



Uitstoot stikstofoxiden bouwprocessen

Colofon

Uitstoot stikstofoxiden bouwprocessen

Auteurs

Jessica van Rijn, Joke van Linge en Mieke van Eerten-Jansen - Movares

Uitgevoerd in opdracht van Topsector Logistiek
Mei 2022



Samenvatting

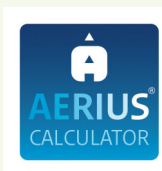
Nederland staat voor de uitdaging om t.o.v. 2017 60% NO_x te reduceren, 75% gezondheidswinst te boeken en 0,4 mton CO₂-reductie te realiseren in de bouw in 2030. De recente NO_x problematiek heeft de druk om de verduurzamingstransitie in de bouwsector te versnellen alleen maar vergroot. De Topsector Logistiek, TNO en DigiGo is gevraagd een kennis- en innovatieprogramma Emissieloos Bouwen in te richten dat in 2022 en 2023 o.a. innovaties voor emissiearme bouwconcepten en een effectieve bouwlogistiek ontwikkelt.

In het kader van dit programma heeft dit project, in opdracht van Topsector Logistiek, als doel om inzicht te geven hoe we ervoor kunnen zorgen dat er minder uitstoot van stikstofoxiden (NO_x) ontstaat tijdens bouwprocessen en het transport van en naar die bouwprocessen (bouwlogistiek) in de stad.

De opdracht bestaat uit twee delen.

Het eerste deel gaat over het **effect van bouwlogistieke maatregelen op de uitstoot van stikstofoxiden voor zowel grootschalige nieuwbouwprojecten als renovatieprojecten**. Het gaat hierbij onder andere om maatregelen als een verplichte bouwhub, elektrificatie van transportmaterieel en een gebiedsgerichte aanpak.

Het tweede deel van de opdracht bestaat uit het **bepalen van de effecten op de NO_x-uitstoot bij gebruik van nieuwe(re) bouwmethoden** zoals prefab of hout/CLT (*cross laminated timber*). Onderzocht wordt of er bouwmethoden zijn waarbij minder NO_x uitgestoten wordt in vergelijking met traditionele bouwmethoden.



Via de AERIUS Calculator zijn de NO_x-emissies van verschillende bouwlogistieke scenario's voor nieuwbouw en renovatiebouw berekend, en vergeleken met de al gepubliceerde CO₂-emissies. Ook zijn de scenario's geprioriteerd middels een trade-off matrix met naast NO_x-reductie ook de criteria synergie, cultuurverandering bouwsector, regionale benadering stikstof en impact op omgeving.

Trends en hun invloed op alternatieve bouwmethoden zijn verkregen middels werksessies met experts en interviews met marktpartijen. Vervolgens is aan de hand van casussen de NO_x-reductie van alternatieve bouwmethoden in kaart gebracht.

Outlook Stadslogistiek Bouw

In de Outlook Stadslogistiek Bouw komt het scenario Bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak als beste uit de bus op zowel NO_x-reductie (10%) als CO₂-reductie (14%) ten opzichte van het Business as usual scenario (referentie). Het scenario Verplichte bouwhub voor een aantal bouwstromen is effectief in NO_x-reductie (7%) en CO₂-reductie (9%), maar in mindere mate dan het scenario Bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak.

Ondanks dat vervoer over water zorgt voor CO₂-reductie (11%), zorgt het ook voor een toename in NO_x-emissies (+22%), zoals blijkt uit scenario 'Multimodale bouw hubs'. Een reductie in CO₂-emissies geeft dus niet automatisch een reductie in NO_x-emissies. In de binnenvaart valt veel milieuwinst te behalen, dit punt komt niet alleen sterk naar voren in deze berekening, maar ook in de doelen die gesteld worden door de overheid. Met het oog op de benodigde verduurzaming voor het Klimaatakkoord is een Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens in uitvoering sinds 2019, wat gevolgen zal hebben op zowel de CO₂- als de NO_x-uitstoot.

Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw

In Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw komt het scenario Gebiedsgerichte aanpak met Control Tower als beste uit de bus op zowel NO_x-reductie (73%) als CO₂-reductie (92%) ten opzichte van Traditioneel (referentie), gevolgd door scenario Bouwcentrum (73% NO_x-reductie) en tot slot scenario Elektrificeren (59% NO_x-reductie).

Naast NO_x-reducties zijn de scenario's in een trade-off matrix ook vergeleken op andere aspecten (Tabel 1). De scenario's die het meeste NO_x-reductie geven, scoren op alle aspecten het best, behalve de 'Proces-inpassing'. De scenario's Bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak en Gebiedsgerichte aanpak met Control Tower vraagt dat ketenpartners over de gehele keten, over projecten en in een gebied met elkaar gaan samenwerken en informatie delen. Dit is nu nog een nieuwe manier van werken.

Tabel 1
Trade-off matrix met weegfactoren voor de kansrijkheid van scenario's. Scores lopen van ++ (zeer kansrijk), via +, 0 en - naar -- (minst kansrijk).

Weegfactoren Scenario's	NO _x	Synergie	Cultuur-verandering	Regionale benadering stikstof	Impact op omgeving
Outlook Stadslogistiek Bouw					
Business as usual (referentie)	0	0	0	0	0
Verplichte bouwhub voor aantal bouwstromen	+	+	+	+	+
Multimodale bouwhubs	--	++	-	+	+
Bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak	++	++	--	++	++
Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw					
Traditioneel (referentie)	0	0	0	0	0
Elektrificatie	++	++	+	0	0
Bouwcentrum en een IT-platform	++	++	+	+	+
Gebiedsgerichte aanpak met een control tower	++	++	--	++	++

Bouwmethoden

Trends zoals robotisering, digitalisering en industrialisering zorgen ervoor dat de inzet van andere bouwmethoden mogelijk is. Door industrialisering is het bijvoorbeeld mogelijk om meer geprefabriceerd te bouwen (montagebouw). Door automatisering is het bijvoorbeeld mogelijk om de bouwmethode printen toe te passen. De keuze voor een bepaalde bouwmethode bepaalt de manier waarop de bouwplaats wordt belevd.

Een aantal factoren die de keuze van een bouwmethode beïnvloeden zijn: bouwsnelheid, hinder in de stad en eisen van bevoegd gezag. Door de toepassing van bijv. montagebouw en modulebouw is de doorlooptijd van een bouwproject, en daarmee de hinder voor de omgeving, vele malen kleiner. Een groot deel van de voorbereiding vindt plaats in de fabriek. Op de bouwplaats hoeft het alleen nog maar geassembleerd te worden of zelfs alleen neergezet te worden. Wat uiteindelijk bepalend is voor de uitstoot, is het aantal transporten en de inzet van mobiele werktuigen. Het tempo van bouwen is daarbij cruciaal. Dit is een belangrijke reden om te kiezen voor een andere bouwmethode.

Daarnaast spelen hinder in de stad en de eisen van bevoegd gezag ook een rol bij de keuze van de bouwmethode. Steeds vaker worden aannemers uitgedaagd om de hinder in de stad tot een minimum te beperken. In veel gevallen wordt daarbij gekeken naar het optimaliseren van het aantal transportbewegingen door de inzet van een andere bouwmethode of door een ander logistiek concept toe te passen, zoals een bouwhub voor een aantal bouwstromen of een andere modaliteit.

Ten opzichte van traditionele bouw (giet-, stapel- en montagebouw) verschillen de alternatieve bouwmethoden met name op het aspect dat er veel geprefabriceerd wordt buiten de stad. Dit komt ook terug in de casussen. Gezien de beperkte data van de casussen zijn deze moeilijk onderling te vergelijken en is het doen van gegronde conclusies lastig. De casussen zijn om deze reden niet opgenomen in deze verkorte versie van de rapportage, aangezien vervolgonderzoek benodigd is die de conclusies staven. Wij bevelen daarom aan om vervolgonderzoek te doen naar de impact van alternatieve bouwmethoden op het aantal en type transportbewegingen (materiaal en personeel) en inzet van mobiele werktuigen en daarmee de uitstoot in de gehele keten.

Op basis van de voorgaande conclusies geven we hierna ook een aantal concrete aanbevelingen:

- Door bouw hubs in te zetten binnen individuele projecten kan op korte termijn een positieve impact worden gemaakt. Bouw hubs worden in de praktijk vaak al toegepast bij postzegellocaties waarbij weinig ruimte is en er mogelijk veel overlast op de omgeving kan zijn. Dit is een aanpassing die zeer kansrijk is indien dit genoeg wordt gestimuleerd door opdrachtgever en overheid.
- Een gebiedsgerichte aanpak met ketenregie en rol voor de overheid is het doel voor lange termijn. Bij deze invulling valt de grootste winst op NO_x - en CO_2 -emissie, impact op de omgeving én een regionale benadering voor stikstof te behalen, indien er verder wordt gekeken dan individueel projectniveau. Dit vergt echter een grote aanpassing vanuit de complete bouwsector en de rol van de (regionale) overheid. Op dit moment ontbreekt de ervaring en middelen om dit breed toe te passen. Om te kunnen opschalen in positieve effecten op zowel NO_x -emissie als synergie en impact op de omgeving, is dit de aanpak waar de bouwsector en (regionale) overheid in moeten investeren.
- Monitoring projecten met alternatieve bouwmethoden en vervolgonderzoek voor impactbepaling: er is weinig tot geen bouwlogistieke en/of uitvoeringsdata beschikbaar van projecten met alternatieve bouwmethoden. Door deze projecten te subsidiëren kan data omtrent bouwlogistiek en uitvoering worden gegenereerd en gemonitord. Hierdoor is het mogelijk de impact op voertuigbewegingen en emissies op casusniveau inzichtelijk te krijgen en waar mogelijk de resultaten te generaliseren. Voor een compleet beeld is het ook van belang het woon-werkverkeer van het bouw personeel te monitoren. Door het delen van deze data met de sector kan er van elkaar geleerd worden.
- Monitoring van bouwlogistiek en uitvoering opnemen in aanbestedingen: uit de interviews kwam naar voren dat er in een aantal gevallen alleen gemonitord wordt als het bevoegd gezag of de opdrachtgever dat vereist. In veel gevallen wordt dan ook alleen gemonitord wat nodig is. Als gevolg hiervan is er een gebrek aan data om bouwlogistiek en uitvoering inzichtelijk te maken. Door dit onderdeel in de aanbesteding al mee te nemen kan er bottom-up steeds meer informatie worden verzameld.
- Opdrachtgevers en beleid spelen een belangrijke rol in het schetsen van de juiste kaders: door in de aanbesteding inschrijvers middels gunningscriteria uit te dagen om de bouwlogistiek en uitvoering te optimaliseren (onder andere gericht op NO_x -reductie), krijgt de markt een financiële prikkel om zich op dit aspect te onderscheiden.

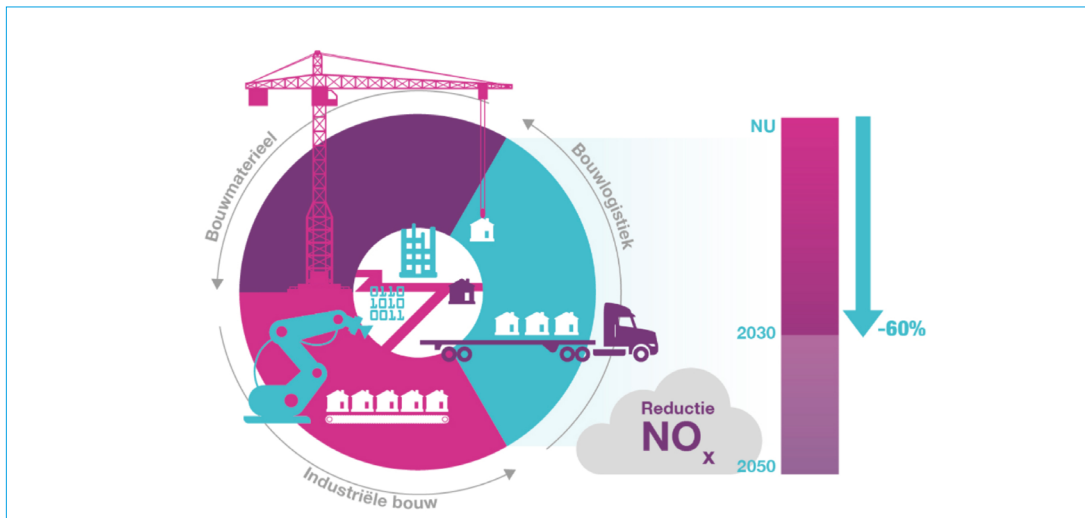
Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1. Inleiding	7
1.1 Aanpak	8
1.2 Leeswijzer	9
2. NO_x-emissies bouwlogistieke scenario's	10
2.1 Kwantitatieve doorrekening NO _x -emissies bouwlogistieke scenario's	10
2.1.1 Toelichting bouwlogistieke scenario's	10
2.1.2 Uitgangspunten NO _x -emissies	11
2.1.3 Resultaten	12
2.2 Trade-off matrix kansrijke scenario's	13
2.2.1 NO _x -emissies	14
2.2.2 Synergie	15
2.2.3 Cultuurverandering	15
2.2.4 Regionale benadering	17
2.2.5 Impact op omgeving	18
2.3 Discussie	18
2.3.1 Scenario's Outlook Stadslogistiek Bouw	18
2.3.2 Scenario's Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw	19
2.3.3 Kansrijke scenario's	20
3. Alternatieve bouwmethoden	21
3.1 Trendanalyse	21
3.2 Bouwmethoden en de impact op bouwlogistiek en bouwmaterieel	23
3.3 Discussie	27
4. Conclusies en aanbevelingen	28
4.1 Conclusies	28
4.1.1 NO _x -emissies bouwlogistieke scenario's	28
4.1.2 Alternatieve bouwmethoden	28
4.2 Aanbevelingen	29
5. Bronnen	31
Bijlagen	33
1. Toelichting uitgangspunten NO _x -berekening scenario's Outlooks	33
2. Overzicht geïnterviewde bedrijven en personen	37

Inleiding

Nederland staat voor de uitdaging om t.o.v. 2017 60% stikstofoxiden (NO_x) te reduceren (Figuur 1 - BTIC), 75% gezondheidswinst te boeken en 0,4 mton CO_2 -reductie te realiseren in de bouw in 2030. De recente NO_x problematiek heeft de druk om de verduurzamingstransitie in de bouwsector te versnellen alleen maar vergroot. Op 1 juli 2021 is de Wet NO_x -reductie en natuurverbetering ingegaan. Met deze wet is er een partiële vrijstelling gekomen voor de aanlegfase, maar hiervoor is wel een emissiereductieplicht van kracht. Hiermee staat de gehele bouwsector voor de opgave om mitigerende maatregelen te treffen om NO_x -emissie te reduceren en daarmee te voldoen aan de emissiereductieplicht. De Topsector Logistiek, TNO en DigiGo is gevraagd een kennis- en innovatieprogramma Emissieloos Bouwen in te richten dat in 2022 en 2023 o.a. innovaties voor emissiearme bouwconcepten en een effectieve bouwlogistiek ontwikkelt.

