een **secundair literatuuronderzoek** uitgevoerd worden. Met deze twee dataverzamelmethode, die volgens Yin (2011) relevant zijn voor een case-study, kan er een integraal beeld gevormd worden over de stand van zaken rondom de implementatie van kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen, specifiek in de context van het hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht.

Ook zullen **semi-gestructureerde interviews** uitgevoerd worden met betrokkenen bij Rijkswaterstaat om zo verder inzicht te krijgen in de bestaande en nog te ontwikkelen kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen en de ervaringen van practitioners bij de implementatie hiervan. Gezien de bureaucratische aard van Rijkswaterstaat worden zowel betrokkenen uit het middenkader als de uitvoerende kern geïnterviewd. Mintzberg (1979) beschrijft het middenkader als "coördinatoren" of "programmamanagers" die strategische organisatiedoelstellingen vertalen naar operationele doelen. De uitvoerende kern omvat medewerkers die werkzaamheden uitvoeren om de operationele doelen te bereiken, zoals "adviseurs" en "experts". Er is gekozen voor semi-gestructureerde interviews omdat hiermee relatief uitgebreide gesprekken gevoerd kunnen worden om tot nieuwe inzichten te komen, terwijl er enige structuur is waardoor de informatie goed verwerkt kan worden (Knott et al., 2022).

2.2.3. Operationalisatie

Voor het **secundair literatuuronderzoek** wordt gebruik gemaakt van NEN Connect om standaarden en normen te vinden, open.overheid.nl en officielebekendmakingen.nl om overheidsdocumenten te vinden, open.rijkswaterstaat.nl om publicaties van Rijkswaterstaat te vinden en Google om overige secundaire literatuur te vinden. Ook wordt tijdens de interviews aan de respondenten gevraagd of zij suggesties hebben voor relevante secundaire literatuur. Voor de **observaties** zullen er door de onderzoeker aantekeningen worden gemaakt. Verder worden er zes **semi-gestructureerde interviews** gehouden. De interviewscript wordt opgesteld op basis van het theoretische kader en wordt bijgevoegd in appendix B.2.

Er zullen zes **semi-gestructureerde interviews van een half uur tot een uur** plaatsvinden. Er worden twee interviews afgenomen met coördinatoren of programmamanagers en vier interviews met adviseurs en experts die betrokken zijn bij het hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht. Door de beperkte scope van dit bacheloronderzoek is het niet realistisch om betrokkenen uit andere organisatieonderdelen, waaronder de strategische top, de technische staf en de ondersteunende staf, te interviewen. De interviews zullen worden getranscribeerd en gecodeerd. Hierbij wordt eerst open gecodeerd op basis van de gevonden variabelen in het theoretisch kader, waarbij nieuwe codes zullen worden toegevoegd voor aspecten die voortvloeien uit de interviews en nog niet verwerkt zijn in het theoretisch kader. Vervolgens wordt axiaal gecodeerd door overkoepelende thema's te identificeren en codes hieronder samen te voegen. Als laatste wordt selectief gecodeerd, waarbij relevante bevindingen worden gebruikt om tot resultaten te komen. Dit komt overeen met de stappen van het coderingsproces zoals beschreven door Richards & Hemphill (2018).

2.3. Data management plan

Om zorgvuldig om te gaan met gegevens wordt bij dit onderzoek gehandeld conform het beleid van de Technische Universiteit Delft. Onderdeel hiervan is een formulier voor ethische review en informed consent omtrent de interviews, die bijgevoegd is in appendix C. De respondenten zullen geanonimiseerd in het verslag worden opgenomen door te verwijzen naar een niet-herleidbare rol. Verder wordt naar alle bronnen verwezen in APA-7-format en wordt expliciet toestemming gevraagd voor het gebruiken van niet-openbare bronnen.

3. Theoretisch kader

Om de hoofdvraag van dit onderzoek te beantwoorden is een theoretisch kader opgesteld voor het onderzoek naar de implementatie van kaders voor circulair asset management van bruggen. Hierbij is per paragraaf een kernbegrip onderzocht, waarbij een volgorde van generieke naar specifieke onderwerpen is gehanteerd. Ten eerste is wetenschappelijk onderzoek rondom de implementatie van kaders, beleid, standaarden etc. geanalyseerd. Vervolgens is gekeken naar de implementatie van kaders en definities voor asset management van bruggen en circulariteit. Als laatste is gekeken naar literatuur over de implementatie van circulair asset management van bruggen. De zoekstrategie en zoektermen die gebruikt zijn voor het theoretisch kader zijn bijgevoegd in appendix A.2.

3.1. Implementatie van kaders

In deze paragraaf wordt onderzocht welke uitdagingen en kansen er zijn bij de implementatie van beleid of standaarden (binnen publieke organisaties). Hiermee wordt een generiek beeld gevormd van de huidige wetenschappelijke consensus en de bestaande kennislacunes rondom implementatie.

Implementatie kan worden beschreven als het in praktijk brengen van beleid, waarbij er meerdere manieren zijn om dit te evalueren (Barrett, 2004; Sabatier, 1986). Een aantal factoren kunnen vanuit een "top-down" perspectief leiden tot het falen van de implementatie van beleid volgens Barrett (2004) en Sabatier (1986):

- (1) Gebrek aan duidelijke beleidsdoelstellingen waardoor er geen stabiele basis is voor implementatie en evaluatie van beleid en er ruimte ontstaat voor uiteenlopende interpretaties;
- (2) Communicatie- en coördinatieproblemen tussen de betrokkenen in de keten;
- (3) Verschillen in interpretaties van beleid en motivatie voor implementatie van kaders door inter- en intra-organisatorische verschillen in prioriteiten, perspectieven gebaseerd op normen en waarden;
- (4) Gebrek aan administratieve controle, door relatieve autonomie van uitvoerende instanties;
- (5) Gebrek aan draagvlak vanuit geïnteresseerden en betrokkenen voor de te implementeren beleid;
- (6) Socio-economische veranderingen die de basis van te implementeren beleid ondermijnen.

Echter stelt een "top-down"-analyse de perceptie van de beleidsbepalende actoren aan de "top" centraal en neemt het de percepties van anderen niet adequaat mee (Sabatier, 1986). Hierdoor worden ook strategieën van uitvoerende actoren om het beleid te omzeilen niet volledig geanalyseerd. Ook is het moeilijk om met een "top-down" aanpak te kijken naar de implementatie van beleid waar meerdere actoren het beleid bepalen zonder duidelijke hiërarchie. Als mogelijke oplossing kan volgens Sabatier (1986) en Barrett (2004) de implementatie vanuit een "bottom-up" perspectief geanalyseerd worden. Hierbij worden uitvoerende instanties volgens Barrett (2004) beïnvloed door verschillende beleidsdoelen die tegelijkertijd moeten worden geïmplementeerd, die tegenstrijdig kunnen zijn en die beïnvloed kunnen worden door verschillende actoren in en buiten de organisatie. Daarom kan de implementatie van beleid geëvalueerd worden door een beeld te schetsen van de netwerkstructuur van actoren en delen van organisaties, evenals hun relaties en interacties die de mate van succesvolle implementatie beïnvloeden. Hierbij is het belangrijk om rekening te houden met "kennishoudende actoren" die hun status quo kunnen verdedigen (en succesvolle implementatie kunnen tegenhouden of toejuichen). Ook is het belangrijk om rekening te houden met de politieke afhankelijkheden rondom de implementatie van beleid op organisationeel, bestuurlijk en nationaal niveau. Hierbij worden macht en onderhandeling gezien als verklarende factoren voor de manier waarop de implementatie van beleid verloopt.

Op basis van diverse facetten van implementatie blijkt dat dit leidt tot een organisationele en culturele verandering, wat betekent dat implementatie pas succesvol is als het leidt tot een "nieuwe normaal" in praktijk. Hierbij is het belangrijk om rekening te houden met betrokken actoren en instanties met

uiteenlopende normen en waarden, interesses en (onderhandelings)macht (Barrett, 2004). Een belangrijk aspect om rekening mee te houden is of er überhaupt consensus is over de te implementeren kaders. (Short & Kopp, 2005). In de context van infrastructuurplanning ontstaat een gebrek aan consensus door verschillen in databronnen, voorspellingstechnieken, besluitvormingsprocessen en wettelijke processen. De combinatie van deze factoren leidt tot convergentie over de effectiviteit van te implementeren kaders. Om consensus te creëren, kan projectdata verzameld, beschikbaar gesteld en gemonitord worden als onderbouwing. Consensus kan in een "top-down"-analyse gezien worden als deel van communicatie.

Indien er consensus is over de toe te passen standaarden of best practices, zijn volgens Delmas (2002) regulerende, normatieve en cognitieve aspecten van een institutionele omgeving van belang voor succesvolle implementatie van technische standaarden door uitvoerende organisaties. Vanuit het regulerende aspect is het mogelijk dat er tijdens het certificatie- of vergunningsproces nieuwe informatie naar boven komt die leidt tot wetsovertredingen van de organisatie, waardoor er hogere "transactiekosten" (bijvoorbeeld in de vorm van sancties) ontstaan voor de organisatie die gecertificeerd wordt. Organisaties kunnen terughoudend worden tegen certificering indien er onzekerheid bestaat over het gedrag van de regulerende instantie. Vanuit het normatieve en cognitieve aspect is het mogelijk dat bepaalde vormen van organisationele verandering, zoals het implementeren van nieuwe standaarden, niet worden geaccepteerd door de normen en waarden of de cultuur binnen een organisatie. Dit is vooral het geval indien er onzekerheid bestaat over de effectiviteit van de te implementeren maatregelen.

Ook spelen de overheid en industrie een belangrijke rol spelen bij de succesvolle implementatie van kaders. De overheid, als regulerende instantie, kan grootschalige implementatie faciliteren en de transactiekosten van de toepassing van grootschalige implementatie van kaders verlagen door flexibiliteit te bieden in regulerende processen en organisaties hiermee zekerheid te bieden. Vanuit de industrie is grootschalige implementatie waarschijnlijker als een aantal grote spelers kaders implementeren of als belangenorganisaties informatie rondom kaders verspreiden. (Delmas, 2002)

Om succesvolle implementatie op governance niveau te garanderen is ook projectmanagement en adequate governance binnen een project en met externe stakeholders nodig. Een voorbeeld hiervan is het opstellen van een alliantiecontract om duurzaamheidsdoelen bij een groot infrastructuurproject te implementeren en behalen. Dit is een mogelijke oplossing voor de problematiek rondom communicatie en coördinatie met stakeholders. Hiermee worden de risico's en voordelen van uitvoering verdeeld over de verschillende betrokkenen en wordt een vertrouwensband gecreëerd. Dit is een vorm van publiek-private samenwerking. Ook is het van belang om interne en externe controlemechanismen te implementeren voor elke dimensie van duurzaamheid. (Kivilä et al., 2017)

3.2. Asset management van bruggen

In deze paragraaf wordt onderzocht hoe asset management van bruggen beschreven kan worden. Ten eerste worden de noodzaak ("waarom") en nut ("wat") van asset management in kaart gebracht. Vervolgens wordt gekeken naar de implementatie van asset management van bruggen.

Volgens Vanier (2001) is asset management een essentiële vorm van ondersteuning voor besluitvorming rondom infrastructurele planning en is het daarom noodzakelijk. Zo kunnen asset management maatregelen leiden tot een minimalisatie van kosten. Een moeilijkheid hierbij is het bepalen van de exacte managementdoelen van infrastructuurbeheerders. Om dit te verhelpen, kunnen volgens Vanier (2001) drie factoren worden geïdentificeerd:

- (1) Financiële vs. technische factoren
 - (a) De afweging tussen de kosten en baten van onderhoud vs. vervanging;
- (2) Korte-termijn (operationele) vs. middellange-termijn (tactische) vs. lange-termijn (strategische) infrastructuurplanning

- (a) De afweging tussen de tijdsspanne waarin besluitvorming plaatsvindt, respectievelijk binnen 2 jaar (operationeel), tussen 2-5 jaar (tactisch) of meer dan 5 jaar (strategisch). Oplossingen die operationeel optimaal lijken zijn dat soms strategisch niet en vice versa.
- (3) Netwerk- vs. projectniveau
 - (a) Infrastructuurplanning is een geïntegreerd systeem waarin er interdependenties bestaan tussen netwerken en actoren. Hierbij zijn zowel op netwerk- als projectniveau goede asset management praktijken nodig.

Volgens Vanier (2001) kan de essentie van asset management worden samengevat als:

- (1) Wat heeft de asset manager in bezit?
 - (a) Databasemanagementsystemen (bijv. GIS) kunnen gestructureerd in beeld brengen wat de omvang, ontwerp en staat van de asset portfolio is.
- (2) Wat is de asset portfolio waard?
 - (a) De waarde van assets kan bepaald worden met zes factoren: (1) originele boekwaarde, (2) reële boekwaarde (in huidige dollars, rekening houdende met inflatie/deflatie), (3) huidige vervangingswaarde, (4) waarde van de prestaties van de asset voor de eigenaar, (5) vermeden kosten door eigendom van de asset, en (6) marktwaarde.
 - (b) Het gaat hier om de waarde van assets en niet alleen de kosten.
- (3) Wat is het achterstallig onderhoud aan de asset portfolio?
 - (a) Om achterstallig onderhoud goed in beeld te brengen, moet er periodiek informatie over de staat van assets in een database opgeslagen worden.
- (4) Wat is de conditie van de assets?
 - (a) De conditie van assets kan bepaald worden op basis van de hoeveelheid achterstallig onderhoud, technologische indexen of benchmarks.
 - (b) Een relatief nieuwe manier om de conditie van brugonderdelen accuraat te meten is "machine learning". Hierbij worden computationele modellen gebruikt om de conditie te voorspellen (Assaad & El-Adaway, 2020).
- (5) Wat is de resterende levensduur van de assets?
 - (a) Dit kan bepaald worden met bijvoorbeeld een Life-Cycle Analysis (LCA).
- (6) Wat wordt als eerste gerepareerd?
 - (a) Er kan een afweging worden gemaakt tussen het wegwerken van achterstallig onderhoud, het uitvoeren van nieuwe onderhoudsverplichtingen en het vervangen van assets die (bijna) het einde van hun levensduur hebben bereikt.

De implementatie van asset management van bruggen verloopt echter niet zonder uitdagingen. Deze uitdagingen kunnen volgens Aktan et al. (2000) en Kabir et al. (2013) samengevat worden als:

- (1) Globaal
 - (a) Gebrek aan multidisciplinair onderwijs en onderzoek rondom asset management
 - (i) Hierdoor wordt er moeilijker consensus bereikt tussen stakeholders.
 - (b) Uiteenlopende definities en verwachtingen door onderzoekers en practitioners
 - (i) Hierdoor komt de samenwerking tussen stakeholders in het geding.
 - (c) Lage institutionele effectiviteit van infrastructuurbeheerders
 - (i) Door een splitsing tussen de afdelingen die verantwoordelijk zijn voor ontwerp, prestatie en organisatie is de institutionele effectiviteit en productiviteit van infrastructuurbeheerders niet optimaal.
- (2) Informatievoorziening
 - (a) Gebrek aan geïntegreerde en uniforme databases en data
 - (i) Door een gebrek aan interconnectiviteit tussen databases en -bronnen en conflicterende data met grillige onzekerheidsmarges zijn er geen integratieve

informatiesystemen waarmee de conditie en prestatie van assets objectief kan worden gemeten en gemonitord.

- (ii) Dit leidt mogelijk tot de rechtvaardiging van tegenstrijdige werkwijzen door stakeholders met uiteenlopende interesses en belangen.

(3) (Bouw)technisch

- (a) Gebrek aan kennis van de structurele veiligheid van bruggen
 - (i) Hierdoor kunnen ontwerpen en constructies ontstaan die de veiligheid en betrouwbaarheid verminderen.
- (b) Gebrek aan kennis over technische karakteristieken en limieten van bruggen
 - (i) Hierdoor kan de effectiviteit van managementbeslissingen rondom de asset management van bruggen minder goed worden geëvalueerd.
- (c) Gebrek aan kwantitatieve indexen voor de conditie en schade van bruggen
 - (i) Door expert judgement kan de conditie en schade van bruggen niet accuraat en consistent worden ingeschat, waardoor maatregelen genomen kunnen worden die overbodig zijn of niet strikt genoeg zijn voor het borgen van de veiligheid en betrouwbaarheid van bruggen.

