

# Bouwstenen voor beweegbare bruggen

---

Verkenning maatschappelijke  
kosten en baten

**eib**

Economisch Instituut  
voor de Bouw



# Bouwstenen voor beweegbare bruggen

Het auteursrecht voor de inhoud berust geheel bij de Stichting Economisch Instituut voor de Bouw. Overnemen van de inhoud (of delen daarvan) is uitsluitend toegestaan met schriftelijke toestemming van het EIB. Het is geoorloofd gegevens uit dit rapport te gebruiken in artikelen en dergelijke, mits daarbij de bron duidelijk en nauwkeurig wordt vermeld.

Oktober 2017



# Bouwstenen voor beweegbare bruggen

---

Verkenning maatschappelijke  
kosten en baten

---

Paul Groot  
Samira Errami  
Rafael Saitua



Economisch Instituut  
voor de Bouw



## Inhoudsopgave

Voorwoord	7
Conclusies op hoofdlijnen	9
<b>1 Inleiding</b>	<b>15</b>
1.1 Achtergrond	15
1.2 Onderzoeksvragen	16
1.3 Aanpak op hoofdlijnen	16
1.4 Leeswijzer	16
<b>2 Voor- en nadelen van bouwen met IFD-principes</b>	<b>19</b>
2.1 Omschrijving	19
2.2 Voor- en nadelen van IFD-bouwen	20
2.3 Toepassingen in andere sectoren en andere landen	22
2.4 Toepassingsmogelijkheden bij beweegbare bruggen	24
<b>3 Uitvoeringsvarianten</b>	<b>27</b>
3.1 Inleiding	27
3.2 Referentieproject	27
3.3 Nulalternatief en projectalternatief	30
3.4 Te beschouwen effecten	31
<b>4 Effecten van IFD-bouwen</b>	<b>33</b>
4.1 Inleiding	33
4.2 Effecten op bouw- en onderhoudskosten	33
4.3 Effecten op verkeershinder	38
4.4 Effecten op CO <sub>2</sub> -emissies	45
4.5 Andere effecten	45
4.6 Totale effecten	47
4.7 Randvoorwaarden en vervolgacties	48
<b>Bijlage 1 Levensduur brugonderdelen</b>	<b>50</b>
<b>Bijlage 2 Geconsulteerde personen en organisaties</b>	<b>51</b>
<b>EIB-publicaties</b>	<b>53</b>



---

## Voorwoord

---

De komende decennia moeten er in Nederland duizenden bruggen worden vervangen of gerenoveerd. Veel bruggen zijn verouderd, in slechte staat of voldoen niet meer aan de functionele eisen. Dit is een omvangrijke operatie die de beschikbaarheid en bereikbaarheid onder druk zet en veel innovatief vermogen zal vragen. De beschikbare budgetten, de toenemende mobiliteit en de hogere eisen op het gebied van duurzaamheid en circulariteit zorgen hier voor grote uitdagingen waarmee alle infrastructuurbeheerders in Nederland te maken zullen krijgen. In de huidige situatie wordt veelal een unieke oplossing gezocht en wordt maar beperkt geleerd van de ervaringen. Hier lijkt winst te behalen.

De provincie Noord-Holland heeft, als beheerder van een groot aantal bruggen, het initiatief genomen om samen met andere wegbeheerders, ingenieursbureaus, bruggenbouwers, architecten en bouwbedrijven de mogelijkheden te onderzoeken voor het bouwen van beweegbare bruggen op basis van IFD-principes. IFD staat voor industrieel, flexibel en demontabel bouwen. Ofwel werken met gestandaardiseerde bouwstenen die fabrieksmatig zijn geproduceerd, precies in elkaar passen, snel aangebracht kunnen worden én geschikt zijn voor hergebruik.

Vanuit deze ambitie heeft de provincie Noord-Holland het EIB gevraagd om een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) te maken van bruggenbouw op basis van IFD-principes.

Dit rapport is een verkenning van de maatschappelijke kosten en baten en geeft daarmee een eerste beeld van de uitdagingen bij de vervanging van beweegbare bruggen. De conclusies geven richting aan verdere beleidsstappen op dit dossier. De eerste uitkomsten van het onderzoek zijn gepresenteerd op de bijeenkomst 'Stroomversnelling bruggen', die op 20 juni 2017 in Zwolle werd georganiseerd.

Het onderzoek is door de provincie Noord-Holland begeleid, met name Paul Waarts, Pieter van de Werdt en Jan van Asten. Gedurende het onderzoek is veel informatie verkregen uit interviews met een groot aantal vertegenwoordigers van organisaties die betrokken zijn bij dit bruggendossier, zoals opdrachtgevers, marktpartijen en kennisinstellingen. Het EIB dankt alle betrokkenen voor de input, opmerkingen en commentaren in de verschillende stadia van het onderzoek. De verantwoordelijkheid voor de analyse en de conclusies van het onderzoek berust bij het EIB.



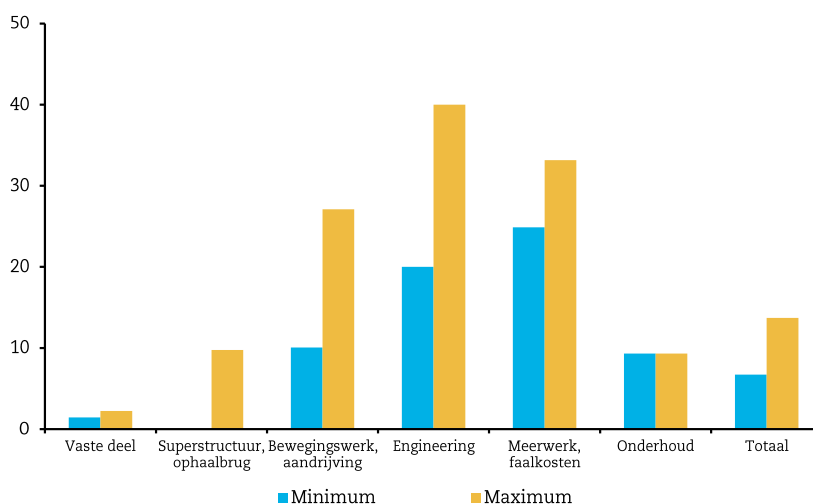
## Conclusies op hoofdlijnen

De vervanging van beweegbare bruggen in Nederland is een omvangrijke opgave voor de komende decennia. Het EIB heeft een haalbaarheidsonderzoek uitgevoerd van de toepassing van IFD-principes bij de toekomstige bouw en vervanging van beweegbare bruggen. In het onderzoek zijn de maatschappelijke kosten en baten in beeld gebracht van verschillende fasen die bij IFD-bouwen kunnen worden onderscheiden, te weten prefabricage, standaardisatie, modularisering en herbruikbaarheid van (elementen van) beweegbare bruggen. Onderstaand volgen de belangrijkste conclusies.

### Vervanging bruggen volgens IFD-principes: substantiële maatschappelijke winsten mogelijk

Bij de vervanging van bruggen in de komende jaren zullen innovatieve oplossingen nodig zijn. Niet alleen vanwege de druk op de financiële middelen, maar ook door de toenemende mobiliteit en de eisen op het gebied van duurzaamheid en circulariteit moet worden gezocht naar nieuwe oplossingen. De toepassing van IFD-principes biedt hiervoor veel perspectief. Een grotere mate van prefabricage en standaardisatie van elementen verlaagt de bouw- en onderhoudskosten (levensduurkosten) van bruggen in totaal met 7 tot 14%. Met name de engineeringkosten en de kosten van bewegingswerk en aandrijving kunnen 30 tot 40% lager uitvallen. Stroomlijning van het hele proces van voorbereiding tot beheer van bruggen vermindert daarbij de faalkosten.

#### Vermindering bouw- en onderhoudskosten van IFD-bouwen per brugonderdeel, minimum- en maximumvariant in vergelijking tot het nulalternatief (%)



Bron: EIB

Bij de vaste delen van bruggen (fundering, kolommen) zijn de besparingen op de levensduurkosten echter beperkt. Van de totale baten bij de levensduurkosten wordt circa 85% behaald in de bouwfase, 15% heeft betrekking op de gebruiksfase.

### **IFD-BOUWEN**

In de bouwkunde staat IFD voor Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen. Industrieel betekent dat onder standaardcondities een element gebouwd wordt (in de fabriek). Flexibel staat voor keuzevrijheid onder de bouwelementen (geen eenheidsworst). Demontabel staat voor het bouwen met elementen met een verschillende levensduur.

In dit onderzoek geven we IFD de betekenis van Interface, Functie en Dimensie. De interface is de koppeling tussen de elementen. De functie geeft aan wat het onderdeel doet of de combinatie van de onderdelen. Dimensie staat voor de maatvoering, stramienmaat.

Daarnaast liggen er grote maatschappelijke winsten in het terugdringen van de verkeershinder bij bouw en onderhoud van bruggen. Verkeershinder treedt bij bruggen vooral op in de bouwfase. In deze fase zorgt IFD-bouwen met een grotere mate van prefabricage en standaardisatie voor een sterke verkorting van de bouwtijd en daarmee voor een beperking van de kosten van verkeersstremmingen en omleidingen. Daarnaast leidt een grotere standaardisatie ertoe dat calamiteiten (bijvoorbeeld aanvaring van een brug) een veel kortere stremmingsduur opleveren.

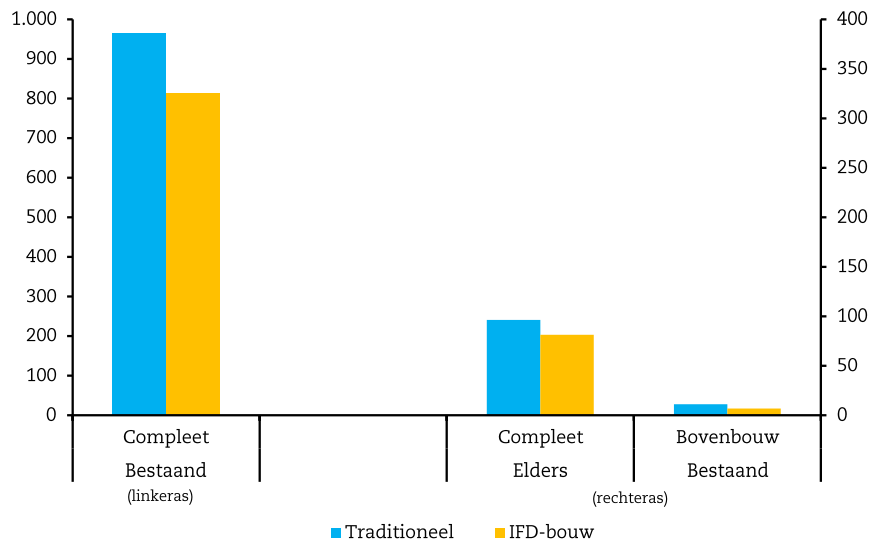
De totale verkeershinderkosten in de bouwfase kunnen bij IFD-bouwen met circa 15% worden teruggedrongen. In situaties waarbij de complete brug moet worden vervangen op de bestaande locatie levert dit een winst op van bijna € 200.000 (annuïteit per jaar).<sup>1</sup> Standaardisatie levert ook in de gebruiksfase minder hinder op (door minder frequent en efficiënter onderhoud). Deze hinder is bij traditionele bouw echter ook al beperkt omdat onderhoud veelal buiten de spijtstijden kan worden uitgevoerd. De verlaging van de hinderkosten met 15% treedt ook op als alleen de bovenbouw moet worden vervangen, al is de winst in absolute termen dan veel kleiner.

---

<sup>1</sup> De kosten zijn in de MKBA-analyse uitgedrukt in een (jaarlijkse) annuïteit. Dit is het economisch equivalent van elke kostenpost op een bepaald tijdstip, uitgedrukt in een vast bedrag per jaar (zoals bij een hypotheek). Zo worden kostenposten met een verschillende levensduur vergelijkbaar, evenals onderhoudskosten met investeringskosten



**Kosten verkeershinder bij traditionele bouw en IFD-bouw, per situatie<sup>1)</sup>  
(annuïteit, dzd €)**



<sup>1)</sup> Zie kader voor de beschrijving

Bron: EIB

Gezien de potentiële maatschappelijke winsten bij complete vervanging van een brug is een gedegen afweging in technisch, ruimtelijk en logistiek opzicht noodzakelijk. Hiervoor kan aan een afzonderlijke MKBA bij individuele bruggen of een reeks van bruggen worden gedacht.

**VERSCHILLENDE SITUATIES VOOR VERVANGING VAN BRUGGEN**

Bij vervanging van beweegbare bruggen kunnen zich verschillende situaties voordoen. In het onderzoek hebben we hierbij onderscheiden:

- complete vervanging van de brug (inclusief het vaste deel) op de bestaande locatie
- complete vervanging van de brug op een andere, nabije locatie
- vervanging van een deel van de brug (alleen de bovenbouw) op de bestaande locatie

In de provincie Noord-Holland komen al deze situaties in de praktijk voor. Complete vervanging op de bestaande locatie heeft daarbij een belangrijk aandeel.

Voor elk van deze situaties hebben we in het onderzoek gekeken naar bruggen met een hoge verkeersintensiteit (werkdaggemiddelde 20.000 voertuigen) en een lage verkeerintensiteit (10.000 voertuigen).

De sterke beperking van de verkeershinder bij IFD-bouwen heeft ook gunstige effecten op de emissies, met name van CO<sub>2</sub>. Deze emissies kunnen eveneens met circa 15% afnemen, wat als een betekenisvolle vermindering kan worden gezien. Daarnaast nemen de emissies enigszins af door het lagere beton- en cementverbruik bij prefabricage.

Op het niveau van bouwelementen zijn de besparingen op de levensduurkosten vergelijkbaar met de bereikte effecten van standaardisatie in andere sectoren. Daarnaast zijn de gevonden effecten op de verkeershinder vergelijkbaar met ervaringen in de Verenigde Staten met de programmatische aanpak 'Accelerated Bridge Construction'. De berekende potentiële winsten kunnen daarom robuust worden genoemd.

Andere aspecten van IFD-bouwen zoals modularisering en hergebruik komen in de huidige situatie nog nauwelijks voor. Ook de toepassing van secundaire materialen is nog zeer beperkt. Gezien de maatschappelijke ambities ten aanzien van circulariteit zijn hier nog stappen te zetten. Hergebruik wordt vaak beperkt door regelgeving en normering voor producten en materialen. Met normering wordt vooral de bestaande praktijk vastgelegd, waardoor innovaties worden belemmerd. Het opzetten van een NTA<sup>2</sup> en de introductie van een materialenpaspoort kunnen hiervoor een oplossing bieden. De voordelige effecten hiervan liggen echter verder in de tijd.

Onderstaande tabel geeft een totaaloverzicht van de maatschappelijke effecten van IFD-bouwen in vergelijking tot de traditionele situatie. Bij de bouw- en onderhoudskosten zijn belangrijke winsten te behalen door IFD-bouwen. Deze voordelen ramen we met een bandbreedte van € 21.000 (annuïteit) tot € 43.000 (annuïteit).<sup>3</sup> Deze bandbreedte geldt voor elk van de onderscheiden situaties. In geval alleen de bovenbouw moet worden vervangen, zijn dit ook de belangrijkste winsten. In geval van complete vervanging van de brug op de bestaande locatie wordt het beeld beheerst door de effecten op de verkeershinder. IFD-bouwen heeft dan echter zeer gunstige effecten voor de hinder in de bouwfase. Deze winsten bedragen dan bijna € 200.000 (annuïteit). In deze situatie zijn er ook substantiële effecten op de emissies die in omvang vergelijkbaar zijn met de besparingen op de levensduurkosten in de minimum-variant. De situatie waarbij complete vervanging plaatsvindt op een andere locatie neemt een middenpositie in. De effecten op de levensduurkosten zijn dan vergelijkbaar met de hindereffecten of komen daar (in de maximum-variant) bovenuit.

---

<sup>2</sup> Nationale Technische Afspraak, dit is een afspraak tussen stakeholders om, vooruitlopend op een NEN-normering, nieuwe materialen of producten te kunnen toepassen.

<sup>3</sup> De hier gepresenteerde bedragen hebben een positief teken en betreffen dan ook baten.