Figuur 1
Emissieloos
bouwen - BTIC



In het kader van dit programma heeft de Topsector Logistiek aan Movares gevraagd hoe we ervoor kunnen zorgen dat er minder uitstoot van stikstofoxiden (NO_x) ontstaat tijdens bouwprocessen en het transport van en naar die bouwprocessen (bouwlogistiek) in de stad.

De opdracht bestaat uit twee delen.

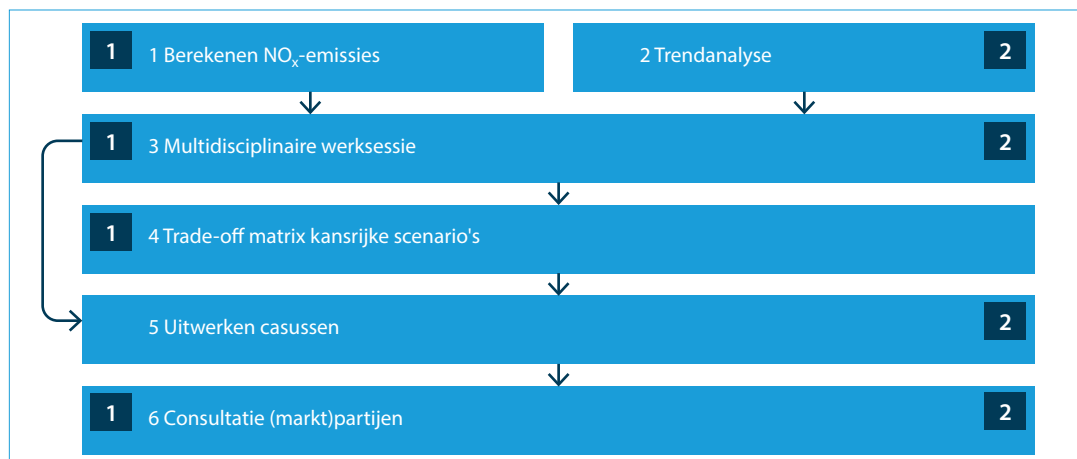
Het eerste deel gaat over het **effect van bouwlogistieke maatregelen op de uitstoot van stikstofoxiden voor zowel grootschalige nieuwbouwprojecten als renovatieprojecten**. Het gaat hierbij onder andere om maatregelen als een verplichte bouwhub, elektrificatie van transportmaterieel en een gebiedsgerichte aanpak.

Het tweede deel van de opdracht bestaat uit het **bepalen van de effecten op de NO_x -uitstoot bij gebruik van nieuwe(re) bouwmethoden** zoals prefab of hout/CLT (*cross laminated timber*). Onderzocht wordt of er bouwmethoden zijn waarbij minder NO_x uitgestoten wordt in vergelijking met traditionele bouwmethoden. Onderzocht wordt of er bouwmethoden zijn waarbij minder NO_x uitgestoten wordt in vergelijking met traditionele bouwmethoden. In deze rapportage worden de inzichten met u gedeeld.

1.1 Aanpak

In dit onderzoek worden zes stappen toegepast om de effecten in beide deelprojecten inzichtelijk te maken (Figuur 2).

Figuur 2
Aanpak gekoppeld
aan deelprojecten
1 - Deelopdracht 1
2 - Deelopdracht 2



Stap 1

Op basis van de scenario's en de resultaten in de Outlooks Stadslogistiek Bouw en Stadslogistiek Renovatiebouw berekenen we de NO_x-emissies. We maken hiervoor gebruik van gepubliceerd TNO onderzoek (waaronder de openbare emissiefactoren), welke ook in de AERIUS Calculator verwerkt zijn. De AERIUS Calculator is de rekentool die wordt gebruikt voor vergunningverlening in het kader van de Wet natuurbescherming. Met de AERIUS Calculator kan de stikstofdepositie worden berekend. De AERIUS Calculator geeft hierbij ook inzicht in de emissie. Op basis van de scenario's en de resultaten in de twee Outlooks berekenen we de NO_x-emissies.

Stap 2

We maken hiervoor gebruik van gepubliceerd TNO onderzoek (waaronder de openbare emissiefactoren), welke ook in de AERIUS Calculator verwerkt zijn. De AERIUS Calculator is de rekentool die wordt gebruikt voor vergunningverlening in het kader van de Wet natuurbescherming. Met de AERIUS Calculator kan de stikstofdepositie worden berekend. De AERIUS Calculator geeft hierbij ook inzicht in de emissie. Voor het bepalen van de meest kansrijke andere bouwmethoden in relatie tot emissie reductie in de stad voeren we een trendanalyse uit, gebaseerd op deskresearch en het raadplegen van experts zoals architecten, bouwkundigen en bouwmanagers.

Stap 3

Deze bouwmethoden zijn input voor de multidisciplinaire werksessie in Stap 3. Door een multidisciplinaire werksessie (bestaande uit het projectteam en relevante experts) bepalen we

- 1 welke andere criteria relevant zijn om de scenario's in de twee Outlooks te duiden in een trade-off matrix en
- 2 de trends op het gebied van andere bouwmethoden die effect hebben op de logistiek (zowel op de verticale bewegingen, als op de horizontale bewegingen²).

² Verticale bewegingen zijn bewegingen op de bouwplaats, horizontale bewegingen zijn bewegingen van en naar de bouwplaats.

Stap 4

Uit Stap 1 is bekend wat kwantitatief gezien de potentie is van de scenario's. Via een trade-off matrix met weegfactoren (uit de multidisciplinaire werksessie) wordt in kwalitatieve zin bepaald wat het effect is van diverse variabelen op de NO_x-reductie, zodat er naast een kwantitatief resultaat ook een kwalitatieve onderbouwing is van de scenario's.

Stap 5

Aan de hand van casussen wordt waar mogelijk kwantitatief ingeschat wat de additionele effecten van andere bouwmethoden (traditionele versus nieuwe bouwmethoden) zijn in relatie tot emissiereductie in de stad.

Tot slot worden middels interviews met markt- en branchepartijen de uitkomsten van de voorgaande stappen getoetst (Stap 6, zie Bijlage 2).

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de resultaten van de NO_x-emissies van de verschillende bouwlogistieke scenario's berekend en worden de meest kansrijke scenario's inzichtelijk gemaakt middels een trade-off matrix. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de trends in de bouwsector die impact hebben op de bouwmethoden en de additionele effecten hiervan op NO_x-uitstoot. In hoofdstuk 4 staan de conclusies en doen we aanbevelingen voor een vervolg op deze studie. In hoofdstuk 5 staan ten slotte alle gebruikte bronnen.

NO_x-emissies bouwlogistieke scenario's

In dit hoofdstuk worden de effecten van bouwlogistieke maatregelen, uit de twee Outlooks, op de uitstoot van stikstofoxiden in kaart gebracht. Ook wordt gekeken in hoeverre de scenario's kansrijk zijn aan de hand van een trade-off matrix. Aan de hand hiervan kan inzicht worden gegeven in de kansrijkheid van scenario's op NO_x-reductie.

2.1 Kwantitatieve doorrekening NO_x-emissies bouwlogistieke scenario's

In de reeds door TNO ontwikkelde Outlook Stadslogistiek Bouw en Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw is op basis van een aantal scenario's gekeken hoe de logistiek er in 2030 uit kan zien. In deze Outlooks is ook gekeken op welke manier de CO₂-emissie en andere negatieve effecten gereduceerd kunnen worden. Topsector Logistiek wil voor de reeds gemaakte scenario's deze kwantitatieve inzichten ook hebben voor de NO_x-emissie.

2.1.1 Toelichting bouwlogistieke scenario's

In de Outlook Stadslogistiek Bouw zijn op basis van trends en ontwikkelingen vijf scenario's uitgewerkt voor de stadslogistiek van grootschalige nieuwbouwprojecten³:

1. Business as usual

Dit betreft het referentiescenario waarin geen extra maatregelen worden genomen om de logistieke keten efficiënter en schoner in te richten ten opzicht van de huidige.

2. Verplichte bouwhub voor aantal bouwstromen

Het gebruik van een bouwhub is verplicht voor alle bouwprojecten in de stad. Op een bouwhub vinden de volgende activiteiten plaats: bundeling van stromen, locatie voor crossdock-activiteiten, ontkoppelpunt en Value Added Logistics.

3. Multimodale bouw hubs

Een aantal transportstromen binnen de bouwlogistiek zal gebruik maken van andere transportmodaliteiten dan wegtransport. Denk hierbij aan vervoer over water.

4. Bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak

Door het delen van data, een hoge integratie van ICT-technologieën en toenemende transparantie van bouwlogistieke stromen is het mogelijk om bouw hubs over meerdere bouwprojecten in te zetten binnen een stedelijk gebied en daarmee synergie voordelen te benutten op het last-mile transport.

5. Circulair bouwen en industrialisatie

Nieuwe productieprocessen worden geïntegreerd in de dagelijkse processen binnen de bouwlogistiek, waaronder industrialisatie en circulair bouwen.

Scenario 1 t/m 4 zijn in Outlook Stadslogistiek Bouw kwantitatief uitgewerkt om inzicht te geven in de CO₂-emissie. Scenario 5 Circulair bouwen en industrialisatie is in de Outlook Stadslogistiek Bouw niet kwantitatief uitgewerkt.

In de Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw zijn op basis van ontwikkelingen en een case-study vier scenario's uitgewerkt voor de stadslogistiek van renovatie bouwprojecten⁴:

1. Traditioneel

Dit is een weergave van de huidige situatie anno 2020 met vele micro renovatiebouw projecten. In dit referentiescenario worden geen extra maatregelen genomen om de logistieke keten voor renovatiebouw projecten efficiënter en schoner in te richten.

2. Elektrificatie

Als gevolg van de invoering van Zero-emissiezones zullen alle bestelwagens in dit segment in 2030 elektrisch zijn. Dit zal deels het geval zijn voor zwaardere voertuigen die in enkele gevallen nog uitgezonderd zijn.

3. Bouwcentrum en IT platform

Meer samenwerking tussen leveranciers, groothandels, logistiek dienstverleners en vervoerders in bouwmaterialen, waarbij een groter deel wordt uitbesteed aan specialistische vervoerders. Ritten en routes worden meer geoptimaliseerd.

4. Gebiedsgerichte aanpak met Control Tower

Grote rol voor de overheid waarbij op gebiedsniveau vanuit ketenregie het aantal transporten wordt gecontroleerd.

2.1.2 Uitgangspunten NO_x-emissies

Deze alinea bevat een bondige opsomming van de gehanteerde uitgangspunten voor de doorrekening van NO_x-emissies. Deze uitgangspunten zijn in overleg met TNO vastgesteld, zodat deze aansluiten bij eerder door TNO opgestelde uitgangspunten in de Outlook Stadslogistiek Bouw en Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw.

Een verdere toelichting van de gehanteerde uitgangspunten voor de doorrekening van NO_x-emissies is te vinden in Bijlage 1.

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- De NO_x-emissies zijn voor elk scenario berekend op basis van gereden kilometers van de voertuigtypes en bekende emissiefactoren in gram NO_x per kilometer;
- De bouwstromen over de weg zijn in Outlook Stadslogistiek Bouw en Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw uitgesplitst in binnenstedelijk en buitenstedelijk met wegtypering bebouwde kom, provinciale weg en snelweg. Dezelfde uitsplitsing is gehanteerd in de NO_x-berekening;
- De voertuigtypes uit de Outlook Stadslogistiek Bouw en Outlook Renovatie zijn ingedeeld in de bijbehorende verkeerscategorieën van SRM-emissiefactoren;
- Hierbij is een gemiddelde SRM-emissiefactor genomen van jaren 2018 t/m 2030;
- Voor het vaarverkeer is uitgegaan van twee typen schepen, namelijk een binnenvaartschip (kempenaar M2) en een kleine sleep-/duwboot (RWS klasse B01 t/m B04);
- In voorliggende berekening is gebruik gemaakt van emissiefactoren die worden toegepast in de AERIUS Calculator versie 2021. Daarmee worden in deze beschouwing dezelfde getallen aangehouden als in de voorgeschreven rekentool en sluiten we aan op de praktische uitvoering van stikstofberekeningen in de bouwsector.

4 Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw

2.1.3 Resultaten

In onderstaande tabellen is de NO_x-uitstoot per scenario uiteengezet voor de Outlook Stadslogistiek Bouw en de Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw. De vergelijking is gebaseerd op gereden kilometers, waarbij in de tabellen de NO_x-emissie van de gereden kilometers is weergegeven. Daarbij is een kolom in grijs toegevoegd met de CO₂-uitstoot per scenario zoals bekend uit de twee Outlooks.

Tabel 2
NO_x- (en CO₂-) uitstoot
voor scenario's
Outlook Stadslogistiek
Bouw op basis van
gereden kilometers.

* absoluut
** procentueel

NO _x -uitstoot Outlook Stadslogistiek Bouw	Binnenstedelijk NO _x (in ton)		Buitenstedelijk NO _x (in ton)		Totaal NO _x (in ton)	Totaal CO ₂ (in Kton)
	Weg	Water	Weg	Water		
1 Business as usual (referentie)	47	n.v.t.	93	n.v.t.	141	113
2 Verplichte bouwhub voor aantal bouwstromen	44	n.v.t.	88	n.v.t.	132	102
Reductie tov scenario 1*	4	n.v.t.	5	n.v.t.	9	11
Reductie tov scenario 1**	8%	n.v.t.	6%	n.v.t.	7%	9%
3 Multimodale bouw hubs	43	2	87	39	171	100
Reductie tov scenario 1*	5	-2	6	-39	-30	12
Reductie tov scenario 1**	10%	n.v.t.	7%	n.v.t.	-22%	11%
4 Bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak	42	n.v.t.	86	n.v.t.	127	97
Reductie tov scenario 1*	6	n.v.t.	8	n.v.t.	13	15
Reductie tov scenario 1**	12%	n.v.t.	8%	n.v.t.	10%	14%

Tabel 3
NO_x- (en CO₂-) uitstoot
voor scenario's
Outlook Stadslogistiek
Renovatiebouw op basis van gereden kilometers.