Mogelijke oplossingen voor de uitdagingen rondom de implementatie van asset management voor bruggen zijn volgens Aktan et al. (2000) en Kabir et al. (2013):

- (1) Beschikbaarheid van geïntegreerde, multidisciplinaire onderwijs en onderzoek rondom asset management met consensus van stakeholders;
- (2) Consensus tussen onderzoekers en practitioners over de definities en verwachtingen van asset management systemen;
- (3) Toepassing van multi-criteria besluitvormingsmodellen;
- (4) Correcte toepassing van informatiesystemen en -methoden door informatie vanuit verschillende velden (transport en logistiek, bouwtechniek, etc.) verder te onderzoeken en te integreren tot een geheel;
- (5) Objectieve kwantitatieve prestatiecriteria en conditie-indicatoren die kunnen veranderen op basis van de fase van de levenscyclus waarin een brug zit;
- (6) Beschikbaarheid van kennis en onderzoeken rondom de structurele veiligheid en betrouwbaarheid van bruggen

3.3. Circulariteit

In deze paragraaf wordt een definitie van circulariteit in infrastructuur opgesteld en wordt onderzocht en bepaald hoe circulariteit geïmplementeerd kan worden in asset management van bruggen.

Circulariteit kan beschreven worden als het doel om infrastructuur te laten functioneren met zo min mogelijk primair materiaalgebruik en uitstoot (Ness & Xing, 2017). Op het gebied van bruggen is er ruimte voor verbetering door de kernprincipes van circulariteit toe te passen. Immers hebben bruggen een lange levensduur en is er veel materiaal nodig voor de constructie van nieuwe bruggen (Coenen et al., 2021). De kernprincipes van circulariteit in de context van infrastructuur kunnen volgens Ness & Xing (2017) worden beschreven als:

- (1) Toepassen van gesloten-lus benadering
 - (a) Volledige hergebruik van materiaal- en energiestromen binnen productcycli (gesloten lus) in plaats van gebruik van nieuw materiaal van buiten het systeem (open lus).
 - (b) Door afvalstromen te hergebruiken met waardebehoud of te verminderen, wordt meer bereikt dan door afvalstromen te recycelen waarbij waarde verloren gaat.
- (2) Verhogen productiviteit bestaande infrastructuur
 - (a) Het bouwen van nieuwe “groene” infrastructuur kan leiden tot een hogere menselijke belasting van natuurlijke hulpbronnen vergeleken met het verbeteren van de efficiëntie van bestaande infrastructuur.
 - (b) Er kan geoptimaliseerd worden op basis van gebruik en prestaties van infrastructuur.

- (3) Verhogen effectiviteit van hulpbronnegebruik in plaats van efficiëntie
 - (a) Effectiviteit richt zich op hele systemen en behoud van de waarde van hulpbronnen, terwijl efficiëntie zich alleen richt op “minder slechte” gebruik van hulpbronnen en het waardebehoud niet maximaliseert.
- (4) Toepassen van strategisch asset management van infrastructuur
 - (a) Door asset management op lange-termijn (strategisch) aan te pakken wordt verlies van materiaal door kortetermijndenken geminimaliseerd.
 - (b) Er is een transitie nodig van “ontwikkelen” naar “onderhouden” in asset management.
- (5) Toepassen van levensduurverlenging van infrastructuur
- (6) Ontwerpen van nieuwe infrastructuur op basis van levensduurmaximalisatie en aanpassingsvermogen
- (7) Toepassen collaboratieve economie en governance
 - (a) Transitie naar een deeleconomie waarin goederen en hulpbronnen worden gedeeld, zodat consumptie van hulpbronnen verminderd kan worden terwijl dezelfde functies mogelijk blijven voor stakeholders.
- (8) Opstellen integrale indicatoren die rekening houden met hulpbronneffectiviteit en -gebruik

Deze kernprincipes kunnen in praktijk geïmplementeerd worden door middel van een “R-ladder”, waarmee aangegeven wordt welke stappen genomen kunnen worden om waardebehoud van infrastructuur assets te maximaliseren en circulaire doelen te bereiken (Reike et al., 2018). De stappen zijn getoond in tabel 3.1, van meeste waardebehoud (“R0”) tot minste waardebehoud (“R9”).

	R #	CE concept	Object	Owner	Function	Key activity customer	Key activity market actor
Downcycling	R9	Re-mine	Landfilled material	Local authorities; Land owner	New	Buy and use secondary materials	Grubbing, cannibalizing, selling (South)/ high-tech extracting, reprocessing (North)
	R8	Recover (Energy)	Energy content	Collector, municipality, energy company, waste mgt. company	New	Buy and use energy (and/or distilled water)	Energy production as by-product of waste treatment
	R7	Re-cycle	Materials	Collector, processor, waste mgt. company	Original or new	Dispose separately; buy and use secondary materials	Acquire, check, separate, shred, distribute, sell
	R6	Re-purpose (ReThink)	Components in composite products (new product with old parts)	New user	New	Buy new product with new function	Design, develop, reproduce, sell
Product upgrade	R5	Re-manufacture	Components in composite products (old product with new parts)	Original or new customer	Original, upgraded	Return for service under contract or dispose	Replacement of key modules or components if necessary, decompose, recompose
	R4	Re-furbish	Components of composite products (old product with new parts)	Original or new customer	Original, upgraded (large complex products)	Return for service under contract or dispose	Replacement of key modules or components if necessary
	R3	Repair	Components of composite products (old product with new parts)	1st or 2nd consumer	Original	Making the product work again by repairing or replacing deteriorated parts	Making the product work again by repairing or replacing deteriorated parts
Client/user choices	R2	Re-sell/Re-use	Product	Consumer	Original	Buy 2nd hand, or find buyer for your non-used produced/possibly some cleaning, minor repairs	Buy, collect, inspect, clean, sell
	R1	Reduce	Product	Consumer	N.a.	Use less, use longer; recently: share the use of products	See 2nd life cycle Redesign
	R0	Refuse	Product	Potential consumer	N.a.	Refrain from buying	See 2nd life cycle Redesign

Tabel 3.1. R-ladder (Reike et al., 2018).

Om de kernconcepten van circulariteit toe te passen in asset management van bruggen, kan het van belang zijn om levenscyclusdenken toe te passen bij de ontwerpfase van een brug door middel van een integrale indicator voor de circulariteit van een brug (Coenen et al., 2021). Door de toepassing hiervan is het mogelijk om hoger op de R-ladder te komen. Een integrale, dimensieloze indicator voor de circulariteit van een brug kan bestaan uit:

- (1) Ontwerpinput
 - (a) Materiaalinput
 - (i) Percentage gerecyclede materialen
 - (ii) Percentage hergebruikte materialen
 - (iii) Percentage hernieuwbare materialen
 - (iv) Percentage recyclebare materialen
 - (b) Robuustheid
 - (i) Dit omvat toegevoegde circulaire waarde door technieken waarmee de levensduur van een brug verlengd kan worden.
- (2) Beschikbaarheid van hulpbronnen
 - (a) De schaarste van een materiaal bepaalt hoe belangrijk de beschikbaarheid hiervan is en kan daarom worden meegenomen als factor. Dit kan op basis van een schalingsfactor voor schaarste en niet op basis van alleen marktprijzen of massa's.

Zo kan de reële waarde van een materiaal op basis van de beschikbaarheid ervan worden meegenomen in de analyse.

(3) Aanpassingsvermogen

- (a) Uitbreidbaarheid - uitbreiden van de kruising of onderdoorgang
- (b) Verhoogbaarheid - vergroten van de speling van de onderdoorgang
- (c) Verstevigbaarheid - versterken van de oversteek
- (d) Een brug kan op vier manieren aangepast worden aan een veranderde gebruikssituatie, namelijk (1) verbreden van de kruising, (2) verbreden van de onderdoorgang, (3) versterken van de oversteek, en (4) vergroten van de speling van de onderdoorgang.

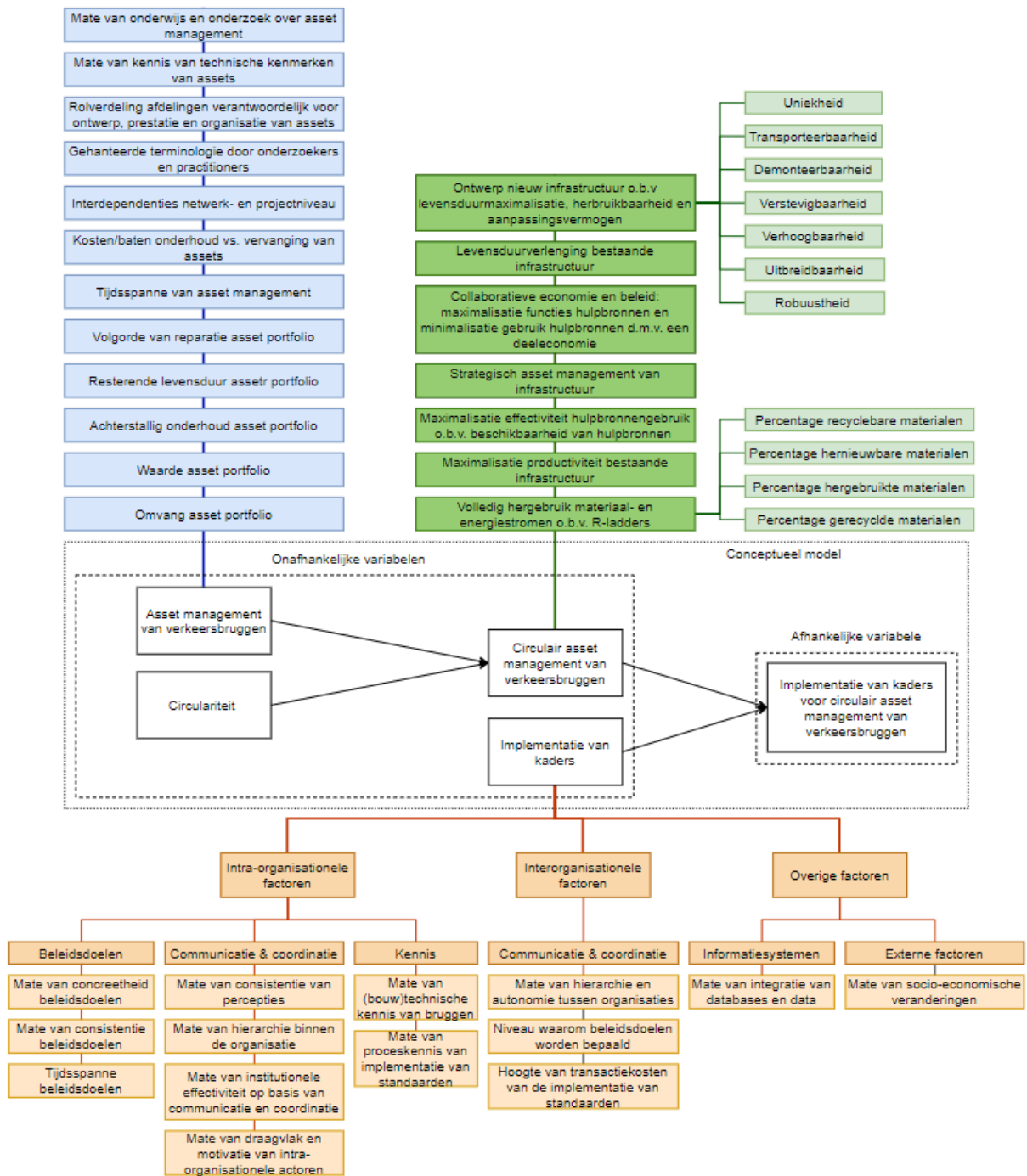
(4) Herbruikbaarheid

- (a) Demonteerbaarheid
 - (i) Connecties van componenten
 - (ii) Types componenten
 - (iii) Posities van componenten
- (b) Transportbaarheid van gedemonteerde onderdelen
 - (i) Afmetingen van onderdelen
 - (ii) Gewicht van onderdelen
- (c) Uniekheid - berekend op basis van de mate van standaardisatie van componenten

Bij de toepassing van de kernprincipes, R-ladder en indicatoren van circulariteit in de asset management van bruggen is het nodig om rekening te houden met verschillende rollen binnen en buiten infrastructuurbeheerders en is duidelijkheid nodig rondom welke circulariteitsprincipes en -taken bij welke rol passen (Coenen et al., 2020).

3.4. Synthese

De verkregen inzichten rondom de implementatie van kaders voor circulair asset management zijn samengevat in tabel 3.2 en geoperationaliseerd naar meetbare, ordinale variabelen in tabel 3.3. Dit is tevens een theoretisch antwoord op deelvraag (3). De verkregen inzichten rondom de aspecten en kernprincipes van (circulair) asset management en circulariteit van bruggen staan in tabel 3.4, waarmee deelvraag (1) op theoretische wijze gedeeltelijk is beantwoord. De relatie tussen het conceptueel model en het theoretisch kader is geduid in figuur 3.1.



Figur 3.1. Relatie tussen factoren uit het theoretisch kader (gekleurd) en conceptueel model (wit).

Nr	Probleem	Toelichting
1	Onvolledige analyse en evaluatie van de strategieën en percepties van niet-beleidsbepalende of non-hiërarchische actoren of actoren in niet-hiërarchische organisaties.	Indien er alleen “top-down” wordt gekeken naar de implementatie van beleid wordt de informatie over bepaalde actoren onvoldoende geanalyseerd. Er moet ook “bottom-up” worden gekeken. Een analyse van de netwerkstructuur van actoren en organisaties en hun relaties en interacties is daarom belangrijk (Barrett, 2004; Sabatier, 1986).
2	Onduidelijke of tegenstrijdige beleidsdoelen die tegelijkertijd worden geïnterpreteerd en geïmplementeerd	Beleidsdoelen kunnen beïnvloed worden door de onderhandelingsmacht, politieke afhankelijkheden en normen en waarden van een netwerk van actoren. Hierdoor ontstaat ruimte voor uiteenlopende interpretaties van beleid bij implementatie (Barrett, 2004; Sabatier, 1986). In de context van asset management kunnen beleidsdoelen geïdentificeerd worden op basis van (1) de afweging tussen kosten en baten van onderhoud vs. vervanging, (2) het niveau (strategisch, tactisch of operationeel) waarin besluitvorming plaatsvindt, en (3) of de doelen op netwerk- of projectniveau bepaald moeten worden (Vanier, 2001). Hierbij leidt asset management op strategisch niveau tot betere resultaten rondom circulariteit (Ness & Xing, 2017). Een mogelijke oplossing is het opstellen van objectieve, kwantitatieve prestatie-indicatoren en het optimaliseren hiervan als beleidsdoel (Aktan et al., 2001; Kabir et al., 2013). Het is van belang om in deze prestatie-indicatoren hulpbronneneffectiviteit en -gebruik ook mee te nemen voor het meten van circulariteit (Ness & Xing, 2017).
3	Communicatie- en coördinatieproblemen over de implementatie van standaarden en/of beleid.	Verschillende schakels in de keten communiceren of coördineren niet optimaal. Zo kan er een gebrek aan consensus bestaan over welke kaders of standaarden geïmplementeerd worden. Dit kan ontstaan door convergentie in databronnen, voorspellingstechnieken, besluitvormingsprocessen en wettelijke processen (Short & Kopp, 2005). Ook kan dit ontstaan door een gebrek aan goed projectmanagement (Kivilä et al., 2017) of door een gebrek aan multidisciplinair onderzoek en onderwijs rondom asset management (Aktan et al., 2001; Kabir et al., 2013).
4	Verschillen in prioriteiten en perspectieven over de implementatie van standaarden en/of beleid.	Dit kan leiden tot verschillen in beleidsinterpretaties en motivatie bij de implementatie van beleid (Barrett, 2004). Dit kan in asset management ontstaan door een interpretatieverschil van de definities en verwachtingen door onderzoekers en practitioners (Aktan et al., 2001; Kabir et al., 2013).
5	Gebrek aan administratieve controle	Dit ontstaat door de relatieve autonomie van uitvoerende instanties (Barrett, 2004) en door een gebrek aan functionerende informatiesystemen en data (Aktan et al., 2001; Kabir et al., 2013).
6	Gebrek aan integratieve informatiesystemen en data	Doordat veel databases verschillende formats hanteren en er geen interconnectiviteit is tussen databases met informatie over de conditie en prestatie van assets, bemoeilijkt dit het bereiken van een consensus over de juiste werkwijze bij de management van deze assets (Aktan et al., 2001; Kabir et al., 2013). Een mogelijke oplossing is de implementatie van databasemanagementsystemen zoals GIS (Vanier, 2001).
7	Gebrek aan (bouw)technische kennis	Door gebrek aan (1) reële systeemkennis over de structurele veiligheid en betrouwbaarheid, (2) technische karakteristieken en capaciteiten van bruggen, en (3) kwantitatieve indexen voor de conditie en schade van bruggen kan de implementatie van de asset management van bruggen op niet-optimale wijze verlopen (Aktan et al., 2001; Kabir et al., 2013). Een mogelijke oplossing hiervoor is het inzetten van computationele modellen om berekeningen over de conditie van assets te doen (Assaad & El-Adaway, 2020). Een andere oplossing is het uitvoeren van Life-Cycle Analysis (Vanier, 2001).
8	Gebrek aan draagvlak voor culturele	De implementatie van standaarden en/of kaders kan leiden tot organisationele of culturele veranderingen, waarbij dit pas succesvol is als er een

	veranderingen door implementatie van standaarden en/of beleid.	“nieuw normaal” ontstaat in praktijk (Barrett, 2004). Indien er niet genoeg vertrouwen is over de effectiviteit van de standaarden en/of beleid of indien de normen en waarden van een organisatie de acceptatie van beleid en/of standaarden tegenhouden, leidt dit tot problemen bij de implementatie (Delmas, 2002). Een mogelijke oplossing om vertrouwen te creëren tussen actoren is een alliantiecontract (Kivilä et al., 2017) of door meer multidisciplinair onderwijs en onderzoek in te richten over asset management (Aktan et al., 2001; Kabir et al., 2013).
9	Gebrek aan draagvlak door hoge transactiekosten bij de implementatie van standaarden en/of beleid.	Het is mogelijk dat er tijdens het certificatieproces nieuwe informatie naar boven komt die leidt tot wetsovertredingen van de organisatie, waardoor er hogere “transactiekosten” (bijv. boetes) ontstaan en uitvoerende organisaties terughoudend worden voor de implementatie van standaarden. Belangrijk om dit te voorkomen is een flexibele houding vanuit regulerende instanties (Delmas, 2002).
10	Institutionele ineffectiviteit van uitvoerende organisaties	Door een splitsing tussen de afdelingen die verantwoordelijk zijn voor ontwerp, prestatie en organisatie is de institutionele effectiviteit en productiviteit van infrastructuurbeheerders niet optimaal (Aktan et al., 2001; Kabir et al., 2013). Ter bevordering van circulariteit is het hierbij belangrijk om te bepalen welke circulariteitsprincipes verwerkt en uitgevoerd moeten worden door welke rollen en afdelingen binnen uitvoerende organisaties (Coenen et al., 2020).
11	Socio-economische veranderingen	Dit leidt tot ondermijning van de basis van het te implementeren beleid (Barrett, 2004; Sabatier, 1986).