Maatschappelijke effecten IFD-bouwen in vergelijking met nulalternatief bij hoge verkeersintensiteit (annuïteit, dzd €)

Te vervangen onderdelen	Totaal	Totaal	Bovenbouw
Locatie van bouw	Bestaand	Elders <sup>1)</sup>	Bestaand
<b>Bouw- en onderhoudskosten</b>			
Bouwfase	17 - 39	17 - 39	17 - 39
Gebruiksfase	4	4	4
Subtotaal	21 - 43	21 - 43	21 - 43
<b>Kosten verkeershinder</b>			
Bouwfase	189	19	0
Gebruiksfase	6	1	5
Subtotaal	195	20	5
<b>Kosten emissies</b>			
Bouwfase	15	1	0
Gebruiksfase	1	0	1
Subtotaal	16	1	1
<b>Totaal</b>	<b>232 - 254</b>	<b>42 - 64</b>	<b>27 - 49</b>

<sup>1)</sup> Op een andere, nabije locatie

Bron: EIB

**Slim toepassen van IFD-principes: programmatische, integrale aanpak van de bruggenopgave**

De onderzochte IFD-principes zijn niet overal in dezelfde mate toepasbaar. Vooral in een stedelijke omgeving, maar ook daarbuiten is de beeldkwaliteit voor opdrachtgevers vaak een belangrijke eis bij beweegbare bruggen. Gebruik van standaardelementen kan daardoor op gespannen voet staan met de esthetische kwaliteiten van een brug. Standaardisatie zou dan ook in eerste instantie gericht kunnen worden op de niet-zichtbare onderdelen van een brug, op onderdelen die minder gevoelig zijn voor esthetiek zoals de aandrijving, de draaipunten en het betonwerk van het vaste deel, en bij bruggen waar beeldkwaliteit minder belangrijk wordt geacht. Een globale indicatie is dat bij circa 80% van de bruggenopgave een grotere mate van IFD-bouwen kan worden toegepast. Voor 20% is een speciale aanpak nodig<sup>4</sup>. Dit is een voorlopige inschatting die nader zou moeten worden geverifieerd in een bredere inventarisatie van de bruggenopgave.

<sup>4</sup> Bron: Werkatelier 'Beweegbare bruggen à la LEGO'. Delft, 18 april 2017.

Om de potentiële maatschappelijke winsten te kunnen realiseren, zijn veranderingen nodig in de wijze waarop projecten worden voorbereid, uitgevoerd en beheerd. Een programmatische aanpak van de bruggenopgave biedt perspectief waarbij bruggen worden gecategoriseerd naar de omgevings situatie en de verkeersintensiteit. Op basis hiervan kan een aantal standaarden worden vastgesteld die bij bruggen kunnen worden toegepast. Hierbij zouden ook andere infrastructuurbeheerders moeten worden betrokken als andere provincies, grote gemeenten en Rijkswaterstaat. Belangrijk in relatie tot de bruggenopgave is dat een vroegtijdige betrokkenheid van de marktpartijen de optimalisatie van zowel de technische opgaven (zoals standaardisatie) als de maatschappelijke vraagstukken (zoals hindervrij bouwen) dichterbij brengt.

Het toekomstig beheer van beweegbare bruggen is een complexe opgave met veel betrokken partijen waarbij de ruimtelijke omgeving een groot gewicht heeft in de mogelijkheden voor maatschappelijk efficiënt bruggenbeheer. Voldoende marktperspectief is hierbij nodig om de voordelen van IFD-principes te kunnen realiseren. Indicatief moet worden gedacht aan minimaal tien bruggen per jaar. Daarnaast kan worden bekeken of vaste bruggen of viaducten van dezelfde principes gebruik kunnen maken.

Bij IFD-bouwen is van belang dat vroegtijdig kansen en risico's in beeld komen. Onder meer de keuze van de toe te passen aandrijvingstechniek en de vaststelling van essentiële referentiedetails leiden tot besparingen verderop in het proces. Hierbij kan wel een spanning ontstaan met de aanbestedingspraktijk die de laatste jaren steeds meer is geëvolueerd naar functionele specificatie. In het geval van beweegbare bruggen lijkt het tot op zekere hoogte zinvol om cruciale elementen voor te schrijven. Meer inzicht in kansen en risico's kan worden gerealiseerd wanneer één of meer pilotprojecten worden opgezet.

De toepassing van IFD-principes vraagt investeringen in de aanpassing van productie- en logistieke processen. Deze lijken echter geen structurele belemmering te vormen voor IFD-bouwen. Productiefaciliteiten zullen bijvoorbeeld moeten worden toegespitst op de productie van specifieke elementen voor beweegbare bruggen, maar vergen naar verwachting geen grotere aanpassingen dan bij de gebruikelijke productdifferentiatie in de toeleverende bouw.

Een belangrijke voorwaarde voor succes ligt verder in het weghalen van de schotten tussen de aanlegbudgetten en de beheerbudgetten die bij veel infrastructuurbeheerders nog aanwezig zijn. Bij samenvoeging van deze budgetten kunnen makkelijker beslissingen worden genomen op basis van de totale levensduurkosten van bruggen. Budgettaire afstemming zou daarbij gekoppeld moeten worden aan optimalisatie van het proces van asset management zodat bij besluiten tot het bouwen van nieuwe voorzieningen ook de beheerconsequenties in beeld komen.

---

# 1 Inleiding

---

## 1.1 Achtergrond

In de komende jaren is sprake van een omvangrijke vervangingsopgave in de infrastructuur. Ook een groot deel van de bruggen die in de vorige eeuw zijn aangelegd, is door technische en economische veroudering aan vervanging toe. Daarnaast vragen hogere eisen wat betreft capaciteit en kwaliteit (onder meer op het gebied van duurzaamheid) om maatregelen bij het beheer van bruggen. In de recent gepresenteerde Bouwagenda is de toekomstbestendigheid en duurzaamheid van de bruggen in Nederland als belangrijke opgave aangemerkt.<sup>5</sup> Op de infrastructuurmarkt vormt de vervanging van de bestaande infrastructuur dan ook één van de belangrijkste groeimarkten<sup>6</sup>.

Vergroting van het innovatief vermogen in de brede bouw (inclusief opdrachtgevers, toeleveranciers, gebruikers) is daarbij een belangrijke opdracht. Innovatie in de bouw kan worden gestimuleerd door een ambitieuze overheid met heldere doelstellingen, waarbij institutionele belemmeringen weggenomen worden met een programmatische aanpak gericht op voldoende marktperspectief. Ook het genereren en borgen van kennis is daarvoor nodig.<sup>7</sup>

Eén van de richtingen waarin wordt gezocht naar vernieuwing is een programmatische aanpak waarbij niet langer 'brug voor brug' wordt gewerkt, maar waarin de opgaven als één of meerdere pakketten worden beschouwd. Dit maakt schaalbare oplossingen mogelijk, reduceert inefficiënties en zorgt ervoor dat in de loop van de tijd leereffecten kunnen worden bereikt. Het initiatief 'Stroomversnelling bruggen' haakt hierop in.

### **IFD-BOUWEN**

In de bouwkunde staat IFD voor Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen. Industrieel betekent dat onder standaardcondities een element gebouwd wordt (in de fabriek). Flexibel staat voor keuzevrijheid onder de bouwelementen (geen eenheidsworst). Demontabel staat voor het bouwen met elementen met een verschillende levensduur.

In dit onderzoek geven we IFD de betekenis van Interface, Functie en Dimensie. De interface is de koppeling tussen de elementen. De functie geeft aan wat het onderdeel doet of de combinatie van de onderdelen. Dimensie staat voor de maatvoering, stramienmaat.

De provincie Noord-Holland ziet op het gebied van beweegbare bruggen mogelijkheden in bouwen volgens IFD-principes, waarbij niet meer per object een unieke oplossing wordt bedacht met hoge kosten (bouw, onderhoud, beheer en overlast). In plaats daarvan wordt bij het ontwerp van bruggen

---

<sup>5</sup> Taskforce bouwagenda (2017), De bouwagenda; bouwen aan de kwaliteit van leven, Delft.

<sup>6</sup> EIB (2016), Investeren in de infrastructuur; trends en beleidsuitdagingen, Amsterdam.

<sup>7</sup> EIB en Universiteit Twente (2017), Innovatie in de bouw; opgaven en kansen, Amsterdam.

gestreefd naar standaardisatie van de koppelvlakken tussen verschillende brucelementen, zoals de val, de superstructuur en de onderbouw. Deze elementen zijn hierdoor makkelijker te realiseren, te onderhouden en te vervangen. De koppelvlakken hebben met name betrekking op de interface, functie en dimensie.

## 1.2 Onderzoeksvragen

In opdracht van de provincie Noord-Holland heeft het EIB een haalbaarheidsstudie uitgevoerd van het bouwen volgens IFD-principes bij beweegbare verkeersbruggen. De haalbaarheidsanalyse geeft de provincie Noord-Holland handvatten om te bepalen of verdere uitwerking van het IFD-concept interessant is.

In het onderzoek staan de volgende vragen centraal:

- Wat zijn de voor- en nadelen van het bouwen volgens IFD-principes en welke ervaringen zijn er in andere sectoren en in andere landen met (vormen van) bouwen volgens IFD-principes?
- Welke kosten en baten zijn over de hele levensduur verbonden aan de vervanging van bruggen in de huidige situatie met vooral traditionele werkwijzen en welke kosten en baten bij toepassing van bouwen volgens IFD-principes?
- Welke bredere maatschappelijke effecten doen zich voor, zoals de effecten op verkeershinder, circulariteit en emissies en in welke mate lopen deze uiteen tussen traditionele bouw en IFD-bouw?

## 1.3 Aanpak op hoofdlijnen

Het onderzoek is uitgevoerd als maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) waarbij het nulalternatief (de traditionele werkwijze) wordt vergeleken met het projectalternatief (IFD-bouwen). In de MKBA zijn de kosten en baten berekend van een referentieproject. Dit referentieproject is de recente vervanging van de Stolper ophaalbrug. Dit type brug is een vaker voorkomend type bij de provincie Noord-Holland.

Bouwen met IFD-principes is geen doel op zich maar een middel om bruggen efficiënter, duurzamer en flexibeler te kunnen bouwen en beheren. IFD-bouwen kan worden onderverdeeld in een aantal opeenvolgende fasen die deze grotere efficiency, duurzaamheid en flexibiliteit dichterbij kunnen brengen:

- Prefab bouwen
- Standaardiseren van elementen
- Modulair en aanpasbaar bouwen
- Hergebruiken van elementen

## 1.4 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 gaan we nader in op het concept van bouwen met IFD-principes. Daarbij inventariseren we de voor- en nadelen van dit concept en brengen we de belemmeringen in beeld. Ook gaan we in op toepassingen in andere sectoren en in andere landen. De inventarisatie van deze ervaringen gebruiken we, tezamen met een aantal interviews met stakeholders, om de belangrijkste potentiële effecten in beeld te brengen.

Hoofdstuk 3 geeft de conceptuele aanpak van deze MKBA weer. Na een omschrijving van de belangrijkste elementen van een MKBA geven we aan hoe we de haalbaarheid in beeld brengen. Hierbij vergelijken we voor een referentiebrug van de provincie Noord-Holland het nulalternatief (de traditionele werkwijze) met het projectalternatief (toepassing van IFD-principes).

In hoofdstuk 4 beschrijven we de uitkomsten van de analyse. Voor de belangrijkste effecten maken we een vergelijking tussen nulalternatief en projectalternatief. Hierbij onderscheiden we de bouw- en onderhoudskosten (levensduurkosten), de kosten van verkeershinder en de kosten van emissies. Tot slot van hoofdstuk 4 geven we een aantal randvoorwaarden en beperkingen aan van IFD-bouwen, gevolgd door een aantal acties om verdere stappen richting IFD-bouwen te kunnen zetten.





---

## 2 Voor- en nadelen van bouwen met IFD-principes

---

### 2.1 Omschrijving

De komende jaren zullen veel naoorlogse (beweegbare) bruggen moeten worden vervangen. De aanleg en het beheer van bruggen kan volgens de provincie Noord-Holland beter worden aangepakt: efficiënter, slimmer en sneller. Andere sectoren in en buiten de bouw laten zien dat het werken met gestandaardiseerde onderdelen/bouwen met IFD-principes hieraan bij kan dragen. Vooral bij beweegbare bruggen wordt het bouwen volgens IFD-principes als een kansrijke route gezien en worden efficiencywinsten verwacht. Dit type brug wordt nu iedere keer opnieuw ontworpen en combineert veel verschillende technieken (bijvoorbeeld betonbouw, staalbouw en elektrotechniek). Door bouwen volgens IFD-principes kunnen op meerdere terreinen voordelen worden behaald.

IFD-bouwen is hierbij geen doel op zich maar een middel om bruggen efficiënter, duurzamer en flexibeler te kunnen bouwen en beheren. Hierna wordt een aantal opeenvolgende fasen onderscheiden die deze grotere efficiency, duurzaamheid en flexibiliteit dichterbij kunnen brengen:

- Prefab bouwen
- Standaardiseren van elementen
- Modulair en aanpasbaar bouwen
- Hergebruiken van elementen

In het kader van het onderzoek betreft IFD-bouwen onder meer de standaardisatie en industrialisatie van connecties tussen snijvlakken van brugonderdelen van beweegbare bruggen (ook wel interfaces). Daarnaast gaat het ook om andere brugelementen als de aandrijving, de kolommen en de kelder. IFD-bouwen vereenvoudigt niet alleen de bouw van beweegbare bruggen, maar vergemakkelijkt ook het onderhoudsproces, de vervanging (demontage) en de aanpassing in de tijd. Daarbij wordt de levensduur van onderdelen verlengd doordat hergebruik eenvoudiger gerealiseerd kan worden. Bouwen met IFD-principes draagt hiermee ook bij aan de verduurzaming en het circulair aanpakken van de bruggenopgave.

In paragraaf 2.2 gaan we allereerst in op de voor- en nadelen van het bouwen volgens IFD-principes die in de literatuur zijn gevonden en die in de gevoerde gesprekken naar voren zijn gebracht<sup>8</sup>. Paragraaf 2.3 beschrijft ervaringen in andere sectoren en in andere landen. In paragraaf 2.4 geven we in kwalitatieve zin aan welke toepassingsmogelijkheden er op basis van de ervaringen elders zijn voor IFD-bouwen bij beweegbare bruggen. In de hoofdstukken 3 en 4 werken we dit modelmatig uit en geven we kwantitatieve berekeningen van de kansen voor IFD-bouwen bij beweegbare bruggen.

---

<sup>8</sup> Bijlage 2 geeft een overzicht van de geconsulteerde personen en organisaties.

## 2.2 Voor- en nadelen van IFD-bouwen

### Voordelen

In de literatuur en in de gevoerde gesprekken wordt een aantal voordelen van bouwen met IFD-principes genoemd.

- *De beheersbaarheid van het bouwproces en de kwaliteit van het eindproduct nemen toe door de afname van klimaatinvloeden.* Door met IFD-principes te bouwen worden onderdelen van bouwwerken in geconditioneerde omstandigheden in fabrieken gemaakt en (deels) in elkaar gezet. Klimaatinvloeden (vocht, hitte, wind etc.) spelen hierdoor een veel minder grote rol bij de realisatie van bouwwerken, waardoor de kwaliteit toeneemt, onderhoudskosten afnemen en uitvoeringsrisico's afnemen (geen vorstverlet etc.). Het bouwproces wordt hierdoor beter te voorspellen en te beheersen<sup>9</sup>. Hierop aansluitend zouden de faalkosten door de betere beheersing van het bouwproces af kunnen nemen.
- *IFD-bouwen heeft een gunstig effect op de bouwtijd.* Allereerst maakt bouwen met IFD-principes parallel bouwen mogelijk. Hierdoor kunnen verschillende fasen van de bouw tegelijkertijd plaatsvinden, waardoor tijd bespaard wordt. Ten tweede leidt de geïndustrialiseerde productie van gestandaardiseerde onderdelen ook tot kortere productietijden, waardoor de bouwtijd verder afneemt.
- *Snellere realisatie en minder bouw op locatie zorgt voor minder omgevingshinder.* Bij IFD-bouwen wordt een groot deel van de bouw van de bouwplaats naar de fabriek verplaatst. Hierdoor vindt op de bouwplaats zelf vooral het snelle montagewerk (in en op elkaar schuiven van onderdelen) en een deel van de afwerking plaats. De overlast voor de omgeving duurt hierdoor korter en is minder intensief<sup>10</sup>. Ook weggebruikers ondervinden hierdoor korter oponthoud. Vooral bij drukke vaarwegen en bruggen die een belangrijke schakel in het verkeersnetwerk vormen, kan dit van toegevoegde waarde zijn.
- *Bouwen met IFD-principes kan een bijdrage leveren aan veiligere arbeidsomstandigheden.* Voordeel voor werknemers op de bouwplaats is dat er minder ter plaatse gebouwd en gestort hoeft te worden, waardoor ongelukken kunnen worden voorkomen. Daarnaast zal een korter bouwproces ervoor zorgen dat werknemers minder lang blootgesteld zijn aan (verkeers)situaties waarin ongelukken kunnen gebeuren. Dit effect geldt ook voor weggebruikers.
- *IFD-bouwen kan bijdragen aan het verduurzamen van de bouw van beweegbare bruggen.* Gestandaardiseerd bouwen zorgt ervoor dat onderdelen in geconditioneerde omstandigheden in fabrieken geproduceerd worden en op voorraad liggen waardoor er minder verpakkingsmateriaal, minder vervoer en minder bouwafval gecreëerd wordt. Volgens het Engelse instituut voor staalbouw kan bouwafval door modulair bouwen tot wel 30% afnemen (in de woningbouw). Prefabricage van beton kan daarnaast tot minder cementgebruik leiden doordat het uithardingsproces in ideale omstandigheden kan plaatsvinden.<sup>11</sup> Standaardisatie maakt ook het

---

<sup>9</sup> US Department of transportation (2011), Accelerated bridge construction: experience in design, fabrication and erection of prefabricated bridge elements and systems, Publication no: HIF-12-013.