* absoluut
** procentueel

NO _x -uitstoot Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw	Binnenstedelijk NO _x (in kg/jaar)	Buitenstedelijk NO _x (in kg/jaar)	Totaal NO _x (in kg/jaar)	Totaal CO ₂ (in kg/jaar)
1 Traditioneel (referentie)	154	102	257	126.506
2 Elektrificeren	87	17	104	14.249
Reductie tov scenario 1*	68	85	153	112.257
Reductie tov scenario 1**	44%	83%	59%	89%
3 Bouwcentrum	54	16	69	10.783
Reductie tov scenario 1*	101	87	187	115.723
Reductie tov scenario 1**	65%	85%	73%	91%
4 Gebiedsgerichte aanpak met Control Tower	54	16	69	9.865
Reductie tov scenario 1*	101	87	187	116.641
Reductie tov scenario 1**	65%	85%	73%	92%

Een belangrijke observatie voor de NO_x-uitstoot van de scenario's in de Outlook Stadslogistiek Bouw (Tabel 2) is dat de procentuele reductie in NO_x-uitstoot lager is dan die in CO₂-uitstoot. Het scenario verplichte bouwhub voor een aantal bouwstromen geeft een reductie in NO_x-uitstoot van totaal 7%, waardoor dit positief uitkomt. De reductie van het scenario bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak is echter groter (10% reductie t.o.v. scenario 1 business as usual) en geeft daarmee de grootste emissie-reductie (voor wat betreft NO_x en CO₂) van de scenario's in Outlook Stadslogistiek Bouw.

Daarnaast valt direct op dat de multimodale bouw hubs een negatief effect hebben op de NO_x-uitstoot. Dit scenario heeft geen reductie maar neemt namelijk in totaal toe met 22% (t.o.v. scenario 1 business as usual). Daarbij is duidelijk dat er een emissiereductie plaatsvindt bij wegverkeer, maar de uitstoot veroorzaakt door het vervoer over water is zo groot dat dit teniet wordt gedaan.

Echter wordt in deze berekening geen rekening gehouden met eventuele emissiereductiemaatregelen in de binnenvaart. In de binnenvaart valt veel milieuwinst te behalen. Dit punt komt niet alleen sterk naar voren in deze berekening, maar ook in de doelen die gesteld worden door de overheid. Met oog op benodigde verduurzaming voor het Klimaatakkoord is een Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens in uitvoering sinds 2019, wat gevolgen zal hebben op zowel de CO₂- als de NO_x-uitstoot⁵.

Een belangrijke observatie voor de NO_x-uitstoot van de scenario's in de Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw (Tabel 3) is dat alle scenario's een zeer grote procentuele reductie opleveren. Het scenario elektrificeren levert een reductie op van 59%. De scenario's bouwcentrum en gebiedsgerichte aanpak met control tower hebben een nog grotere impact met 73% reductie. Dit komt door de combinatie van elektrificatie van de vloot en optimalisatie van de bouwlogistiek door het toepassen van bouw hubs. Gezien er in de Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw is uitgegaan van een afgerond aantal ritten en daarmee een afgerond aantal kilometers komen beide scenario's uit op dezelfde aantal gereden kilometers en daarmee dezelfde uitstoot en reductie in uitstoot.

Binnen alle scenario's (behalve traditioneel) is uitgegaan van een grote slag in elektrificatie van de vloot. Elektrisch wegverkeer veroorzaakt geen NO_x-uitstoot en zorgt daarmee voor een grote emissiereductie. Echter is deze nog niet zo groot als te zien in de CO₂-uitstoot. Opvallend is dat voor alle scenario's een grote reductie in NO_x-uitstoot te vinden is op het buitenstedelijk traject (allen boven de 80%), terwijl binnenstedelijk dit lager ligt (alle onder de 70%).

2.2 Trade-off matrix kansrijke scenario's

In de vorige paragraaf is duidelijk geworden wat kwantitatief gezien de potentie is van de scenario's op het gebied van NO_x. Door middel van een trade-off matrix met weegfactoren wordt in kwalitatieve zin bepaald wat het effect is van diverse variabelen op de potentie van de scenario's.

In verschillende artikelen komt naar voren dat de uitstoot van stikstof sterk gereduceerd kan worden of zelfs naar 0 teruggebracht kan worden⁶. Veel genoemde maatregelen zijn lichtgewicht bouwen, verminderen van transportbewegingen en veranderen van gewoontes. Een aantal van deze maatregelen komen ook terug in de belangrijkste weegfactoren die effect hebben op de kansrijkheid van de scenario's.

In een multidisciplinaire werksessie met experts binnen de bouwwereld zijn de volgende weegfactoren geïdentificeerd als invloedrijke factoren op de kansrijkheid van de scenario's:

- In hoeverre worden de **NO_x**-emissies met dit scenario teruggedrongen t.o.v. het referentie scenario?
- Wat zijn de **kosten** om het project op deze wijze uit te voeren? Van daaruit kan worden bekeken wat de **effectiviteit** is van de getroffen maatregelen (NO_x-reductie gerelateerd aan de kosten)?
- Kan deze aanpak **synergie** opleveren in andere belangrijke vraagstukken en daarmee bijdragen aan de gehele duurzaamheidsopgave? Dit hangt samen met CO₂-emissiereductie en/of een circulaire aanpak.
- In hoeverre moet hiervoor in de bouwsector een **cultuurverandering** plaatsvinden? Is het haalbaar om dit in het proces in te passen (het willen omdenken) en verstoort dit de kans van slagen?
- Is het onderdeel van een **regionale benadering stikstof** waarbij de grootste verbetering kan worden behaald voor stikstof op natuur? Is de omvang van de (regionale) bouwopgave dusdanig groot dat er veel impact gecreëerd kan worden? Op welke locaties is de meeste reductie te behalen qua stikstof-gevoelige natuur? Dit vergt omdenken vanuit de regio en de bouwopgave daarbinnen.
- Hoe groot is de **impact op de omgeving** (fijnstof, veiligheid, aantal transportbewegingen, geluid, trillingen, ruimtegebruik) en wat voor resistentie komt hierbij naar voren?

⁵ Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens

⁶ Stikstofvrij bouwen: 'Bouwers kunnen soms meer dan ze denken' | NOS en Stikstof in de bouw - het kan naar 0 (kvk.nl)

De weegfactor kosten wordt in de trade-off matrix buiten beschouwing gelaten aangezien veel partijen in de bouwlogistieke keten niet voldoende zicht hebben in de kosten en activiteiten die zijn verbonden aan het logistieke proces en bevoorrading. Een goed georganiseerde bouwlogistiek reduceert de kosten die verbonden zijn aan het transport naar de bouwplaats (hogere productiviteit, minder verspilling, sneller bouwen en met minder overlast). Dat is te bereiken door o.a. inzicht te krijgen in de integrale ketenkosten voor alle betrokken partijen. De rol van inkoop is daarbij leidend omdat de logistieke kosten nu nog meestal zijn inbegrepen in de inkoopprijs van materiaal en materieel of in de onderaannemersom. De 'extra' bouwlogistiek, zoals het gebruik van een hub geeft additionele kosten. Ook de beloningsstructuur en contractvorm van de bouw spelen een rol⁷. Kosten zijn dus een belangrijke weegfactor, echter vrij complex en per project verschillend. De kosten verschillen afhankelijk vanuit welke partij uit de keten de kosten worden bekeken.

In onderstaande tabel zijn de weegfactoren in een trade-off matrix meegenomen voor alle scenario's van de Outlook Stadslogistiek Bouw en de Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw. Het scenario Circulair bouwen en industrialisatie uit Outlook Stadslogistiek Bouw is in dit hoofdstuk niet meegenomen gezien daar geen kwantitatieve onderbouwing van beschikbaar was. De matrix en scores zijn op basis van expert-judgement ingevuld en nader toegelicht onder de tabel. Business as usual en traditioneel zijn de twee referentie-scenario's, deze zijn daarom met de score 0 aangeduid in de trade-off matrix.

Tabel 4
Trade-off matrix met weegfactoren voor de kansrijkheid van scenario's. Scores lopen van ++ (zeer kansrijk), via +, 0 en - naar -- (minst kansrijk).

Weegfactoren Scenario's	NO _x	Synergie	Cultuur- verandering	Regionale benadering stikstof	Impact op omgeving
Outlook Stadslogistiek Bouw					
Business as usual (referentie)	0	0	0	0	0
Verplichte bouwhub voor aantal bouwstromen	+	+	+	+	+
Multimodale bouw hubs	--	++	-	+	+
Bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak	++	++	--	++	++
Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw					
Traditioneel (referentie)	0	0	0	0	0
Elektrificatie	++	++	+	0	0
Bouwcentrum en een IT-platform	++	++	+	+	+
Gebiedsgerichte aanpak met een control tower	++	++	--	++	

2.2.1 NO_x-emissies

NO_x-emissies komen uit de kwantitatieve doorrekening, waarbij gekeken is naar de totale procentuele reductie t.o.v. het referentie scenario. Deze procentuele reductie is als volgt beoordeeld:

- Een grote reductie in uitstoot is genomen als ++
- Een beperkte reductie in uitstoot is genomen als +
- Een beperkte toename in uitstoot is genomen als -
- Een grote toename in uitstoot is genomen als --

Voor Outlook Stadslogistiek Bouw komt dit neer op een ++ voor de grootste reductie (9,5% door Bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak), een + voor een beperkte reductie (6,5% door Verplichte bouwhub voor aantal bouwstromen) en een -- voor de grote vermeerdering in uitstoot (-21,6% door Multimodale bouw hubs).

⁷ TNO (2018). Van Merriënboer S.A., Ploos van Amstel, W., Vrijhoef, R. Duurzame bouwlogistiek voor binnenstedelijke woning- en utiliteitsbouw: Ervaringen en aanbevelingen.

Het valt op dat de scenario's van de Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw zeer grote procentuele reducties opleveren, dit komt doordat in alle scenario's rekening is gehouden met een grote elektrificatie van de voertuigen, wat direct een grote reductie van NO_x-emissies oplevert. Om die reden zijn alle scenario's van deze outlook aangeduid met een ++.

2.2.2 Synergie

Bij de weegfactor synergie is rekening gehouden met de uitkomst van de Outlook Stadslogistiek Bouw en de Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw waarin inzichtelijk is gemaakt welke scenario's de grootste impact hebben op het aantal voertuigbewegingen en een verlaging van de CO₂-emissie. Door bijvoorbeeld de inzet van een bouwhub voor een aantal bouwstromen, is het mogelijk om goederen van één project op het traject bouwhub-bouwplaats (de last-mile) te bundelen. Ook kan een bouwhub bijvoorbeeld worden gebruikt om:

1. het aantal vervoersbewegingen van bouwpersoneel te reduceren,
2. ruimte te bieden voor opslag als deze op de bouwplaats niet beschikbaar is en
3. het samenstellen van werkpakketten en Value Added Logistics.

Dit zijn allemaal synergievoordelen die meegenomen zijn.

De CO₂-emissie zijn in beide Outlooks beschikbaar gemaakt per scenario, waarbij voor deze weegfactor gekeken is naar de procentuele reductie t.o.v. het referentie scenario. Deze procentuele reductie is als volgt beoordeeld:

- Een grote reductie in uitstoot is genomen als ++
- Een beperkte reductie in uitstoot is genomen als +
- Een beperkte toename in uitstoot is genomen als -
- Een grote toename in uitstoot is genomen als --

Alle scenario's hebben een verbetering in CO₂-emissie en hebben een positief effect. Voor Outlook Stadslogistiek Bouw komt dit neer op een ++ voor de grootste reducties (14% door Bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak en 11% door Multimodale bouwhub) en een + voor beperkte reductie (9% door Verplichte bouwhub voor aantal bouwstromen).

Het valt op dat de scenario's van de Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw zeer grote procentuele reducties opleveren (89% - 92%). Dit komt doordat in alle scenario's rekening is gehouden met een grote elektrificatie van de voertuigen, wat direct een grote reductie van CO₂-emissies oplevert. Om die reden zijn alle scenario's van deze Outlook aangeduid met een ++.

2.2.3 Cultuurverandering

In alle scenario's is de weegfactor cultuurverandering uitgezet tegen het referentiescenario, de manier waarop het standaard wordt uitgevoerd. Alle andere scenario's brengen verandering met zich mee en vragen om een andere manier van denken. Gezien de uitdagingen in het binnenstedelijk bouwen en de veranderende wet- en regelgeving is het voor alle scenario's noodzakelijk dat ketenpartners gaan omdenken en worden diverse aanpassingen bij uitdagende locaties, zoals nabij stikstofgevoelige natuurgebieden en postzegellocaties, uit noodzaak al toegepast door zowel opdrachtgevers als uitvoerders. Dit is meegenomen in de weging van deze factor.

Verplichte bouwhub voor een aantal bouwstromen & Bouwcentrum en een IT-platform

De verplichte bouwhub voor een aantal bouwstromen (Outlook Stadslogistiek Bouw) en Bouwcentrum en een IT-platform (Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw) wordt steeds vaker toegepast bij nieuwbouwprojecten en/of verdichtingsprojecten in grotere steden en postzegellocaties. Dat vraagt om een aanpassing in de aanpak van de aannemer. Aangezien een bouwhub in B&U projecten al wordt toegepast, wordt dit als een relatief kleine inpassing gezien. Steeds vaker wordt dit ook gestimuleerd door de gemeente en/of opdrachtgever. Gezien deze inpassing echter ingaat op een aantal bouwstromen binnen het project en specifiek voor bouwstromen via de weg, vereist dit beperkte tot weinig aanpassing vanuit de bouwsector. Om die reden is dit scenario gemarkeerd als +. Hetzelfde geldt voor het scenario Bouwcentrum en een IT-platform.

