



TKI project '4C in Bouwlogistiek'

WP 2.6 Eindrapportage

Datum 17 november 2016

Auteur(s) Siem van Merriënboer (TNO) en Marcel Ludema (TU Delft)

Aantal pagina's 39 (incl. bijlagen)

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Achtergrond TKI “4C in Bouwlogistiek”	6
3	Twee proeftuin bouwprojecten	8
3.1	Hotel Amstelkwartier, Amsterdam	9
3.2	De Trip, Utrecht	13
4	Bouwlogistieke Control Tower	17
4.1	KYP	18
4.2	ilips	18
4.3	TALIS	19
5	Metten van prestaties van bouwlogistiek	21
6	Evaluatiemodel, rekenmodellen en referentiebibliotheek	25
7	Resultaten data analyse proeftuin De Trip	28
7.1	Proces van data naar KPI's	28
7.2	Leverbetrouwbaarheid (reliability)	28
7.3	Snelheid (responsiveness)	29
7.4	Flexibiliteit (agility)	30
7.5	Transport (efficiency)	30
7.6	Consolidatie- en beladingsgraad (assets)	31
7.7	Milieu en omgeving	32
7.8	Arbeidsproductiviteit	33
7.9	Inkoopresultaat	33
8	Visie op bouwlogistiek 2025	34
9	Lessons Learned en valorisatie resultaten	37
9.1	Lessons learned 1: kosten en baten inzichtelijk maken	37
9.2	Lessons learned 2: relatie bouwproces met bouwlogistiek	38
9.3	Lessons learned 3: 4C control tower	38
9.4	Lessons learned 4: logistiek concept	38
10	Referenties	39

1 Inleiding

Dit eindrapport geeft een overzicht van wat er in het TKI project “4C in bouwlogistiek” in twee jaar praktijkonderzoek is bereikt. In de periode van half 2014 tot en met half 2016 is in nauwe samenwerking tussen kennisinstellingen en bedrijven in onder andere twee concrete bouwprojecten de focus gelegd op verbeteringsmogelijkheden in logistieke processen in de bouwsector. Alle betrokken partijen waren zich bewust dat hierin grote stappen voorwaarts te zetten zijn, maar dat dit behalve opbrengsten ook investeringen vergt. Toch is het gevormde consortium deze uitdaging aangegaan. Eenieder was overtuigd van het nut en de meerwaarde van een goed en slim bouwlogistiek concept zowel op financieel vlak (verkorting van bouwtijd en vermindering van logistieke kosten en faalkosten) als op het gebied van duurzaamheid (uitstoot schadelijke emissies, verkeersveiligheid, etc.).

Het einddoel van dit in totaal vijf jaar durende TKI-project is het ontwikkelen en implementeren van een Cross Chain Control Center (4C) specifiek gericht op de bouwsector, de zogenaamde bouwlogistieke control tower. De eerste twee jaar van dit project stonden in het teken van het in de praktijk toepassen van slimme bouwlogistieke concepten, die in eerder onderzoek zijn ontwikkeld. In de twee praktijkcases zijn verschillende bouwlogistieke oplossingen [ref. **best practices in bouwlogistiek**] toegepast en daarbij is in de praktijk gemeten wat het oplevert. De twee praktijkcases betreffen respectievelijk het Hotel Amstelkwartier (HAK) in Amsterdam met het consortium van TBI (Croon, Wolter Dost, JP van Eesteren en DHL) en De Trip in Utrecht met het consortium van VolkerWessels (VW bouw materieel, Boele en van Eesteren en Ed Lafeber). De ervaringen die hiermee zijn opgedaan (lessons learned), zijn gedeeld met de betrokken partijen uit het TKI-project tijdens zogenaamde kennistafels die zes keer per jaar worden georganiseerd en via nieuwsbrieven die regelmatig worden verspreid. Verschillende prestatie indicatoren (KPI's) zijn gebruikt bij het meten van de prestaties van bouwlogistiek, waaronder: leverbetrouwbaarheid, leversnelheid, bezettingsgraad, uitstoot van schadelijke stoffen, arbeidsproductiviteit en mate van overlast in de buurt van de bouwlocatie. In totaal zijn 18 KPI's opgesteld en in beide praktijkprojecten toegepast. Op deze wijze is aantoonbaar inzicht ontstaan in het nut en de meerwaarde van het toepassen van slimme bouwlogistieke concepten bij deze twee praktijkprojecten. Sommige van deze verbeteringen zijn specifiek voor deze twee bouwprojecten en van anderen mag worden verwacht dat zij ook bij andere bouwprojecten van toepassingen zijn.