<sup>10</sup> Ross, K. (2002), Non-traditional housing in the UK – A brief review, Building Research Establishment (BRE) commissioned by the Council of Mortgage Lenders.

<sup>11</sup> CE Delft (2016), Update prioritering handelingsperspectieven verduurzaming betonketen 2016, Delft.

hergebruiken van onderdelen eenvoudiger, waardoor de milieu-impact verder kan afnemen.

- *Standaardisering kan de flexibiliteit (aanpasbaarheid) van beweegbare bruggen verhogen.* Het bouwen met gestandaardiseerde componenten die makkelijk in en uit elkaar te halen zijn, leidt tot meer flexibiliteit. Delen kunnen hierdoor eenvoudiger worden toegevoegd, verwijderd en verplaatst, waardoor bruggen in de tijd mee zouden kunnen groeien met veranderende omgevingsfactoren (bijvoorbeeld een hogere of lagere verkeersintensiteit).

## Nadelen

Ondanks dat bouwen volgens IFD-principes perspectief biedt voor de vervangingsopgave van (beweegbare) bruggen, wordt deze manier van bouwen nog vrijwel niet toegepast. In de praktijk treedt namelijk ook een aantal nadelen of belemmeringen op.

- *IFD-bouw en de standaardisatie van brugonderdelen heeft schaal en repeterend vermogen nodig.* Uit verschillende pilotprojecten uitgevoerd in opdracht van het Amerikaanse ministerie van vervoer, waarin geprobeerd is met de zogenoemde 'Accelerated Bridge Construction (ABC)' -technieken bruggen te bouwen, blijkt dat de schaal en het repeterend vermogen erg belangrijk is voor de te behalen voordelen uit prefabricage. De bouwkosten van geprefabriceerd bruggenbouwen liggen 10% tot 30% hoger dan die bij de traditionele bouw van een brug indien de omvang en repeteerbaarheid van het project (of de elementen hierin) klein is, de bouwtijd (inclusief aanbesteding) lang is en er veel gespecialiseerd materieel nodig is<sup>12</sup>. Hierbij moet wel bedacht worden dat in de VS over het algemeen de afstanden tussen fabriek en bouwplaats aanzienlijk groter zijn dan in Nederland en dat in de VS de binnenvaart niet zo'n grote rol speelt als in Nederland.
- *Het ontbreken van kwaliteits- en prestatiegaranties en certificering van gebruikte brugonderdelen verkleint de mogelijkheid tot hergebruik bij standaardisatie.* Naast dat brugonderdelen door het toepassen van IFD-principes makkelijker te vervangen zijn, zou het er ook voor kunnen zorgen dat de herbruikbaarheid van onderdelen wordt vergroot omdat onderdelen makkelijker te verwijderen en elders toepasbaar zijn. Echter, hiervoor ontbreekt essentiële informatie over de kwaliteit van de gebruikte onderdelen en de certificering ervan. Voor (publieke) opdrachtgevers is dit van groot belang omdat het eindproduct veilig te gebruiken moet zijn.
- *IFD-bouwen beperkt de ontwerpvrijheid en kan tot eenheidsworst leiden.* Bouwen met IFD-principes geeft minder ontwerpvrijheid aan architecten omdat alleen binnen de structuur van gestandaardiseerde onderdelen en modules gekeken kan worden naar de inbreng van eigen elementen. Volgens een onderzoek van USP Consultancy onder 700 bouwprofessionals wordt echter ook binnen IFD-bouwen steeds meer een trend naar maatwerk gezien.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> US Department of transportation (2011), Accelerated bridge construction: experience in design, fabrication and erection of prefabricated bridge elements and systems, Publication no: HIF 12-013.

<sup>13</sup> USP Consultancy (2016), Ondanks trend naar modulair bouwen ook trend naar maatwerk in plaats van massaproductie, <https://www.usp-mc.nl/nl/artikel/154/ondanks-trend-naar-modulair-bouwen-ook-trend-naar-maatwerk-in-plaats-van-massaproductie/>.

- *Aanpassingen tijdens de bouw zijn niet eenvoudig te realiseren.* Geprefabriceerde en gestandaardiseerde onderdelen worden zo gefabriceerd dat ze goed in elkaar passen. Daarnaast worden bijvoorbeeld vaak al koven voor leidingwerk aangebracht, waardoor latere aanpassing (tijdens de bouw) moeilijk te realiseren en erg kostbaar is. Bouwen met IFD-principes en modulair bouwen vereist hierdoor voorafgaand aan de bouw een op hoog detailniveau uitgewerkt plan, waar tijdens de bouw niet van afgeweken wordt.<sup>14</sup>
- *Transport en plaatsing van grote onderdelen kan voor problemen zorgen en is duur.* Bouwen met IFD-principes kan gepaard gaan met het vervoeren van grote en zware onderdelen. Dit kan het transport gecompliceerd en kostbaar maken, zeker wanneer speciaal vervoer nodig is. Ook de plaatsing van grote en zware brugonderdelen kan voor problemen zorgen, omdat het materieel niet beschikbaar is of omgevingsfactoren het niet toelaten.<sup>15</sup> Dit bezwaar geldt in Nederland echter minder omdat vaak van de binnenvaart gebruik kan worden gemaakt.

### 2.3 Toepassingen in andere sectoren en andere landen

In andere sectoren zoals de auto-industrie en de computerindustrie (met name consumenten elektronica) wordt al langere tijd gestandaardiseerd geproduceerd. Ook in aanpalende sectoren als de scheepsbouw wordt op deze manier gewerkt. In de bouwsector zelf wordt gestandaardiseerd bouwen vooral in de b&u en in het bijzonder in de bouw van woningen, kantoren en zorgvastgoed toegepast. Ook in andere landen zijn voorbeelden van meer systeemgericht bouwen aanwezig.

#### Auto-industrie

De auto-industrie maakt al geruime tijd gebruik van gestandaardiseerde en geïndustrialiseerde productiemethoden. Al in 1913 startte dit met de lopende band productie van Henry Ford. Dit werd onder meer met Toyota's Production System (TPS) verder doorontwikkeld. Met TPS introduceerde Toyota 'Just in time Delivery' en 'Lean Manufacturing' waardoor de gestandaardiseerde productie van auto's efficiënter en kosteneffectiever werd ingericht. Genoemde voordelen van verdere standaardisatie en modulair inrichten van het productieproces zijn onder meer: de kortere levertijden van onderdelen, het sneller en met minder machines kunnen assembleren, de reductie van transportkosten en het vergemakkelijken van onderhoud<sup>16</sup>. Ondanks de vergaande mate van standaardisatie slaagt de auto-industrie erin om consumenten een breed scala aan types aan te bieden die toegesneden zijn op individuele wensen, bijvoorbeeld de verschillende opties voor afwerking en inrichting van de auto.

---

<sup>14</sup> Na Lu (2007), Investigation of Designers' and General Contractors' Perceptions of Offsite Construction Techniques in the United States Construction Industry, Dissertation Clemson University.

<sup>15</sup> Sri Velamati (2012), Feasibility, benefits and challenges of modular construction in high rise development in the United States: a developer's perspective, MIT.

<sup>16</sup> Matsubara, K. Todd, Pourmohammadi, Hamid (2010), Modular vehicle production method for improved efficiency, quality, and environmental responsibility, International Academy of Business and Economics, Vol10 (2).

## Scheepsbouw

Ook in de scheepsbouw wordt de productie geoptimaliseerd door standaardisatie en modulair bouwen toe te passen. Net als bij beweegbare bruggen werd voorheen ieder schip apart ontworpen en gebouwd. Tegenwoordig past de scheepsbouwer Damen Shipyards hier haar eigen standaard 'de Damen Standaard' toe. Dit houdt in dat de bouw van schepen in standaardmodules wordt opgeknipt (motoren, deksystemen, elektronica, generatoren, kranen etc.) en dat met een aantal gestandaardiseerde en op voorraad gehouden casco's gewerkt wordt. Evenals in de auto-industrie is variatie en maatwerk nog steeds mogelijk in maatvoering, kleur, opbouw en uitrusting. Deze gestandaardiseerde manier van bouwen heeft een positieve invloed gehad op de beheersbaarheid van het bouwproces en daarmee op de doorlooptijd van de bouw en de kostprijs van de schepen. Het aantal ontwerpuren is hierdoor met een factor vier verminderd en op de totale ontwerp- en bouwfase van een 'fast crew supplier' wordt zeker 5% van de tijd en kosten bespaard.<sup>17</sup>

## Burgerlijke en utiliteitsbouw

Modulair bouwen in de b&u is geëvolueerd van het bouwen met zeecontainers naar het bouwen van compleet uitgeruste moderne prefab modules waarmee woningen en kantoren gerealiseerd worden. Uit een enquête onder Amerikaanse architecten, ingenieurs en bouwers blijkt dat een meerderheid van de partijen in de bouw (65%) ondervindt dat door modulair te bouwen het bouwproces beter beheersbaar is en minder kost. Ook geeft ruim driekwart aan dat door modulair te bouwen minder afval ontstaat.

Ook in het zorgvastgoed wordt modulair en prefab bouwen nationaal en internationaal toegepast. Ziekenhuizen in Weert, Amsterdam, Enschede, Parijs en Rusland pasten eerder al modulair bouwen toe. Een studie naar de modulaire verbouwing van een ziekenhuis in München laat zien dat er ten opzichte van een traditionele verbouwing vooral voordelen behaald kunnen worden uit de kortere bouwtijd (doordat er parallel gebouwd kan worden) en de lagere life cycle kosten. Dit betreft vooral de beperking van de omgevingshinder en hierdoor minder gemiste omzet tijdens de verbouwing). Ten opzichte van traditionele bouw werd hierdoor bijna 20% sneller gebouwd en namen de life cycle kosten met ongeveer 5% af over een periode van 30 jaar.<sup>18</sup>

In Australië lijkt prefab en modulair bouwen nog niet van de grond te komen. Met name de gefragmenteerde markt en de grote afstanden tussen steden spelen hierbij een rol. Specifiek wordt ook wel het slechte imago van prefab bouwwerken genoemd: 'cheap and chunky'.<sup>19</sup>

## Bruggenbouw in andere landen

In de Verenigde Staten worden snellere productiemethoden voor bruggen door de overheid gestimuleerd. Met de introductie van ABC-technieken wordt hierbij vooral aangespoord tot het toepassen van prefab onderdelen en systemen. Als voordelen van het toepassen van prefab onderdelen worden onder meer betere

---

<sup>17</sup> Link magazine (2015), Damen Shipyards gestart met pluk 'hogerhangend fruit' van standaardisatie, <http://www.linkmagazine.nl/engineeringsuren-schip-factor-vier-verkleind/>.

<sup>18</sup> J.T. Overbeeke (2013), Modulair Bouwen - Kansen in vergelijking met traditioneel bouwen voor ziekenhuisvastgoed, TU-Delft afstudeerproject.

<sup>19</sup> BIS Oxford economics (2014), A Prefabricated Building Revolution?, [http://www.bis.com.au/a\\_prefabricated\\_building\\_revolution.html/section/4444](http://www.bis.com.au/a_prefabricated_building_revolution.html/section/4444).

arbeidsomstandigheden, minder verkeershinder, verbetering van de maakbaarheid van bruggen, lagere life cycle kosten en een verbetering van de kwaliteit genoemd<sup>20</sup>. Daarbij wordt aangegeven dat een reductie in bouwkosten bij prefab bouwen ten opzichte van traditioneel bouwen vooral afhangt van de grootte van het project, de bouwtijd, het benodigde materieel en de repetitieve elementen in projecten of de repeteerbaarheid van het project zelf. Op de totale kosten van een project kan door het toepassen van ABC-technieken zo'n 25% bespaard worden, inclusief de kosten van verkeershinder.<sup>21</sup>

In Zweden daarentegen stuit meer systeemgericht bouwen op bezwaren, zoals de angst van grote bouwers voor meer concurrentie en de gedachte dat de kwaliteit inferieur is.<sup>22</sup> Ook uit de Nederlandse praktijk blijkt dat de 'landmark'-functie van bruggen en de hoge eisen die aan bruggen gesteld worden als bemoeilijkende factoren gezien worden.

#### 2.4 Toepassingsmogelijkheden bij beweegbare bruggen

De voor- en nadelen van IFD-bouwen die uit de literatuur naar voren komen kunnen niet één-op-één worden vertaald naar de situatie bij beweegbare bruggen. Ervaringen in andere sectoren en andere landen moeten in hun eigen context worden beschouwd, waarbij bijvoorbeeld vraag-aanbodverhoudingen, institutionele omstandigheden en de ruimtelijke aspecten een rol spelen. Ten behoeve van de analyse van de haalbaarheid van IFD-bouwen bij beweegbare bruggen gaan we daarom in deze paragraaf dieper in op de ontwikkelingen in de gww en op de specifieke kenmerken van beweegbare bruggen. Hierbij is onder meer gebruik gemaakt van de inzichten uit de interviews die voor dit onderzoek zijn uitgevoerd.<sup>23</sup>

##### **Beweegbare bruggen: IFD-principes beperkt toegepast**

In vergelijking met andere sectoren wordt in de gww minder gestandaardiseerd gebouwd, maar wordt wel veel met prefabricagetechnieken gewerkt. Zo is bij de bouw van vaste bruggen een groot deel van het betonwerk en de opbouw geprefabriceerd en ook in de spoor- en tunnelbouw worden prefab betonnen en stalen onderdelen toegepast. In tegenstelling tot bij vaste bruggen worden bij de bouw van beweegbare bruggen alleen de stalen opbouw en de val geprefabriceerd. De betonnen onderdelen worden, de funderingspalen uitgezonderd, veelal ter plaatse gestort. Uit de gevoerde gesprekken komt naar voren dat meer prefabricage bij beweegbare bruggen mogelijk is. Een belangrijk effect hiervan zou zijn dat de bouwtijd relatief sterk bekort zou kunnen worden. Meer prefabricage zou daarbij kunnen leiden tot een hogere kwaliteit van de bouwelementen en tot verlaging van de faalkosten. Dit is een belangrijk voordeel aangezien de gww-sector sterk gevoelig is voor weersomstandigheden. De hogere aanvangskwaliteit van bouwelementen is ook gunstig voor de levensduur en kan het onderhoud verminderen. Meer prefabricage met werken in geconditioneerde omstandigheden is daarnaast gunstig voor de

---

<sup>20</sup> US Department of Transportation/Federal Highway Administration, Fact sheet: Priority, Market-Ready Technologies and Innovations - Prefabricated Bridge Elements and Systems.

<sup>21</sup> Orabi, W., et al. (2016), Estimating the Construction Cost of Accelerated Bridge Construction (ABC), Department of Civil and Environmental Engineering & Florida International University.

<sup>22</sup> Larsson, J., Emborg, M. (2011), A study of the future for concrete bridge construction in Sweden, Luleå University of Technology (LTU).