Multimodale bouw hubs

Multimodale bouw hubs vereisen een flinke procesinpassing qua logistiek en routing voor de bouwhub én de leveranciers, omdat het daarbij om meerdere modaliteiten gaat. In veel gevallen zijn de in te zetten modaliteiten via de weg en het water, maar ook via het spoor. Dit betekent dat er in een vroeg stadium, liefst al bij de inkoop, over nagedacht dient te worden om draagvlak bij alle partijen in de keten te creëren. Daarbij komt als extra uitdaging dat niet alle partijen ervaring hebben met de logistiek en regelgeving van de waterinfrastructuur en spoorinfrastructuur en dit zal als extra uitdaging worden ervaren. Het is belangrijk om ook te erkennen dat multimodale bouw hubs niet overal haalbaar zijn. Dit komt doordat niet alle locaties van de keten - zowel de projectlocatie, de bouwhub als de leverancier - bereikbaar zijn via bestaande waterinfrastructuur en spoorinfrastructuur. Dit scenario gaat enkel over een multimodale bouwhub voor één project en vergt daarmee een minder grote uitdaging in logistiek en omdenken in een vroeg stadium. Om die reden is dit scenario gemarkeerd als -.

Elektrificatie

Het elektrificatie scenario vergt een aanpassing in het wagenpark voor transport van goederen en personeel. Dit vraagt van de partijen (waaronder leveranciers, aannemers en installateurs) om hiervoor een investering te doen maar is geen aanpassing in het proces. Met de druk vanuit opdrachtgevers en de overheid op het verminderen van de NO_x-emissie zal deze aanpassing effect hebben op alle bouwprojecten die hiermee worden uitgevoerd. Om die reden is dit scenario gemarkeerd als +. Een belangrijke nuance om hierbij aan te brengen is dat dit enkel gaat om elektrificatie van het wegverkeer en niet het materieel op de bouwplaats. Daarmee wordt enkel impact gemaakt op een gedeelte van de uitstoot in de bouwfase.

Bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak en gebiedsgerichte aanpak met een control tower

De scenario's bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak en gebiedsgerichte aanpak met een control tower zijn voor procesinpassing het meest uitdagend. Toenemende transparantie van bouwlogistieke stromen en verbeterde werkwijzen voor het delen van data tussen verschillende partijen, ondersteund door digitalisering, heeft de focus verlegd van optimalisatie en ketenregie over een individueel bouwproject naar optimalisatie en afstemming over meerdere bouwprojecten in een stedelijk gebied en de diverse supply chains. Hierdoor is er minder bouwlogistiek verkeer binnen de steden mogelijk. Dit betekent dat de rol van de opdrachtgever ook verandert. Partijen moeten elkaar in een vroeg stadium al vinden om te bepalen hoe de logistiek op gebiedsniveau wordt aangepakt. De rol van de gemeente wordt hierdoor vergroot. Zij stemmen met de marktpartijen af wat de volgorde van de werkzaamheden is, maar geven ook spelregels mee bij de gronduitgifte. Zowel de opdrachtgever, gemeente als de aannemers moeten aanpassingen doen in de werkwijze en denkwijze voor bouwopgaves. Om die reden zijn deze scenario's gemarkeerd als - -. Deze markering betekent niet dat het scenario niet haalbaar is, maar dat dit qua procesinpassing wel de nodige inspanning vraagt van verschillende partijen.

2.2.4 Regionale benadering

Een regionale benadering focust op de locatie en de algehele regio, waarbij niet alleen vanuit één bouwproject wordt gekeken maar vanuit de regio gekeken wordt wat de impact zou kunnen zijn op stikstofreductie.

Verplichte bouwhub voor een aantal bouwstromen & bouwcentrum en een IT-platform

De regionale benadering is voor alle scenario's met bouwhub positief; in dit scenario wordt vanuit een combinatie van locaties gekeken naar beschikbare ruimte en bundeling van stromen, waarmee ook rekening kan worden gehouden met de afstand tot stikstofgevoelige natuurgebieden en waar de grootste impact te behalen is. Hierom is het scenario met een verplichte bouwhub voor een aantal bouwstromen en bouwhub en een IT-platform gemarkeerd als +.

Multimodale bouwhub

Multimodale bouwhub zijn niet overal in te passen en vergen daarmee omdenken vanuit de locatie waarbij zowel de leverancier als de bouwhub en projectlocatie via meerdere modaliteiten bereikbaar zijn. Hierdoor moet men omdenken vanuit de locatie en gebiedsgericht op zoek gaan naar de juiste invulling. Echter is in de Outlook Stadslogistiek Bouw bij dit scenario geen grote rol gegeven aan de (regionale) overheid. Dit is enkel van toepassing binnen een individueel project. Hierdoor wordt niet aan de voorkant gekeken naar een regionale benadering. Om die reden is dit scenario gemarkeerd als +.

Elektrificatie

Het scenario elektrificatie verandert weinig aan de bouwlogistiek, enkel dat het wagenpark voor een deel van de voertuigbewegingen geëlektrificeerd wordt. De logistieke structuren blijven verder intact en heeft dus geen effect op een regionale benadering. Om die reden is dit scenario gemarkeerd als 0.

Bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak & gebiedsgerichte aanpak met een control tower

De bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak en gebiedsgerichte aanpak met een control tower vergen, zoals de namen al duiden, een aanpak vanuit het gebied waarbij het gebied centraal staat. Hierbij staat de locatie van de projecten en bouwhub centraal en zal de regionale overheid een belangrijke rol spelen. In een vroeg stadium moet al worden gekeken naar logistieke invulling hiervan en zal een transparante keten moeten worden opgezet voor alle betrokken partijen. Meerdere projecten worden gebundeld, waardoor de (regionale) overheid ook een rol zal spelen in de ketenregie. Er kan hiermee veel winst worden gemaakt op efficiëntie en last-mile emissies. Hiermee kan de grootste impact inzichtelijk worden gemaakt in een vroeg stadium en is omdenken vanuit de locatie een noodzakelijk onderdeel van dit scenario. Om die reden zijn deze scenario's gemarkeerd als ++.

2.2.5 Impact op omgeving

Tijdens de consultaties van de marktpartijen kwam de weegfactor 'Impact op omgeving' meerdere malen naar voren. Ondanks dat in voorgaande weegfactoren al de focus is gelegd op 'synergie' en 'regionale benadering', is de impact op de omgeving in termen van fijnstof, veiligheid, aantal transportbewegingen, geluid en ruimtegebruik ook van groot belang.

Verplichte bouwhub voor een aantal bouwstromen & Bouwcentrum en een IT-platform & Multimodale bouw hubs

De impact op de omgeving is voor alle scenario's met bouw hubs positief. Door de toepassing van bouw hubs is een reductie in transportbewegingen mogelijk. In het geval van multimodale bouw hubs is deze reductie mogelijk nog groter. Deze reductie leidt op zijn beurt tot minder geluid, meer veiligheid en minder ruimtegebruik. Door het gebruik van bouw hubs is minder opslag bij de bouw benodigd en kan just-in-time worden geleverd. Dit leidt tot minder hinder en minder ruimtegebruik op en om de bouwplaats. Daarom zijn de scenario's verplichte bouw hub voor een aantal bouwstromen, bouwcentrum en een IT-platform en multimodale bouw hubs gemarkeerd als +.

Elektrificatie

Het scenario elektrificatie verandert weinig aan de bouwlogistiek, enkel dat het wagenpark voor een deel van de voertuigbewegingen geëlektrificeerd wordt. De logistieke structuren blijven verder intact en hebben dus een beperkt positief effect op de impact op de omgeving. Het aantal transportbewegingen, de veiligheid en het ruimtegebruik veranderen niet. Het heeft enkel een positief effect op het geluid. Om die reden is dit scenario gemarkeerd als 0.

Bouw hub in combinatie met gebiedsaanpak & Gebiedsgerichte aanpak met een control tower

De bouw hub in combinatie met gebiedsaanpak en gebiedsgerichte aanpak met een control tower vergen, zoals de namen al duiden, een aanpak vanuit het gebied waarbij het gebied centraal staat en de bouwprojecten daaraan moeten worden gekoppeld. Door samenwerking tussen projecten wordt de impact op de omgeving flink gereduceerd. Er vinden minder transportbewegingen plaats, wat weer een positief effect heeft op de fijnstof, de veiligheid en het geluid. Daarnaast is er ook minder ruimte nodig. Om die reden zijn deze scenario's gemarkeerd als ++.

2.3 Discussie

2.3.1 Scenario's Outlook Stadslogistiek Bouw

Verplichte bouw hub voor een aantal bouwstromen

De verplichte bouw hub voor een aantal bouwstromen heeft op alle weegfactoren een positieve impact. Dit scenario heeft een geringe impact op de NO_x-uitstoot en Synergie. Echter vergt dit ook de minste cultuurverandering omdat het in de praktijk al wordt toegepast bij bouwprojecten. De impact op de omgeving wordt enigszins verbeterd doordat gebundelde bouwstromen plaats zullen vinden. Dit scenario geeft ruimte om aanpassingen te doen binnen een enkel project en niet vanuit de regio, daarom is er maar een kleine regionale benadering waarbij maar een kleine impact kan worden geleverd op stikstofgevoelige gebieden. Daarnaast is er een relatief kleine positieve impact om de directe omgeving omdat de mate van verstoring in termen van transportbewegingen, veiligheid, geluid en ruimtegebruik gereduceerd wordt.

Multimodale bouw hubs

Het toepassen van multimodale bouw hubs binnen een project heeft een grote negatieve impact op de NO_x-emissie. Hierbij is het wel van belang te noemen dat er geen rekening is gehouden met eventuele emissiereductiemaatregelen in de binnenvaart. Er is echter een grote synergie doordat de CO₂-emissie flink wordt gereduceerd. Het lastige aan dit scenario is dat de inzet van andere modaliteiten veel aanpassingen vraagt vanuit niet alleen de aannemer, maar ook leveranciers. Dit vergt cultuurverandering in een vroeg stadium in het proces, terwijl het enkel binnen een project wordt toegepast en daarmee minder impact heeft. Gezien dit scenario enkel voor de toepassing binnen een project gaat en niet het bundelen van een gebiedsopgave, is de regionale benadering stikstof maar gering positief. De impact op de omgeving wordt enigszins verbeterd doordat gebundelde bouwstromen vanaf de hub plaats zullen vinden.

Bouw hub in combinatie met gebiedsaanpak

Het scenario met een bouw hub in combinatie met een gebiedsaanpak heeft grote positieve impact op de NO_x-emissie en de CO₂-emissie (synergie). Echter, omdat dit om een grote cultuurverandering vraagt brengt dit ook een hele grote uitdaging mee (vandaar de - -). Hierbij wordt niet alleen veel verandering en vroegtijdig omdenken gevraagd vanuit de aannemer, maar ook van de leveranciers en andere ketenpartners. Doordat de ketenregie in een vroeg stadium al wordt opgepakt en daarbij ook een rol voor de (regionale) overheid is weggelegd, valt de grootste impact te halen vanuit een regionale benadering stikstof. En door deze aanpassingen in transportstromen en het omdenken vanuit de regio zal de impact op de omgeving het meeste kunnen worden gereduceerd.

2.3.2 Scenario's Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw

Elektrificatie

Het elektrificatie scenario heeft een grote positieve impact op de NO_x-emissie en de CO₂-emissie (synergie). Gezien de enige aanpassing in dit scenario bestaat uit het elektrificeren van de vloot is er een beperkte cultuurverandering nodig vanuit de bouwsector. Wel moeten zij op de hoogte zijn van de regels die steden o.a. stellen op het gebied van Zero-emissie-zones, aangezien deze een effect gaan hebben op het type voertuig dat deze zone nog binnen mag rijden. Bij dit scenario wordt niet gekeken naar de regionale benadering van stikstof, waardoor ook geen rekening wordt gehouden waar de grootste impact te behalen is op natuur. Er is minieme verandering in de impact op de omgeving gezien de logistieke structuren en daarmee het aantal transportbewegingen niets veranderd.

Bouwcentrum en een IT-platform

Het scenario bouwcentrum en een IT-platform heeft grote positieve impact op de NO_x-emissie en de CO₂-emissie (synergie), mede door de elektrificatie van voertuigen én de optimalisatie in bouwstromen. Binnen dit scenario wordt er binnen een project betere samenwerking gestimuleerd tussen diverse partijen binnen de keten van de bouw. Echter vergt dit ook de minste cultuurverandering omdat het in de praktijk steeds vaker wordt toegepast bij bouwprojecten en positieve gevolgen kan hebben voor de individuele partijen. De impact op de omgeving wordt enigszins verbeterd doordat gebundelde bouwstromen vanaf de hub plaats zullen vinden. Dit scenario geeft ruimte om aanpassingen te doen binnen een enkel project en niet vanuit de regio. Daarom kan er op het gebied van een regionale benadering stikstof maar een kleine impact worden geleverd. Daarnaast is er een kleine positieve impact op de directe omgeving omdat de impact op de omgeving (in termen van o.a. aantal transportbewegingen en ruimtegebruik) gereduceerd wordt.

Gebiedsgerichte aanpak met een control tower

Het scenario gebiedsgerichte aanpak met een control tower heeft een grote positieve impact op de NO_x-emissie en de CO₂-emissie (synergie), mede door de elektrificatie van voertuigen en de grote optimalisatie in bouwstromen. Echter, omdat dit om een grote cultuurverandering vraagt brengt dit ook een hele grote uitdaging mee (vandaar de --). Hierbij wordt niet alleen veel verandering en vroegtijdig omdenken gevraagd vanuit de aannemer, maar ook van de leveranciers en andere ketenpartners. Doordat de ketenregie in een vroeg stadium al wordt opgepakt en daarbij ook een rol voor de (regionale) overheid is weggelegd, valt de grootste impact te halen vanuit een regionale benadering stikstof. En door deze aanpassingen in transportstromen en het omdenken vanuit de regio zal de impact op de omgeving het meeste kunnen worden gereduceerd.

2.3.3 Kansrijke scenario's

De scenario's verplichte bouwhub voor een aantal bouwstromen (Outlook Stadslogistiek Bouw) en bouwcentrum en een IT-platform (Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw) zijn vergelijkbaar in positieve impact op alle weegfactoren in de trade-off matrix. Hiermee kan er NO_x-emissiereductie worden behaald zonder een te grote aanpassing vanuit de bouwsector. Daarom worden deze scenario's als zeer kansrijk gezien om op korte termijn toe te passen.

Het scenario multimodale bouwhub (Outlook Stadslogistiek Bouw) komt naar voren als het enige scenario met negatieve impact op NO_x-emissie. Daarnaast vergt het, door de beperkte beschikbaarheid van andere modaliteiten en aanpassing vanuit meerdere partijen, een aanpassing vanuit de bouwsector die niet overal toe kan worden gepast. Omdat in deze opdracht de reductie van NO_x-emissie centraal staat, kan dit scenario enkel als kansrijk worden gezien zodra er voldoende maatregelen zijn getroffen die de NO_x-emissie van de binnenvaart hebben gereduceerd.