Tabel 3.2. Synthese van de problemen bij de implementatie van standaarden en/of beleid.

Thema Uitleg in tabel 3.	Nr	Variabele	Meetbare waarde Geordend van hoog naar laag.
Intra-organisatieel			
Beleidsdoelen	1	Mate concreetheid van beleidsdoelen	Concreet: kwantitatieve indicatoren voor doelen. Semi-concreet: kwalitatieve indicatoren voor doelen. Niet-concreet: geen indicatoren voor doelen.
	2	Mate consistentie van beleidsdoelen	Consistent: doelen versterken/ondersteunen elkaar. Semi-consistent: doelen zijn neutraal t.o.v. elkaar of op detailniveau inconsistent. Inconsistent: doelen zijn volledig tegenstrijdig.
	3	Tijdsspanne beleidsdoelen	Strategisch: tijdsspanne van meer dan 5 jaar. Tactisch: tijdsspanne tussen 2-5 jaar. Operationeel: tijdsspanne onder 2 jaar.
Communicatie en coördinatie	4	Mate consistentie van percepties	Consistent: percepties binnen de organisatie versterken elkaar. Er is consensus over welke definities en criteria gehanteerd worden, welke standaarden ingevoerd worden en hoe dit kan. Semi-consistent: percepties binnen organisatie zijn neutraal t.o.v. elkaar of op minder belangrijke punten inconsistent. Er is op algemene thema's consensus over welke definities en criteria gehanteerd worden, welke standaarden ingevoerd worden en hoe dit kan, maar de percepties over de details zijn niet consistent. Inconsistent: percepties binnen organisatie zijn actief tegenstrijdig. Er is geen consensus over welke definities en criteria gehanteerd worden, welke standaarden ingevoerd worden en hoe dit kan. Afdelingen of actoren hebben tegenstrijdige percepties.

	5	Mate van hiërarchie binnen de organisatie	Hoog: hiërarchische organisatie. Medium: semi-hiërarchische netwerkorganisatie. Laag: Niet-hiërarchische netwerkorganisatie.
	6	Mate van institutionele effectiviteit op basis van communicatie en coördinatie	Hoog: actoren stemmen implementatie van standaarden volledig met elkaar af. Medium: actoren informeren elkaar over implementatie van standaarden, maar stemmen verder niet met elkaar af. Laag: er is geen informatie-uitwisseling tussen actoren over implementatie van standaarden.
	7	Mate van draagvlak en motivatie van intra-organisationale actoren	Hoog: actoren willen actief standaarden implementeren en zijn positief over de effectiviteit van beleid en mogelijke organisationele veranderingen. Medium: actoren willen standaarden implementeren, maar zijn er niet actief mee bezig en zijn neutraal over de effectiviteit van beleid en mogelijke organisationele veranderingen. Laag: actoren willen standaarden niet implementeren en zijn negatief over de effectiviteit van beleid en mogelijke organisationele veranderingen.
Kennis	8	Mate van (bouw)technische kennis van bruggen	Hoog: veel interne experts met kennis van en ervaring met bruggen, volledig onafhankelijk van externe partijen. Medium: een aantal interne experts met kennis van en ervaring met bruggen, externe ondersteuning nodig. Laag: geen interne experts met kennis van en ervaring met bruggen, volledig afhankelijk van externe experts.
	9	Mate van proceskennis over implementatie van standaarden	Hoog: veel interne experts met kennis van en ervaring met de implementatie van standaarden, volledig onafhankelijk van externe partijen. Medium: een aantal interne experts met kennis van en ervaring met de implementatie van standaarden, externe ondersteuning nodig. Laag: geen interne experts met kennis van en ervaring met de implementatie van standaarden, volledig afhankelijk van externe experts.
Inter-organisatieel			
Communicatie en coördinatie	1	Mate van hiërarchie en autonomie tussen organisaties	Hoog: top-down hiërarchie zonder autonomie. Medium: top-down hiërarchie i.c.m. netwerkstructuur en enige autonomie. Laag: netwerkstructuur zonder hiërarchie met volledige autonomie.
	2	Niveau waarop beleidsdoelen worden bepaald	Inter-organisatieel: doelen bepaald door en/of voor meerdere organisaties. Organisatieel: doelen bepaald binnen de eigen organisatie, voor de hele organisatie. Intra-organisatieel: doelen bepaald binnen en voor eigen onderdelen van de organisatie.
	3	Hoogte van transactiekosten van de implementatie van standaarden	Hoog: door implementatie van standaarden ontstaan er grote risico's voor de implementerende organisatie. Medium: door implementatie van standaarden ontstaan er enige risico's voor de implementerende organisatie. Laag: door implementatie van standaarden ontstaan er geen risico's voor de implementerende organisatie.
Overig			
Informatie-systemen	1	Mate van integratie van databases en data	Hoog: databases zijn volledig consistent met elkaar en worden regelmatig gesynchroniseerd. Medium: databases zijn grotendeels consistent met elkaar en worden gesynchroniseerd, maar bevatten soms verschillende formats en/of data en worden niet altijd gesynchroniseerd.

			Laag: databases bevatten volledig andere formats en/of data en worden niet gesynchroniseerd.
Externe factoren	2	Mate van socio-economische veranderingen	Hoog: de socio-economische situatie is grillig en er is geen solide socio-economische basis voor de implementatie van standaarden. Medium: er zijn socio-economische veranderingen die de basis voor de implementatie van standaarden in zekere mate kunnen ondermijnen, maar niet volledig. Laag: er zijn geen socio-economische veranderingen die de implementatie van standaarden kunnen ondermijnen.

Tabel 3.3. Operationalisatie van de implementatie van kaders.

Nr	Aspecten Dikgedrukt: meetbare variabelen per aspect.	Bron
Asset management van bruggen		
1	Omvang van de asset portfolio	Vanier (2001)
2	Waarde van de asset portfolio	Vanier (2001)
3	Hoeveelheid achterstallige onderhoud van de assets in de asset portfolio	Vanier (2001)
4	Conditie van assets in de asset portfolio	Vanier (2001)
5	Resterende levensduur van de assets in de asset portfolio	Vanier (2001)
6	Volgorde van reparatie van de assets in de asset portfolio	Vanier (2001)
7	Tijdsspanne waarin asset management plaatsvindt (1) Operationeel: binnen 2 jaar; (1) Tactisch: binnen 2-5 jaar; (2) Strategisch: binnen meer dan 5 jaar.	Vanier (2001)
8	Kosten en baten van onderhoud vs. vervanging van een asset	Vanier (2001)
9	Interdependenties op netwerk- en projectniveau	Vanier (2001)
10	Gehanteerde terminologie door onderzoekers en practitioners	Aktan et al. (2000); Kabir et al. (2013)
11	Rolverdeling tussen afdelingen binnen organisatie die verantwoordelijk zijn voor ontwerp, prestatie en organisatie van assets	Aktan et al. (2000); Kabir et al. (2013)
12	Mate van kennis over technische kenmerken van assets	Aktan et al. (2000); Kabir et al. (2013)

13	Mate van onderwijs en onderzoek over asset management	Aktan et al. (2000); Kabir et al. (2013)
Circulair asset management van bruggen		
1	Volledig hergebruik van materiaal- en energiestromen (door middel van de stappen in de R-ladder). Concrete indicatoren: (1) Percentage gerecyclede materialen (2) Percentage hergebruikte materialen (3) Percentage hernieuwbare materialen (4) Percentage recyclebare materialen	Ness & Xing (2017); Reike et al. (2018); Coenen et al. (2021)
2	Maximalisatie van de productiviteit van bestaande infrastructuur	Ness & Xing (2017); Reike et al. (2018)
3	Maximalisatie van de effectiviteit van hulpbronnengebruik op basis van de beschikbaarheid van hulpbronnen	Ness & Xing (2017); Coenen et al. (2021)
4	Strategisch asset management van infrastructuur	Ness & Xing (2017)
5	Collaborative economie en beleid : maximalisatie van de functies van hulpbronnen en minimalisatie van het gebruik van hulpbronnen door middel van een deeleconomie	Ness & Xing (2017)
6	Levensduurverlenging van bestaande infrastructuur	Ness & Xing (2017); Reike et al. (2018)
7	Ontwerp van nieuwe infrastructuur op basis van levensduurmaximalisatie, herbruikbaarheid en aanpassingsvermogen . Concrete indicatoren voor bruggen: (1) Robuustheid (<i>levensduurmaximalisatie</i>) (2) Uitbreidbaarheid (<i>aanpassingsvermogen</i>) (3) Verhoogbaarheid (<i>aanpassingsvermogen</i>) (4) Verstevigbaarheid (<i>aanpassingsvermogen</i>) (5) Demonteerbaarheid (<i>herbruikbaarheid</i>) (a) Connecties van componenten (b) Types componenten (c) Posities van componenten (6) Transporteerbaarheid (<i>herbruikbaarheid</i>) (a) Afmetingen gedemonteerde componenten (b) Gewicht gedemonteerde componenten (7) Uniekheid (=mate van standaardisatie) van componenten (<i>herbruikbaarheid</i>)	Ness & Xing (2017); Coenen et al. (2021)

Tabel 3.4. Synthese van de kernaspecten van asset management en circulariteit.

4. Case-study: hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp -Holendrecht (Rijkswaterstaat)

4.1. Achtergrond: totstandkoming en opschaling van hergebruik van liggers

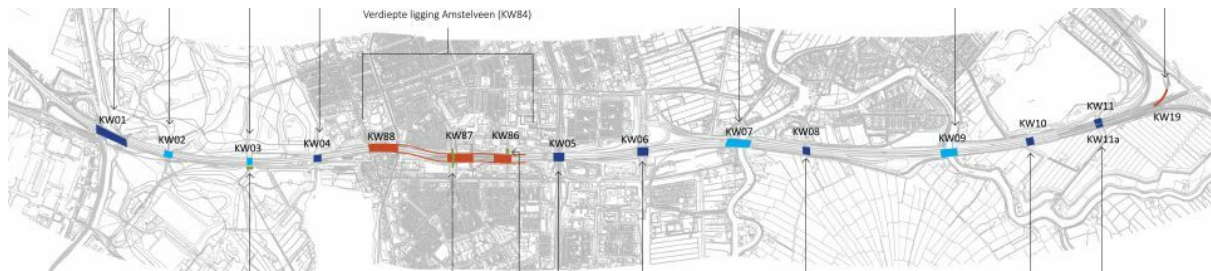
Om de duurzaamheidsdoelen zoals benoemd in het Klimaatakkoord te behalen, is het nationale programma Circulaire Economie opgezet (Ministerie van Algemene Zaken, 2023). Onderdeel hiervan is de strategie “naar een Klimaatneutrale en Circulaire Rijksinfrastructuur” (KCI). Het hoofddoel hiervan is dat alle Rijksinfrastructuurprojecten in 2030 klimaatneutraal en circulair worden (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, z.d.-b). Tegelijkertijd zijn veel bruggen en viaducten verouderd en zullen in de komende decennia gerenoveerd en vervangen worden in het kader van de Vervangings- en Renovatieopgave (Rijkswaterstaat, 2022). De grootste infrastructuurbeheerder van deze bruggen en viaducten is Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, z.d.-b).

Binnen het programma KCI zijn acht “Transitiepaden” opgezet voor de werksoorten met de meeste klimaatimpact (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, z.d.-b). Een van deze transitiepaden is het Transitiepad Kunstwerken. Binnen dit transitiepad zijn per stap op de R-ladder, zoals beschreven door Reike et al. (2018), een aantal reductiestrategieën bepaald. Hergebruik van liggers valt hierbij onder stap 3 (reuse), 6 (repurpose) en 7 (recycle). Verder wordt binnen de roadmap van het Transitiepad Kunstwerken ook circulair asset management als maatregel genoemd. Dit is gedefinieerd als *“In de afweging van onderhoud, vervanging of nieuwe aanleg van kunstwerken kijken naar de hele levenscyclus (of zelfs meerdere levenscycli) en ingezet op waardebehoud, rekening gehouden met vraag en aanbod van materialen, en worden CO2-emissies en primair grondstofgebruik meegewogen (lage MKI).”* (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022). Hergebruik (van liggers) wordt binnen deze roadmap dus gezien als een andere maatregel dan circulair asset management, zonder duidelijke redenering. Echter valt te beargumenteren dat alle genoemde maatregelen in de roadmap, waaronder hergebruik van liggers, een vorm van circulair asset management zijn. Immers wordt door het hergebruiken van liggers gekeken naar meerdere levenscycli van bruggen en wordt ingezet op waardebehoud en vermindering van CO2-emissies en primaire grondstofgebruik, waarmee dit dus kwalificeert als een circulaire asset management maatregel. Dit wordt bevestigd door de Factsheet Circulaire Bruggen en Viaducten (Rijkswaterstaat, 2020).

Om in te zetten op circulaire viaducten, is in 2019 door Rijkswaterstaat een Small Business Innovation Research (SBIR) Circulaire Viaducten opgezet, waarmee marktpartijen uitgedaagd werden om innovatieve oplossingen vanuit de invalshoeken van *“aanleg en vervanging van een viaduct met lagere milieu-impact over de gehele levensduur inclusief opvolgende levenscycli, en herbruikbaarheid van materialen en onderdelen.”* (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2020). Hieruit kwamen uiteindelijk twee consortia voort, namelijk Liggers 2.0 (bestaande uit Dura Vermeer, Royal HaskoningDHV, Haitsma Beton en Vlasman), en Closing The Loop (bestaande uit GBN Groep, Strukton, Antea Group Nederland en Nebest). Deze consortia hebben inmiddels een samenwerkingsovereenkomst ondertekend onder de naam Groene Liggers V.O.F.. Het doel van deze overeenkomst is om de opschaling van het hergebruik van liggers te realiseren. (Rijkswaterstaat, 2023f)

Het eerste praktijkproject waar het **hergebruik van liggers** op grotere schaal toegepast wordt is de **verbreding van de A9 tussen knooppunten Badhoevedorp en Holendrecht (project A9BaHo)** (Rijkswaterstaat, 2023d). Dit is ook het project waar deze case-study zich op richt, waarbij gekeken wordt naar de stand van zaken tot 1 januari 2024. Het oogsten van liggers voor hergebruik in de A9 is in maart 2023 begonnen door de consortia. Hierbij worden liggers geoogst uit de A76 en uit het Karel Keizerviaduct in de A9 als donorviaduct. De verschillende vrijkomende onderdelen worden vervolgens

door het VeenIX-consortium, dat de A9-verbreding verzorgt, toegepast in de A9 (Strukton Civiel, 2023). Het traject van de A9 is getoond in figuur 4.1.