<sup>23</sup> Bijlage 2 geeft een overzicht van de geconsulteerde organisaties en personen.

arbeidsveiligheid. Werken op de bouwplaats kan tot meer verrassingen leiden en daarmee de veiligheid verminderen.

Het hergebruikpotentieel door standaardisering lijkt bij de bouw van beweegbare bruggen nog niet evident. Het Betonakkoord zet partijen wel aan tot het nadenken over hergebruik. Echter, de lange levensduur van bruggen in combinatie met technologische veranderingen, veranderende/hoge eisen en omstandigheden maakt het vinden van toepassingsmogelijkheden niet eenvoudig. Andere genoemde belemmeringen rond de standaardisatie van beweegbare bruggen betreffen net als in Zweden de landmarkfunctie die deze bruggen voor gebieden vervullen en de grote rol van omgevingsfactoren bij de bouw. Een belangrijke randvoorwaarde voor het slagen van IFD-bouwen is daarnaast dat er niet alleen naar de bouw en de techniek, maar naar het hele proces van aanbesteding en ontwerp tot sloop gekeken dient te worden.

Resumerend dienen op basis van de gevoerde gesprekken en ervaringen uit andere sectoren en landen de volgende lessen zich aan.

#### **IFD-principes in andere sectoren veel toegepast, bij bruggenbouw spelen specifieke factoren**

*Omgevingsfactoren spelen een belangrijke rol.* Anders dan bij de productie van computers, auto's, huizen en kantoren, spelen omgevingsfactoren een grote rol bij de bouw van (beweegbare) bruggen. De breedte van de vaarweg, verkeersintensiteiten en de aansluiting op de bestaande infrastructuur verschillen per gebied waardoor de afmetingen en capaciteiten van bruggen verschillend zijn. Daarbij komt dat het ontwerp ook esthetisch in de omgeving dient te passen, waardoor ontwerpen verschillen.

*Landmarkfunctie belemmert standaardisering.* Hierop aansluitend hebben (beweegbare) bruggen vaak een zogenaamde landmarkfunctie voor gemeenten en provincies. Gebieden proberen zich te onderscheiden door het plaatsen van een unieke brug. Standaardisatie zou hier voor meer strikte ontwerpkeuzes zorgen en daarmee de ontwerpvrijheid beperken.

#### **Belangrijke baten te behalen mits naar het hele proces wordt gekeken**

Voorbeelden uit de literatuur en toepassingen in andere sectoren en Amerika laten zien dat prefabricage en standaardisatie belangrijke baten kan opleveren. Samenkomst zorgen standaardisatie en prefabricage voor een betere beheersbaarheid van de bouw (lagere faalkosten en grotere arbeidsveiligheid), meer kwaliteit, lagere engineeringkosten, een duurzamere (minder emissies) en snellere bouw (lagere kosten en minder omgevingshinder) en lagere life cycle kosten (minder onderhoud). De mate waarin deze baten gerealiseerd kunnen worden, hangt af van een aantal randvoorwaarden. Zo dient het hele proces van aanbesteding en ontwerp tot sloop ingesteld te worden op het bouwen met IFD-principes. Ook dienen de huidige knelpunten zoals de ontwerpvrijheid, de schaal die nodig is, de beperkte aanpasbaarheid tijdens de bouw, het transport en de plaatsing van grote onderdelen beter specifiek voor de bouw van (beweegbare) bruggen in kaart te worden gebracht zodat naar doelmatige oplossingsrichtingen gezocht kan worden.

#### **Vooraf prefabricage betonnen onderdelen versnelt beschikbaarheid**

Bij infraprojecten is de beschikbaarheid van de infrastructuur in het algemeen een sterk bepalende factor. Vervangings- en herstelwerkzaamheden aan bruggen zorgen voor een beperktere beschikbaarheid waardoor het verkeer



hinder ondervindt en maatschappelijke kosten ontstaan. Uit gesprekken met relevante partijen in de bouw is gebleken dat vooral door prefabricage en standaardisatie van de betonnen onderdelen (de fundering, landhoofden en kelder), die nu nog ter plaatse worden gestort, tijdswinst tijdens de bouw te behalen is. Elementen van de bovenbouw (staalconstructie en val) worden nu veelal geprefabriceerd waardoor hier tijdens de bouw veel minder tijdswinst behaald kan worden.

#### **Hergebruik nu nog een brug te ver?**

De levensduur van bruggen (beton- en staalconstructie) is zo'n 100 jaar en ook verschillende onderdelen gaan lang mee<sup>24</sup>. Gezien de lange levensduur en veranderende eisen, omgevingsfactoren (bijvoorbeeld verkeersintensiteit of omliggende infrastructuur) en snelle technologische ontwikkelingen is de herbruikbaarheid van gestandaardiseerde onderdelen moeilijk te voorspellen. Ook ontbreekt essentiële informatie over de kwaliteit van gebruikte onderdelen en de certificering ervan. IFD-bouwen voor (circulair) hergebruik lijkt hierdoor nu nog een stap te ver, al zorgen initiatieven als het Betonakkoord ervoor dat partijen aangezet worden om nieuwe toepassingsmogelijkheden van gebruikte materialen en onderdelen te verkennen. Ook ontwikkelingen als werken met Bouw Informatie Modellen (BIM) en het materialenpaspoort dragen hieraan bij door inzicht te bieden in het bouwproces en de gebruikte materialen.

Andere sectoren, landen en de gesprekken hebben laten zien dat er veel baten te behalen zijn indien de bouw van bruggen volgens IFD-principes gebeurt. De effecten liggen vooral bij de bouw- en onderhoudskosten (levensduurkosten), kosten van verkeershinder en kosten van emissies. Deze effecten zullen in de volgende hoofdstukken behandeld worden. Daarnaast wordt kwalitatief ingegaan op aspecten als flexibiliteit en aanpasbaarheid. Voordat de baten van het bouwen volgens IFD-principes gerealiseerd kunnen worden, dient wel een aantal belemmeringen overwonnen te worden. Deze worden eveneens beschreven in de volgende hoofdstukken.

---

<sup>24</sup> Zie bijlage 1 Levensduur brugonderdelen voor een overzicht van de levensduren van verschillende onderdelen.



---

## 3 Uitvoeringsvarianten

---

### 3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk behandelt de verschillende varianten die in de haalbaarheidsanalyse zijn vergeleken. Paragraaf 3.2 gaat allereerst in op het referentieproject. Dit is het project waarvoor de alternatieven zijn doorgerekend. In paragraaf 3.3 wordt het nulalternatief beschreven. Dit geeft weer hoe de referentiebrug in de traditionele situatie wordt gebouwd. In de analyse is dit de wijze waarop de referentiebrug daadwerkelijk is gebouwd. Vervolgens wordt het projectalternatief beschreven, dat is de wijze waarop de brug volgens de principes van IFD kan worden gebouwd. In paragraaf 3.4 geven we de effecten weer, die we in de analyse in beeld zullen brengen.

De analyse van de haalbaarheid van IFD-bouwen voeren wij uit aan de hand van een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA). Een MKBA brengt alle directe en indirecte kosten en baten van het referentieproject in beeld waaronder de externe effecten voor partijen die niet direct bij het project betrokken zijn. Kosten en baten worden integraal berekend waarbij ook toekomstige perioden in de beschouwing worden betrokken. De integrale aanpak betekent dat niet alleen de kosten van aanleg of vervanging van bruggen worden berekend maar bijvoorbeeld ook de hinder die deze werkzaamheden opleveren voor verkeersdeelnemers en omwonenden. De effecten worden zoveel mogelijk in geld uitgedrukt.

In het onderzoek hanteren we voor de kosten-batenanalyse een horizon van 50 jaar. Dit is een gebruikelijke horizon bij MKBA's. De ontwerplevensduur van (onderdelen van) bruggen is weliswaar veelal 100 jaar. Omdat bij de berekeningen een disconteringsvoet wordt gebruikt om toekomstige kosten en baten vergelijkbaar te maken met huidige kosten en baten, wegen effecten die in een verdere toekomst optreden minder zwaar. Een benadering over 100 jaar voegt dan weinig toe aan de analyse op basis van 50 jaar.

De MKBA-methode die we hiervoor gebruiken brengt de totale kosten en baten over de huidige en toekomstige perioden in beeld en omvat dus ook het principe van life cycle costing (LCC). Bij deze methode kunnen eventuele hogere aanlegkosten worden gecompenseerd door lagere kosten in de beheer- en onderhoudsfase. Bij de berekening van de levensduur en de levensduurkosten maken we onderscheid tussen de verschillende brugonderdelen die hiervoor zijn beschreven.

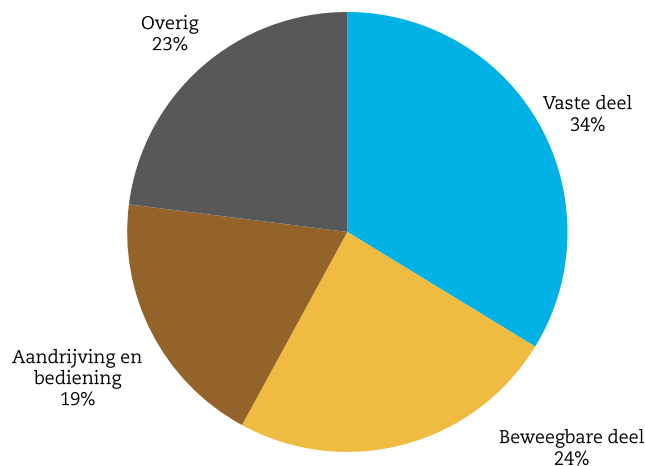
### 3.2 Referentieproject

In het onderzoek is de Stolper ophaalbrug als referentieproject gehanteerd. Deze brug, die door de provincie Noord-Holland wordt beheerd, ligt over het kanaal De Stolpen-Schagen in Noord-Holland en vormt een schakel tussen het provinciale wegennet en het wegennet van de gemeente Schagen. De brug omvat een tweestrooksweg en een tweestrooksfietspad. Dit type brug komt

binnen het provinciale bruggenbestand vaker voor.<sup>25</sup> De brug is enkele jaren geleden nieuw gebouwd ter vervanging van de oude brug die eerder beschadigd is geraakt door een aanvaring. De laatste tijd was er dan ook geen autoverkeer meer mogelijk over de brug.

De totale kosten van realisatie van deze brug liggen rond € 4½ miljoen. Figuur 3.1 geeft een beeld van de verdeling van deze kosten over de verschillende onderdelen van de brug. Ruim een derde van de kosten komt voor rekening van het vaste deel, onder meer de fundering, de kolommen en de kelder. Een kwart van de kosten heeft betrekking op het beweegbare deel (de superstructuur met val, hameitoren en balanspriemen). Aandrijving en bediening zijn goed voor bijna 20% van de kosten.

**Figuur 3.1 Kostenopbouw Stolper ophaalbrug**



Bron: Provincie Noord-Holland, bewerking EIB

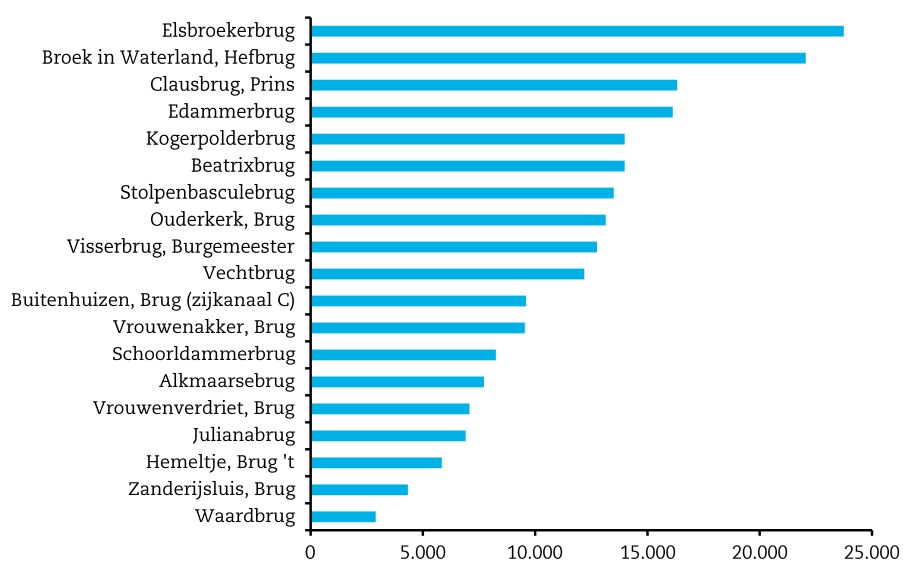
### Verkeer op provinciale wegen

Een belangrijke factor bij bouw en onderhoud van bruggen is de verkeersintensiteit. Werkzaamheden aan de infrastructuur, in de zin van vervanging, groot onderhoud of storingsonderhoud, belemmeren in veel gevallen het verkeer. Bij een brug treffen deze werkzaamheden zowel het wegverkeer als het waterverkeer. Bij dit verkeer kan verder nog worden onderscheiden naar motief en vervoerwijze. Dit onderscheid is van belang voor de waardering van verliesuren (extra reistijd). Bij het wegverkeer gaat het om personenauto's, zwaar verkeer en fietsverkeer. Bij personenauto's kan verder nog weer worden onderscheiden naar reismotief: woon-werk-, zakelijk en sociaal-verkeer. Ook bij waterverkeer is er onderscheid tussen beroepsvaart en recreatievaart.

<sup>25</sup> Daarnaast is voor deze brug gekozen, omdat deze recent is gerealiseerd zodat nog veel gegevens over de bouw beschikbaar zijn.

De Stolper ophaalbrug is gelegen in een landelijke omgeving. De verkeersintensiteit bij deze brug wordt door de provincie niet gemeten, maar deze ligt wel veel lager dan bij de meeste bruggen in het provinciale wegennet. Figuur 3.2 geeft een overzicht van de verkeersintensiteit in 2016 (werkdaggemiddelde). Deze loopt sterk uiteen tussen de verschillende bruggen. Om een goed beeld van de potentiële effecten van bouw en onderhoud van de brug te krijgen, kijken we in de analyse naar een variant met een lage verkeersintensiteit en een variant met een hoge verkeersintensiteit. Voor de lage verkeersintensiteit nemen we 10.000 voertuigen per werkdag, voor de hoge nemen we 20.000 voertuigen per werkdag. Een relatief groot aantal provinciale bruggen kent een intensiteit rond 10.000 voertuigen. Een aantal provinciale bruggen kent een hoge verkeersintensiteit rond 20.000 voertuigen. Er zijn provinciale bruggen met een (veel) hogere verkeersintensiteit, maar dit zijn bruggen met twee keer twee rijstroken (2x2). Deze zijn niet goed vergelijkbaar met het referentieproject. De verwachting is dat de mobiliteit in de komende tijd verder zal toenemen, vooral in en rond de grote steden.

**Figuur 3.2 Verkeersintensiteit autoverkeer op 2x1-bruggen in beheer bij de provincie Noord-Holland, 2016 (werkdaggemiddelde aantal voertuigen)**



Bron: Provincie Noord-Holland

### Bruggenbeheer en omgevingsituatie

De omvangrijke vervangingsopgave bij de provinciale bruggen vormt de start voor de haalbaarheidsanalyse. Gezien de omvang en impact van de bruggenopgave beschouwen veel infrastructuurbeheerders een groot palet aan maatregelen voor het toekomstig bruggenbeheer. Bij deze opgave moeten beheerders een afweging maken op welke wijze het bruggenbestand up-to-date wordt gebracht. Het gaat hier bijvoorbeeld om 'beperkte' vervanging waarbij alleen sommige onderdelen worden vervangen of om een heroriëntatie op het

gehele netwerk, waarbij bijvoorbeeld vijf bestaande sluisen worden vervangen door drie nieuwe. Naast bouw en vervanging maken beheerders ook gebruik van betere monitoring van schades en storingen waardoor vervanging kan worden uitgesteld.