Het scenario elektrificatie (Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw) heeft een grote impact op de NO_x-emissie en de CO₂-emissie, waarmee dit als kansrijk kan worden gezien. Het is een stap die vanuit bepaalde partijen een grote investering vraagt. Een impact op stikstofreductie in de regio kan enkel worden behaald als een groot aandeel van de partijen deze stap zet. Met de invoering van Zero-emissie-zones in circa 30 tot 40 grote gemeenten in Nederland per 1 januari 2025 wordt de stap naar elektrificatie steeds concreter. Daarom wordt dit scenario als kansrijk gezien.

De scenario's bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak (Outlook Stadslogistiek Bouw) en gebiedsgerichte aanpak met een control tower (Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw) hebben grote positieve impact op de NO_x-emissie en de CO₂-emissie. Echter, omdat dit om een grote cultuurverandering vraagt brengt dit ook een hele grote uitdaging mee. Hierbij wordt niet alleen aan alle partijen binnen de bouwsector gevraagd om vroegtijdig om te denken, maar zal de (regionale) overheid ook een belangrijke rol spelen. Dit vergt veel verandering en zal daarmee lastig zijn toe te passen. Echter zodra dit is gelukt zal hiermee ook de grootste regionale impact op stikstof kunnen worden gemaakt én zal de impact op de omgeving flink reduceren. Daarom worden deze twee scenario's als zeer kansrijk gezien om naartoe te werken de komende jaren.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de trends in de bouwsector die impact hebben op de bouwmethoden en de additionele effecten hiervan op NO_x-uitstoot. Dit is uiteengezet in een trendanalyse waarbij is gekeken naar kansrijke emissie reducerende trends. Vervolgens worden de verschillende bouwmethoden en de impact op bouwlogistiek, bouwmaterieel en waar mogelijk NO_x-emissies toegelicht.

3.1 Trendanalyse

Nederlandse steden blijven maar groeien en hebben in veel gevallen te maken met verdichting gezien de stevige bouwopgave. De manier waarop bouwplaatsen worden beleverd, wordt o.a. beïnvloed door de gekozen bouwmethode. De toepassing van een bepaalde bouwmethode wordt op zijn beurt beïnvloed door trends, zoals automatisering en robotisering. Deze paragraaf beschrijft de belangrijkste trends die impact hebben op de bouwmethoden. Deze trends zijn verzameld in een multidisciplinaire werksessie met experts en gevalideerd door middel van interviews met marktpartijen (aannemers, leverancier, gemeentes en branchevereniging, zie Bijlage 2: Overzicht met afgenomen interviews).

Duurzaamheid/milieu-eisen

De mondiale bouwindustrie is naar schatting verantwoordelijk voor 36% van het globale energieverbruik⁹. Het is daarom niet verrassend dat duurzaamheid in de bouwsector hoog op de agenda staat. De in de afgelopen decennia toegenomen aandacht voor duurzaamheid heeft daardoor een grote invloed op de gebruikte bouwmethoden.

De focus op duurzaamheid, leefbaarheid, bereikbaarheid, veiligheid en luchtkwaliteit in steden neemt toe. De vraag is steeds vaker hoe al het materiaal, materieel en personeel op een zo schoon mogelijke en logistiek optimale manier op de bouwplaats komt. Binnen steden ligt de nadruk des te meer op deze sector, omdat het onder andere om zware voertuigen gaat die door drukke en dichtbevolkte gebieden rijden. Dit kan zorgen voor gevaar en overlast voor de omgeving, maar ook voor problemen gedurende het transport. De druk om de bouwlogistiek efficiënter te organiseren neemt hierdoor toe.



Het Klimaatakkoord, het Schone Lucht Akkoord en Green Deals zoals Het Nieuwe Draaien en Zero Emissie Stadslogistiek leverden al een impuls, zoals bijvoorbeeld het stimuleren van de elektrificatie van bouwmaterieel en bouwlogistiek^{10 11}. Zo is een tunnelring van de Victory Boogie Woogie tunnel, onderdeel van de Rotterdamsebaan, bestaande uit acht segmenten met een totaal gewicht van ca. 40 ton, met een elektrische wagen - de 'tunnelTesla' gedoopt - de boortunnel ingereden¹².

Maar de recente stikstofproblematiek heeft de druk om te verduurzamen verder vergroot. Dit vraagt om een integrale aanpak, waarbij ook naar de impact van andere bouwmethoden op de bouwlogistiek en de inzet van mobiele werktuigen wordt gekeken.

⁹ Mavi, Gengatharen, Hughes, Campbell en Yates, *Sustainability in Construction Projects: A Systematic Literature Review*, *Sustainability* 13 (4), p. 1932, *Sustainability* | Free Full-Text | *Sustainability in Construction Projects: A Systematic Literature Review* (mdpi.com)

¹⁰ Buyer Group zero emissie bouwmaterieel | PIANOo - Expertisecentrum Aanbesteden

¹¹ Home | Emissieloos Netwerk Infra

¹² De Rotterdamsebaan | BAM Infra Nederland

Robotisering en automatisering

Technologische ontwikkelingen kunnen een enorme impact hebben op het hele ontwerp- en bouwproces. Nieuwe technologieën bieden mogelijkheden om zowel bouwproducten als het bouwproces te verbeteren, waardoor het bouwproces sneller, efficiënter, goedkoper en duurzamer ingericht kan worden.¹³

Industrialisering, automatisering en robotisering worden steeds vaker toegepast in de bouwsector om efficiëntie te verhogen en faalkosten waar mogelijk te verlagen.

Daarnaast zijn er een aantal factoren die de implementatie bevorderen:

- Veiligheid;
- Duurzaamheid;
- Vergrijzing van de arbeidspopulatie en personeelstekort;
- Integratie met 'Building Information Model' (BIM);
- Bouwsnelheid.

Geautomatiseerde bouwprocessen hebben een grote invloed op de planbaarheid van een bouwproject. Inzicht en transparantie van begin tot einde van het proces is nodig om faalkosten te minimaliseren en verdere verbeteringen in de bouwlogistiek te onderbouwen.

Opkomst nieuwe bouwmaterialen

Technologische vooruitgang maakt het mogelijk om een nieuw scala aan bouwmaterialen te gebruiken die op hun beurt weer invloed hebben op de gebruikte bouwmethoden. Naast nieuwe bouwmaterialen komt er ook steeds meer aandacht voor het hergebruiken van bouwmaterialen of het gebruiken van bouwmaterialen van gerecycled materiaal, ook wel circulaire bouwmaterialen genoemd. Circulaire bouwmaterialen variëren van composiet gemaakt van bijproducten van plastic tot het hergebruiken van bakstenen uit oude gebouwen¹⁴.

Digitalisering van processen

Bouwprocessen vinden steeds meer plaats in het digitale domein. Er is steeds meer digitale informatie beschikbaar en hier wordt ook in de bouwsector steeds meer gebruik van gemaakt.

Digitale tools zoals 'Building Information Model' (BIM), 'Augmented Reality' (AR), 'Artificial Intelligence' (AI) en 'Internet of Things' (IoT) zorgen vooral in het ontwerp en modelleringstraject voor een grote efficiëntieslag¹⁵. Potentiële problemen kunnen eerder in het proces gesignaleerd en voorkomen worden. Daarnaast kan er computergestuurd ontworpen worden, waardoor er materiaal bespaard kan worden (bijv. 'Computational Design'). De genoemde tools hebben een sterke invloed op de gekozen bouwmaterialen- en methodiek. Naast de toepassingen voor de bouw zelf maakt digitalisering ook ondersteunende processen zoals de inkoopplanning en de planning van logistieke stromen sneller en efficiënter¹⁶.

¹³ Outlook-Bouwlogistiek.pdf (topsectorlogistiek.nl)

¹⁴ Circular building materials: Carbon saving potential and the role of business model innovation and public policy - ScienceDirect

¹⁵ Sustainability | Free Full-Text | Digitalization as a Strategic Means of Achieving Sustainable Efficiencies in Construction Management: A Critical Review (mdpi.com)

¹⁶ Outlook-Bouwlogistiek.pdf (topsectorlogistiek.nl)

Parametrisch ontwerpen is ook een begrip dat steeds meer voorkomt en wat een enorme vlucht neemt door digitalisering. Parametrisch ontwerpen is een ontwerpproces waarbij op basis van data en relaties tussen onderdelen een ontwerp wordt gegeneerd. Stel de beukmaat van een woning wordt aangepast, dan kost dat normaliter veel tijd om de consequenties door te rekenen. Wat betekent dat bijv. voor de hoeveelheid materiaal en emissie-uitstoot? Wat betekent dat voor de bouwkosten? Deze vragen zijn met één druk op de knop te beantwoorden. Eigenlijk wordt een bouwwerk miljoenen keren digitaal gebouwd en de software lost de problemen op. Door het systeem ook proactief om slimme suggesties te vragen (met artificial intelligence) wordt parametrisch ontwerpen nog een stap verder gebracht¹⁷.

Losmaakbaar en circulair bouwen

Het doel van circulair bouwen is om minimaal gebruik te maken van grondstoffen en tegelijkertijd zoveel mogelijk producten te hergebruiken. Er wordt in de trant van circulariteit niet alleen gekeken naar de gebruikte grondstoffen bij de bouw maar ook naar een ontwerp dat in de toekomst makkelijk aanpasbaar is om aan wisselende behoeftes te voldoen¹⁸. Het is belangrijk om onderscheid te maken tussen hergebruik van materialen en het 'upgraden' van bestaande constructies. De trend die, voornamelijk Rijkswaterstaat, de laatste tijd ontwikkelt is het hergebruiken van bestaande constructies door middel van 'verstevigen' van deze constructies¹⁹.

Losmaakbaar bouwen vergroot de kans op een tweede leven. Alle elementen die normaal worden samengevoegd, worden als losse elementen aangebracht, zodat het gebouw ook weer uit elkaar gehaald kan worden.

3.2 Bouwmethoden en de impact op bouwlogistiek en bouwmaterieel

De bouwactiviteiten kunnen we verdelen in Burgerlijke en Utiliteitsbouw (B&U) en de Grond-, Weg-, en Waterbouw (GWW). De B&U-bouw betreft voornamelijk bouwwerken voor wonen, werken en recreatie. De GWW-bouw betreft voornamelijk bouwwerken voor de infrastructuur zoals wegen, viaducten en waterbouw. Voor de uitvoering van de bouwwerken werkt men met een bepaalde bouwmethode. De keuze voor deze bouwmethode wordt meestal gemaakt bij het ontwerp. Bij de GWW-bouw maakt men onderscheid in verschillende uitvoeringsmethoden, die samenhangen met de contractvorm (Rationalisatie en Automatisering Grond-, Water- en Wegenbouw (RAW), Overeenkomst Met Open Posten (OMOP), Bouwteam, etc.)²⁰.

Naast de traditionele bouwtechnieken, zijn er tal van alternatieve bouwmethodes. Bouwen kan dus op verschillende manieren en het loont de moeite om hier op voorhand over na te denken.

17 *Waarom parametrisch ontwerpen de bouw verandert (bna.nl)*

18 *Outlook-Bouwlogistiek.pdf (topsectorlogistiek.nl)*

19 *Circulaire viaducten | Rijkswaterstaat*

20 *Bouwmethoden - Bouwkunde online (bouwkunde-online.nl)*

Als we inzoomen op de manier waarop de hoofdstructuur van een gebouw wordt opgezet dan zijn er globaal vier bouwmethoden:



Stapelbouw

Bakstenen, bouwblokken, leemstenen, etc., één voor één worden de relatief kleine elementen met de hand opgebouwd.

- Metselwerk stapelbouw
- Kalkzandsteen stapelbouw

Bij stapelbouw worden de dragende constructies uitgevoerd in metselwerk of lijmwerk. Veelal worden hiervoor grotere blokken gebruikt zoals kalk-zandsteen en gasbetonsteen. Bij de stapelbouw wordt beperkt prefabonderdelen gebruikt en is er veel arbeid op de bouwplaats.



Gietbouw

Betonspecie in een bekisting. Bij gietbouw worden de dragende wanden gestort van beton. Voor de vloeren kan men dan een betonvloersysteem gebruiken. Ook kan men de wanden en vloeren in een keer storten.

Hierbij maakt men dan gebruik van de z.g. tunnelbekisting. De leidingen voor de installaties zoals elektra en afvoerleidingen worden meestal ingestort, zodat men vooraf de exacte plaats hiervan moet bepalen. Bij gietbouw maakt men eerst het skelet. Dit is ook de dragende constructie. De buitenwand met metselwerk of plaatmateriaal met het buitenkozijn worden later aangebracht als bekleding. Deze bouwmethode is alleen geschikt voor grotere series en wordt voornamelijk toegepast in de woningbouw. Bij de uitvoering is vrij zwaar materieel nodig voor het plaatsen van de bekistingsystemen.



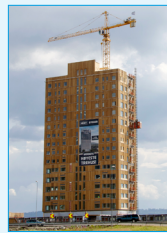
Montagebouw

Prefab, assembleren van bouw-elementen, elementen onderling verbinden, systeembouw.

- Beton montagebouw.
- Beton & hout (massief) montagebouw.
- Hout massief montagebouw.
- Hout HSB elementen montagebouw.

Bij montagebouw werkt men in hoofdzaak met betonnen prefabelementen. De prefabelementen worden in een fabriek op maat vervaardigd en op de bouw gemonteerd. Soms worden hier ook al de installaties in voorgesamonteerd, waardoor het 'plug and play' bouwen wordt. Voor de grootte van de prefabelementen is men afhankelijk van de vervoersmogelijkheden. Voor het in het werk brengen van de prefabelementen is zwaar materieel nodig. Bij de montage kennen we de natte en de droge methode. Bij de natte methode worden verbindingen gemaakt door het aanstorten van de verbindingen. Bij de droge methode worden de verbindingen gemaakt door lassen en bouten. De natte methode is nu nog de meest gebruikte methode, maar vanuit circulariteit is de droge methode gewenst.

Voor B&U wordt giet-, stapel- en montagebouw ook wel de traditionele bouw genoemd. Voor GWW is gietbouw in combinatie met stapelbouw de traditionele bouwmethode.



Skeletbouw

Eigentijdse (hout)skeletbouw met panelen.

- Houtskeletbouw.
- Staalskeletbouw.
- Betonskeletbouw.