Figuur 4.1. Traject van de A9 tussen knooppunten Badhoevedorp en Holendrecht (Quartel & Nuijens, 2022).

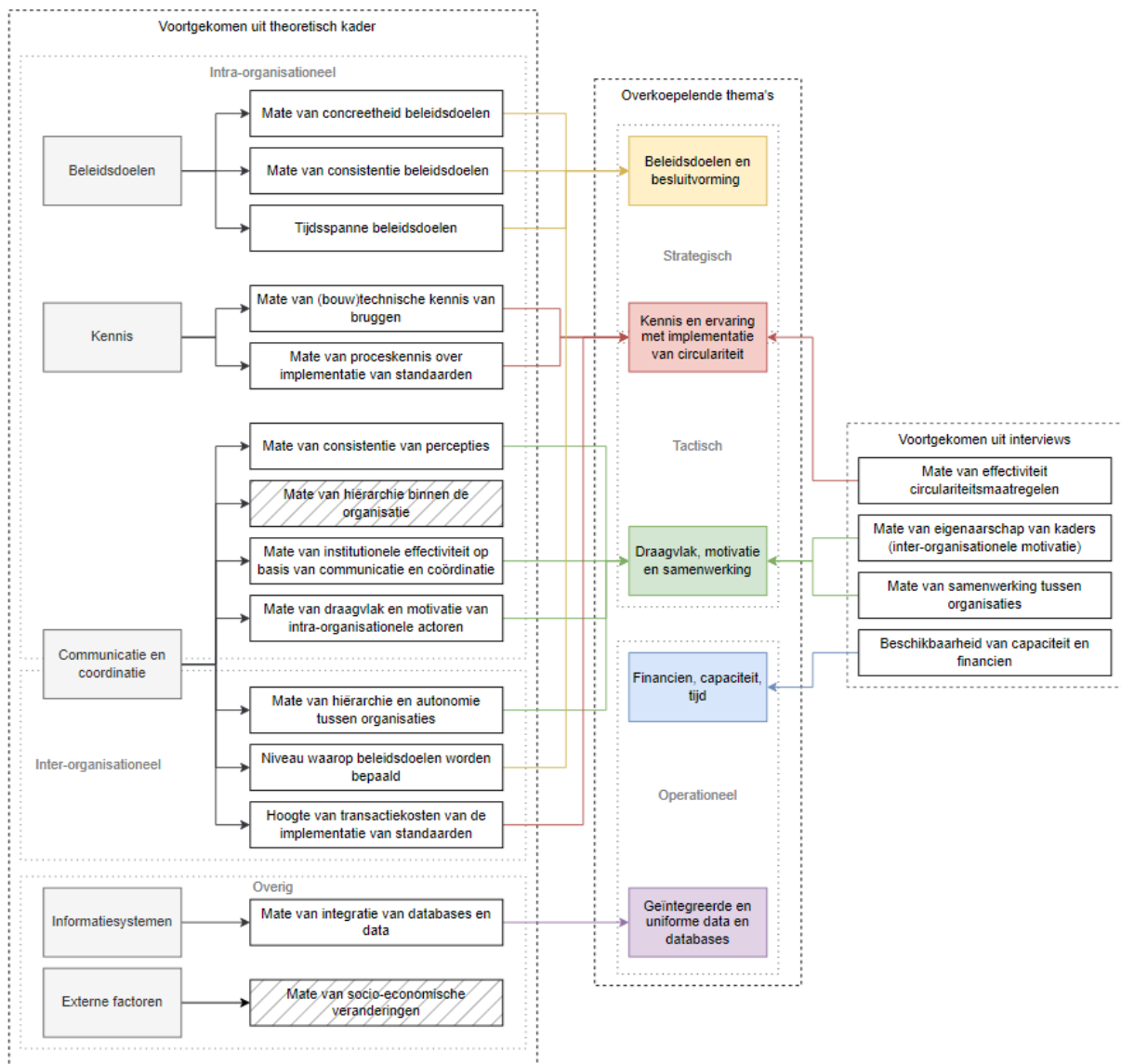
Hergebruikte liggers worden ontworpen en beoordeeld volgens de standaard werkwijze van Rijkswaterstaat. Hierbij worden bruggen en viaducten ontworpen conform de Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK) en beoordeeld conform de Richtlijn Beoordeling Kunstwerken (RBK). De ROK en RBK zijn opgesteld conform de NEN 8700 norm, de Eurocode voor constructieve veiligheid en het Bouwbesluit, waarin technische eisen voor bouwwerken op nationaal niveau zijn bepaald. (Rijkswaterstaat, z.d.-c)

Om de implementatie van circulaire maatregelen zoals hergebruik te bevorderen, zijn er een aantal documenten die de standaard werkwijze van Rijkswaterstaat aanvullen. Zo is er een handreiking hergebruik bruggen door de organisatie van de Bruggenbank opgesteld, al wordt dit volgens interne correspondentie nog niet breed toegepast binnen Rijkswaterstaat (AmRoR, z.d.). Ook zijn, als onderdeel van een advies strategie hergebruik voor Rijkswaterstaat, een aantal onderzoeken uitgevoerd voor verschillende bruggen en onderdelen daarvan (Rijkswaterstaat, 2023c). Hiernaast zijn er een aantal handreikingen voor circulaire maatregelen waaronder hergebruik. Dit omvat vanuit Rijkswaterstaat de handreikingen (1) Verduurzaming MIRT, (2) duurzaamheid in de planfase van VenR en (3) Circulaire economie voor MIRT-projecten (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, z.d.-a; Rijkswaterstaat, z.d.-d). Een handreiking hergebruik liggers is door Rijkswaterstaat in de maak volgens interne correspondentie. Verder zijn er vanuit andere partijen ook de handreikingen (1) Circulair Inkopen in de GWW, (2) Losmaakbaarheid, (3) Circulair Inkopen in 8 stappen en de leidraden (1) Toekomst hergebruik, (2) Paspoorten voor de bouw, (3) Meten van circulariteit en (4) Circulair inkopen/aanbesteden (PIANOO, 2018; PIANOO, 2019; PIANOO, 2020; PIANOO, 2023).

4.2. Resultaten

4.2.1. Van thema's naar variabelen naar thema's

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de interviews in het kader van de case-study naar het hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht door Rijkswaterstaat gepresenteerd en vergeleken met het theoretisch kader. Ten eerste worden een aantal belangrijke thema's gepresenteerd in figuur 4.2. die voortkomen uit het theoretisch kader en de case-study.



Figuur 4.2. Relatie tussen thema's en factoren uit het theoretisch kader en uit de interviews met de gekozen overkoepelende thema's. Legenda: grijs: thema (theoretisch kader), wit: variabele; doorgestreept wit: irrelevante variabele; gekleurd: thema (overkoepelend)

Om tot deze indeling te komen is er eerst open gecodeerd, op basis van de variabelen uit het theoretisch kader en met nieuwe codes uit de interviews. Vervolgens zijn deze variabelen bij het axiaal coderen gekoppeld aan een van de vijf thema's om tot een werkbare indeling te komen voor de implementatie van circulair asset management van bruggen. Er is gekozen voor het gebruik van overkoepelende thema's in verband met de scope van de scriptie, waardoor het analyseren van de vele factoren in het theoretisch kader niet tot zinnige uitkomsten zou leiden. Ook blijken de variabelen "mate van hiërarchie binnen organisatie" en "mate van socio-economische verandering" irrelevant, aangezien deze variabelen niet genoemd zijn tijdens de interviews en er vanuit de secundaire literatuur geen aanleiding is om deze factoren mee te nemen.

4.2.2. Beleidsdoelen en besluitvorming

Ten eerste is er een **gebrek aan concrete beleidsdoelen voor circulaire maatregelen bij de asset management van bruggen** en wordt er **niet genoeg van bovenaf gestuurd** op de implementatie hiervan. Volgens respondent E is de besluitvorming rondom duurzaamheid niet "top-down" genoeg. Dit wordt beaamd door respondent D: "Zodra er botsende belangen zijn, moet op hogerhand een

keuze worden gemaakt, maar van bovenaf wijst men naar beneden.” Echter is de invloed van sturing beperkt volgens respondent D, omdat veel aspecten onderzocht en uitgewerkt moeten worden en dit ook met voldoende sturing een tijdrovend proces blijft voordat opschaling mogelijk is. Het is dus belangrijk om een balans te vinden tussen voldoende sturing, maar ook voldoende ruimte voor ontwikkeling in dit proces.

Het blijkt volgens respondent E ook dat projecten **verouderde scopebeschrijvingen** gebruiken voor de eisen die gesteld worden binnen de scope van aanbestedingen, waarin duurzaamheid niet als eis is opgenomen en circulariteit dus onvoldoende geborgd is. Een oorzaak hiervoor is volgens respondent E dat bestuurders niet genoeg aansturen op de implementatie van duurzaamheid (en circulariteit). Volgens respondent C worden er wel algemene duurzaamheidseisen opgenomen over bijvoorbeeld primair materiaalgebruik, maar wordt er niet genoeg gestuurd op het opnemen van concrete prestatie-eisen, terwijl Rijkswaterstaat een voorbeeldrol heeft in de sector en door de toepassing van concrete eisen ook andere actoren in de markt zou bewegen tot de implementatie van circulariteit. De consequentie hiervan is dat de implementatie van circulaire maatregelen door Rijkswaterstaat en andere infrastructuurbeheerders achterblijft.

Het **gebrek aan concretisering** geldt ook voor de **overkoepelende beleidsdoelstellingen**. Zo zijn de doelstellingen van het programma “naar een Klimaatneutrale en Circulaire Rijksinfrastructuur” volgens respondent A eerder ambitiedoelen dan sturende doelen door de de uitwerking ervan, alhoewel respondent C stelt dat deze nationale doelen wel concreet genoeg zijn. Volgens Respondent F zijn er ook op Europees niveau geen goede normen voor hergebruik van bestaande constructies, waardoor de implementatie van hergebruik door infrastructuurbeheerders wordt bemoeilijkt. Een goede oplossing zou volgens respondent F een **aanpassing van nationale en EU-wetgeving zijn**, waarin zou staan dat de NEN-8700 normen voor constructieve veiligheid van bestaande bouw ook gelden bij onderdelen van een nieuwe brug die hergebruikt worden.

Een ander pijnpunt is de **ontoereikende besluitvorming rondom de business case en financiën** van hergebruik van liggers. Ze is er volgens respondent A onvoldoende besluitvorming rondom investeringen in circulariteit in concrete termen, bijvoorbeeld in de **acceptabele kosten per ton CO2 bespaard**. Een mogelijke oplossing hiervoor zou volgens respondent C een **handleiding** zijn waarin staat hoeveel euro per ton CO2 bespaard acceptabel is in verschillende situaties. Volgens respondent C zit er veel potentie in het hergebruiken van liggers en is hier ook budget voor beschikbaar in theorie, maar blijven investeringen in praktijk achter omdat er **geen strategie hergebruik** is en **onduidelijk is welke actor welke investeringen moet doen voor circulaire hergebruiksmatregelen**. Tegelijkertijd durft de markt volgens respondent C niet het risico te nemen om te investeren in innovatieve hergebruiksmatregelen, waardoor verdere opschaling achterblijft.

Een voorbeeld van ontoereikende financiële besluitvorming is volgens respondent B dat de **kosten van de opslaglocatie van liggers** nu per batch liggers worden doorberekend. Hierdoor wordt de business case voor hergebruik van liggers onaantrekkelijk door de keuze om alleen de opslaglocatie voor pilots te financieren, terwijl er nog 600 andere liggers zijn die op dezelfde plek opgeslagen zouden kunnen worden waardoor de kosten per ligger veel lager zouden uitkomen. Dit gebeurt echter niet, omdat besluitvorming uitblijft. Dat de financieel-economische keuzes rondom hergebruik uit de weg worden gegaan, blijkt ook volgens respondent D: *“Als we meer aan duurzaamheid gaan doen, waar gaat dit ten koste van? Projectkosten, hoeveelheid hinder, opleverdata? Ergens moet iets vandaan gehaald worden om meer te doen op duurzaamheid”*.

4.2.3. Kennis en ervaring met implementatie van circulariteit

In praktijk blijkt er een **gebrek te zijn aan breed gedragen kaders voor de implementatie van hergebruik van liggers** als een vorm van circulair asset management. Uit de documentanalyse bleek dat er een kader voor hergebruik van liggers in de maak is en dat er geïmplementeerde kaders zijn

voor circulaire maatregelen, maar niet gericht op hergebruik van liggers of circulair asset management van bruggen. Zo beweert respondent A dat betrokkenen die participeren in hergebruik van liggers “frontrunners” zijn en dat erkende methodes voor het toetsen van hergebruikte liggers nog in ontwikkeling zijn, waardoor het moeilijk is om alle betrokkenen in het proces, zoals overheden in de rol van bevoegd gezag, mee te krijgen. Respondent A benadrukt hierbij dat standaardisatie het proces zou vergemakkelijken. Het **opstellen van een standaard voor hergebruik binnen Rijkswaterstaat** is volgens respondent F een doel van de opschaling van het hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht.

Volgens respondent B en C zijn veel kaders nog niet ontwikkeld omdat onduidelijk is wat men precies wil bij hergebruik van liggers, aan welke **randvoorwaarden** daarbij moeten worden voldaan en hoe de **projectbeheersing** hiervan aangepakt moet worden. Vaak wordt deze projectbeheersing volgens respondent C onderschat. Anderzijds blijkt het volgens respondent B moeilijk om bijvoorbeeld een **herbruikbaarheidsscan** grootschalig te implementeren en wordt dit niet door de markt gedaan, omdat de randvoorwaarden die grootschalige implementatie van metingen van herbruikbaarheid mogelijk kunnen maken nog ontbreken. Er zijn immers al wel algemene kaders, maar hier staan alleen algemene aanbevelingen in over maatregelen en geen randvoorwaarden die deze maatregelen al dan niet mogelijk maken.

Aanvullend hierop is het volgens respondent E en F zo dat er veel **richtlijnen en wetgeving zijn voor bestaande bouw en voor nieuwbouw, maar dat hergebruik hiertussen valt**, waardoor de opschaling wordt bemoeilijkt. Respondent C legt dit zo uit: *“Objecten worden vooral ontworpen aan de hand van Europese richtlijnen, ontwerprichtlijnen en ... de ROK voor nieuwe kunstwerken. Hier staan soms ... eisen voor duurzaamheid in, maar er is geen specifiek kader voor circulariteit.”* Op dit moment worden hergebruikte liggers getoetst aan de normen van nieuwbouw. Het zou volgens respondent F echter beter zijn als er hier aparte wetgeving of normen voor zouden komen.

Het **gebrek aan kennis** blijkt verder een **sectorbreed probleem** te zijn waarvan de effecten ook binnen Rijkswaterstaat merkbaar zijn. Zo is er volgens respondent A een toenemende schaarste aan personeel met een (civiel)technische achtergrond, waardoor **risico's anders en soms incorrect worden geschat door mensen in het veld die onvoldoende (technische) kennis hebben**. Ook **blijft veel kennis niet binnen de overheid en blijft de kennisdeling achter**. Volgens respondent A wordt veel kennis ingehuurd, vooral bij lagere overheden. Volgens respondent B zijn de regio-onderdelen van Rijkswaterstaat en lagere overheden vaak nog niet bezig met circulariteit: *“...ze zijn allemaal wel bezig met duurzaamheid, maar vaak betreft dit alleen energiebesparing of energiewinning of wat dan ook...”* Ook wanneer de kennis wel beschikbaar wordt gesteld, weten instanties deze kennis vaak niet te vinden volgens respondent F. Een voorbeeld hiervan is het SBIR Circulaire Viaducten, waarvan de vergaarde kennis open-source is en op de site is gepubliceerd, maar volgens respondent F niet volledig wordt benut. Het achterblijven van kennisdeling is niet beperkt tot overheidsinstanties. Ook de markt moet deze kennis zien te vinden volgens respondent F.

Het gebrek aan kennis en ervaring leidt tot **extra risico voor betrokkenen en vermindert het vertrouwen tussen betrokkenen**. Zo zijn volgens respondent F aannemers **eindverantwoordelijke** voor de gebruikte materialen en staat in contracten dat ze liggers moeten hergebruiken, terwijl er nog onvoldoende bekend is over de risico's hiervan. Dit betreft volgens respondent F voornamelijk **procesrisico's** en niet zozeer technische risico's. Het is immers niet zo dat de veiligheid in het geding komt aangezien er altijd moet worden voldaan aan nieuwbouweisen, maar wel dat het tijdig verkrijgen van vergunningen voor aannemers een uitdaging kan zijn met de huidige werkwijze en onbekendheden rondom hergebruik van liggers en de eigenschappen van liggers in oudere constructies. Volgens respondent A zou een **uniforme en bewezen werkwijze** goed zijn voor het vertrouwen, wat nogmaals het belang van de toetsbaarheid, uitvoerbaarheid en wetenschappelijke onderbouwing van kaders voor circulair asset management benadrukt.