Bij de vervanging van een bestaande brug of het bouwen van een nieuwe brug is van belang hoe de vervanging/nieuwbouw plaatsvindt in ruimtelijk perspectief. Er kan sprake zijn van vervanging/nieuwbouw op dezelfde plek als de oude brug of vervanging/nieuwbouw naast de bestaande brug. Verder is het mogelijk om een brug geheel of gedeeltelijk te vervangen. We onderscheiden daarom drie situaties die zich bij de vervanging van bruggen kunnen voordoen:

1. Complete vervanging van de brug (inclusief het vaste deel) op de bestaande locatie
2. Complete vervanging van de brug op een andere, nabije locatie
3. Vervanging van een deel van de brug (alleen de bovenbouw) op de bestaande locatie

Situatie 1 doet zich voor wanneer in een stedelijke omgeving de oude brug niet meer voldoet, de onderbouw/fundering aangetast is of moet worden versterkt in verband met het toegenomen verkeer en er in de nabijheid geen ruimte is om de brug nieuw te bouwen. De ruimtebeperking kan het gevolg zijn van de aanwezigheid van gebouwen of door de moeilijkheid om de brug aan te sluiten op de bestaande infrastructuur.

Situatie 2 doet zich voor wanneer de oude brug in zijn geheel niet meer voldoet en er ruimte is om een nieuwe brug te bouwen op een nabije locatie. Situatie 3 doet zich voor als bij een verouderde brug de onderbouw nog wel voldoet en alleen de bovenbouw hoeft te worden vervangen.

### 3.3 Nulalternatief en projectalternatief

Het nulalternatief betreft het bouwen en onderhouden van een beweegbare brug volgens de traditionele werkwijze. In dit geval betekent dit de wijze van bouwen en onderhouden van de Stolper ophaalbrug.

Het projectalternatief betreft het bouwen en onderhouden van een brug als de Stolper ophaalbrug volgens de principes van IFD. In het projectalternatief wordt in grotere mate dan in het nulalternatief prefabricage en standaardisatie toegepast. Waar mogelijk wordt rekening gehouden met modulariteit en herbruikbaarheid. Bij de bepaling van het projectalternatief is aangesloten bij het lopende traject van de werkateliers. In deze ateliers werken diverse partijen samen om mogelijke uitvoeringsvarianten verder te ontwikkelen. De kenmerken van het projectalternatief zijn daarnaast gebaseerd op interviews met betrokkenen uit de praktijk. Dit zijn bijvoorbeeld de opdrachtgever, (staal)bouwbedrijven en constructeur bij de Stolper ophaalbrug.

De toepassing van IFD-principes op (delen van) de brug is geen business-as-usual, maar zal geleidelijk gaan waarbij gaandeweg in de loop van de tijd ook leereffecten zullen optreden. Ook zullen bestaande belemmeringen moeten worden opgelost. Om rekening te houden met deze dynamiek, is in de uitwerking van bouw en onderhoud in het projectalternatief uitgegaan van een

‘minimum’-variant en een ‘maximum’-variant. Hiermee ontstaat een bandbreedte in de effecten van IFD-bouwen op de levensduurkosten.

De mogelijkheden voor IFD-bouwen hebben we in beeld gebracht op het niveau van de verschillende brugonderdelen en op het hogere niveau van het bouw- en beheerproces bij bruggen. Voor elk van de onderdelen van de brug is gekeken naar het kostenaandeel in het totaal van de brug, de geprojecteerde levensduur, de gevoeligheid van de onderdelen voor technische slijtage en de snelheid van technologische innovaties. IFD-bouwen in het lage project-alternatief kan min of meer worden gezien als het plukken van laaghangend fruit. Hiervoor zijn echter nog wel aanpassingen nodig, onder meer in het bouw- en beheerproces. De hoge variant vraagt meer acties, onder meer in de institutionele sfeer en weerspiegelt daarnaast de mogelijkheden op een langere termijn dan bij de lage variant. De hoge variant kan worden gezien als een ambitieuze maar haalbare variant.

Tabel 3.1 geeft de belangrijkste verschillen tussen het nulalternatief en het projectalternatief in de lage en de hoge variant weer. De verschillen hebben zowel betrekking op projectkenmerken als proceskenmerken.

### 3.4 Te beschouwen effecten

Uit de literatuur en de interviews komen de onderstaande effecten als belangrijkste naar voren. Deze effecten zijn in het onderzoek gekwantificeerd en gemonetariseerd. Andere effecten zijn kwalitatief beschreven.

- a) Bouw- en onderhoudskosten (levensduurkosten)
- b) Kosten van verkeershinder
- c) Kosten van emissies

Een belangrijk onderscheid in een MKBA betreft de kosten voor direct betrokkenen (met name de provincie) en de kosten voor derden. Bij de kosten voor derden gaat het bijvoorbeeld om de externe effecten van de bouw voor verkeer en omwonenden. Daarnaast betreft het effecten op duurzaamheid en circulariteit.

#### *ad a) Bouw- en onderhoudskosten (levensduurkosten)*

De haalbaarheid van IFD-bouwen wordt onder meer bepaald door de kosten van aanleg, vervanging, onderhoud en beheer van bruggen. Het gaat hierbij zowel om de initiële kosten in geval van nieuwbouw als om de kosten van groot onderhoud, vervanging en dagelijks onderhoud gedurende de levensduur van de bruggen. Ook storingsonderhoud behoort hiertoe.

#### *ad b) Kosten van verkeershinder*

Een belangrijk aspect bij aanleg-, vervangings- en onderhoudswerkzaamheden betreft de tijd die nodig is voor de uitvoering van de werkzaamheden. Door deze werkzaamheden is tijdelijk minder capaciteit voor de functie van de infrastructuur beschikbaar. Dit leidt tot externe effecten in de vorm van langere reistijden en hogere reiskosten omdat moet worden omgereden. Bij kosten-batenanalyses van infrastructuurprojecten is de beschikbaarheid van de infrastructuur, dus de beperking van de hinder, veelal een dominante factor.

In de praktijk zal bij de planning van werkzaamheden waar mogelijk rekening worden gehouden met verkeersdrukke, bijvoorbeeld door stremmingen bij

grootschalige werken buiten het toeristisch vaarseizoen te houden en het onderhoud uit te voeren in nachten, weekends en vakanties.

*ad c) Kosten van emissies*

Bouwen volgens IFD-principes heeft een belangrijke achtergrond in het streven naar duurzaamheid bij bouw en beheer van infrastructuur. Ook circulariteit speelt hierbij een belangrijke rol, in de zin van het zo efficiënt mogelijk omgaan met schaarse grondstoffen en materialen en het zoveel mogelijk (en zo hoogwaardig mogelijk) hergebruiken hiervan. Het effect op duurzaamheid betreft met name de emissies van CO<sub>2</sub> en andere schadelijke elementen door het bouwen en beheren van infrastructuur

**Tabel 3.1 Kenmerken nulalternatief en projectalternatief**

<b>Brug- onderdeel</b>	<b>Nulalternatief</b>	<b>Projectalternatief laag</b>	<b>Projectalternatief hoog</b>
Vaste deel	Beton in situ	Beton prefab/ standaardisatie	Beton prefab/ standaardisatie
Ophaalbrug	Prefab	Prefab	Prefab/ standaardisatie
Aandrijving/ bewegingswerk	Keuze aandrijving open	Vroegtijdige keuze aandrijving <sup>1</sup>	Vroegtijdige keuze aandrijving <sup>1</sup>
	Groot aantal componenten	Standaard- componenten	Standaard- componenten
Bouw- en beheerproces	Bestek op de markt	Integrale voorbereiding/ planvorming	Integrale voorbereiding/ planvorming
		Programmatische aanpak	Programmatische aanpak

Bron: EIB

---

## 4 Effecten van IFD-bouwen

---

### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk beschrijven we de effecten van bouwen volgens IFD-principes in vergelijking tot het nulalternatief. De effecten betrekken we op een type brug als de Stolper ophaalbrug. Hierbij kijken we naar de drie situaties die zich bij de bouw van een brug kunnen voordoen en die in paragraaf 3.2 zijn beschreven:

1. Complete vervanging van de brug op de bestaande locatie
2. Complete vervanging van de brug op een andere (nabije) locatie
3. Vervanging van de bovenbouw op de bestaande locatie

Elk van deze situaties kan in de praktijk van het bruggenbeheer voorkomen. Hierbij differentiëren we verder nog naar de verkeersintensiteit, namelijk een hoge intensiteit van 20.000 voertuigen per dag en een lage intensiteit van 10.000 voertuigen per dag.

De belangrijkste effecten die aan de orde zullen komen, zijn de kosten van bouw en onderhoud (levenscycluskosten), de kosten van verkeershinder en de kosten van CO<sub>2</sub>-emissies. Daarnaast gaan we kwalitatief in op enkele andere effecten zoals flexibiliteit en aanpasbaarheid.

Allereerst gaan we in paragraaf 4.2 in op de effecten op de bouw- en onderhoudskosten. Hierbij maken we onderscheid tussen een minimum- en een maximumvariant in de toepassing van IFD-principes. De paragrafen 4.3 en 4.4 beschrijven de effecten op de kosten van verkeershinder respectievelijk de kosten van emissies. Deze drie typen kosten hebben we gemonetariseerd. In paragraaf 4.5 gaan we kwalitatief in op andere effecten van IFD-bouwen. Paragraaf 4.6 geeft een samenvatting van de totale effecten. Tot slot beschrijven we in paragraaf 4.7 de randvoorwaarden en vervolgacties.

### 4.2 Effecten op bouw- en onderhoudskosten

Basis voor de berekening is de kostenstaat van de Stolper ophaalbrug. Deze kostenstaat geeft voor een groot aantal onderdelen en activiteiten de geraamde kosten binnen de RAW-systematiek. Deze activiteiten zijn door het EIB samengevat voor de hoofdonderdelen van de brug. De totale kosten van het bouwen van de referentiebrug bedroegen ruim € 4½ miljoen (inclusief extra kosten). Het onderhoudsregime bij deze brug is gebaseerd op dat van een vergelijkbare brug in beheer bij de provincie. De kosten in geval van IFD-bouwen zijn gebaseerd op informatie uit de literatuur en interviews met betrokkenen bij beweegbare bruggen.

Om inzicht te krijgen in de effecten van IFD-bouwen is het belangrijk om onderscheid te maken naar de verschillende brugonderdelen. De mogelijkheden voor een andere bouw- en onderhoudswijze variëren namelijk sterk per brugonderdeel.

We onderscheiden hierna de volgende kostencomponenten:

- Vaste deel
- Superstructuur/ophaalbrug
- Bewegingswerk/aandrijving
- Overige bouwkosten
- Engineering, meerkosten en overschrijdingen

### **Vaste deel**

Hiertoe worden gerekend:

- Voorbereidende werkzaamheden zoals het opzetten van de bouwkuip, bemaling, sloopwerkzaamheden, enz.
- Nautische voorzieningen: remmingswerk, wachtplaatsen
- Palen, damwanden, landhoofd, enz.
- Betonwerk in situ (kelder, kolommen, landhoofden)
- Geprefabriceerd betonwerk (brugdek) en metaalonderdelen vaste deel

Een eerste besparing die kan worden gerealiseerd in het geval van IFD-bouwen is het prefabriceren van het betonwerk dat traditioneel in situ wordt uitgevoerd. Bij prefabricage van beton kan door efficiënter gebruik van materialen en door een hogere productiviteit 10 à 15% worden bespaard. Dit betonwerk is echter een relatief klein deel van de totale kosten van het vaste deel, namelijk circa 15%. De totale kosten van het vaste deel uitgedrukt in annuïteiten<sup>26</sup> bedragen in het nulalternatief € 76.200. Door prefabriceren van het betonwerk zouden deze kosten kunnen worden gereduceerd tot tussen € 75.100 en € 74.500 (1,4 à 2,2% besparing). Dit is tabel 4.1 weergegeven. Bij het onderhoud van het vaste deel valt geen relevante besparing te verwachten.

Naast lagere kosten heeft prefabricage ook een belangrijk effect op de bouwtijd. Door verkorting van de bouwtijd is de beschikbaarheid van de brug veel groter. Het prefabriceren van het betonwerk zou 8 tot 12 weken kunnen worden bekort, op een totale bouwtijd van één jaar. Het effect van de kortere bouwtijd op de verkeershinder wordt in paragraaf 4.3 beschreven.

### **Superstructuur, ophaalbrug**

Hiertoe worden onder meer de hameistijlen, de balanspriemen en de heugelstangen gerekend. Deze onderdelen worden in de huidige situatie al in de fabriek op een efficiënte wijze gemaakt. Er is wel enige winst te behalen uit standaardisatie, maar dit zou tot (ongewenste) uniformering kunnen leiden. De hoofddraaipunten kunnen wel worden gestandaardiseerd. Dit betreft één van de belangrijke koppelvlakken waarop IFD-bouwen zou moeten worden gericht. Standaardisatie zou hier kunnen leiden tot lagere productiekosten (circa 5%) en grotere kansen voor hergebruik. Dit laatste geeft een belangrijke besparing, maar deze is pas te realiseren tegen het einde van de economische levensduur. De besparing in annuïteitkosten is daarom niet groot. De annuïteitkosten van dit deel bedragen € 56.400. Dit blijft gelijk in het geval dat geen standaardisatie plaatsvindt. In geval van standaardisatie (maximumvariant) lopen de annuïteitkosten terug tot € 50.900. De besparing bij dit deel van de brug ligt dus tussen 0 en 10%. Van het onderhoud van dit deel valt geen relevante besparing te verwachten.

---

<sup>26</sup> De kosten zijn in de MKBA-analyse uitgedrukt in een (jaarlijkse) annuïteit. Dit is het economisch equivalent van elke kostenpost op een bepaald tijdstip, uitgedrukt in een vast bedrag per jaar (zoals bij een hypotheek). Zo worden kostenposten met een verschillende levensduur vergelijkbaar, evenals onderhoudskosten met investeringskosten.



**Tabel 4.1**    **Bouw- en onderhoudskosten in het nulalternatief en het projectalternatief, minimum en maximum (annuïteit, dzd €)**

	<b>Nul- alternatief</b>	<b>Project- alternatief</b>	<b>Project- alternatief</b>
	<b>Totale kosten</b>	<b>Minimum- besparing</b>	<b>Maximum- besparing</b>
Vaste deel	76	-1	-2
Superstructuur, ophaalbrug	56	0	-6
Bewegingswerk, aandrijving	49	-5	-13
Overige kosten	36	0	0
Engineering	29	-6	-12
Meerwerk, faalkosten	19	-5	-6
Onderhoud	46	-4	-4
<b>Totaal</b>	<b>311</b>	<b>-21</b>	<b>-43</b>
<b>% t.o.v. nulalternatief</b>		<b>-7%</b>	<b>-14%</b>

Bron: EIB

#### **Bewegingswerk, aandrijving**

Dit betreft de elektromechanische en elektronische delen van de brug, zoals elektromotor, transmissie, tandwielkasten, ronselen, cilinders, besturingsmechanisme en communicatieapparatuur. Dit is het deel van de brug waar het grootste voordeel kan worden behaald bij een IFD-aanpak van beweegbare bruggen. Door standaardisatie en fabricage van grote series kunnen besparingen worden gehaald tussen 10 en 15%. Daarnaast leidt het IFD-concept tot een praktijk waar onderdelen na revisie hergebruikt kunnen worden waardoor de restwaarde van de onderdelen groter wordt (of anders gezegd de levensduur kan worden verlengd). Omdat bepaalde onderdelen in voorraad kunnen worden gehouden, zal het onderhoud ook sneller en eenvoudiger plaatsvinden. De onderhoudskosten kunnen met 10 à 15% worden gereduceerd. Een en ander leidt tot een reductie van de annuïteitkosten van bewegingswerk en aandrijving van € 48.700 bij de huidige situatie tot tussen € 35.500 en € 43.800 bij de invoering van een IFD-aanpak.

#### **Overige bouwkosten**

Van andere kosten zoals kosten van bestratingen en kabels en leidingen met een annuïteitkost van € 35.600 valt geen relevante besparing te verwachten van IFD-bouwen.

#### **Engineeringkosten, meerkosten en overschrijdingen**

In de traditionele situatie worden ophaalbruggen uitbesteed op basis van een bestek dat door de ontwerper wordt opgesteld. Daarin heeft de aannemer geen inbreng. Dit kan, zoals in het geval van de Stolper ophaalbrug, leiden tot

situaties waar berekeningen opnieuw moeten worden gemaakt, omdat onvoldoende rekening is gehouden met alternatieve structuren of technische specificaties. Daardoor stijgen de engineeringkosten tot circa 25% van de projectkosten. Daarnaast dienen ook tijdens het werk vaak aanpassingen te worden doorgevoerd waardoor meerwerk en overschrijdingen ontstaan. Bij de Stolper ophaalbrug bedroegen de extra declaraties en het meerwerk circa 20% van de aanneemsom.