Skeletbouw kennen we in staalskelet, betonskelet en houtskeletbouw. Staalskelet wordt in hoofdzaak toegepast in de utiliteitsbouw. De staalconstructie wordt op maat gemaakt bij het constructiebedrijf. De staalconstructie wordt vervolgens geplaatst op stalen of betonnen kolommen die voorzien zijn van ankerbouten. Het geheel wordt op de bouw gemonteerd. Voor de vloeren van de verdieping wordt vaak gebruik gemaakt van betonnen kanaalplaatvloeren. De wanden hebben geen dragende functie. De wanden kan men uitvoeren in bijvoorbeeld stapelbouw of systeembouw. Voor de montage is vrij zwaar materieel nodig. Houtskeletbouw wordt in hoofdzaak in de woningbouw toegepast. Houtskeletbouw is een snelle droge methode in hoofdzaak uitgevoerd in houtproducten. De draagconstructie is samengesteld uit houten stijlen, regels, balken en beplating. De beplating geeft naast de afscheiding ook de stabiliteit aan het bouwwerk. Ook de vloeren zijn van houten balken met beplating. Het skelet met binnenspouwbladen, binnenwanden en de dakconstructie wordt in de fabriek als grote elementen gemaakt en op de bouw gemonteerd. Hout is lichter qua materiaal dan staal of beton. Bij de montage is licht materieel nodig. De arbeidstijd op de bouw is zeer kort, wat grote voordelen oplevert bij slechte weersomstandigheden.

Naast bovenstaande vier bouwmethoden zijn er nog een aantal alternatieve bouwmethoden:



Modulebouw

Modulebouw 1-laags

- Staal modulebouw 1 laags.
- Hout (massief) modulebouw 1 laags.
- Beton 3d-print modulebouw 1 laags.

Modulair bouwen is een bouwtechniek waarbij modules worden gekoppeld of gestapeld om een gebouw te creëren. De modules worden in de fabriek geproduceerd en zijn gebruiksklaar. Modulebouw is flexibel, omdat er eenvoudige modules toegevoegd of verwijderd kunnen worden. Modulebouw kan uitgevoerd worden met de toepassing van verschillende materialen, waaronder staal, hout (massief) of beton 3d-print.



Printen

Additieve bouwmethoden

- Beton printen prefab.
- Beton & kunststof printen prefab.

Printen is een bouwmethode waarbij bouwelementen laag voor laag met een printer worden geproduceerd. Met een 3D-printer kunnen enerzijds standaard modules worden geproduceerd, maar anderzijds is het mogelijk unicasten te produceren. De 3D-geprinte bouwelementen worden in een fabriek geproduceerd en zijn gebruiksklaar. De grootte van de 3D-geprinte bouwelementen worden bepaald door de grootte van de printtafel. Door op de bouw te printen is er minder transport en opslag nodig, de eerste voorbeelden hiervan zijn bekend.²¹

Hybride bouwmethoden

- Giet/stapelbouw (huidig systeem).
- Houten elementenbouw met 3d-geprinte modules.
- Stalen skeletbouw met stalen modules.
- Stalen skelet met houten (massief) modules.
- Houten skelet met houten (massief) modules.
- Stalen skelet met 3d-geprinte modules.

Naast eerdergenoemde bouwmethoden, zijn ook vele combinaties van bouwmethoden mogelijk - hybride bouwmethoden. De impact van deze hybride bouwmethoden op de bouwlogistiek is vergelijkbaar met elk van de afzonderlijke bouwmethoden naar rato in de hybride combinatie.

²¹ 3D-printen in de bouw (bouwbeurs.nl) en Home | ICON (iconbuild.com)

Impact op bouwlogistiek en bouwmaterieel

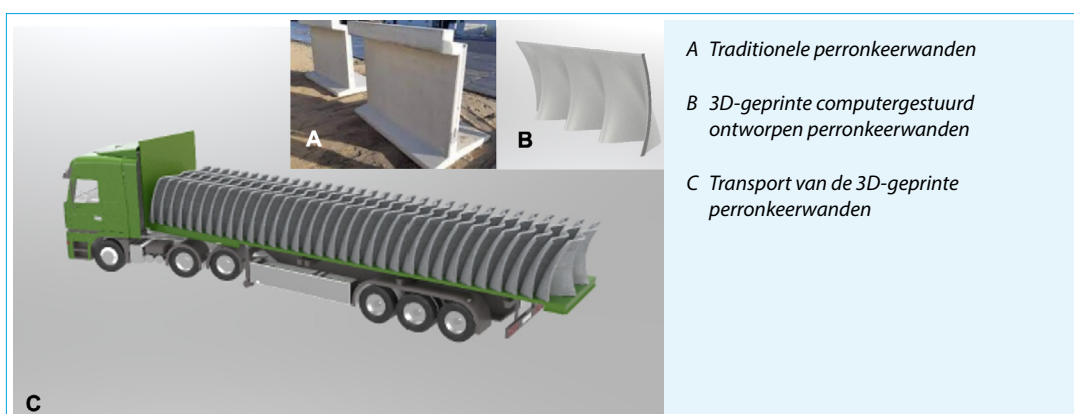
De bouwlogistiek en bijbehorende emissies in de stad worden enerzijds bepaald door het aantal transportbewegingen en anderzijds door het voertuigtype dat ingezet wordt. Het voertuigtype hangt ook samen met het laadvermogen. Hoe groter het laadvermogen van het voertuigtype, hoe groter het voertuig, des te vervuilender vaak het voertuig. En ook: hoe groter het laadvermogen van het voertuigtype, des te lastiger het is om dit voertuig te elektrificeren en Zero Emissie bouwlogistiek te bereiken, zonder het treffen van andere maatregelen zoals hubs aan de rand van steden.

Veel van de nieuwe bouwmethoden prefabriceren bouwelementen in de fabriek. Uit een onderzoek van de Provincie Noord-Holland blijkt dat prefab de meest kansrijke manier voor stikstofarme bouw is.²² Modulair bouwen is kansrijk omdat het op veel plekken toegepast kan worden. In het onderzoek komt naar voren dat de bouwtijd met 50 procent gereduceerd kan worden en dat er bovendien veel transportbewegingen kunnen worden bespaard. Echter, de grootte van de prefab-elementen bepaalt uiteindelijk het laadvermogen en dus de voertuigtypes die ingezet worden in de bouwlogistiek. Dat bepaalt uiteindelijk het aantal transportbewegingen.

Ook vanuit bouwtechniek zijn prefabricage en repetitie in combinatie met bio-based materialen en losmaakbaar bouwen zoveel mogelijk te verkiezen, kijkend naar duurzaamheid. Echter hoe groter de afmeting van de bouwcomponenten en/of modules, hoe zwaarder ook het benodigde materieel om ze te verplaatsen.

Bij de bouwmethode 3D-printen hangt de bouwlogistiek af of er in een fabriek wordt geproduceerd of op de bouwlocatie, en of er gestandaardiseerde modules of unicaten worden geproduceerd. Voor een casus van 3D-geprinte en computergestuurde ontworpen perronkeerwanden (B, Figuur 3) wordt naar verwachting niet alleen 50% materiaal bespaard ten opzichte van de huidige perronkeerwanden (A) - waardoor lichtere voertuigtypes en materieel gebruikt kunnen worden, maar wordt door de pasvorm het aantal ritten naar verwachting gehalveerd ten opzichte van traditionele keerwanden (C). Hierdoor worden per 1000m¹ keerwand zo'n 12 vrachtbewegingen bespaard. Door elementen twee keer zo lang te maken, kan de plaatsingstijd worden gehalveerd en daarmee de tijdsduur van de bouwlogistiek in de stad.

Figuur 3
3D-printen



²² Prefab meest kansrijke manier voor stikstofarme bouw - Cobouw.nl

Naast de afweging van een bepaalde bouwmethode in relatie tot het aantal en type voertuigbewegingen, is de ruimte op de bouwplaats ook een belangrijke factor. Zeker bij binnenstedelijke bouw wordt er gebouwd op zogenoemde postzegellocaties. Postzegellocaties zijn bouwplaatsen waar weinig ruimte is om voorraden bouw materiaal aan te houden, logistieke handelingen te verrichten en die moeilijk bereikbaar zijn.

Ten opzichte van traditionele bouw (giet-, stapel- en montagebouw) verschillen de alternatieve bouwmethoden met name op het aspect dat er veel geprefabriceerd wordt buiten de stad. Dit komt ook terug in de casussen. Gezien de beperkte data van de casussen zijn deze moeilijk onderling te vergelijken en is het doen van gegronde conclusies lastig. De casussen zijn om deze reden niet opgenomen in deze verkorte versie van de rapportage, aangezien vervolgonderzoek benodigd is die de conclusies staven. Wij bevelen daarom aan om vervolgonderzoek te doen naar de impact van alternatieve bouwmethoden op het aantal en type transportbewegingen (materiaal en personeel) en inzet van mobiele werktuigen en daarmee de uitstoot in de gehele keten.

3.3 Discussie

Uit de interviews met marktpartijen worden de opgegeven trends onderschreven. Ook wordt door de marktpartijen aangegeven dat bouwsnelheid, hinder in de stad en eisen van bevoegd gezag (bv. maximaal tonnage en voorgeschreven routes) een reden is om voor een bepaalde bouwmethode te kiezen - gelijk aan criteria (hinder in de stad als onderdeel van impact op de omgeving) genoemd in de trade-off matrix van de bouwlogistieke scenario's.

Ten opzichte van traditionele bouw (giet-, stapel- en montagebouw) verschillen de alternatieve bouwmethoden met name op het aspect dat er veel geprefabriceerd wordt buiten de stad. Om meer gevoel te krijgen bij de hoeveelheid transportbewegingen, inzet van mobiele werktuigen en emissie-uitstoot is het netwerk van het projectteam gemobiliseerd. Van de projecten met alternatieve bouwmethoden die al ten uitvoer zijn gebracht (bv. Circulair Viaduct te Kampen²³ en HAUT te Amsterdam²⁴) zijn geen bouwlogistieke en/of uitvoeringsdata beschikbaar - of ten minste niet door het projectteam te achterhalen. Uit de interviews blijkt dat monitoring van bouwlogistiek en uitvoering voor een aantal partijen beperkt interessant is, omdat het nauwelijks bijdraagt aan kosten en/of milieu-impact - hetgeen ze op sturen. Indien bevoegd gezag monitoring vereist, wordt er in veel gevallen alleen gemonitord wat nodig is. Als gevolg hiervan is er een gebrek aan data om bouwlogistiek en uitvoering inzichtelijk te maken. Daarnaast zitten veel projecten met alternatieve bouwmethoden nog in de ontwikkelfase, waardoor er nog geen data is over bouwlogistiek en uitvoering. Daarom bevelen we aan om projecten met alternatieve bouwmethoden te subsidiëren om uitvoeringsdata te genereren en te monitoren op bouwlogistiek en uitvoering. Zodat vervolgens deze data kan worden gedeeld met de sector om er van te leren.

²³ Bouw circulair viaduct bij Kampen | Rijkswaterstaat

²⁴ Gebouw - HAUT (Hautamsterdam.nl)

Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

4.1.1 NO_x-emissies bouwlogistieke scenario's

Scenario Bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak geeft grootste NO_x-reductie in Outlook Stadslogistiek Bouw

In de Outlook Stadslogistiek Bouw komt het scenario Bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak als beste uit de bus voor zowel NO_x-reductie (10%) als CO₂-reductie (14%) ten opzichte van het Business as usual scenario (referentie). Het scenario Multimodale bouwhubs is effectief in CO₂-reductie (11%), maar zorgt voor een stijging in NO_x-emissie (+22%).

Scenario Gebiedsgerichte aanpak met Control Tower geeft grootste NO_x-reductie in Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw

In de Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw komt het scenario Gebiedsgerichte aanpak met Control Tower als beste uit de bus op zowel NO_x-reductie (73%) als CO₂-reductie (92%) ten opzichte van Traditioneel (referentie), gevolgd door scenario Bouwcentrum (73% NO_x-reductie) en tot slot scenario Elektrificeren (59% NO_x-reductie).

Stijging NO_x-emissies door de inzet van vervoer over water

Ondanks dat vervoer over water zorgt voor CO₂-reductie (11%), zorgt het ook voor een stijging in NO_x-emissies (+22%), zoals blijkt uit scenario 'Multimodale bouwhubs'. Een reductie in CO₂-emissies geeft dus niet automatisch een reductie in NO_x-emissies. In de binnenvaart valt veel milieuwinst te behalen, dit punt komt niet alleen sterk naar voren in deze berekening, maar ook in de doelen die gesteld worden door de overheid. Met oog op benodigde verduurzaming voor het Klimaatakkoord is een Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens in uitvoering sinds 2019, wat gevolgen zal hebben op zowel de CO₂- als de NO_x-uitstoot.

Procesinpassing grootste belemmering in toepassen scenario's met grootste NO_x-reductie

Naast NO_x-reductie zijn de scenario's in een trade-off matrix ook vergeleken op andere aspecten. De scenario's die het meeste NO_x-reductie geven, scoren op alle aspecten het best, behalve op het criteria 'Procesinpassing'. De scenario's Bouwhub in combinatie met gebiedsaanpak en Gebiedsgerichte aanpak met Control Tower vraagt dat ketenpartners over de gehele keten, over projecten en in een gebied met elkaar gaan samenwerken en informatie delen. Dit is nu nog een nieuwe manier van werken.

4.1.2 Alternatieve bouwmethoden

Trends in de bouwsector zorgen voor een grotere inzet van andere bouwmethoden

Trends zoals robotisering, digitalisering en industrialisering zorgen ervoor dat de inzet van andere bouwmethoden mogelijk is. Door industrialisering is het bijvoorbeeld mogelijk om meer geprefabriceerd te bouwen (montagebouw). Door automatisering is het bijvoorbeeld mogelijk om de bouwmethode printen toe te passen. De keuze voor een bepaalde bouwmethode bepaalt de manier waarop de bouwplaats wordt belevd.

Bouwsnelheid, hinder in de stad en eisen van bevoegd gezag beïnvloeden keuze bouwmethode

Een aantal factoren die de keuze van een bouwmethode beïnvloeden, namelijk: bouwsnelheid, hinder in de stad en eisen van bevoegd gezag. Door de toepassing van bijv. montagebouw en modulebouw is de doorlooptijd van een bouwproject, en daarmee de hinder voor de omgeving, vele malen kleiner. Een groot deel van de voorbereiding vindt plaats in de fabriek. Op de bouwplaats hoeft het alleen nog maar geassembleerd te worden of zelfs alleen neergezet te worden. Wat uiteindelijk bepalend is voor de uitstoot, is het aantal transporten en de inzet van mobiele werktuigen. Het tempo van bouwen is daarbij cruciaal. Dit is een belangrijke reden om te kiezen voor een andere bouwmethode.