4.2.4. Draagvlak, motivatie en samenwerking

Ten eerste is er sprake van **veel betrokkenen in de keten van hergebruik** waardoor de samenwerking veel energie kost, zoals respondent B aangeeft: *“...als je het ene dominosteentje laat vallen, dan moet er een hele reeks mee omvallen. ... En in dit geval denk ik dat je kan spreken van een domino rij waar allerlei onderbrekingen zitten. ...de keten is nog niet ingericht.”* Tegelijkertijd worden **strategische keuzes** volgens respondent B vaak in **kleine groepen door de strategische top** gemaakt, waardoor de uitvoerders op de werkvloer niet betrokken worden en het draagvlak achterblijft. Ook is het volgens respondent E bij sommige circulaire maatregelen moeilijk om binnen Rijkswaterstaat **een interne opdrachtgever te vinden die eigenaarschap neemt van het project**. Immers zijn projecten volgens respondent E vaak pas succesvol als er een medewerker uit de strategische top eigenaarschap neemt van het project, waarmee er draagvlak gecreëerd wordt. Bij hergebruik van liggers blijkt dit een uitdaging, waardoor het organiseren van draagvlak binnen Rijkswaterstaat en de infrastructuursector in het verlengde daarvan wordt bemoeilijkt.

Binnen Rijkswaterstaat blijkt verder een **cultuurverandering** nodig te zijn om circulair asset management te implementeren, wat volgens respondent C en D niet zonder uitdagingen verloopt. Immers heeft Rijkswaterstaat volgens respondent C veel objecten waarbij de economische schade of verkeershinder groot zou zijn in het geval van storingen of problemen, waardoor er een gedachtegang van risico-aversiteit heerst. Zo benoemt respondent C dat er werkwijzen klaarliggen voor het meten van circulariteit, maar dat dit niet is opgeschaald of geïntegreerd door een gebrek aan draagvlak en motivatie. Dit wordt door respondent D beaamd: *“Er zijn veel ... beheerders die een gevestigd belang waarborgen. Daar komt een nieuw belang [red. circulariteit] bij aankloppen ... dat nieuwe belang moet altijd harder werken om in die bestaande praktijk een plek te krijgen ... zeker omdat het soms op gespannen voet staat met bestaande waarden.”* Immers moeten duurzaamheidsadviseurs volgens respondent D nu zorgen dat duurzame eisen in elk project worden opgenomen, terwijl dit de standaard zou moeten zijn en geen extra inspanning of capaciteit zou moeten kosten. Specifiek binnen **projectbeheersing** heerst er volgens respondent D in de hele infrastructuursector een cultuur waarin projecten kant-en-klare oplossingen willen die geen extra geld of tijd kosten, maar is dit niet altijd praktisch mogelijk gezien de uitdagingen die innovaties met zich meebrengen. Hierdoor is er minder draagvlak voor circulaire maatregelen en blijft de implementatie van kaders hiervoor achter.

Ook het **draagvlak vanuit de markt en andere overheidsinstanties** is een aandachtspunt. Hoewel Rijkswaterstaat volgens respondent A een **voorbeeldrol** heeft in de sector en daarmee draagvlak kan creëren voor circulaire maatregelen, moeten **alle infrastructuurbeheerders** volgens respondent B offers maken om hergebruik op te schalen. Rijkswaterstaat kan immers niet al haar liggers kwijt op haar eigen wegennet. In de samenwerking met andere overheden valt volgens respondent D nog veel te winnen door bijvoorbeeld een **gezamenlijk kennisplatform** op te stellen en circulaire processen zoals **hergebruik gezamenlijk te organiseren**. Het is volgens respondent C en F ook noodzakelijk dat **de markt meewerkt** aan circulaire maatregelen, maar de **markt blijkt niet gemotiveerd** om dit aan te pakken zonder initiatief van de opdrachtgevers. Dit komt volgens respondent F door de **risico's die marktpartijen lopen**. Voor het implementeren van hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht moest een contract opgebroken worden. Vervolgens staat vast dat er liggers hergebruikt moeten worden en heeft de aannemer daar weinig zeggenschap in, terwijl de aannemer volgens respondent F wel eindverantwoordelijke is. Volgens respondent E is een mogelijke oplossing hiervoor **goed verwachtingsmanagement vanuit opdrachtgevers**. Immers anticiperen marktpartijen met hun business model op de vraag vanuit de overheid in de context van circulaire maatregelen voor infrastructuur, dus als de overheid betrouwbaar en duidelijk aangeeft welke projecten en circulaire maatregelen er aankomen zou de markt hier ook beter op in kunnen spelen en zou er meer draagvlak zijn vanuit de markt voor circulair asset management.

Een ander probleem is het **creëren van draagvlak bij overheden in de rol van bevoegd gezag**. Zo waren er volgens respondent A meerdere overheden als bevoegd gezag betrokken bij hergebruik van

liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht en willen zij allemaal via erkende methodes toetsen die er vaak nog niet zijn om vergunningen af te geven, waardoor er een **afhankelijkheid ontstaat van de betrokken persoon vanuit de overheidsinstanties als bevoegd gezag** volgens respondent F. Volgens respondent E creëert deze **samenwerking op netwerkniveau** het risico op afbreuk op het moment dat bijvoorbeeld een betrokken persoon vertrekt uit de organisatie, waarna niemand meer bij de organisatie **eigenaarschap** neemt van het project en de samenwerking. **Vroegtijdig afstemmen van de opdrachtgevende overheidsinstantie met overheden in de rol van bevoegd gezag** is volgens respondent A een mogelijke oplossing hiervoor.

Een voorbeeld van de samenwerkingsproblematiek is de **opslag van liggers**. Volgens respondent B was het doel om de liggers zo dicht bij de projectlocatie op te slaan, waardoor dit in de Rijkswaterstaat-regio West-Nederland-Noord moest gebeuren. Echter had deze regio tot dan alleen incidenteel ervaring met hergebruik. Om opslag te regelen moesten er daarom veel mensen benaderd worden en kwam de doorbraak pas toen de directie van Rijkswaterstaat op strategisch niveau draagvlak organiseerde door in gesprek te gaan met de directie van Rijkswaterstaat West-Nederland-Noord. Inmiddels is de samenwerking verder bevorderd. Voor de implementatie van maatregelen voor circulair asset management is het dus belangrijk om **op strategisch niveau draagvlak te organiseren met betrokkenen**.

4.2.5. Financiën, capaciteit en tijd

Vanuit de interviews komt het beeld naar voren dat het **gebrek aan middelen, mensen en tijd** een probleem vormt bij de implementatie van hergebruik van liggers. Ten eerste worden de **capaciteit op de arbeidsmarkt** en het **gebrek aan mensen met een (civiel)technische of duurzaamheid achtergrond** benoemd door respondenten A, B, C en D. Ten tweede kan het **gebrek aan financiën** tweeledig worden gezien, namelijk enerzijds een **gebrek aan particuliere zakelijke investeringen in circulaire innovaties** en anderzijds een **gebrek aan overheidsinvesteringen ter ondersteuning van circulaire maatregelen**. Volgens respondent B is er veel meer financiële ondersteuning nodig om tot succesvolle matching te komen voor opschaling van hergebruik van liggers. Dit komt doordat de onzekerheden rondom hergebruik **als risico's afgeprijsd worden**, waardoor hergebruik duur is. Verder zijn de **grondstoffen goedkoper dan het hele proces van hergebruik inclusief opslag**, waardoor de business case onaantrekkelijk blijft. Ten derde geldt het **gebrek aan tijd** voornamelijk op **projectniveau**. Op projectniveau is er in deze fase volgens respondent B nog **veel maatwerk** nodig voor hergebruik van verschillende onderdelen, wat een tijdrovend proces is. Ook staat er volgens respondent D veel **druk op projectplanningen**, waardoor hergebruik en circulariteit, eventueel in samenwerking met andere opdrachtgevers, ondergesneeuwd kunnen raken. Daarnaast kost het door het **gebrek aan areaaldata** veel tijd om data over liggers te achterhalen voor hergebruik, wat weer extra kosten oplevert volgens respondent C.

Het gebrek aan financiën, capaciteit en tijd is volgens respondenten A, B, C en D grotendeels te verklaren door (1) **ontoereikende besluitvorming rondom de business case en financiën** en (2) het feit dat **hergebruik nog in een vroege fase van ontwikkeling zit**, waardoor er veel maatwerk nodig is om kennis en ervaring te vergaren en waardoor er nog veel onderzoek nodig is. Dit is tijdrovend, vereist veel capaciteit en gespecialiseerde kennis en drijft de kosten op. Doordat dit boven de strakke projectplanningen komt, raakt hergebruik en daarmee ook circulariteit ondergesneeuwd in projecten volgens respondent D.

4.2.6. Geïntegreerde en uniforme data en databases

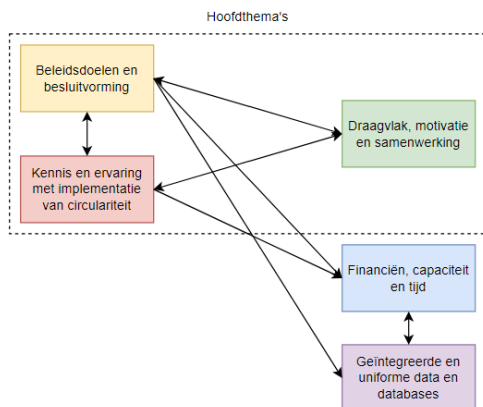
Het op orde brengen van **areaalgegevens** bij asset management bij Rijkswaterstaat blijkt volgens respondenten A en C een uitdaging. Er is geen datasysteem voor een inventarisatie van (vrijkomende) liggers en de eigenschappen daarvan. Tegelijkertijd is goede areaaldata volgens respondent B essentieel voor een functionerend asset management systeem en veroorzaakt het

gebrek aan areaaldata problemen. Respondent A benoemt verder dat er wel **bouwinformatiemodellen** (BIM) in gebruik zijn, maar dat deze vaak niet operationeel zijn. Echter komt volgens respondent B de ontoereikende informatievoorziening voort uit **eerdere besluitvorming om te bezuinigen op het informatievoorzieningsysteem** rondom areaalgegevens van bruggen, waardoor veel data verloren is gegaan. Ook benoemt respondent B dat er grote investeringen nodig zijn om dit weer op orde te krijgen. Dit impliceert dus dat het gebrek aan geïntegreerde en uniforme data en databases voortvloeit uit eerdere besluitvorming en dus ook door het nemen van nieuwe besluitvorming langzamerhand hersteld zou kunnen worden.

4.2.7. Hoofddresultaten

Op basis van de verkregen resultaten komen drie hoofdthema's naar voren als uitdagingen voor de implementatie van hergebruik van liggers. Dit zijn "beleidsdoelen en besluitvorming", "kennis en ervaring met de implementatie van circulariteit" en "draagvlak, motivatie en samenwerking". De uitdagingen bij "financiën, capaciteit en tijd" en "geïntegreerde en uniforme data en databases", blijken voort te komen uit de hoofdthema's. Bij beide van deze thema's blijkt eerdere besluitvorming en een gebrek aan kennis de reden te zijn voor de huidige problematiek. De belangrijkste uitdagingen en kansen zijn samengevat in tabel 4.1.

De relatie tussen de (hoofd)thema's is weergegeven in figuur 4.3. Er blijkt hierbij een wisselwerking te zijn tussen "beleidsdoelen en besluitvorming", "draagvlak, motivatie en samenwerking" en "kennis en ervaring met implementatie van circulariteit". Indien er onvoldoende besluitvorming is rondom circulariteit is het moeilijker om draagvlak te organiseren, maar zolang er geen draagvlak is wordt besluitvorming uitgesteld. Indien er draagvlak is wordt meer kennis vergaard, maar om draagvlak te creëren is het nodig om de effectiviteit van maatregelen door middel van opgedane kennis en ervaring aan te tonen. Indien er voldoende besluitvorming is worden circulariteitsmaatregelen verder geïmplementeerd, maar om beleidsdoelen op te stellen en besluitvorming te organiseren is het nodig om kennis en ervaring te hebben. Verder blijkt dat "beleidsdoelen en besluitvorming" nodig zijn om tot "geïntegreerde en uniforme data en databases" en heeft dit ook invloed op "financiën, capaciteit en tijd". Immers is er volgens de respondenten top-down besluitvorming nodig om de areaaldata in orde te krijgen. Ook is volgens de respondenten expliciet benoemd dat top-down besluitvorming rondom financiën nodig is. Verder blijkt dat "kennis en ervaring met implementatie van circulariteit" van belang is voor "financiën, capaciteit en tijd". Immers komt er druk op de plannings en financiën omdat veel werkwijzen nog niet ingevoerd of uitgewerkt zijn. Als laatste blijkt er een wisselwerking te zijn tussen "financiën, capaciteit en tijd" en "geïntegreerde en uniforme data en databases". Het verkrijgen van areaaldata kost immers veel tijd en geld, maar zonder tijd en geld is het niet mogelijk om die areaaldata überhaupt op orde te brengen.



Figuur 4.3. Relaties tussen (hoofd)thema's.

(1) Beleidsdoelen en besluitvorming (hoofdthema)		
Uitdagingen	1	Gebrek aan concrete beleidsdoelen voor circulair asset management van bruggen
	2	Onvoldoende top-down sturing en besluitvorming bij implementatie van circulaire asset management
	3	Onvoldoende top-down sturing en besluitvorming voor business case en financiering circulair asset management
	4	Gebruik van verouderde scopebeschrijvingen bij projecten, waarin circulariteit onvoldoende is geborgd
Kansen	1	Asset management op strategisch niveau (bij botsende belangen en/of onvoldoende sturing)
	2	Aanpassing nationale en EU-wetgeving ter borging van circulaire kernwaarden in asset management, zoals levensduurmaximalisatie, herbruikbaarheid etc.
	3	Opstellen en optimaliseren van kwantitatieve prestatie-indicatoren, waaronder hulpbronneffectiviteit, ter bevordering van circulair asset management
	4	Opstellen van handvatten waarin verantwoordelijkheden per actor en acceptabele financiële afwegingen zijn uitgestippeld
(2) Kennis en ervaring met implementatie van circulariteit (hoofdthema)		
Uitdagingen	1	Gebrek aan kaders voor implementatie van circulair asset management
	2	Onduidelijkheid over gewenste situatie na implementatie van circulair asset management (bijv. over randvoorwaarden die hergebruik al dan niet mogelijk kunnen maken)
	3	Onderschatten van nodige projectbeheersing bij implementatie van circulair asset management
	4	Verkeerde inschatting van risico's door gebrek aan technische achtergrondkennis bij betrokkenen
	5	Kennis over circulair asset management gaat verloren in verband met inhuur van externen
	6	Ontoereikende kennisdeling tussen betrokkenen in het speelveld
Kansen	1	Opstellen van uniforme en bewezen werkwijzen en standaarden voor circulair asset management
	2	Opstellen van meer onderwijs en onderzoek over circulair asset management, ter bevordering van het inschattingsvermogen van betrokkenen
(3) Draagvlak, motivatie en samenwerking (hoofdthema)		
Uitdagingen	1	Samenwerking kost veel energie door grote hoeveelheid betrokkenen in keten
	2	Achterblijvend draagvlak voor circulaire maatregelen doordat strategische keuzes in kleine groepen worden gemaakt waarbij uitvoerende medewerkers niet altijd worden betrokken.