Bij een programmatische IFD-aanpak van de bouw en vervanging van ophaalbruggen kunnen deze kosten aanzienlijk worden verminderd, omdat de systematische betrokkenheid van de bouwers in het voortraject het ontstaan van dubbele ontwerpkosten zal voorkomen. Het idee is dat basiselementen worden ontwikkeld voor een aantal typen bruggen waarbij rekening wordt gehouden met alle facetten van het werk: prefabricage, standaardisatie en interface. Dit leidt tot een aantal globale ontwerpen op basis waarvan in het definitieve project kan worden gevarieerd.

Echter, ook zonder IFD-principes voor de bouw van ophaalbruggen kunnen deze kosten aanzienlijk worden gereduceerd, als het voortraject gestroomlijnd wordt. Idealiter wordt al in de ontwerpfase rekening gehouden met de praktijk van de bouw. Volgens de literatuur zouden de engineeringkosten bij een passend gestroomlijnd aanbestedingsproces in de orde van grootte van 15% van de bouwkosten uitkomen en het meerwerk gemiddeld op circa 10%.

Een zuivere waardering van de kosten en baten van een programmatische IFD-aanpak van de ophaalbruggen dient de IFD-aanpak niet te vergelijken met de huidige situatie, maar met een situatie waarin het aanbestedingsproces is gestroomlijnd, dus van engineeringkosten van circa 15% van de projectkosten en meerwerk en faalkosten in de orde van grootte van 10%. Op deze wijze komt de echte meerwaarde van IFD-bouwen naar voren, zonder te rekenen met baten die ook met verbetering van de huidige praktijk kunnen worden bewerkstelligd. Ook in een dergelijke vergelijking zijn aanzienlijke baten van de IFD-aanpak te verwachten, omdat door het ontwikkelen van een aantal 'globale' ontwerpen voor verschillende typen bruggen de engineeringkosten voor specifieke projecten lager zullen worden. Ook de meerkosten en faalkosten zullen worden gereduceerd, vooral als meer ervaring is opgedaan met IFD.

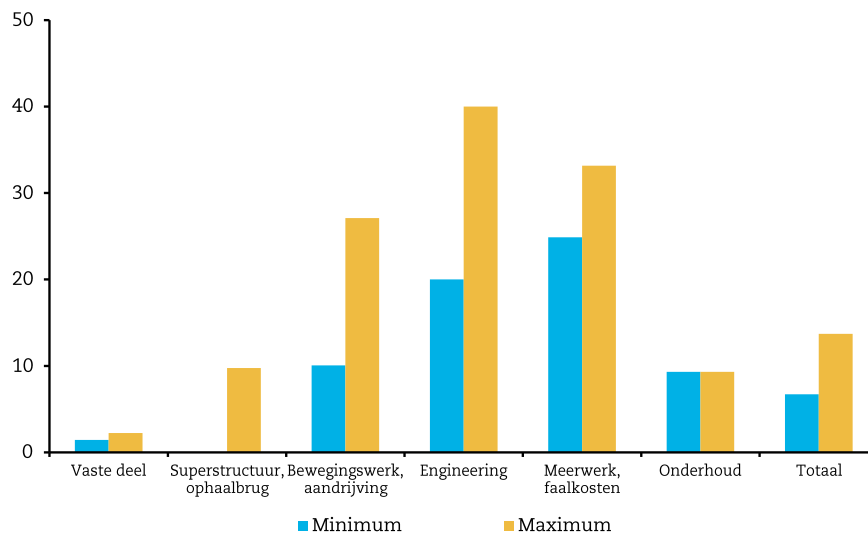
Rekening houdend met het voorgaande schatten we dat de engineeringkosten bij een IFD-aanpak kunnen worden gereduceerd met 20 à 40% van het niveau zonder IFD-aanpak (gesteld op 15% van de bouwkosten). De bovengrens van 40% vereist wel productie op grotere schaal, waarmee de ontwikkeling van 'globale' ontwerpen moet worden terugverdiend. Meerwerk en faalkosten zouden met IFD-bouwen kunnen worden gereduceerd met 25 à 33% van het niveau zonder IFD-aanpak (gesteld op 10% van de bouwkosten). Dit betekent dat de engineeringkosten uitgedrukt in annuïteiten gereduceerd kunnen worden van € 29.000 naar € 17.400 (maximum) à € 23.200 (minimum). De meerkosten en faalkosten kunnen worden gereduceerd van € 19.300 naar € 12.900 à € 14.500.

### **Resumé**

Tabel 4.1 vat de besparingsmogelijkheden samen voor de minimum- en de maximumvariant. De totale levensduurkosten in het nulalternatief bedragen € 311.000 (annuïteit). In het projectalternatief komen deze uit op € 290.000 in de

minimumvariant en € 269.000 in de maximumvariant. Dit betekent dat IFD-bouwen 7 tot 14% lagere bouw- en onderhoudskosten kan opleveren. De besparingsmogelijkheden hebben zowel betrekking op specifieke onderdelen van de brug als op meer algemene kosten van bijvoorbeeld engineering. Voor specifieke onderdelen lopen de besparingspercentages sterk uiteen (figuur 4.1). Met name de engineeringkosten en de kosten van bewegingswerk en aandrijving kunnen 30 tot 40% lager uitvallen. Bij de maximum-besparing is steeds uitgegaan van productie in grotere series. De onderhoudskosten liggen in het projectalternatief bijna 10% lager dan in het nulalternatief. Deze kosten zijn gelijk voor beide projectalternatieven (minimum en maximum) omdat het onderscheid zit in de fabricagekosten en de levensduur van onderdelen. Levensduureffecten worden bij de annuïteitskosten toegerekend aan de fabricage.

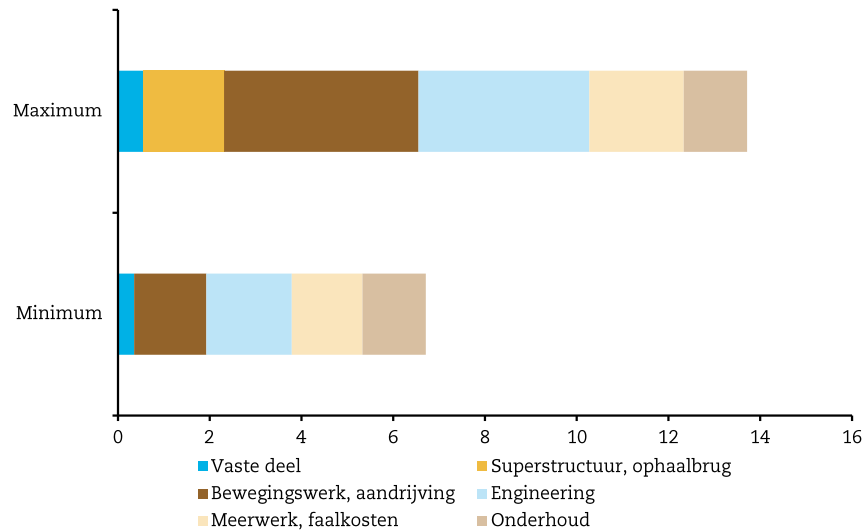
**Figuur 4.1 Besparingsmogelijkheden per brugonderdeel, minimum- en maximumvariant in vergelijking tot het nulalternatief (%)**



Bron: EIB

Figuur 4.2 geeft voor de minimum- en maximumvariant weer in welke mate de verschillende kostencomponenten bijdragen aan de totale procentuele baten. In de minimumvariant is er een aantal kostencomponenten die bijdragen aan de besparing. De grotere besparing in de maximumvariant komt vooral doordat bij bewegingswerk/aandrijving en bij engineering grotere besparingen kunnen worden gerealiseerd. Deze twee kostencomponenten zijn verantwoordelijk voor meer dan de helft van de totale besparing in de maximumvariant. Daarnaast zijn in deze variant ook besparingen te behalen bij superstructuur/ ophaalbrug.

**Figuur 4.2 Samenstelling totale procentuele besparing naar kostencomponenten (%-punt)**



Bron: EIB

### 4.3 Effecten op verkeershinder

Bij infrastructuurprojecten spelen de effecten op de verkeershinder doorgaans een grote rol. Deze effecten treden zowel in de bouwfase als in de onderhoudsfase op. Afhankelijk van de positie van de bruggen in het netwerk en van de totale bouw- en onderhoudstijd kunnen de effecten op de verkeershinder aanzienlijk zijn. Het type effecten op de verkeershinder varieert met de omgevingsituatie. Tabel 4.2 geeft een overzicht van het type effecten op de verkeershinder dat zich voordoet in de bouwfase en de gebruiksfase. De omvang van de effecten kan sterk verschillen naar gelang de omgevingsituatie. De omvang van de effecten wordt daarnaast sterk bepaald door de verkeersintensiteit.

Tabel 4.2 Type effecten op de verkeershinder

Te vervangen onderdelen	Totaal	Totaal	Bovenbouw
Locatie van bouw	Bestaand	Elders <sup>1)</sup>	Bestaand
<b>Bouwfase</b>			
Hogere reiskosten door omleiding	X		
Onbetrouwbaarheid reistijd	X		
Gehinderd verkeer op omleidingsroute	X		
Hinder door aanpassing aansluitingen		X	
<b>Gebruiksfase</b>			
Hinder door onderhoud	X	X	X
Hinder door storingen	X	X	X
Hinder door calamiteiten	X	X	X

<sup>1)</sup> Op een andere, nabije locatie

Bron: EIB

### Beschrijving van de effecten op verkeershinder

#### *Hogere reiskosten door omleiding*

Vervangende nieuwbouw van een brug op de bestaande locatie betekent dat de oorspronkelijke verbinding tijdelijk niet meer beschikbaar is. Gedurende de bouwfase zal het verkeer moeten worden omgeleid. De bij omleidingen extra gereden kilometers leiden tot hogere kosten vanwege een hoger brandstofverbruik en hogere andere variabele voertuigkosten. Daarnaast leiden omleidingsroutes tot extra reistijd wat ook maatschappelijke kosten met zich meebrengt.<sup>27</sup> Deze extra tijd is gewaardeerd met kengetallen van het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM). Hierbij is onderscheid gemaakt tussen verschillende categorieën verkeer (woon-werk, zakelijk, recreatieverkeer, goederenvervoer inclusief scheepvaart). Tabel 4.3 geeft de kosten per extra gereisd uur weer.

<sup>27</sup> Omleidingsroutes kunnen daarnaast ook gevolgen hebben voor de verkeerveiligheid.

Tabel 4.3 Kosten verkeershinder per type voertuig, 2017 (€ per uur)

Woon-werkverkeer	10,10
Zakelijk verkeer	28,60
Overig verkeer	8,20
Vrachtverkeer	44,15

Bron: KiM, bewerking EIB

De provincie Noord-Holland hanteert een (maximale) omrij-afstand van 10 minuten. In de praktijk blijkt deze norm moeilijk haalbaar. Omdat ook wel kortere omleidingsroutes voorkomen<sup>28</sup>, zijn we in onze analyse uitgegaan van een extra rij-afstand bij omleidingen van 7 kilometer en een extra reistijd van 7 minuten.<sup>29</sup>

#### *Onbetrouwbaarheid reistijd*

In MKBA's wordt naast de extra reistijd ook nog een opslag gehanteerd voor onbetrouwbaarheid van de reistijd. Hiermee wordt tot uitdrukking gebracht dat er ook maatschappelijke kosten verbonden zijn aan het minder goed kunnen plannen van de reisduur. Onzekerheid hieromtrent kan bijvoorbeeld leiden tot eerder vertrekken. Als opslag voor de onbetrouwbaarheid hanteren we conform de MKBA-praktijk 25% op de totale extra reistijd.

#### *Gehinderd verkeer op omleidingsroute*

Een ander effect van het omleiden van verkeer is dat het op de omleidingsroute drukker wordt. Het bestaande verkeer op de omleidingsroute wordt geconfronteerd met extra verkeer en daardoor een langere reistijd. Anders dan bij het om te leiden verkeer worden bij het bestaande verkeer op de omleidingsroute geen kosten van extra brandstofverbruik gerekend.

#### *Hinder door aanpassing aansluitingen*

In de situatie dat de vervangende nieuwbouw van de brug op een andere locatie plaatsvindt blijft de oorspronkelijke verbinding bestaan en zijn er geen omleidingsroutes nodig. Er moet wel rekening mee worden gehouden dat bij de bouw van de brug hinder kan optreden voor het bestaande verkeer. Dit doet zich bijvoorbeeld voor wanneer de nieuwe brug op de bestaande wegen moet worden aangesloten. De omvang van deze kosten bij nieuwbouw op een andere locatie zijn indicatief gesteld op 10% van de kosten bij nieuwbouw op de bestaande locatie.

#### *Hinder door onderhoud, storingen en calamiteiten*

Naast de hinder in de bouwfase is ook gedurende de onderhoudsfase sprake van verkeershinder. Deze komt voort uit de verschillende vormen van

<sup>28</sup> Bij de recente vervanging van de brug bij Assendelft was de omrij-afstand circa 5 minuten.

<sup>29</sup> In een what-if-berekening hebben we aanvullend hierop gekeken naar een omrij-afstand van 15 kilometer. Bij dergelijke grote afstanden zijn wellicht ook andere maatregelen mogelijk, zoals tijdelijke bruggen. Dit wordt in een kader verderop nader uitgewerkt.

onderhoud die gedurende de levensduur aan de brug moeten worden verricht. Het gaat hier zowel om dagelijks onderhoud en inspecties als om gebruiks- en toestandafhankelijk onderhoud. Dit onderhoud is doorgaans kleinschalig en wordt in de praktijk vooral buiten de spitsuren uitgevoerd, eventueel ook in nacht- en weekendwerk. Hiervoor hebben we geen hindereffecten aangenomen. Daarnaast is sprake van groot onderhoud of renovatie dat eenmaal per 25 jaar wordt uitgevoerd. Hiervoor veronderstellen we 7 dagen hinder in het nulalternatief en 5 dagen in het projectalternatief.

Dagelijks en groot onderhoud kan in de praktijk goed worden gepland. Onderhoud dat het gevolg is van niet te voorspellen storingen, leidt tot een grotere mate van hinder. Verkeersdeelnemers kunnen zich hierop immers mindergoed voorbereiden. Het aantal storingen is in de praktijk echter beperkt<sup>30</sup> en dus ook de hinder. Op grond van gegevens van de provincie Noord-Holland is het aantal storingen relatief beperkt.

Tot slot kunnen in de gebruiksfase calamiteiten optreden die een grote impact kunnen hebben op de beschikbaarheid, bijvoorbeeld een aanvaring met de brug. Hierdoor kunnen de bovenbouw of het vaste deel beschadigd of ontzetzaken.

### Omvang van de effecten

De verschillende typen effecten hebben we in de MKBA gekwantificeerd. In de situatie waarin de complete brug moet worden vervangen op de bestaande locatie, is de verkeershinder het grootst. Dit is zowel in het nulalternatief als in het projectalternatief het geval. Deze situatie kan zich bijvoorbeeld voordoen in een stedelijke omgeving. Ook bij bruggen in provinciale wegen waarop nauwelijks uitwijkmogelijkheden bestaan, is sprake van grote verkeershinder. Figuur 4.3 geeft aan dat de verkeershinder in de situatie van complete vervanging op de bestaande locatie voor de helft bestaat uit de kosten van omgeleid verkeer. Nog eens ruim 20% betreft variabele kosten door extra gereden kilometers. Tien procent van de kosten betreft hinder voor bestaand verkeer op de omleidingsroute. Vijftien procent heeft betrekking op een verminderde betrouwbaarheid van de reistijd. De hinder in de onderhoudsfase is in relatie tot die in de bouwphase zeer beperkt. In het projectalternatief zijn er aanzienlijke baten te realiseren doordat de bouwphase met circa 15% kan worden verkort.<sup>31</sup> Dit vermindert het aantal omrij-kilometers aanzienlijk. Bij een hoge verkeersintensiteit bedragen deze baten tijdens de bouwphase al bijna € 190.000 (annuïteit), zie tabel 4.4. Naast de directe kosten met omgereden kilometers en minuten hebben we ook een opslag voor onbetrouwbaarheid van de reisverbinding opgenomen. Hiermee brengen we tot uitdrukking dat de langere rij-afstand via een andere route tot meer onzekerheid leidt over de totale reistijd. Behalve het bestaande verkeer dat moet omrijden, wordt ook het verkeer dat oorspronkelijk al op de omleidingsroute reed, gehinderd. De omleidingsroute wordt immers drukker waardoor het bestaande verkeer langer onderweg is. De extra kosten voor dit verkeer op de omleidingsroute worden geschat op 20% van de extra afstandskosten van het omgeleide verkeer.<sup>32</sup>

---

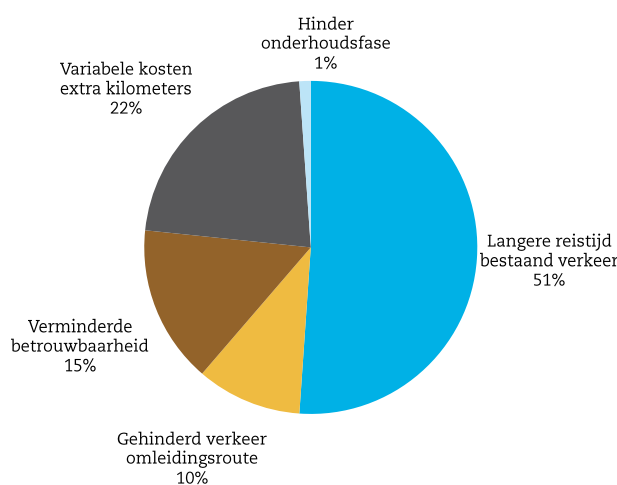
<sup>30</sup> Op basis van gegevens van de provincie Noord-Holland.