Daarnaast spelen hinder in de stad en de eisen van bevoegd gezag ook een rol bij de keuze van de bouwmethode. Steeds vaker worden aannemers uitgedaagd om de hinder in de stad tot een minimum te beperken. In veel gevallen wordt daarbij gekeken naar het optimaliseren van het aantal transportbewegingen door de inzet van een andere bouwmethode of door een ander logistiek concept toe te passen, zoals een bouwhub voor een aantal bouwstromen of een andere modaliteit.

Het effect van alternatieve bouwmethoden op het aantal ritten in de stad en daarmee de ruimtelijke implicaties dient verder onderzocht te worden

Ten opzichte van traditionele bouw (giet-, stapel- en montagebouw) verschillen de alternatieve bouwmethoden met name op het aspect dat er veel geprefabriceerd wordt buiten de stad. Dit komt ook terug in de casussen. Gezien de beperkte data van de casussen zijn deze moeilijk onderling te vergelijken en is het doen van gegronde conclusies lastig. De casussen zijn om deze reden niet opgenomen in deze verkorte versie van de rapportage, aangezien vervolgonderzoek benodigd is die de conclusies staven.

4.2 Aanbevelingen

Op basis van de voorgaande conclusies geven we hierna ook een aantal concrete aanbevelingen.

Bouw hubs inzetten binnen projecten om op korte termijn winst te behalen

Zoals in paragraaf 2.3 Discussie naar voren kwam, is er een winst te behalen op NO_x-emissie en CO₂-emissie bij het inzetten van een bouwhub binnen een project. Door verbeterde ketensamenwerking tussen partijen binnen de uitvoering van een bouwproject kunnen goederen gebundeld worden en daarmee een reductie behaald worden in transportbewegingen. Dit wordt in de praktijk vaak al toegepast bij postzegellocaties waarbij weinig ruimte is en er mogelijk veel overlast op de omgeving kan zijn. Hierbij kan specifiek worden gestuurd op locaties die grote impact kunnen hebben op de regionale benadering van stikstof (ongunstige locaties t.o.v. stikstofgevoelige Natura-2000 gebieden) en waarbij de impact op de omgeving moet worden gereduceerd. Dit is een aanpassing die op zeer korte termijn mogelijk is om toe te passen, indien dit genoeg wordt gestimuleerd.

Gebiedsgerichte aanpak met ketenregie en rol voor de overheid: doel voor lange termijn

Zoals in paragraaf 2.3 Discussie naar voren kwam valt de grootste winst op NO_x-emissie, CO₂-emissie, impact op de omgeving én een regionale benadering van stikstof te behalen als er verder wordt gekeken dan individueel projectniveau. Door een gebiedsgerichte aanpak waarbij de (regionale) overheid een belangrijke rol speelt, kan vanaf de start van een plan een efficiëntieslag worden gemaakt waardoor de grootste winst te behalen valt. Daarnaast kan bij een gebiedsgerichte aanpak rekening worden gehouden met locaties nabij stikstofgevoelige natuur zodat daarmee de bouwopgave een betere indeling kan worden gegeven. Dit vergt echter een grote aanpassing vanuit de complete bouwsector en de rol van de (regionale) overheid. Op dit moment ontbreekt de ervaring en middelen om dit breed toe te passen. Om te kunnen opschalen in positieve effecten op zowel NO_x-emissie als synergie en impact op de omgeving, is dit de aanpak waar de bouwsector en (regionale) overheid in moeten investeren.

Monitoring projecten met alternatieve bouwmethoden voor impactbepaling en vervolgonderzoek

Zoals in paragraaf 3.3 Discussie al naar voren kwam, is er weinig tot geen bouwlogistieke en/of uitvoeringsdata beschikbaar van projecten met alternatieve bouwmethoden. Door projecten met alternatieve bouwmethoden te subsidiëren kan data omtrent bouwlogistiek en uitvoering worden gegenereerd en gemonitord. Op deze manier is het mogelijk de impact op voertuigbewegingen en emissies op casusniveau inzichtelijk te krijgen en waar mogelijk de resultaten te generaliseren. Door het delen van deze data met de sector kan er van elkaar geleerd worden.

Ook is vervolgonderzoek naar de impact van alternatieve bouwmethoden op het aantal en type transportbewegingen (materiaal en personeel) en inzet van mobiele werktuigen en daarmee de uitstoot in de gehele keten van groot belang. In dit onderzoek is er ingezoomd op de NO_x-emissies van bouwlogistiek. De inzet van bouwmaterieel is beperkt uiteengezet en het bouwpersoneel is buiten beschouwing gelaten.

Opdrachtgevers en beleid spelen een belangrijke rol in het schetsen van de juiste kaders

Opdrachtgevers (en publieke organisaties in de rol van opdrachtgever) kunnen sterk sturen bij de aanbesteding van nieuwe bouwprojecten. Naast criteria over de doorlooptijd van de uitvoeringsfase en de bereikbaarheid kan een opdrachtgever ook criteria opnemen om verstoringen voor de omgeving te minimaliseren. Hierdoor wordt de druk op de schaars beschikbare ruimte verminderd, wat leidt tot een hogere leefbaarheid. Een mooi voorbeeld is de toepassing van het Zero Emissie Bouwplaats criterium door Prorail voor het project 'Kunstwerk en parklandschap Dijkgracht' te Amsterdam.

Bij veel bouwprojecten wordt de aannemer vaak uitgedaagd om andere, milieubewustere of circulaire grondstoffen toe te passen. Denk bijv. aan de toepassing van geopolymeren. Steeds vaker wordt niet alleen gestimuleerd om alternatieve grondstoffen toe te passen, maar wordt de aannemer ook uitgedaagd om het transport en de uitvoering efficiënter en duurzamer in te richten. Transport en de uitvoering was langere tijd onderbelicht, omdat het maar om een klein aandeel in de hele keten gaat. Echter door de enorme bouwopgave in steden en de schaars beschikbare ruimte in steden, komt de focus ook steeds meer op dit onderdeel te liggen.

Ook het thema monitoring kan de opdrachtgever opnemen in het schetsen van de juiste kaders. Uit de interviews kwam naar voren dat er in een aantal gevallen alleen gemonitord wordt als het bevoegd gezag of de opdrachtgever dat vereist. In veel gevallen wordt dan ook alleen gemonitord wat nodig is. Als gevolg hiervan is er een gebrek aan data om bouwlogistiek en uitvoering inzichtelijk te maken. Door dit onderdeel in de aanbesteding al mee te nemen kan er bottom-up steeds meer informatie worden verzameld.

BAM - De Rotterdamse baan, De Rotterdamsebaan | BAM Infra Nederland, maart 2022

Betoncentraal, *Betontransport*, www.betoncentraal.nl/betontransport/, 31 maart 2022

Bouwbeurs, *3D-printen in de bouw*, 3D-printen in de bouw (bouwbeurs.nl), maart 2022

Bouwkunde Online, *Bouwmethoden*, Bouwmethoden - Bouwkunde online (bouwkunde-online.nl), maart 2022

Branchevereniging Nederlandse Architectenbureaus, *Waarom parametrisch ontwerpen de bouw verandert*, *Waarom parametrisch ontwerpen de bouw verandert* (bna.nl), maart 2022

Cobouw, *Prefab meest kansrijke manier voor stikstofarme bouw*, Prefab meest kansrijke manier voor stikstofarme bouw - Cobouw.nl, maart 2022

De Bes, Eckartz, Van Kempen, Van Merriënboer, Van Amstel, Van Rijn en Vrijhoef (2018), *Duurzame bouwlogistiek voor binnenstedelijke woning- en utiliteitsbouw: Ervaringen en aanbevelingen*, TNO, *Duurzame bouwlogistiek voor binnenstedelijke woning- en utiliteitsbouw: Ervaringen en aanbevelingen* | TNO Publications

Emissieloos Netwerk Infra, Home | Emissieloos Netwerk Infra, 9 april 2022

Fung-A-Loi, Maltha, Romeijn en Wilmot (2022), *Werken met de AERIUS Calculator*, p. 228-230.

Gemeente Eindhoven, *BouwHub Eindhoven is geopend*, BouwHub Eindhoven is geopend | Gemeente Eindhoven, maart 2022

Green Deal, Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens, april 2022

HAUT Amsterdam, Gebouw - HAUT (hautamsterdam.nl), maart 2022

ICON, *3D-geprinte huizen*, Home | ICON (iconbuild.com), maart 2022

Kamer van Koophandel, *Stikstof in de bouw - het kan naar 0*, Stikstof in de bouw - het kan naar 0 (kvk.nl), maart 2022

Levin, Feenstra en Keurntjes (2021), *Oplegnotitie Resultaten Trade-Off Matrix: studie alternatieve bouwmethoden hoogspanningsstations*, Movares

Mavi, Gengatharen, Hughes, Campbell en Yates, *Sustainability in Construction Projects: A Systematic Literature Review*, Sustainability 13 (4), p. 1932, Sustainability | Free Full-Text | Sustainability in Construction Projects: A Systematic Literature Review (mdpi.com)

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2021), *Emissiefactoren voor snelwegen en niet-snelwegen*, Emissiefactoren voor snelwegen en niet-snelwegen | Publicatie | Rijksoverheid.nl

Nikmehr, Hosseini, Martek, Zavadskas en Antucheviciene (2021), *Digitalization as a Strategic Means of Achieving Sustainability Efficiencies in Construction Management: A Critical Review*, Sustainability 13 (9), p. 5040, Sustainability | Free Full-Text | Digitalization as a Strategic Means of Achieving Sustainable Efficiencies in Construction Management: A Critical Review (mdpi.com)

NOS, Stikstofvrij bouwen: 'Bouwers kunnen soms meer dan ze denken', Stikstofvrij bouwen: 'Bouwers kunnen soms meer dan ze denken' | NOS, maart 2022

Nußholz, Rasmussen en Milios (2019), Circular building materials: Carbon saving potential and the role of business model innovation and public policy, Resources, Conservation and Recycling 141, p. 308-316, Circular building materials: Carbon saving potential and the role of business model innovation and public policy - ScienceDirect

Overbeeke (2013), *Modulair bouwen - Kansen in vergelijking met traditioneel bouwen voor ziekenhuisvastgoed*, afstudeerscriptie TU Delft, www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwipxZG42Jr2AhUI76QKH_a_CScQFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Frepository.tudelft.nl%2Fislandora%2Fobject%2Fuuid%3A5bfd3332-9756-4715-930a-6ec9aad4438e%2Fdatastream%2FJOB%2Fdownload&usg=AOvVaw3Y1LetHp51mFXea5y2Xf41

PIANOo Buyer Group zero emissie bouwmaterieel, Buyer Group zero emissie bouwmaterieel | PIANOo - Expertisecentrum Aanbesteden, 9 april 2022

Rijkswaterstaat, *Bouw circulair viaduct bij Kampen*, Bouw circulair viaduct bij Kampen | Rijkswaterstaat, maart 2022

Rijkswaterstaat, *Circulaire Viaducten in 9 stappen*, Circulaire viaducten | Rijkswaterstaat, maart 2022

Rijkswaterstaat (2020), *Richtlijnen Vaarwegen 2020*, 2e druk (pp. 22-27)

TNO (2021a), Binnenvaart - emissiefactoren varend. Opgehaald van www.aerius.nl/nl/factsheets/binnenvaart-emissiefactoren-varend/13-01-2022.

TNO (2021b), Emissiefactoren wegverkeer: wijzigingen en uitbreidingen 2021. Den Haag: TNO. Opgehaald van <http://resolver.tudelft.nl/uuid:500f483a-e92a-453c-b5ce-e87a1ef2e3e2>

Van Merriënboer, Kin, Quak, Van Rijn en De Vries (2020), *Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw. Scenario's voor de reductie van voertuigbewegingen en CO₂-uitstoot in de stad in 2030*, TNO in opdracht van Topsector Logistiek

Van Rijn, Rondaij, Van Merriënboer, Kin en Quak (2020), *Outlook Stadslogistiek Bouw. Scenario's voor de reductie van vervoersbewegingen en CO₂-uitstoot in de stad voor (grootschalige) nieuwbouwprojecten in 2030*, TNO in opdracht van Topsector Logistiek

Toelichting uitgangspunten NO_x-berekening scenario's Outlooks

Deze bijlage bevat een toelichting met de uitgangspunten gehanteerd in de NO_x-berekening. Er wordt beschreven wat de uitgangspunten in de Outlook Stadslogistiek Bouw en Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw zijn, waarna een toelichting wordt gegeven van de aanvullende uitgangspunten om de NO_x-berekening uit te voeren. Deze bijlage is ingedeeld op basis van type uitgangspunten.

Voor de NO_x-berekening van de scenario's is het belangrijk om de emissies te berekenen die zo goed mogelijk de realiteit reflecteren. Daarom zijn emissiefactoren gebruikt die zo dicht mogelijk bij de realiteit liggen, waarbij ook rekening wordt gehouden met de uitgangspunten die zijn aangehouden in de Outlook Stadslogistiek Bouw en Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw.

De AERIUS Calculator is de voorgeschreven rekentool om stikstofberekeningen in uit te voeren. Deze wordt gebruikt voor het toetsen van projecten en ontwikkelingen voor de Wet Natuurbescherming. In deze berekening is gebruik gemaakt van emissiefactoren die ook worden gebruikt in de AERIUS Calculator versie 2021. Hierdoor wordt aangesloten op de praktische uitvoering van stikstofberekeningen in de bouwsector.

Wegverkeer

Voertuigtypes wegverkeer

Voor de voertuigbewegingen over de weg zijn binnen de Outlooks zes voertuigtypes gehanteerd op basis van voertuigclassificatie en de toegestane maximum massa van het voertuig. Voor het berekenen van de NO_x-emissie moeten deze worden gekoppeld aan SRM-emissiefactoren.

In de set SRM-emissiefactoren worden de volgende voertuigcategorieën onderscheiden:

- **Licht wegverkeer:** personenauto's, bestelauto's en motorfietsen;
- **Middelzwaar wegverkeer:** vrachtauto's met een maximale massa van 20 ton en touringcars;
- **Zwaar wegverkeer:** trekker-opleggercombinaties en vrachtauto's met een maximale massa hoger dan 20 ton.
- **Lijnbussen**, in het openbaar vervoer.²⁵

In onderstaande tabel zijn de zes voertuigtypes die in de berekening onderscheiden zijn weergegeven met de overeenkomende verkeerscategorie uit de SRM-categorieën. De betonmixer kan met volle vracht meer dan 40 ton wegen²⁶, voor de betonmixer is daarom uitgegaan van zwaar wegverkeer.