	3	Heersende gedachtegang van risico-aversiteit resulterend in gebrek aan draagvlak voor implementatie voor klaarliggende werkwijzen en kaders voor circulair asset management
	4	Heersende gedachtegang van kant-en-klare oplossingen zonder financiële of tijdtechnische risico's bij projectbeheersing
	5	Gebrek aan interne opdrachtgevers die eigenaarschap nemen van circulaire projecten, terwijl dit essentieel is voor succesvolle implementatie
Kansen	1	Goed projectmanagement om de financiële en tijdtechnische risico's van circulair asset management te verminderen
	2	Opstellen van gezamenlijk kennisplatform vanuit Rijkswaterstaat met andere overheden over circulair asset management
	3	Gezamenlijk organiseren van circulaire asset management maatregelen vanuit Rijkswaterstaat met andere overheden
	4	Betere verwachtingsmanagement vanuit opdrachtgever naar de markt over circulaire asset management projecten
	5	Vroegtijdig afstemmen vanuit opdrachtgevers met bevoegde gezagen om draagvlak te creëren
	6	Flexibele houding vanuit bevoegde gezagen voor de implementatie van circulair asset management
(4) Financiën, capaciteit en tijd		
Uitdagingen	1	Gebrek aan geschikt personeel door onvoldoende capaciteit op de arbeidsmarkt, zowel in het algemeen als in de context van civiele techniek en duurzaamheid
	2	Gebrek aan particuliere zakelijke investeringen in circulaire innovaties door onzekerheden en omdat grondstoffen goedkoper zijn dan circulaire maatregelen
	3	Gebrek aan overheidsinvesteringen in de ondersteuning van de implementatie van circulaire asset management
	4	Gebrek aan tijd op projectniveau door hoge mate van maatwerk en gebrek aan areaaldata
(5) Geïntegreerde en uniforme data en databases		
Uitdagingen	1	Gebrek aan datasystemen voor een inventarisatie van vrijkomende bruggen en brugonderdelen en de conditie daarvan
	2	Bouwinformatiemodellen (BIM) die niet altijd operationeel zijn
Kansen	1	Gebruik van nieuwe technieken zoals machine learning om inschattingen te maken bij casussen met onvoldoende data

Tabel 4.1. Kansen en uitdagingen voor de implementatie van kaders voor circulair asset management van bruggen per thema.

4.3. Discussie

In deze paragraaf worden de resultaten vergeleken met de wetenschappelijke literatuur in het theoretisch kader, om te bepalen waar de theorie en praktijk al dan niet overeenkomen.

Uit de case-study blijkt ten eerste dat de indeling tussen inter-organisatiele en intra-organisatiele factoren geen toegevoegde waarde heeft, terwijl dit wordt aangeraden door Barrett (2004) en Sabatier (1986). Veel van de factoren die geïdentificeerd werden zijn namelijk zowel inter-organisatieel als intra-organisatieel. Ook de mate van hiërarchie binnen en tussen organisaties blijkt geen belangrijke factor, in tegenstelling tot de uitkomsten van Barrett (2004) en Sabatier (1986). Een betere indeling is op basis van het organisatieniveau en de tijdsspanne waarin de factoren relevant zijn, namelijk strategisch, tactisch en operationeel (Vanier, 2001; Ness & Xing, 2017). Hierbij wordt zowel vanuit het theoretisch kader als vanuit de interviews het belang van strategisch asset management en concrete beleidsdoelen rondom circulariteit benadrukt (Ness & Xing, 2017; Barrett, 2004; Sabatier, 1986). Hierbij is volgens de interviews en de wetenschappelijke literatuur belangrijk om duidelijkheid te bieden rondom de circulariteitsprincipes en taken die elke actor op zich kan nemen (Coenen et al., 2020).

Ten tweede blijkt uit de case-study dat de projectbeheersing van hergebruik van liggers vaak wordt onderschat en dat men vaak kant-en-klare oplossingen wil die tegenstrijdig zijn met de uitdagingen van innovaties zoals hergebruik van liggers. Dit beeld wordt vanuit de wetenschappelijke literatuur bevestigd door Kivilä et al. (2017), die aantoont dat goed projectmanagement essentieel is voor het creëren van draagvlak en de implementatie van duurzaamheidsdoelen. Het gebrek aan financiën, capaciteit en tijd blijkt echter een blinde vlek te zijn in de wetenschappelijke literatuur. Vanier (2001) benoemt het belang van de waarde van de asset portfolio, maar verder is dit punt onbesproken in het theoretisch kader terwijl het volgens de case-study veel impact heeft op de implementatie van kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen.

Ook blijkt dat er suboptimale risico-inschattingen worden gemaakt door een gebrek aan (technische) kennis en dat gebrek aan kennis een organisatiebreed probleem is. Dit sluit aan bij het belang van het bezitten van kennis van de structurele veiligheid en betrouwbaarheid van bruggen en van de technische eigenschappen van bruggen en toont dat dit essentieel is voor het nemen van effectieve managementbeslissingen rondom de asset management van bruggen. Een mogelijke oplossing die vanuit het theoretisch kader voortvloeit, maar niet benoemd wordt door de respondenten, is het opzetten van meer onderwijs en onderzoek rondom (circulair) asset management. Ook toont dit aan dat de splitsing van de afdelingen voor ontwerp, prestatie en organisatie leidt tot institutionele ineffectiviteit. (Aktan et al., 2000; Kabir et al., 2013)

Verder blijkt uit de interviews dat er veel stakeholders zijn in de keten van hergebruik en dat samenwerking hiermee belangrijk is maar ook veel energie kost. Het belang van het meenemen van alle stakeholders wordt echter door zowel de interviews als het theoretisch kader benadrukt (Delmas, 2002; Coenen et al., 2021). Intra-organisatieel bij Rijkswaterstaat blijkt ten eerste vanuit de interviews dat beleid vanuit een top-down perspectief wordt bepaald zoals beschreven door Barrett (2004) en Sabatier (1986), terwijl de relaties en interacties van andere stakeholders onvoldoende wordt meegenomen. Hierdoor ontstaat volgens de respondenten een gebrek aan draagvlak voor uitvoering van maatregelen. Vanuit een theoretisch oogpunt is er dus sprake van een gebrek aan consensus over te implementeren kaders door convergentie in besluitvormingsprocessen en houdt het gebrek aan vertrouwen in de effectiviteit van circulaire maatregelen de cultuurverandering tegen die nodig is om circulair te worden (Short & Kopp, 2005; Delmas, 2002). Er liggen immers al werkwijzen klaar, maar deze worden nog niet genoeg gebruikt. Dit bevestigt het beeld van Barrett (2004) en Sabatier (1986) dat een cultuurverandering pas succesvol kan zijn als nieuwe werkwijzen worden geïmplementeerd als "nieuw normaal". Dit geldt ook vanuit een interorganisatieel

perspectief. Immers heeft Rijkswaterstaat onvoldoende onderhandelingsmacht, zoals beschreven door Barrett (2004) en Sabatier (1986). Ook blijkt het belang van een flexibele houding en een sfeer van vertrouwen tussen betrokken organisaties bij hergebruik van liggers, zoals benadrukt door Delmas (2002). Volgens de interviews is dit vooral een aandachtspunt bij bevoegde gezagen, die volgens Delmas (2002) als regulerende instanties gezien kunnen worden.

Om een goed functionerend (circulair) asset management systeem voor bruggen te hebben, is het volgens de case-study en het theoretisch kader verder van belang om een goed beeld te hebben van de conditie, achterstallige onderhoud en resterende levensduur van bruggen en de onderdelen daarvan. Een oplossing hiervoor is volgens Vanier (2001) het gebruik van datamanagementsystemen zoals bouw-informatiemodellen (BIM). Echter blijkt dat de implementatie hiervan achterblijft voor bruggen. Assaad & El-Adaway (2020) benadrukt de mogelijkheden door gebruik van nieuwe technieken zoals machine learning om de conditie van herbruikbare assets te voorspellen (Assaad & El-Adaway, 2020). In de case-study komt echter geen informatie naar voren over het gebruik van machine learning of dergelijke technieken.

Wel blijkt uit zowel de case-study als het theoretisch kader dat er kwantitatieve prestatie-indicatoren opgesteld en geoptimaliseerd moeten worden om tot beter circulair asset management te komen. Hierbij is het belangrijk om hulpbronneffectiviteit als indicator mee te nemen (Aktab et al., 2001; Kabir et al., 2013; Ness & Xing, 2017; Coenen et al., 2021). Ook is het van belang om nieuwe infrastructuur te ontwerpen op basis van levensduurmaximalisatie, herbruikbaarheid en aanpassingsvermogen (Ness & Xing, 2017; Reike et al., 2018; Coenen et al., 2021). Alhoewel primair materiaalgebruik volgens de de geïnterviewden soms wordt toegepast als indicator in aanbestedingen, blijft de implementatie van dergelijke prestatie-indicatoren en ontwerpaanbevelingen achter door belemmeringen vanuit bestaande wetgeving, een gebrek aan top-down sturing en een gebrek aan draagvlak vanuit betrokkenen.

5. Conclusie

5.1. Inleiding

In deze paragraaf wordt eerst een korte introductie gegeven op het onderzoek. Vervolgens worden de drie opgestelde deelvragen beantwoord, waarmee ook de hoofdvraag wordt beantwoord.

Er is sprake van achterstallig onderhoud van verkeersbruggen en negatieve gevolgen van klimaatverandering op Nederlandse infrastructuur, waardoor de beschikbaarheid, betrouwbaarheid en veiligheid van het Nederlandse (vaar)wegennet in het geding komt. Om deze kernwaarden te borgen en de klimaatdoelen te halen, is een transitie naar circulair asset management van verkeersbruggen noodzakelijk in het kader van de Vervangings- en Renovatieopgave. Om te onderzoeken hoe dit bereikt kan worden is de volgende hoofdvraag opgesteld: *Hoe kunnen uitvoerbare en toetsbare kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen door Nederlandse infrastructuurbeheerders worden geïmplementeerd?*

Hierbij zijn de volgende deelvragen opgesteld:

- (1) *Hoe wordt circulariteit beschreven in de asset management van Nederlandse verkeersbruggen?*
- (2) *Welke kaders zijn geïmplementeerd of in ontwikkeling voor circulariteit en/of asset management van Nederlandse verkeersbruggen?*
- (3) *Tegen welke uitdagingen lopen infrastructuurbeheerders aan bij de implementatie van bestaande kaders voor circulariteit en/of asset management van Nederlandse verkeersbruggen?*

Vervolgens is een literatuuranalyse uitgevoerd om tot een theoretisch kader te komen voor het onderzoek naar de implementatie van circulair asset management van verkeersbruggen. Om deze theorie met de praktijk te vergelijken is er een kwalitatieve case-study uitgevoerd van het hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht door Rijkswaterstaat. Dit is uitgevoerd door middel van observaties, secundaire literatuur en semi-gestructureerde interviews met medewerkers uit het middenkader en de uitvoerende kern bij Rijkswaterstaat. De hoofdvraag wordt beantwoord door middel van een beantwoording van de deelvragen in paragraaf 5.2.

5.2. Conclusies

(1) Hoe wordt circulariteit beschreven in asset management van Nederlandse verkeersbruggen?

Vanuit de case-study blijkt dat circulair asset management kan worden beschreven als het kijken naar meerdere levenscyclij bij de onderhoud, vervanging en aanleg van kunstwerken, waarbij wordt ingezet op waardebehoud door CO₂-emissies en primair grondstofgebruik te minimaliseren en herbruikbaarheid van materialen en onderdelen te maximaliseren. Dit is consistent met een aantal van de gevonden variabelen waarmee circulair asset management van bruggen theoretisch kan worden beschreven: (1) volledig hergebruik van materiaal- en energiestromen), (2) productiviteitsmaximalisatie van bestaande infrastructuur), (3) effectiviteitsmaximalisatie van hulpbronnengebruik (dus minimalisatie van primair grondstoffengebruik), (4) levensduurverlenging van bestaande infrastructuur, en (5) ontwerp van nieuwe infrastructuur op basis van levensduurmaximalisatie, herbruikbaarheid en aanpassingsvermogen. Een aanvulling op deze beschrijving is dat (6) strategisch asset management en (7) het minimaliseren van het gebruik van hulpbronnen in combinatie met het maximaliseren van de functies van hulpbronnen ook als onderdelen van circulair asset management kunnen worden gezien.

(2) Welke kaders zijn geïmplementeerd of in ontwikkeling voor circulariteit en/of asset management van Nederlandse verkeersbruggen?

Vanuit de case-study is naar voren gekomen dat hergebruikte liggers worden ontworpen en beoordeeld volgens de standaard werkwijze van Rijkswaterstaat. Hierbij worden bruggen en viaducten ontworpen conform de Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK) en beoordeeld conform de Richtlijn Beoordeling Kunstwerken (RBK). De ROK en RBK zijn opgesteld conform de NEN 8700 norm, de Eurocode voor constructieve veiligheid en het Bouwbesluit, waarin technische eisen voor bouwwerken op nationaal niveau zijn bepaald.

Om de implementatie van circulaire maatregelen zoals hergebruik te bevorderen, zijn er een aantal documenten die de standaard werkwijze van Rijkswaterstaat aanvullen. Zo is er een handreiking hergebruik bruggen door de organisatie van de Bruggenbank opgesteld, al wordt dit volgens interne correspondentie nog niet breed toegepast binnen Rijkswaterstaat. Ook zijn er, als onderdeel van een advies voor een strategie voor hergebruik door Rijkswaterstaat, een aantal onderzoeken uitgevoerd voor verschillende bruggen en onderdelen daarvan. Hiernaast zijn er een aantal handreikingen die zijn opgesteld voor circulaire maatregelen waaronder hergebruik. Dit omvat vanuit Rijkswaterstaat de handreikingen (1) Verduurzaming MIRT, (2) duurzaamheid in de planfase van VenR en (3) Circulaire economie voor MIRT-projecten. Een handreiking hergebruik liggers is door Rijkswaterstaat in de maak volgens interne correspondentie. Verder zijn er vanuit externe partijen ook de handreikingen (1) Circulair Inkopen in de GWW, (2) Losmaakbaarheid, (3) Circulair Inkopen in 8 stappen en de leidraden (1) Toekomst hergebruik, (2) Paspoorten voor de bouw, (3) Meten van circulariteit en (4) Circulair inkopen/aanbesteden. Echter zijn veel kaders nog in een vroege fase van implementatie en zijn deze kaders niet actief toegepast bij het hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht.

(3) Tegen welke uitdagingen lopen infrastructuurbeheerders aan bij implementatie van bestaande kaders voor circulariteit en/of asset management van Nederlandse verkeersbruggen?

Om uitvoerbare en toetsbare kaders voor circulair asset management te implementeren, zijn de thema's (1) "beleidsdoelen en besluitvorming", (2) "kennis en ervaring met implementatie van circulariteit" en (3) "draagvlak, motivatie en samenwerking" geïdentificeerd als hoofdthema's op basis van de casus van hergebruik van liggers bij de A9 Badhoevedorp-Holendrecht. De belangrijkste uitdagingen en kansen binnen deze thema's zijn samengevat in tabel 4.1. Door de uitdagingen en kansen binnen deze thema's te benutten, kunnen kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen opgesteld worden die uitvoerbaar en toetsbaar zijn. Ook is gebleken dat de thema's (4) "financiën, capaciteit en tijd" en (5) "geïntegreerde en uniforme data en databases" minder relevant zijn, omdat de uitdagingen en kansen binnen deze thema's voortkomen uit de hoofdthema's. De precieze relaties tussen de thema's zijn terug te vinden in figuur 4.3. Er is hierbij een wisselwerking tussen "beleidsdoelen en besluitvorming", "draagvlak, motivatie en samenwerking" en "kennis en ervaring met implementatie van circulariteit". Verder blijkt dat "beleidsdoelen en besluitvorming" invloed hebben op "geïntegreerde en uniforme data en databases" en "financiën, capaciteit en tijd". Ook blijkt dat "kennis en ervaring met implementatie van circulariteit" invloed heeft op "financiën, capaciteit en tijd". Als laatste blijkt er een wisselwerking te zijn tussen "financiën, capaciteit en tijd" en "geïntegreerde en uniforme data en databases".

5.3. Aanbevelingen

In het kader van de Vervangings- en Renovatieopgave en de strategie "naar Klimaatneutrale en Circulaire Rijksinfrastructuur" kunnen een aantal aanbevelingen worden gedaan voor verschillende betrokkenen. Voor medewerkers in de strategische top en het middenkader, zowel bij Rijkswaterstaat als bij andere infrastructuurbeheerders, wordt aangeraden om bij de implementatie van kaders voor circulair asset management van verkeersbruggen (1) meer besluitvorming op zich te nemen bij de implementatie en financiën van innovatieve circulaire maatregelen, (2) concrete beleidsdoelen op te

stellen, (3) medewerkers uit alle lagen te betrekken bij het maken van strategische keuzes, (4) uniforme en bewezen werkwijzen en standaarden op te stellen, en (5) meer onderwijs en onderzoek op te stellen. Verder wordt aan opdrachtgevende overheidsinstanties en opdrachtnemende marktpartijen aangeraden om (1) de kennisdeling met betrokkenen te borgen door gezamenlijke kennisdeling te organiseren en (2) de projectbeheersing van circulaire projecten niet te onderschatten. Ook wordt aan opdrachtgevers aangeraden om (1) vroegtijdig af te stemmen met overheden in de rol van bevoegd gezag en (2) (idealiter op strategisch niveau) eigenaarschap te nemen van innovatieve circulaire projecten ter bevordering van de draagvlak hiervoor. Als laatste wordt aan overheidsinstanties in de rol van bevoegd gezag aangeraden om een flexibele houding aan te houden bij de implementatie van innovatieve maatregelen voor circulair asset management, die soms niet beoordeeld kunnen worden op basis van de bestaande erkende werkwijzen.