<sup>31</sup> Op een totale bouwphase van 52 weken bedraagt de versnelling 8 weken. In de praktijk kan de versnelling nog hoger uitvallen, tot 12 weken.

<sup>32</sup> Het aandeel van 20% is onder meer gebaseerd op eerder EIB-onderzoek naar de kosten van omleidingen bij nacht- en weekendonderhoud bij Rijkswaterstaat. Zie onder meer: EIB (2008), Nacht-

De baten van het projectalternatief in de onderhoudsfase zijn veel kleiner. Ook in het nulalternatief is het oponthoud door onderhoud (inclusief storingen) al vrij beperkt, vooral als dit wordt afgezet tegen de baten in de bouwphase. In het projectalternatief is de onderhoudsfrequentie iets lager en de kans op storingen eveneens. Al met al leidt dit tot een baat van circa € 6.000 (annuïteit). Bij dit beperkte effect speelt tevens een rol dat onderhoud al vaak in de luwe verkeersperioden wordt uitgevoerd (in nachten, weekends en bij rustige wegen overdag ook tussen de spitsen).

**Figuur 4.3 Samenstelling van de kosten van verkeershinder bij complete vervanging op de bestaande locatie**



Bron: EIB

In de situatie dat de brug nieuw wordt vervangen op een nabije locatie, is de oude brug nog te gebruiken. Na voltooiing van de nieuwe brug wordt de oude brug gesloopt. De kortere bouwtijd die met IFD-bouwen kan worden bereikt, levert hier dan in principe geen winst op. Bij de beperkte baten speelt ook een rol dat er minder vervoer van materialen via de weg plaatsvindt en meer door de binnenvaart. Wel zijn we er in het projectalternatief van uitgegaan dat de aanleg van de nieuwe brug enige hinder zal geven op de bestaande verbindingen. Hierdoor levert verkorting van de bouwtijd wel enige baten op. Verder is aanpassing van de aansluitende wegenstructuur nodig vanwege de nieuwe situering van de oeververbinding. De hindereffecten zijn al met al veel minder dan bij nieuwbouw op de bestaande locatie. Bij een lage verkeersintensiteit zijn de hindereffecten uiteraard minder groot. Vooral in de situatie van complete vervanging van de brug op de bestaande locatie zijn deze echter nog steeds aanzienlijk te noemen. De onderverdeling naar de verschillende hindercomponenten bij lage verkeersintensiteit is vergelijkbaar met de onderverdeling bij hoge verkeersintensiteit. De verschillen tussen hoog en laag

en weekendwerk in het wegonderhoud; maatschappelijke kosten-batenanalyse van uitvoeringsvarianten, Amsterdam.



betreffen vooral schaalverschillen.

Gezien de omvang van de hinderkosten, vooral door kosten voor omgeleid verkeer, hebben we aanvullend gekeken naar een omrij-afstand van 15 kilometer. Bij dergelijke grote afstanden zijn de hinderkosten zo hoog dat er wellicht ook andere maatregelen mogelijk zijn, zoals de bouw van tijdelijke bruggen (zie kader Tijdelijke bruggen).<sup>33</sup>

**Tabel 4.4 Effecten verkeershinder IFD-bouwen in vergelijking met nulalternatief bij hoge verkeersintensiteit (annuïteit, dzd €)**

Type vervanging en locatie	Nul- alternatief	Project- alternatief	Verschil (%)
<b>Complete vervanging bestaande locatie</b>			
Bouwfase	1.226	-189	-15
Gebruiksfase	14	-6	-41
Totaal	1.240	-195	-16
<b>Complete vervanging elders<sup>1)</sup></b>			
Bouwfase	123	-19	-15
Gebruiksfase	2	-1	-41
Totaal	125	-20	-16
<b>Vervanging bovenbouw bestaande locatie</b>			
Bouwfase	0	0	0
Gebruiksfase	15	-5	-37
Totaal	15	-5	-37

<sup>1)</sup> Op een andere, nabije locatie

Bron: EIB

<sup>33</sup> Naast een tijdelijke beweegbare brug kan het hier ook gaan om een tijdelijke vaste brug. De effecten op het scheepvaartverkeer zijn in het algemeen veel kleiner dan die voor het wegverkeer. Gedacht moet worden aan een factor 20 à 50 kleiner.

### Tijdelijke bruggen

In de praktijk worden bij werkzaamheden soms tijdelijke bruggen aangelegd, vast of beweegbaar. Toepassingen zijn er vooral voor fietsers en voetgangers. Hiermee wordt veel discomfort voor deze verkeersdeelnemers voorkomen.

De kosten van een tijdelijke (beweegbare) brug zijn in het algemeen hoog. Echter, aangezien bij vervanging van bruggen de verkeershinder zeer omvangrijk kan zijn, vooral bij complete vervanging, hoge verkeersintensiteiten en grote omrij-afstanden, zijn er wellicht mogelijkheden voor een grotere toepassing van tijdelijke bruggen ook voor autoverkeer. In een what-if voorbeeld hebben we indicatief deze mogelijkheden in beeld gebracht. We gaan hierbij uit van een bouwtijd van één jaar.

Uitgangspunt is de situatie waarbij het autoverkeer 15 minuten moet omrijden en dit door een tijdelijke brug kan worden teruggebracht tot 5 minuten oponthoud over de tijdelijke brug. De kosten voor de tijdelijke brug hebben we verondersteld op € 1 miljoen voor een vaste brug en € 3 miljoen voor een beweegbare brug. Tabel 4.5 geeft de hinderkosten weer in verschillende situaties voor één jaar (de periode waarin de oorspronkelijke brug wordt vervangen).

De berekeningen geven aan dat bij hoge verkeersintensiteit de totale hinderkosten in het nulalternatief € 52 miljoen bedragen. In het projectalternatief worden deze teruggebracht tot € 14 miljoen bij een tijdelijke beweegbare brug en tot € 13 miljoen bij een vaste brug. De besparing per maand ligt op € 3,1 miljoen respectievelijk € 3,3 miljoen. Hierbij zal nog wel rekening moeten worden gehouden met specifieke omstandigheden of andere belemmeringen voor de toepassing van een tijdelijke brug. Niettemin is dit een optie die bij de vervanging van bruggen zou kunnen worden meegenomen.

Tabel 4.5 Hinderkosten tijdelijke brug in één jaar (mln €)

	Nul- alternatief	Project- alternatief	Vershil	Vershil per maand
<b>Tijdelijke beweegbare brug</b>				
Hoge verkeersintensiteit	52	14	38	3,1
Lage verkeersintensiteit	26	9	17	1,4
<b>Tijdelijke vaste brug</b>				
Hoge verkeersintensiteit	52	13	39	3,3
Lage verkeersintensiteit	26	7	19	1,6

Bron: EIB

#### 4.4 Effecten op CO<sub>2</sub>-emissies

Bij de emissies maken we onderscheid tussen emissies van het materiaalgebruik en emissies van het verkeer. Het gaat hier vooral om de CO<sub>2</sub>-emissies, deze zijn dominant bij de milieu-effecten. Een eerste effect komt voort uit het grotere gebruik van prefab betonnen onderdelen in het projectalternatief. Door de geïndustrialiseerde wijze van produceren treedt een besparing op in het betonverbruik (minder afval) waardoor ook minder cement nodig is. Het verbruik van cement is een dominante factor in de CO<sub>2</sub>-emissies in de bouw. Daarnaast is bij prefab minder cement nodig omdat het hardingsproces van beton in de fabriek gunstiger verloopt. De besparingen hebben we op basis van de meest recente wetenschappelijke inzichten vertaald in maatschappelijke baten per ton bespaarde CO<sub>2</sub>.

De baten op het gebied van emissies van het verkeer zijn sterk gekoppeld aan de baten bij verkeershinder. In het projectalternatief hoeft gedurende een kortere tijd te worden omgereden. Dit betekent een vermindering van het aantal gereden kilometers en dus minder CO<sub>2</sub>-uitstoot (tabel 4.6). Bij een hoge verkeersintensiteit zijn de baten van minder CO<sub>2</sub>-emissies € 15.000 (annuïteit), namelijk het verschil tussen € 107.000 in het nulalternatief en € 92.000 in het projectalternatief. Deze baten zijn vrijwel volledig terug te voeren op de daling van het aantal omgereden kilometers. De besparingen van beton en daardoor cement hebben in verhouding tot de verkeerseffecten een kleine omvang.

#### 4.5 Andere effecten

Naast de effecten op bouw- en onderhoudskosten, kosten van verkeershinder en kosten van emissies zijn er mogelijk ook effecten op het gebied van veiligheid. Wat betreft arbeidsveiligheid zijn deze niet geheel eenduidig. De veiligheid van werknemers wordt positief beïnvloed door de verschuiving van werkzaamheden naar de fabriek. Hier staat tegenover dat het aanvoeren en monteren van grote geprefabriceerde elementen logistiek uitdagend is en gevaar voor werknemers en omwonenden kan opleveren. Dit uitzonderlijk vervoer vindt doorgaans echter plaats onder streng toezicht.

De verkeersveiligheid kan verder profiteren van de beperking van het omgeleide verkeer in het projectalternatief. Een omleiding zorgt voor meer drukte op andere wegen die voor een deel van lagere orde zijn. Omleidingsroutes impliceren langere en drukker routes waardoor de kans op ongelukken toeneemt.<sup>34</sup>

De effecten van IFD-bouwen op de *kwaliteit* en de *levensduur* van de bruggen zijn in dit onderzoek in beeld gebracht via de kosten van bouw en onderhoud. Hierbij is gekeken naar de verschillende onderdelen van de bruggen voor wat betreft levensduur en onderhoudsregime.

---

<sup>34</sup> Dit hebben we niet verder gekwantificeerd, maar gezien de maatschappelijke waarde van deze kosten, kan dit effect belangrijk zijn. Immers, de statistische waarde van het leven wordt in Europese studies geschat op € 2½ miljoen.

**Tabel 4.6 Effecten CO<sub>2</sub>-emissies IFD-bouwen in vergelijking met nulalternatief bij hoge verkeersintensiteit (annuïteit, dzd €)**

Type vervanging en locatie	Nul- alternatief	Project- alternatief	Vershil (%)
<b>Complete vervanging bestaande locatie</b>			
Bouwfase verkeer	107	92	-15
Gebruiksfase verkeer	3	2	-1
Besparingen beton/cement			0
Totaal			-16
<b>Complete vervanging elders<sup>1)</sup></b>			
Bouwfase	12	11	-1
Gebruiksfase	0	0	0
Besparingen beton/cement			0
Totaal			-2
<b>Vervanging bovenbouw bestaande locatie</b>			
Bouwfase			0
Gebruiksfase			-1
Besparingen beton/cement			0
Totaal			-1

<sup>1)</sup> Op een andere, nabije locatie

Bron: EIB

De *aanpasbaarheid* en *flexibiliteit* zijn belangrijke aspecten bij IFD-bouwen. Hieronder verstaan we de mate waarin een volgens IFD gebouwde brug makkelijker te verbreden is dan een traditionele brug, of makkelijker aan te passen is om zwaarder verkeer te dragen. Hiervan zien we momenteel nog nauwelijks voorbeelden. Mogelijk tastbare grotere flexibiliteit ligt in het hergebruik. In de hoge variant hebben we ermee rekening gehouden dat 'overbodig' geworden onderdelen in enige mate elders te gebruiken zijn. Dit heeft positieve effecten op het gebied van duurzaamheid en circulariteit.

De mate van *voorspelbaarheid* van de capaciteit en kwaliteit van de brug heeft invloed op de hinder die bij werkzaamheden kan ontstaan. In de analyse is hier rekening mee gehouden doordat in het projectalternatief storingsonderhoud minder frequent voorkomt. Plotselinge storingen leiden tot onverwachte hinder voor gebruikers, die in geval van strategisch gelegen bruggen zeer omvangrijk

kan zijn<sup>35</sup>. Een belangrijk aspect hierbij is dat in geval van bouwen volgens IFD-principes steeds duidelijkheid moet bestaan over de normen die hiervoor moeten worden aangelegd. Borging van kwaliteit zal hierbij specifiek geregeld moeten worden en hier ligt een belangrijke taak voor de verschillende bouwpartners.

IFD-bouwen heeft ook gevolgen voor de aanbodstructuur. Verschuiving van werkzaamheden van de bouwplaats naar de fabriek leidt tot een lagere werkgelegenheid op de bouwplaats. Op de bouwplaats ontstaat meer behoefte aan werknemers voor de montage van de prefab onderdelen. Deze effecten op de werkgelegenheid hebben we in het onderzoek niet gekwantificeerd.

#### 4.6 Totale effecten

Tabel 4.7 vat de gemonetariseerde effecten samen. De tabel geeft een totaaloverzicht van de maatschappelijke effecten van IFD-bouwen in vergelijking tot de traditionele situatie. Bij de bouw- en onderhoudskosten zijn belangrijke winsten te behalen door IFD-bouwen. Deze voordelen ramen we met een bandbreedte van € 21.000 (annuïteit) tot € 43.000 (annuïteit)<sup>36</sup>. Deze bandbreedte geldt voor elk van de onderscheiden situaties. In geval alleen de bovenbouw moet worden vervangen, zijn dit ook de belangrijkste winsten. In geval van complete vervanging van de brug op de bestaande locatie wordt het beeld beheerst door de effecten op de verkeershinder. IFD-bouwen heeft dan zeer gunstige effecten voor de hinder in de bouwfase. Deze winsten bedragen dan bijna € 200.000 (annuïteit). In deze situatie zijn er ook substantiële effecten op de emissies. Deze zijn vergelijkbaar met wat in de minimumvariant als levensduureffect kan worden gerealiseerd. De situatie waarbij complete vervanging plaatsvindt op een andere locatie neemt een middenpositie in. De effecten op de levensduurkosten zijn dan vergelijkbaar met de hindereffecten, of komen daar (in de maximumvariant) enigszins bovenuit.

---

<sup>35</sup> Zie het recente voorbeeld van de Merwedeburg in de A27 (in beheer bij het Rijk).

<sup>36</sup> De hier gepresenteerde bedragen hebben een positief teken en betreffen dan ook baten.