Voertuigtype Outlooks	Europese voertuig classificatie	Maximum massa voertuig	Verkeerscategorie SRM-emissiefactoren
Bestelauto	N1	< 3,5 ton	Licht wegverkeer
Vrachtauto licht	N2	< 10 ton	Middelzwaar wegverkeer
Vrachtauto midden	N2, N3	≤ 19,5 ton	Middelzwaar wegverkeer
Vrachtauto groot	N2, N3	> 19,5 ton	Zwaar wegverkeer
Trekker-oplegger	N2, N3	≥ 3,5 ton	Zwaar wegverkeer
Betonmixer	N2, N3	≥ 40 ton	Zwaar wegverkeer

Tabel 5
De zes voertuigtypes uit de twee Outlooks met de Europese voertuigclassificatie en maximale massa voertuig zoals gegeven in de Outlook Stadslogistiek Bouw.²⁷ Erbij toegevoegd de overeenkomende SRM-categorie.

25 Emissiefactoren wegverkeer | TNO Publications
26 www.betoncentraal.nl/betontransport/
27 Outlook Stadslogistiek Bouw

Jaartal emissiefactoren wegverkeer

De Outlooks zijn een voorspelling van scenario's in 2030, waarbij er dus rekening moet worden gehouden met veranderende emissiefactoren voor het wegverkeer. Voor de emissiefactoren van het wegverkeer is in de Outlook Stadslogistiek Bouw een combinatie van jaartallen van emissiefactoren genomen, namelijk een combinatie van jaartallen 2015, 2020, 2025 en 2030 met interpolatie in tussenliggende jaren. Hierbij is in het scenario Business as usual in Outlook Stadslogistiek Bouw ook rekening gehouden met het autonome elektrificeren van de vloot, echter is daarbij geen rekening gehouden met de invoering van Zero-emissie-zones en effect daarvan op de vloot. Op basis van deze uitgangspunten zijn CO₂-emissies berekend in de Outlook Stadslogistiek Bouw en de Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw.

Voor NO_x zijn er emissiefactoren beschikbaar voor elk jaar van 2018 t/m 2030 vanuit het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat²⁸. In deze emissiefactoren is rekening gehouden met het autonome elektrificeren van de vloot. Om aan te sluiten bij de interpolatie van 2015 t/m 2030 die is aangehouden in beide Outlooks is gekozen om een gemiddelde te nemen van de emissiefactoren van jaren 2018 t/m 2030. Gezien de emissiefactoren van de individuele jaren beschikbaar was is hierbij geen verdere interpolatie benodigd.

Wegtypering bouwstromen

De bouwstromen over de weg zijn in Outlook Stadslogistiek Bouw en Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw per scenario inzichtelijk gemaakt in gereden kilometers. De gereden kilometers zijn uitgesplitst in binnenstedelijk en buitenstedelijk, met verdere uitsplitsing in drie wegtypes: bebouwde kom, provinciale weg en snelweg.

De NO_x-emissiefactoren voor wegverkeer zijn beschikbaar op diezelfde drie wegtypes; bebouwde kom, provinciale weg en snelweg. Bij deze emissiefactoren voor NO_x is een verdere uitsplitsing gemaakt op basis van het doorstromingstype, de maximale snelheid en type handhaving. Deze emissiefactoren zijn beschikbaar voor elk jaar van 2018 t/m 2030²⁸.

De gemiddelde emissiefactoren zijn daarvoor berekend op basis van de getallen van Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2021)²⁸. In Tabel 6 zijn deze gegevens te zien.

Tabel 6
NO_x emissiefactoren
per wegtype,
doorstromingstype,
maximale snelheid en
handhaving.

Wegtype	Doorstromings-type	Maximale snelheid snelweg	Strengte hand - having	Gem. emissie-factor 2018 - 2030 gNO _x /km licht wegverkeer	Gem. emissie-factor 2018 - 2030 gNO _x /km middelzwaar wegverkeer	Gem. emissie-factor 2018 - 2030 gNO _x /km zwaar wegverkeer
Binnen bebouwde kom	Stad stagnerend; file	-	-	0,325880769	6,276423077	7,098746154
	Stad normaal	-	-	0,243157692	3,600334615	5,268396154
	Stad doorstromend	-	-	0,227734615	2,36325	3,953576923
Buitenweg (provinciale weg)	Buitenweg	-	-	0,188280769	1,992842308	3,442096154
Snelweg	File	-	-	0,299280769	4,765676923	6,714157692
	Vrije doorstroming	80 km/h	Ja	0,167469231	1,678311538	1,849276923
	Vrije doorstroming	80 km/h	Nee	0,194280769	1,678311538	1,849276923
	Vrije doorstroming	100 km/h	Ja	0,192330769	1,678311538	1,849276923
	Vrije doorstroming	100 km/h	Nee	0,204884615	1,678311538	1,849276923
	Vrije doorstroming	120 km/h	-	0,244438462	1,678311538	1,849276923
	Vrije doorstroming	130 km/h	-	0,265996154	1,678311538	1,849276923

²⁸ Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2021). Emissiefactoren voor snelwegen en niet-snelwegen.

Binnen bebouwde kom

De emissiefactoren voor het wegtype binnen bebouwde kom hebben drie doorstromingstypes. Voor bouwstromen binnen de bebouwde kom is daarom gekozen om uit te gaan van de gemiddelde van de drie doorstromingstypes per type wegverkeer. Dit komt uit op 0,265591026 gNO_x/km voor licht wegverkeer, 4,080002564 gNO_x/km voor middelzwaar wegverkeer en 5,440239744 gNO_x/km voor zwaar wegverkeer.

Buitenweg (provinciale weg)

De emissiefactoren voor het wegtype buitenweg hebben één doorstromingstype. Hiervoor zijn voor elk jaar emissiefactoren beschikbaar en het gemiddelde hiervan is berekend. Dit komt uit op 0,188280769 gNO_x/km voor licht wegverkeer, 1,992842308 gNO_x/km voor middelzwaar wegverkeer en 3,442096154 gNO_x/km voor zwaar wegverkeer.

Snelweg

Het wegtype snelweg heeft een grotere variatie aan emissiefactoren. Hierbij heeft het doorstromingstype file duidelijk een hogere emissiefactor, echter is het niet realistisch om aan te nemen dat alle bouwstromen over de snelweg in de file zullen staan. Vervolgens is in de vrije doorstroming een uitsplitsing gemaakt op maximale snelheid en strenge handhaving. Bij de vrije doorstroming is geen verschil in emissiefactoren voor het middelzwaar en het zwaar wegverkeer.

In deze opgave is het belangrijk om te kijken naar de gemiddelde inzet van voertuigen en de transportbewegingen door heel Nederland. Hierbij is het onduidelijk over welke wegen en op welk tijdstip ze rijden, daarmee is de doorstroming, de snelheid en handhaving moeilijk in te schatten. Om deze reden is het gemiddelde genomen van al deze emissiefactoren voor verschillende doorstromingstypes, snelheden en handhaving. Hiervoor zijn voor elk jaar emissiefactoren beschikbaar en het gemiddelde hiervan is berekend per type wegverkeer. Dit komt uit op 0,224097253 gNO_x/km voor licht wegverkeer, 2,119363736 gNO_x/km voor middelzwaar wegverkeer en 2,54425989 gNO_x/km voor zwaar wegverkeer.

Binnenstedelijk en buitenstedelijk

bouwstromen opgedeeld in binnenstedelijk en buitenstedelijk gebied. In beide Outlooks wordt inzicht geboden in de reductie in zowel binnenstedelijke (traject bouwhub-bouwplaats) als buitenstedelijke (traject leverancier-bouwhub) ritten. Deze verdeling houden wij ook aan in de NO_x-berekening om inzicht te bieden in de impact op die twee trajecten en omgevingen.

De verdeling van binnenstedelijk verkeer en buitenstedelijk verkeer komt niet direct overeen met de wegtypes, hier is een onderscheid in gemaakt. Voor binnenstedelijk verkeer is uitgegaan van wegtype binnen bebouwde kom en daarmee ook die emissiefactor toegepast. Voor buitenstedelijk verkeer is aangenomen dat 10% van de bouwstromen over de provinciale weg plaatsvinden en 90% van de bouwstromen over de snelweg plaatsvinden. Dezelfde verdeling is toegepast op de emissiefactoren in de NO_x-berekening voor buitenstedelijk verkeer.

Elektrificatie wegverkeer

In de Outlook Stadslogistiek Renovatiebouw zijn in meerdere scenario's de elektrificatie van voertuigen op de bouwstromen toegepast. Deze gegevens zijn door TNO aangeleverd en meegenomen in de NO_x-berekening. Elektrische voertuigen leveren geen NO_x-uitstoot, enkel voor de gereden kilometers op brandstof is de NO_x-uitstoot berekend in deze scenario's.

Vaarverkeer

Bij de Outlook Stadslogistiek Bouw is vaarverkeer ook als modaliteit meegenomen. Er is in de Outlook Stadslogistiek Bouw geen rekening gehouden met de uitstoot tijdens het aanleggen/laden en lossen, daarom is dit ook buiten beschouwing gelaten in de NO_x -berekening. In de Outlook Stadslogistiek Bouw is aangenomen dat het vaarverkeer beladen heen vaart en leeg terug vaart, zodoende is de helft van de gevaren kilometers in beladen stand met emissiefactoren voor beladen varen en de andere helft van de gevaren kilometers in lege stand met emissiefactoren voor leeg varen. Er zijn twee types vaarschepen meegenomen, namelijk een binnenvaartschip en een sleep-/duwboot.

Binnenvaartschip

Voor het binnenvaartschip is in de Outlook Stadslogistiek Bouw uitgegaan van een Kempenaar (M2) schip. Voor de NO_x -emissie is gebruik gemaakt van de binnenvaart - emissiefactoren varend²⁹ waarin de emissiefactoren in gNO_x/km beschikbaar zijn gesteld voor de jaren 2018 t/m 2030. Om tot een correcte emissiefactor te komen is een gemiddelde genomen van de varende M2 schepen over alle jaren heen, daarbij is onderscheid gemaakt tussen het beladen varen en het leeg varen. Dit komt uit op $81,94504808 \text{ gNO}_x/\text{km}$ voor lege varende M2 schepen en $144,2302692 \text{ gNO}_x/\text{km}$ voor beladen varende M2 schepen. Rekening houdend met de helft van de gevaren kilometers in beladen stand en de helft van de gevaren kilometers in lege stand komt dit gemiddeld uit op $113,0876587 \text{ gNO}_x/\text{km}$.

Sleep-/duwboot

Voor de sleep-/duwboot is in de Outlook Stadslogistiek Bouw uitgegaan van een gemiddelde CO_2 -emissiefactor die is gemeten aan meerdere duw-/sleepboten in een eerdere studie over bouwlogistiek over het water. Hiervan zijn geen NO_x -emissiefactoren beschikbaar.

Voor de binnenvaartschepen geldt een onderverdeling in drie typen schepen, namelijk Duwstellen, Koppolverbanden en Motorvrachtschepen. Een sleep-/duwboot past het best onder het type Duwstellen. Voor de NO_x -emissie is gebruik gemaakt van de binnenvaart - emissiefactoren varend³⁰ waarin de emissiefactoren in gNO_x/km beschikbaar zijn gesteld voor de jaren 2018 t/m 2030.

Binnen de Outlook Stadslogistiek Bouw is de duw-/sleepboot voor binnenstedelijke ritten meegenomen. Dit gaat specifiek om inzet vanaf de multimodale bouwhub naar de bouwplaats. Hierbij is te verwachten dat dit gaat om kleinere ladingen en daarmee kleinere duwstellen. Voor duwstellen heeft Rijkswaterstaat klassen gedefinieerd. Volgens Richtlijnen Vaarwegen 2020, 2e druk³¹ is de duwbak van het type Europa II het meest gangbaar, maar wordt circa 30% van het nationale vervoer per duwbak uitgevoerd met bakken die kleiner zijn dan Europa I. Derhalve is gekozen om uit te gaan van RWS klasse duwstellen B01, B02, B03 en B04, dit zijn duwstellen kleiner dan Europa I type duwbak³¹ en daarmee geschikter voor kleinere binnenvaart t.b.v. vervoer van de bouwhub naar de bouwplaats.

Hierbij is de gemiddelde gNO_x/km genomen van alle varende, RWS klasse B01, B02, B03 en B04 duwstellen over de jaren 2018 t/m 2030, wat uitkomt op $120,2697332 \text{ gNO}_x/\text{km}$ voor leeg varende duwstellen en $232,0146944 \text{ gNO}_x/\text{km}$ voor beladen varende duwstellen. Rekening houdend met de helft van de gevaren kilometers in beladen stand en de helft van de gevaren kilometers in lege stand komt dit gemiddeld uit op $176,1422138 \text{ gNO}_x/\text{km}$.

29 TNO. (2021a). Binnenvaart - emissiefactoren varend.
Opgehaald van www.aerius.nl/nl/factsheets/binnenvaart-emissiefactoren-varend/13-01-2022.

30 TNO. (2021a). Binnenvaart - emissiefactoren varend.
Opgehaald van www.aerius.nl/nl/factsheets/binnenvaart-emissiefactoren-varend/13-01-2022.

31 Rijkswaterstaat. (2020). Richtlijnen Vaarwegen 2020, 2e druk (pp. 22-27).

Bijlage 2

Tabel 7
Overzicht geïnterviewde
bedrijven en personen

Overzicht geïnterviewde bedrijven en personen

Bedrijf	Naam
Bouwend Nederland	Arjan Walinga
Bouwbedrijf M.J. de Nijs en Zonen BV	Marcel Scheltinga
Bruil	Huig Rook
Gemeente Amsterdam	Marcel Ludema
K. Dekker Bouw & Infra	Frank Blom
Van Hattum & Blankevoort	Edwin Slijkhuis en Inge van Eijk-Stox
TNO	Siem van Merriënboer en Annette Rondaij
VBI	Lars Vink
VolkerWessels Morgen Wonen	Bas Bredewold
VolkerWessels Materieel & Logistiek	Sebastiaan Hegeman

Topsector Logistiek

Ezelsveldlaan 59

2611 RV Delft

+31 15 251 65 65

www.topsectorlogistiek.nl