5.4. Reflectie

Ten eerste betreft dit een exploratief onderzoek en zijn het theoretisch kader en de interviewvragen gebaseerd op een splitsing van intra-organisationale en inter-organisationale factoren, terwijl uit de case-study blijkt dat de nadruk ligt op uitdagingen en kansen binnen de organisatie en dat veel factoren fluïde zijn en niet in een dergelijke splitsing passen. Ook bleek het te ambitieus om met meetbare, ordinale variabelen te werken zoals beschreven in het theoretisch kader. Het is daarom nuttig om data op te halen over circulaire asset management projecten bij andere infrastructuurbeheerders, zodat de uitkomsten van dit onderzoek vergeleken kunnen worden en er een beter beeld ontstaat van de uitdagingen en kansen rondom circulair asset management.

Ten tweede kunnen de beperkte omvang van het onderzoek en de keuze voor een enkelvoudige case-study als beperking worden gezien. Alleen het hergebruik van liggers is onderzocht door middel van zes interviews binnen Rijkswaterstaat, terwijl dit maar één vorm is van circulair asset management en er meer betrokkenen zijn vanuit andere overheden, kennisinstellingen en marktpartijen die nieuwe inzichten kunnen opleveren. Er zijn ook andere initiatieven op het vlak van circulair asset management te vinden in de infrastructuursector die nieuwe inzichten zouden kunnen opleveren over de vormgeving van de implementatie van kaders voor circulair asset management. Voorbeelden hiervan staan bijvoorbeeld in de Roadmap van het Transitiepad Kunstwerken, zoals genoemd in paragraaf 4.1. Ook is dit een casus die al verder in de implementatiefase zit en kan worden opgeschaald, terwijl veel initiatieven op het gebied van circulair asset management nog niet zo bevorderd zijn. Een mogelijkheid voor vervolgonderzoek is om een breder scala aan cases binnen het veld van circulair asset management te onderzoeken die minder bevorderd zijn en/of door andere infrastructuurbeheerders zijn geïnitieerd en om met meer betrokkenen te spreken.

Ook was er bij de eerste drie interviews onduidelijkheid bij de respondenten vanwege het gebruik van de term “circulair asset management”, omdat dit een term is die binnen het werkveld niet wijdverspreid gebruikt wordt en anders geïnterpreteerd werd dan gewenst. Daarom is na het derde interview gekozen om circulair asset management te beschrijven als “het gehele proces van aanleg, beheer, onderhoud en vervanging van bruggen”, maar dit is een eigen interpretatie van de term asset management en kan als een beperking gezien worden. Ditzelfde geldt voor de woorden “standaarden” en “kaders”. Bij de eerste interviews werden deze woorden al snel anders geïnterpreteerd dan gewenst of ontstond er discussie rondom wat er precies bedoeld werd, waardoor vanaf het derde interview is gekozen om het “kaders in de breedste zin” te noemen.

Als laatste is dit onderzoek beperkt tot alleen implementatie van kaders voor circulair asset management, terwijl veel kaders, zoals geïnterpreteerd in paragraaf 4.1, nog niet geïmplementeerd zijn. Een mogelijkheid voor vervolgonderzoek is om te onderzoeken hoe het proces van totstandkoming van kaders voor circulair asset management loopt of kan lopen. Zo kunnen nieuwe uitdagingen en kansen voor circulair asset management worden geïdentificeerd.

Literatuurlijst

- Aktan, A. E., Çatbaş, F. N., Grimmelsman, K. A., & Tsikos, C. J. (2000). Issues in infrastructure health monitoring for management. *Journal of Engineering Mechanics-asce*, 126(7), 711–724. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9399\(2000\)126:7\(711](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9399(2000)126:7(711)
- AmRoR. (z.d.). Handreiking hergebruik bruggen. In *Nationale Bruggenbank*. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://www.nationalebruggenbank.nl/wp-content/uploads/2021/03/20607-RWS-AMROR-handleiding-bruggen-16PS.pdf>
- Anastasiades, K., Blom, J., Buyle, M., & Audenaert, A. (2020). Translating the circular Economy to bridge Construction: Lessons learnt from a Critical Literature review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 117, 109522. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109522>
- Assaad, R. H., & El-Adaway, I. H. (2020). Bridge Infrastructure Asset Management System: Comparative Computational Machine learning approach for evaluating and predicting deck deterioration conditions. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(3). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)is.1943-555x.0000572](https://doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000572)
- Barrett, S. (2004). Implementation studies: Time for a revival? Personal reflections on 20 years of implementation studies. *Public Administration*, 82(2), 249–262. <https://doi.org/10.1111/j.0033-3298.2004.00393.x>
- CEN. (z.d.). *CEN/TC 350 - SUSTAINABILITY OF CONSTRUCTION WORKS*. iTeh Standards. Geraadpleegd op 20 september 2023, van <https://standards.iteh.ai/catalog/tc/cen/415e8b38-9bf9-455f-b531-96d83acf019d/cen-tc-350>
- Coenen, T. B., Haanstra, W., Braaksma, J., & Santos, J. (2020). CEIMA: a framework for identifying critical interfaces between the circular economy and stakeholders in the lifecycle of infrastructure assets. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104552. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104552>
- Coenen, T. B., Santos, J., Fennis, S. A. A. M., & Halman, J. I. (2021). Development of a bridge circularity assessment framework to promote resource efficiency in infrastructure projects. *Journal of Industrial Ecology*, 25(2), 288–304. <https://doi.org/10.1111/jiec.13102>
- Delmas, M. A. (2002). The diffusion of environmental management standards in Europe and in the United States: An institutional perspective. *Policy Sciences*, 35, 91–119. <https://doi.org/10.1023/A:1016108804453>
- Gemeente Nieuwegein. (z.d.). *Bedieningstijden bruggen*. Geraadpleegd op 11 oktober 2023, van <https://www.nieuwegein.nl/parkeren-en-vervoer/bruggen-en-schepen/bedieningstijden-bruggen>
- Gerring, J. (2006). *Case study research*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511803123>
- Grove, H., & Clouse, M. (2018). Focusing on sustainability to strengthen corporate governance. *Corporate Governance and Sustainability Review*, 2(2), 38–47. <https://doi.org/10.22495/cgsrv2i2p4>
- Institute of Asset Management. (z.d.). *The Circular Economy*. IAM. Geraadpleegd op 19 september 2023, van <https://theiam.org/knowledge/the-circular-economy/>
- IT Exponential. (2020, 20 april). *World Economic Forum: The Netherlands has the best infrastructure in Europe – IT exponential*. Geraadpleegd op 17 september 2023, van <https://www.itexponential.com/news/world-economic-forum-the-netherlands-has-the-best-infrastructure-in-europe/>
- Ivanković, M., Strauß, A., & Sousa, H. (2020). European Review of Performance Indicators towards Sustainable Road Bridge Management. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 173(3), 109–124. <https://doi.org/10.1680/jensu.18.00052>
- Jensen, J. S. (2019). Innovative and sustainable operation and maintenance of bridges. *Structure and Infrastructure Engineering*, 16(1), 72–83. <https://doi.org/10.1080/15732479.2019.1604772>

- Kabir, G., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2013). A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 10(9), 1176–1210. <https://doi.org/10.1080/15732479.2013.795978>
- Kennisportaal Klimaatadaptatie. (z.d.). *Wegen*. Geraadpleegd op 17 september 2023, van <https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/infrastructuur/wegen/>
- Kivilä, J., Martinsuo, M., & Vuorinen, L. (2017). Sustainable project management through project control in infrastructure projects. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1167–1183. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.02.009>
- KNMI. (2023, 9 oktober). *KNMI'23-Klimaatscenario's*. Geraadpleegd op 20 oktober 2023, van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-23-klimaatscenario-s>
- Knott, E., Rao, A. H., Summers, K., & Teeger, C. (2022). Interviews in the Social Sciences. *Nature Reviews Methods Primers*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s43586-022-00150-6>
- Ministerie van Algemene Zaken. (2023, 3 november). *Nationaal Programma Circulaire Economie 2023 - 2030*. Beleidsnota | Rijksoverheid.nl. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2023/02/03/nationaal-programma-circulaire-economie-2023-2030>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (z.d.-a). Handreiking duurzaamheid in de planfase van VenR. In *Rijkswaterstaat*.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (z.d.-b). *Naar klimaatneutrale en circulaire rijksinfrastructuurprojecten*. Geraadpleegd op 19 september 2023, van https://www.duurzame-infra.nl/Portals/0/adam/Content/y0tGQnybGUu1n59WEK4XHQ/Text/Stategie%20klimaatneutrale_circulaire%20infraproject_DEF.pdf
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020). Handreiking Verduurzaming MIRT. In *Rijksoverheid*. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/brochures/2020/03/31/handreiking-verduurzaming-mirt>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2022). Roadmap Transitiepad Kunstwerken. In *Duurzame Infra*. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://www.duurzame-infra.nl/Portals/0/adam/Content/M74VTn6OH0ijWf0f6bZHMq/Text/Roadmap%20Transitiepad%20Kunstwerken.pdf>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2023). Voortgang Ontwikkelplan Asset Management 2.0. In *Rijksoverheid*. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/07/03/bijlage-2-voortgangsrapportage-ontwikkelplan-assetmanagement-voorjaar-2023>
- Mintzberg, H. (1979). *The structuring of organizations: A Synthesis of the Research*. Prentice Hall.
- NEN. (2014, 15 mei). *UIT 68:2014 nl - De nieuwe ISO-normen - Duurzame verandering in managementsystemen*. Geraadpleegd op 20 september 2023, van <https://www.nen.nl/uit-68-2014-nl-195720>
- NEN. (2015, 1 januari). *NEN-EN 16646:2015 en - Onderhoud - Onderhoud in het kader van asset management*. Geraadpleegd op 20 september 2023, van <https://www.nen.nl/nen-en-16646-2015-en-202836>
- NEN. (2021a, februari 1). *NEN-EN-ISO 56000:2021 Innovatiemanagement - Grondbeginselen en verklarende woordenlijst*. Geraadpleegd op 20 september 2023, van <https://www.nen.nl/nen-en-iso-56000-2021-en-279384>
- NEN. (2021b, november 23). *Herziening ISO 55000 en ISO 55001 voor assetmanagement*. Geraadpleegd op 20 september 2023, van <https://www.nen.nl/nieuws/managementsystemen/herziening-iso-55000-en-iso-55001-voor-assetmanagement/>
- NEN. (2023a, augustus 1). *NEN-EN 17680:2023 en - Sustainability of construction works - Evaluation of the potential for sustainable refurbishment of buildings*. Geraadpleegd op 20 september 2023, van <https://www.nen.nl/nen-en-17680-2023-en-313900>

- NEN. (2023b, september 1). *ISO/TS 56010:2023 en - Innovation management - Illustrative examples of ISO 56000*. Geraadpleegd op 20 september 2023, van <https://www.nen.nl/iso-ts-56010-2023-en-315118>
- Ness, D., & Xing, K. (2017). Toward a Resource-Efficient Built Environment: A Literature Review and Conceptual Model. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 572–592. <https://doi.org/10.1111/jiec.12586>
- Niewold, M. (2022, 2 december). *Achterstallig onderhoud aan bruggen eist zijn tol: meer hinder en files de komende jaren*. RTL Nieuws. Geraadpleegd op 17 september 2023, van <https://www.rtlnieuws.nl/economie/artikel/5350571/achterstallig-onderhoud-bruggen-sluizen-zorgt-voor-veel-hinder>
- Penadés-Plà, V., García-Segura, T., Martí, J. V., & Piqueras, V. Y. (2016). A review of Multi-Criteria Decision-Making Methods applied to the Sustainable bridge design. *Sustainability*, 8(12), 1295. <https://doi.org/10.3390/su8121295>
- PIANOo. (2018, oktober). *Handleiding Circulair inkopen in 8 stappen*. PIANOo - Expertisecentrum Aanbesteden. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://www.pianoo.nl/nl/document/16280/handleiding-circulair-inkopen-8-stappen>
- PIANOo. (2019, juli). *Handreiking losmaakbaarheid*. PIANOo - Expertisecentrum Aanbesteden. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://www.pianoo.nl/nl/document/17230/handreiking-losmaakbaarheid>
- PIANOo. (2020, oktober). *Handreikingen circulair inkopen GWW en U&B in 8 stappen*. PIANOo - Expertisecentrum Aanbesteden. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://www.pianoo.nl/nl/handreikingen-circulair-inkopen-gww-en-ub-8-stappen>
- PIANOo. (2023, juni). *Leidraden voor circulair bouwen*. PIANOo - Expertisecentrum Aanbesteden. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://www.pianoo.nl/nl/leidraden-voor-circulair-bouwen>
- Platform Bruggen. (z.d.). *Organisatie en bestuur | Platform Bruggen*. Geraadpleegd op 29 september 2023, van <https://www.platformbruggen.nl/wie-wij-zijn/organisatie-en-bestuur>
- ProRail. (z.d.). *Spoorbruggen*. Geraadpleegd op 29 september 2023, van <https://www.prorail.nl/samenwerken/overheden/spoorbruggen>
- Quartel, K., & Nuijens, D. (2022, 19 december). *Hergebruik Liggers A9*. Cement Online. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://www.cementonline.nl/hergebruik-liggers-a9>
- Reike, D., Vermeulen, W. J., & Witjes, S. (2018). The Circular Economy: New or refurbished as CE 3.0? — Exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246–264. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>
- Richards, K. A. R., & Hemphill, M. A. (2018). A practical guide to collaborative qualitative data analysis. *Journal of Teaching in Physical Education*, 37(2), 225–231. <https://doi.org/10.1123/jtpe.2017-0084>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2020, 3 februari). *SBIR oproep circulaire viaducten*. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/sbir/abc/circulaire-viaducten>
- Rijksoverheid. (z.d.). *Klimaatbeleid*. Klimaatverandering | Rijksoverheid.nl. Geraadpleegd op 21 september 2023, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatbeleid>
- Rijkswaterstaat. (z.d.-a). *Beleidskader Innovatiegericht Inkopen*. Geraadpleegd op 20 september 2023, van <https://www.pianoo.nl/sites/default/files/documents/documents/beleidskaderinnovatiegerichtinkopenrijkswaterstaat.pdf>
- Rijkswaterstaat. (z.d.-b). *Bruggen*. Geraadpleegd op 29 september 2023, van <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegbeheer/bruggen>