**Tabel 4.7** Totale maatschappelijke effecten IFD-bouwen in vergelijking met nulalternatief bij hoge verkeersintensiteit (annuïteit, dzd €)

Te vervangen onderdelen	Totaal	Totaal	Bovenbouw
Locatie van bouw	Bestaand	Elders <sup>1)</sup>	Bestaand
<b>Bouw- en onderhoudskosten</b>			
Bouwfase	17 - 39	17 - 39	17 - 39
Gebruiksfase	4	4	4
Subtotaal	21 - 43	21 - 43	21 - 43
<b>Kosten verkeershinder</b>			
Bouwfase	189	19	0
Gebruiksfase	6	1	5
Subtotaal	195	20	5
<b>Kosten emissies</b>			
Bouwfase	15	1	0
Gebruiksfase	1	0	1
Subtotaal	16	1	1
<b>Totaal</b>	<b>232 - 254</b>	<b>42 - 64</b>	<b>27 - 49</b>

<sup>1)</sup> Op een andere, nabije locatie

Bron: EIB

#### 4.7 Randvoorwaarden en vervolgacties

Zoals hiervoor geschetst, biedt het bouwen en onderhouden volgens IFD-principes omvangrijke maatschappelijke voordelen, vooral door beperking van de verkeershinder en daarnaast ook door lagere levensduurkosten en lagere CO<sub>2</sub>-emissies. Voor het realiseren van deze baten geldt wel een aantal randvoorwaarden die in de huidige praktijk IFD-bouwen nog in de weg staan. Er is een aantal vervolgacties nodig om deze belemmeringen te kunnen verlichten.

##### Beeldkwaliteit

In de eerste plaats moet bedacht worden dat IFD-principes niet overal volledig toepasbaar zijn. Vooral in een stedelijke omgeving, maar ook daarbuiten is de beeldkwaliteit voor opdrachtgevers vaak een belangrijke eis bij beweegbare bruggen. Gebruik van standaardelementen bij beweegbare bruggen maakt het realiseren van 'iconische landmarks' lastig. Introductie van meer prefabricage en vooral standaardisatie hoeft echter niet tot uniformiteit te leiden. De toepassing van IFD-principes zou dan in eerste instantie gericht kunnen worden op de niet-zichtbare onderdelen. Daarnaast zijn er wellicht ook bruggen waarbij de beeldkwaliteit een minder sterke eis is.

### **Regelgeving en normering**

Naast beperkingen vanuit architectonisch perspectief liggen er ook beperkingen in de bestaande regelgeving en normering. In de bestaande (NEN-)normen ligt vooral de huidige stand van de techniek vast. Toepassing van nieuwe materialen en producten stuit dan al snel op het probleem dat de kwaliteitskenmerken hiervan onvoldoende zijn geborgd. Dit probleem kan enigszins worden verlicht door in te zetten op het vaststellen van een Nederlandse Technische Afspraak (NTA). Een NTA is een afspraak tussen ten minste twee partijen over de toepasbaarheid van bijvoorbeeld nieuwe materialen. Hiermee kan circa twee jaar tijdswinst worden geboekt in vergelijking tot het vaststellen van een officiële NEN-norm. Om de kansen voor toepassing van nieuwe materialen en processen te testen, zullen daarnaast ook pilots moeten worden ontwikkeld.

### **Logistieke beperkingen**

Een mogelijke beperking ligt in de risico's met betrekking tot transport en montage van omvangrijke geprefabriceerde elementen. In technische zin zijn steeds grotere elementen te produceren die voldoen aan de vereisten van het bouwobject. Bij het transport van fabriek naar bouwplaats wordt steeds meer tegen de grenzen aangelopen op de bestaande infrastructuur. Dit betreft bijvoorbeeld moeilijke passages in de bebouwde omgeving en ook de belasting van bruggen en viaducten. In de praktijk wordt bij de aanvoer vaak gebruik gemaakt van de binnenvaart waardoor de logistieke beperkingen bij beweegbare bruggen meevallen.

### **Creëren van marktvolume**

Om vernieuwingen als het bouwen met IFD-principes mogelijk te maken, zal voldoende schaal moeten worden behaald. Investerings in nieuwe technieken en processen kunnen pas worden terugverdiend wanneer marktpartijen zicht hebben op voldoende terugverdientijd. Hierbij is ook te overwegen dat de overheid in de startfase financiële prikkels voor innovatie geeft. Vervolgens is het zinvol om met een programmatische aanpak te werken waarbij de bruggenopgave in breder perspectief wordt gezien en de bruggen worden gecategoriseerd naar de omgevingssituatie en de verkeersintensiteit. Hierdoor kunnen bij de noodzakelijke vervanging van meerdere bruggen tegelijkertijd de mogelijkheden in beeld komen van seriebouw waarbij ook een gezamenlijk (architectonisch) ontwerp wordt gemaakt. Bij een dergelijke aanpak zullen ook andere infrastructuurbeheerders moeten worden betrokken. Het gaat hier naast de andere provincies ook om gemeenten en Rijkswaterstaat.

### **Ontschotting van aanleg- en beheerbudgetten**

Een belangrijke voorwaarde voor succes ligt in het weghalen van de schotten tussen de aanlegbudgetten en de beheerbudgetten die bij veel infrastructuurbeheerders nog aanwezig zijn. Bij samenvoeging van deze budgetten kunnen makkelijker beslissingen worden genomen op basis van de totale levensduurkosten van bruggen. Budgettaire afstemming zou daarbij gekoppeld moeten worden aan optimalisatie van het proces van asset management zodat bij besluiten tot het bouwen van nieuwe voorzieningen ook de beheerconsequenties in beeld komen.

---

## Bijlage 1 Levensduur brugonderdelen

---

### Ontwerp levensduur brugonderdelen

Onderdeel	Ontwerp levensduur
Civiele betonconstructies kunstwerken	100 jaar
Civiele staalconstructies kunstwerken	100 jaar of $10 \times 10^5$ brugbewegingen*
Civiele houtconstructies	30 jaar
Kunststofconstructies (PE)	20 jaar
Kunststofconstructies (HDPE)	30 jaar
Vezelversterkte kunststoffen (VVK)	100 jaar of $10 \times 10^5$ brugbewegingen*
Werktuigbouwkundige constructies	50 jaar of $5 \times 10^5$ brugbewegingen*
Hydraulische installaties	25 jaar of $2,5 \times 10^5$ brugbewegingen*
Elektrotechnische installaties	25 jaar
Elektronische installaties	10-15 jaar
Grondkerende constructies	100 jaar

\* De zwaarste eis geldt; bewegingen conform NEN 6786 art. 5.2.7, tenzij anders overeengekomen met opdrachtgever. Indien het te verwachten aantal brugbewegingen hoger ligt dan 10.000 per jaar, dan het aantal te verwachten brugbewegingen bepalen als het aantal brugbewegingen = openingen per jaar x ontwerplevensduur.

Bron: Provincie Noord-Holland<sup>37</sup>, bewerking EIB

---

<sup>37</sup> Provincie Noord-Holland, directie Beheer & Uitvoering, Eisen en Richtlijnen Bouw- en Infraobjecten Deel 2 Kunstwerken, versie 2012-1.0.



---

## Bijlage 2 Geconsulteerde personen en organisaties

---

Esther van Eijk  
John Kerkhoff  
Stan Kerkhofs  
Felix de Kok  
Martijn Kuzee  
Diederik Oosting  
Jaco Reusink  
Bas Timmers  
Jan van der Velden  
Henk de Vries  
Harm Wattel  
Bob van der Zwet

Van Hattum en Blankevoort  
Janson Bridging  
Rijkswaterstaat  
Gebr. Beentjes  
Hillebrand  
Spanbeton  
Gemeente Rotterdam/Ingenieursbureau  
Timmers Bouwlogistiek  
Akerveld  
Erasmus Universiteit  
Hillebrand  
Provincie Noord-Holland



---

## EIB-publicaties

---

### 2011

Verwachtingen bouwproductie en werkgelegenheid 2011

Algemene kosten in het bouwbedrijf 2007-2009

Openbare aanbestedingen in de gww

Bedrijfseconomische kencijfers gww-bedrijven 2009

Bedrijfseconomische kencijfers b&u-bedrijven 2009

Succesvol binnenstedelijk bouwen

De winst van innoveren

Algemene BouwplaatsKosten (ABK) van B&U-projecten 2010 (RRBOUW)

Productiviteit en strategie

Bouwconcerns in beeld 2009-2010

Trends en ontwikkelingen in de afbouwbranche 2011-2016

Restauratie en onderhoud van monumenten - marktverkenning tot 2015

Aanbestedingsgedrag opdrachtgevers

Actuele situatie in de bouw - overzicht ten behoeve van de nieuwe woonvisie

Dynamiek op de woningmarkt

De civiele betonbouw tot 2016 - ontwikkelingen op de markt en in de rolverdeling in het bouwproces

Monumenten en corporaties - monumentenbezit en -beleid van corporaties

Ziekteverzuim in de bouw 2010

Maatschappelijke woonagenda - van programmeren naar stimuleren

Monitor arbeidsongevallen in de bouw 2010 (ARBOUW)

Kantorenmonitor - analyse van vraag en aanbod

MKBA Herstructurering Eemsdelta

Bedrijfseconomische kencijfers - b&u- en gww-bedrijven 2010

Kosten en baten van de bouw bbl-opleiding  
Overheid en markt; nieuw evenwicht in aanbesteden  
Dienstverlening van medeoverheden - quick scan onder architectenbureaus  
Infrastructuurmonitor - MIRT 2012  
Algemene kosten in het bouwbedrijf 2008-2010  
Kostenmodel omgevingsrecht  
Bouwen voor kwaliteit

## 2012

Evaluatie stimuleringspakket woningbouw  
Verwachtingen bouwproductie en werkgelegenheid 2012  
Situatie op de Nederlandse hypotheekmarkt  
Arbeid en scholing in de restauratiesector  
Trends en ontwikkelingen in de wegenbouw tot 2017  
Trends en ontwikkelingen in de afbouwbranche 2012-2017  
Bouwconcerns in beeld 2010-2011  
Effecten van bezuinigingen in de infrastructuur  
Annuitaire beperking hypotheekrenteaf trek  
Vitaliteit: van feit tot beleid  
Ziekteverzuim in de bouw 2011  
Landelijke samenvatting kantorenmonitor  
Stedelijke ontwikkeling en infrastructuur  
Monitor arbeidsongevallen in de bouw 2011  
Aanbestedingsgedrag opdrachtgevers  
Gemeentefinanciën, voorzieningen en ruimtelijke investeringen in krimpgebieden  
Kantorenmarkt Noord Nederland  
Kantorenmarkt Oost Nederland

Kantorenmarkt provincie Utrecht

Kantorenmarkt Noord-Holland en Flevoland

Kantorenmarkt Zuid-Holland

Kantorenmarkt Zeeland

Kantorenmarkt Noord-Brabant

Kantorenmarkt Limburg

Verkiezingsprogramma's - gevolgen voor de woningmarkt en de bouwproductie

Bouwen voor de zorg

De bouw in 2020

Inventarisatie projecten Noord-Holland Noord 2013

Bouwschoolverlaters

Perspectief voor de funderingsbranche

Bouw in beeld 2011-2012

Regerakkoord en woningcorporaties

Infrastructuurmonitor - MIRT 2013

Algemene kosten in het bouwbedrijf 2009-2011

Bedrijfseconomische kencijfers - b&u- en gww-bedrijven 2011

Marktstudie AFNL 2012-2017

## 2013

Verwachtingen bouwproductie en werkgelegenheid 2013

Verhuurderheffing en huurmaatregelen in krimpregio's

Bouwconcerns in beeld 2011-2012

Woonakkoord - effecten op bouwproductie en werkgelegenheid

Trends en ontwikkelingen in de afbouwbranche 2013-2018

Investeringsfaciliteit en verhuurderheffing

De Stroomversnelling

Ziekteverzuim in de bouw 2012

Verkenning woningbouwprogrammering Regio Amersfoort

De feiten rond aanbesteden

Monitor arbeidsongevallen in de bouw 2012 (ARBOUW)

Bouwen voor het onderwijs

Regionale kantorenmarkten Metropoolregio Rotterdam en Den Haag

SER Energieakkoord

Duurzame inzetbaarheid van arbeid

Bouw in beeld 2012-2013

Restauratie en onderhoud van monumenten

Waterbouw en waterschappen tot 2020

MKBA Zeeuws-Vlaanderen

Infrastructuurmonitor - MIRT 2014

EMVI, tenzij.....

Verkenning woningbouwprogrammering regio Arnhem-Nijmegen

Kostenverschil binnenstedelijk bouwen en bouwen op uitleglocaties in Noord-Holland

Algemene kosten in het bouwbedrijf 2010-2012

Bedrijfseconomische kencijfers b&u- en gww-bedrijven 2012

**2014**

Verwachtingen bouwproductie en werkgelegenheid 2014

Bouwconcerns in beeld 2012-2013

Eindgebruiker en opdrachtgever in de bouw: lessen uit het buitenland

Toekomstperspectieven sloopsector

Scenariostudie Overijssel

Verkenning woningbouwprogrammering Regio Amersfoort

Startersregeling Regio Amersfoort

Succesfactoren opdrachtgeverschap

Ziekteverzuim in de bouw 2013

Gebruik en effecten van de Starterslening)  
Transactiekosten aanbesteden  
Bouw in beeld 2013-2014  
Regionale afstemming van werklocaties in Noord-Brabant  
Infrastructuurmonitor - MIRT 2015  
Monitor arbeidsongevallen in de bouw 2013 (Arbouw)  
**2015**  
Verwachtingen bouwproductie en werkgelegenheid 2015  
Grondmarkt in crisistijd  
Van de grond af aan  
Algemene kosten in het bouwbedrijf 2011-2013  
Bedrijfseconomische kencijfers - b&u- en gww-bedrijven 2013  
Restschulden in Nederland  
Beleggen in zorgvastgoed  
Effect vrijstelling WWS en verhuurderheffing  
Monitor arbeidsongevallen in de bouw 2014 (Arbouw)  
Investeren in Nederland  
Werkloosheid in de bouw 2009-2011  
Woningmarktgebieden in de Noordvleugel  
Infrastructuurmonitor: MIRT 2016  
Circulaire Projecten in de Praktijk  
Vitaliteit op de lange termijn  
Succesvolle EMVI-aanbestedingen  
Energiebesparende technieken en kwalificaties bouwpersoneel  
Bedrijfseconomische kencijfers b&u- en gww-bedrijven 2014  
Algemene kosten in het bouwbedrijf 2012-2014  
Monitor bouwketen, najaar 2015

Bouw in beeld 2014-2015

MKBA wetsvoorstel kwaliteitsborging voor het bouwen

Monitor Zzp'ers in de bouw 2014, eerste halfjaar

Monitor Zzp'ers in de bouw 2014, tweede halfjaar

## 2016

Verwachtingen bouwproductie en werkgelegenheid 2016

Macro-economische verkenning betonakkoord

Ziekteverzuim in de bouw 2014

Instandhouding van monumenten

Monitor Zzp'ers Bouw 2015, eerste halfjaar

Monitor arbeidsongevallen in de bouw 2016 - cijfers over 2015 (Arbouw)

Evaluatie marktvisie waterschappen

Monitor bouwketen, voorjaar 2016

Investeren in de Nederlandse woningmarkt

Ziekteverzuim in de bouw 2015

Energieakkoord

Verplicht energielabel voor kantoren

Monitor Zzp'ers Bouw 2015, tweede halfjaar

Investeren in de infrastructuur

Monitor bouwketen, najaar 2016

Huurtoeslag en de woningmarkt

## 2017

Verwachtingen bouwproductie en werkgelegenheid 2017

De leermeester in de praktijk

Algemene kosten in het bouwbedrijf 2013-2015

Bedrijfseconomische kencijfers b&u- en gww-bedrijven 2015

Woningmarktbeleid in de komende regeerperiode



Infrastructuurmonitor: MIRT 2017

Internationale vergelijking kwaliteitsborging

Woningmarkt in Twente

Sustainable Urban Delta

Monitor bouwketen, voorjaar 2017

Bouw in beeld 2015-2016

Monitor ZZP'ers Bouw 2016, eerste halfjaar

Eerder stoppen met werken voor zware beroepen

Energiebesparing in de utiliteitsbouw

Innovatie in de bouw

Ziekteverzuim in de bouw 2016

Analyse plancapaciteit woningbouw in Noord-Holland

**Economisch Instituut voor de Bouw**

Koninginneweg 20  
1075 CX Amsterdam

t (020) 205 16 00

[eib@eib.nl](mailto:eib@eib.nl)  
[www.eib.nl](http://www.eib.nl)



The logo for the Economisch Instituut voor de Bouw (eib) features the lowercase letters 'eib' in a bold, blue, sans-serif font. The 'e' and 'i' are connected, and the 'b' is slightly larger and positioned to the right.

Economisch Instituut  
voor de Bouw

Koninginneweg 20  
1075 CX Amsterdam

t (020) 205 16 00

[eib@eib.nl](mailto:eib@eib.nl)

[www.eib.nl](http://www.eib.nl)