- Rijkswaterstaat. (z.d.-c). *Richtlijnen Kunstwerken*. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/kunstwerken>
- Rijkswaterstaat. (z.d.-d). Verdiepende Handreiking Circulaire economie voor MIRT-projecten. In *Leerplatform MIRT*. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van https://leerplatformmirt.nl/publish/library/273/verdiepende_handreiking_circulaire-economie-mirt-projecten.pdf
- Rijkswaterstaat. (2020). Factsheet Circulaire Bruggen en Viaducten. In *Afval Circulair*. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://www.afvalcirculair.nl/publish/library/272/factsheet-bruggen-en-viaducten.pdf>
- Rijkswaterstaat. (2021, 11 maart). Lancering Nationale Bruggenbank: van overheden, voor overheden. *Rijkswaterstaat*. Geraadpleegd op 30 september 2023, van <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2021/03/lancering-nationale-bruggenbank-van-overheden-voor-overheden>
- Rijkswaterstaat. (2022). *Staat van de Infrastructuur*. Geraadpleegd op 18 september 2023, van <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-1b8c5b2b56cc5290ea9c77db7ccc95b90cb97b89/pdf>
- Rijkswaterstaat. (2023a). *Innovatieagenda 2030: Samen Sneller Met Focus Innoveren*. Geraadpleegd op 19 september 2023, van <https://rwsinnoveert.nl/>
- Rijkswaterstaat. (2023b, januari 9). *Innovatie TestCentrum*. Geraadpleegd op 19 september 2023, van <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/innovatie/innovatie-testcentrum>
- Rijkswaterstaat. (2023c, februari 1). *Advies Strategie hergebruik Rijkswaterstaat*. Rijkswaterstaat Publicatie Platform. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://open.rijkswaterstaat.nl/open-overheid/onderzoeksrapporten/@258676/advies-strategie-hergebruik/>
- Rijkswaterstaat. (2023d, maart 16). *Data delen voor beter assetmanagement*. Datagedreven assetmanagement | Rijkswaterstaat & 01. Geraadpleegd op 30 september 2023, van <https://www.magazinesrijkswaterstaat.nl/zakelijkeninnovatie/2023/01/datagedreven-assetmanagement>
- Rijkswaterstaat. (2023e, maart 18). *Inhijzen liggers*. Rijksmediatheek.
- Rijkswaterstaat. (2023f, december 22). Hergebruik van Liggers: Leren door te doen! *Rijkswaterstaat*. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2023/12/hergebruik-van-liggers-leren-door-te-do-en>
- Sabatier, P. (1986). Top-Down and Bottom-Up Approaches to Implementation Research: A critical analysis and Suggested synthesis. *Journal of Public Policy*, 6(1), 21–48. <https://doi.org/10.1017/s0143814x00003846>
- Shaw, G., Walters, R., Kumar, A., & Sprigg, A. (2014). Sustainability in infrastructure asset management. In *Lecture notes in mechanical engineering* (pp. 525–534). https://doi.org/10.1007/978-3-319-06966-1_47
- Short, J., & Kopp, A. (2005). Transport Infrastructure: investment and planning. Policy and research aspects. *Transport Policy*, 12(4), 360–367. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.04.003>
- Sinha, K. C., Labi, S., & Agbelie, B. (2017). Transportation infrastructure asset management in the new Millennium: continuing issues, and emerging challenges and opportunities. *Transportmetrica*, 13(7), 591–606. <https://doi.org/10.1080/23249935.2017.1308977>
- Strukton Civiel. (2023, 15 maart). *Circulaire cirkel start met oogsten Liggers - Civiel NL*. Civiel NL. Geraadpleegd op 17 januari 2024, van <https://struktonciviel.nl/our-stories/news/2023/03/circulaire-cirkel-start-met-oogsten-liggers/>
- Tradowsky, J. S., Philip, S., Kreienkamp, F., Kew, S., Lorenz, P., Arrighi, J., Bettmann, T., Caluwaerts, S., Chan, S., De Cruz, L., De Vries, H., Demuth, N., Ferrone, A., Fischer, E. M., Fowler, H. J., Goergen, K., Heinrich, D., Henrichs, Y., Kaspar, F., . . . Wanders, N. (2023). Attribution of the

- heavy rainfall events leading to severe flooding in Western Europe during July 2021. *Climatic Change*, 176(7). <https://doi.org/10.1007/s10584-023-03502-7>
- Van Wee, G., & Banister, D. (2015). How to write a literature review paper? *Transport Reviews*, 36(2), 278–288. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1065456>
- Vanier, D. J. (2001). Why industry needs asset management tools. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 15(1), 35–43. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0887-3801\(2001\)15:1\(35](https://doi.org/10.1061/(asce)0887-3801(2001)15:1(35)
- VNG. (2022, maart). *Oproep aan kabinet: vergeet onderhoud lokale wegen niet* | VNG. Geraadpleegd op 19 september 2023, van <https://vng.nl/nieuws/oproep-aan-kabinet-vergeet-onderhoud-lokale-wegen-niet>
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and Methods*. SAGE.
- Yin, R. K. (2011). *Applications of case study research*. SAGE Publications. https://study.sagepub.com/sites/default/files/a_very_brief_refresher_on_the_case_study_method.pdf

Appendix A. Zoekstrategie wetenschappelijke literatuur

De zoekstrategie naar wetenschappelijke literatuur voor de literatuurverkenning en het theoretische kader is in dit appendix toegelicht. Hierbij zijn de zoektermen zoals benoemd in dit appendix gebruikt. De wildcard (*) is gebruikt om alle varianten van een zoekterm mee te nemen in een zoekopdracht. Zo is het gebruik van “circular*” in een zoekopdracht gelijk aan het gebruik van “circular AND circularity AND ...”. Ook zijn de aanhalingstekens (“”) gebruikt om op specifieke woorden of combinaties van woorden te zoeken en zijn logische operatoren (AND en OR) gebruikt om exacte combinaties te vinden. Er is gezocht op Scopus en Web Of Science om een compleet en betrouwbaar overzicht te krijgen. Hierbij is gezocht in de titels, abstracts en keywords. Ook is de sneeuwbalmethode gebruikt, waarbij de referenties van het ene wetenschappelijke artikel zijn gebruikt om andere relevante artikelen te vinden.

De gevonden literatuur is vervolgens beoordeeld op relevantie en zo uitgekozen. Bij het theoretisch kader is prioriteit gegeven aan cruciale publicaties waar mogelijk. Dit omvat wetenschappelijke literatuur die veel invloed heeft gehad op het onderzoeksveld. Als criterium voor cruciale publicaties is 200 of meer citaties gehanteerd. Indien dit criterium niet haalbaar was, is prioriteit gegeven aan literatuur gepubliceerd binnen de afgelopen vijf jaar met tenminste 30 citaties, om recente trends en wetenschappelijke kennis(lacunes) op betrouwbare wijze te weergeven.

A.1. Literatuurverkenning

Gebruikte zoektermen en combinaties van zoektermen per onderwerp:

1. Duurzaamheid en innovatie van bruggen

- “((sustainable OR sustainability) OR (innovation OR innovative)) AND (bridge OR bridges) AND infrastructure”,
- “Sustainability bridges”,
- “Innovation bridges”,
- “Circular economy bridges”

2. Duurzaam en innovatief asset management

- “Sustainability asset management”,
- “innovation asset management”,
- “bridge asset management”,
- “infrastructure asset management”,
- “sustainable infrastructure asset management”,
- “sustainable innovative infrastructure asset management”,
- “Circular infrastructure asset management”

3. Duurzaam en innovatief asset management van bruggen

- “sustainable innovative bridge asset management”

A.2. Theoretisch kader

Zoekstrategie per onderwerp:

1. Implementatie van governance

Mogelijke zoektermen: implement*, standard*, norm*, govern*, policy, organisation*, public, government*. infrastructur*

Gebruikte combinaties van zoektermen:

- implement* AND (standard* OR norm*) AND organisation AND public
- implement* AND organisation AND infrastructur*
- implement* AND policy AND infrastructur*

2. Asset management van infrastructuur/bruggen

Mogelijke zoektermen: implement*, "Asset management", "assetmanagement", management, bridge*, infrastructur*

- "infrastructur*" is naast "bridge*" nodig om alleen naar brug infrastructuur te zoeken en niet naar literatuur waarin "bridge*" in een andere context is gebruikt, bijvoorbeeld als een werkwoord.

Gebruikte combinaties van zoektermen:

- (asset management) AND bridge* AND infrastructur*

3. Circulariteit

Mogelijke zoektermen: implement*, circular*, bridge*, infrastructur*, "asset management", "assetmanagement"

- "infrastructur*" is naast "bridge*" nodig om alleen naar bruginfrastructuur te zoeken en niet naar literatuur waarin "bridge*" in een andere context is gebruikt, bijvoorbeeld als een werkwoord.

Gebruikte combinaties van zoektermen:

- circular* AND bridge* AND infrastructure*

Appendix B. Interviews

B.1. Respondenten (Rijkswaterstaat)

In tabel B.1. is een geanonimiseerde lijst van respondenten bij Rijkswaterstaat weergegeven.

Respondent	Rol	Datum en tijd geïnterviewd
A	Programmamanager	23-11-2023 11:00-12:00
B	Coördinerend/specialistisch adviseur	28-11-2023 09:00-10:00
C	Expert vastgoed en infrastructuur	11-12-2023 11:00-12:00
D	Strategisch adviseur	11-12-2023 13:00-14:00
E	(Senior) adviseur	11-12-2023 15:00-16:00
F	Expert vastgoed en infrastructuur	18-12-2023 11:00-12:00

Tabel B.1. Lijst van geïnterviewde respondenten

B.2. Interviewscript

Introductie

[Red. voor begin van interview wordt expliciet gevraagd of het opgenomen en getranscribeerd mag worden] Even voordat we beginnen, bent u er akkoord mee dat ik dit interview opneem zodat het getranscribeerd en gecodeerd kan worden?

U bent uitgenodigd om deel te nemen aan een onderzoek getiteld “Een brug naar circulariteit”. Dit onderzoek wordt uitgevoerd door mij *[red. Pedram Pishahang]* in het kader van de afsluiting van mijn bacheloropleiding van de TU Delft. Het doel van dit onderzoek is om te bepalen welke uitdagingen en kansen er bestaan rondom de implementatie van kaders (intern en extern) voor circulariteit in het proces van aanleg, beheer, onderhoud en vervanging (asset management in letterlijke zin) van verkeersbruggen. Met kaders worden zowel beleidskaders als interne of technische kaders, maar ook standaarden of technische richtlijnen bedoeld, dus in feite kaders in de breedste zin van het woord. Dit interview zal een half uur tot een uur duren. Uw deelname aan dit onderzoek is geheel vrijwillig en u kunt zich op elk moment terugtrekken.

Ik ben van mening dat er geen bekende risico's verbonden zijn aan dit onderzoek; zoals bij elke online gerelateerde activiteit is het risico van een inbreuk echter altijd mogelijk. Uw antwoorden in dit onderzoek zullen zo goed mogelijk vertrouwelijk blijven en uitsluitend geanonimiseerd verwerkt worden. Even ter introductie een aantal vragen aan u:

- (1) Wat is uw functie en positie binnen de organisatie?
- (2) Welke rol vervult u specifiek bij de implementatie van standaarden en/of best practices voor circulariteit, asset management of circulair asset management van verkeersbruggen?
 - (a) Hoe is deze rol gepositioneerd binnen of in relatie met het hergebruik van liggers?

[Red. deze zin is toegevoegd na het interview met respondent C om te zorgen voor betere structurering van de interviews.] Bedankt voor de informatie. Verder wil ik graag het interview verdelen in twee onderdelen, namelijk eerst uitdagingen en kansen binnen de organisatie van Rijkswaterstaat, en vervolgens uitdagingen en kansen in samenwerking met andere partijen.

Intra-organisationale thema's (beleidsdoelen, communicatie & coördinatie, kennis)

Dan wil ik het als eerste even hebben over uitdagingen die **binnen de organisatie spelen** bij de implementatie van kaders voor circulair asset management van bruggen.

- (1) Welke kaders worden nu gehanteerd of zijn in ontwikkeling voor circulair asset management van bruggen of onderdelen daarvan **binnen Rijkswaterstaat**?
- (2) Hoe ervaart u het proces rondom de implementatie van deze kaders binnen **Rijkswaterstaat**? Gaat dat soepel of ingewikkeld?
- (3) Heeft u merkwaardige gebeurtenissen meegemaakt **binnen Rijkswaterstaat** die u zou willen delen hierover?

Inter-organisatorische thema's (communicatie & coördinatie)

Bedankt voor de informatie. Nu wil ik het graag hebben over uitdagingen en kansen die **in samenwerking met andere partijen** spelen. Dit betreft alle andere partijen, dus aannemers, lokale overheden, ministeries etc..

- (1) Zijn er ook standaarden en/of best practices die **niet alleen binnen Rijkswaterstaat, maar ook door andere betrokkenen in samenwerking** worden gebruikt of ontwikkeld?
- (2) Hoe ervaart u het proces rondom de implementatie van deze standaarden **in samenwerking met andere partijen**? Gaat dat soepel of ingewikkeld?
- (3) Heeft u merkwaardige gebeurtenissen meegemaakt **in samenwerking met andere betrokken partijen** die u zou willen delen hierover?

Overige thema's (informatiesystemen, externe factoren) en afsluiting

- (1) Zijn er verder nog ervaringen of punten die u zou willen delen rondom het proces van implementatie van standaarden voor circulair asset management van bruggen?
- (2) Heeft u suggesties voor secundaire literatuur rondom dit onderwerp?
- (3) Heeft u verder tips voor mij rondom dit onderwerp?
- (4) Heeft u interesse om een kopie van mijn scriptie te ontvangen als het afgerond is?


Afsluiting

Dank u zeer voor uw behulpzaamheid en voor het interview. Indien u achteraf nog verdere vragen of opmerkingen heeft kunt u altijd contact opnemen met mij.

Appendix C. Ethische review en informed consent

Ethische review voor bachelorprojecten en informed consent (versie 24-09-2021)

De checklist is speciaal ontwikkeld voor TB bachelorstudenten die binnen hun onderzoek data van mensen zullen verzamelen (middels interviews of surveys). Deze checklist dient voordat er data zal worden verzameld ingevuld te worden. *De checklist kan vervolgens ingediend worden via de assignment "Ethische review voor bachelorprojecten en informed consent" op Brightspace.*

Naam student	Pedram Pishahang
Studienummer	5357284
Titel van het onderzoek	"Een brug naar circulariteit"
Beschrijving van de data die verzameld zal worden. 1. Betreft het (face-to-face) interviews of een (online) survey? 2. Hoe worden deelnemers benaderd? 3. Wat voor type vragen zullen ze beantwoorden?	
<ol style="list-style-type: none">1. Het betreft face-to-face interviews.2. Deelnemers zijn telefonisch, via e-mails en fysiek op het kantoor van o.a. Rijkswaterstaat benaderd.3. Er zullen open vragen gesteld worden, zoals gebruikelijk bij kwalitatieve (semi-gestructureerde) interviews.	
Opening van de interview:	
<p>U bent uitgenodigd om deel te nemen aan een onderzoek getiteld "Een brug naar circulariteit". Dit onderzoek wordt uitgevoerd door Pedram Pishahang in het kader van de afsluiting van mijn bacheloropleiding van de TU Delft.</p> <p>Het doel van dit onderzoek is om te bepalen welke uitdagingen er bestaan rondom de implementatie van standaarden en/of best practices voor circulair asset management van verkeersbruggen, op een manier waarop dit uitvoerbaar en toetsbaar is voor alle Nederlandse infrastructuurbeheerders. Dit interview zal een half uur tot een uur duren.</p> <p>Uw deelname aan dit onderzoek is geheel vrijwillig en u kunt zich op elk moment terugtrekken.</p> <p>Ik ben van mening dat er geen bekende risico's verbonden zijn aan dit onderzoek; zoals bij elke online gerelateerde activiteit is het risico van een inbreuk echter altijd mogelijk. Uw antwoorden in dit onderzoek zullen zo goed mogelijk vertrouwelijk blijven en uitsluitend geanonimiseerd verwerkt worden.</p> <p>Ik bevestig dat het risico van het onderzoek minimaal is, d.w.z. de antwoorden op alle vragen in Tabel 1 zijn "nee":</p>	
Datum: 21 november 2023	Handtekening: 

Tabel 1. Potentiele risico's

Potential Risk	Yes	No
1. Does the study involve participants who are particularly vulnerable or unable to give informed consent? (e.g., children, people with learning difficulties, patients, people receiving counselling, people living in care or nursing homes, people recruited through self-help groups).		X
2. Are the participants, outside the context of the research, in a dependent or subordinate position to the investigator (such as own children or own students)? ¹		X
3. Will it be necessary for participants to take part in the study without their knowledge and consent at the time? (e.g., covert observation of people in non-public places).		X
4. Will the study involve actively deceiving the participants? (For example, will participants be deliberately falsely informed, will information be withheld from them or will they be misled in such a way that they are likely to object or show unease when debriefed about the study).		X
5. Will the study involve discussion or collection of personal sensitive data (e.g., financial data, location data, data relating to children or other vulnerable groups)? Definitions of sensitive personal data, and special cases are provided on the TUD Privacy Team website .		X
6. Will drugs, placebos, or other substances (e.g., drinks, foods, food or drink constituents, dietary supplements) be administered to the study participants? <i>If yes see here to determine whether medical ethical approval is required</i>		X
7. Will blood or tissue samples be obtained from participants? <i>If yes see here to determine whether medical ethical approval is required</i>		X
8. Is pain or more than mild discomfort likely to result from the study?		X
9. Does the study risk causing psychological stress or anxiety or other harm or negative consequences beyond that normally encountered by the participants in their life outside research?		X
10. Will you be offering any financial, or other, inducement (such as reasonable expenses and compensation for time) to participants?		X

¹ **Important note concerning questions 1 and 2.** Some intended studies involve research subjects who are particularly vulnerable or unable to give informed consent. This includes research involving participants who are in a dependent or unequal relationship with the researcher or research supervisor (e.g., the researcher's or research supervisor's students or staff). If your study involves such participants, it is essential that you safeguard against possible adverse consequences of this situation (e.g., allowing a student's failure to complete their participation to your satisfaction to affect your evaluation of their coursework). This can be achieved by ensuring that participants remain anonymous to the individuals concerned (e.g., you do not seek names of students taking part in your study). Please ensure that you include such risks – and how you will mitigate against them in your risk section.

Figuur C.1. *Ethische review en informed consent, ingevuld op 21 november 2023.*