Om integrale ketenregie met een bouwlogistieke control tower (4C) in een logistieke keten van toeleverancier tot bouwwerk uit te kunnen voeren is het nodig dat voldoende betrouwbare informatie beschikbaar is en deze zoveel als nodig wordt gedeeld door alle ketenpartners. Een eerste opzet voor de gewenste en mogelijke informatiestromen in relatie tot de fysieke stromen in bouwlogistieke ketens is opgesteld op basis van het operationaliseren van de planningsactiviteiten die onderdeel uitmaken van de SCOR methodiek, een generiek referentiehulp middel van de supply chain council. Dit vormt de basis voor het ontwikkelen van een concept ontwerp voor een generiek Cross Chain Control Center (4C) voor de bouwsector.

Bij beide proeftuinen zijn informatiesystemen ingevoerd (ilips en KYP) die voorzien in de informatiebehoefte voor het monitoren van daadwerkelijke prestaties van de toegepaste bouwlogistieke oplossingen.

Twee jaar experimenteren met slimme logistieke concepten en control towers in de bouw heeft onder andere geleid tot meer inzicht op onderstaande cruciale aspecten van het toepassen van bouwlogistiek in de praktijk:

- (1) de werkwijze van het monitoren van een set bouwlogistieke prestatie indicatoren;
- (2) mogelijkheden en onmogelijkheden van het toepassen van specifieke bouwlogistieke maatregelen;
- (3) “do’s and don’ts” bij het invoeren van ondersteunende IT systemen;
- (4) de wijze waarop toeleveranciers mee dienen te werken in de samenwerking rondom specifieke logistieke concepten;
- (5) de mogelijke meerwaarde van het inrichten van een bouwlogistieke hub;
- (6) het belang van een goede aansluiting op de interne logistiek van een bouwplaats.

Deze inzichten en nog meer zijn verzameld en gerapporteerd in de deliverables van het project en liggen als “lessons learned” gereed voor eenieder die actief met bouwlogistiek aan de slag wil.

In de volgende paragrafen wordt eerst ingegaan op de achtergrond van TKI project “4C in bouwlogistiek”. Daarna worden de twee proeftuinen beschreven en wordt de bouwlogistieke control tower toegelicht. Vervolgens wordt aandacht besteed aan het meten van prestaties van bouwlogistiek. Het volgende hoofdstuk gaat in op het gebruik van het evaluatiemodel, rekenmodellen en de referentiebibliotheek gedurende de uitvoer van het project. In het daarop volgende hoofdstuk worden de resultaten van de data analyse die heeft plaatsgevonden in de proeftuinen weergegeven en de lessons learned vanuit de proeftuinen. Dit rapport wordt afgesloten met een visie op bouwlogistiek 2025 en een toelichting op valorisatie van de resultaten van het project.

2 Achtergrond TKI “4C in Bouwlogistiek”

In de periode 2010 - 2014 is door het Platform Logistiek in de Bouw, bestaande uit de kennispartijen TNO, TU Delft, Hogeschool Rotterdam en Hogeschool Utrecht en de brancheverenigingen Bouwend Nederland, Transport en Logistiek Nederland en EVO, samen met bedrijven uit de bouwsector praktijkgericht onderzoek gedaan naar innovaties in bouwlogistiek. Doel daarvan was het inzichtelijk maken van enerzijds het verlagen van de operationele logistieke kosten en anderzijds het verhogen van de duurzaamheid van het logistieke proces. De resultaten van het uitgevoerde onderzoek laten zien dat het mogelijke besparingspotentieel met betrekking tot de bouwlogistieke kosten in de orde grootte ligt van 1% tot 5% van de totale bouwsom. Omdat ca. 30% van alle verkeersbewegingen bouw gerelateerd is kan brede invoering van innovatieve bouwlogistieke concepten leiden tot een potentiële landelijke besparing van ca. 35% aan CO₂ uitstoot en ca. 45% vermindering van vervoersbewegingen. Dat is meer dan 50% van de 2030 doelstellingen die in het energieakkoord zijn overeengekomen (17 % minder dan in 1990 van alle vervoersbewegingen). De uitgevoerde onderzoeken heeft een flink aantal “best practices” in bouwlogistieke oplossingen opgeleverd en bieden een breed pallet aan in de praktijk toepasbare maatregelen. De bevindingen in de uitgevoerde onderzoeken waren evenwel voornamelijk theoretisch van aard zonder evaluaties op basis van praktijktoepassingen. Hoe toepasbaarheid structureel in de praktijk kan uitwerken wordt in het hier beschreven TKI-project beschreven, in een aantal opeenvolgende “proeftuinen bouwlogistiek”. Hiermee draagt dit TKI-project bij aan bewijslast rondom het nut en de meerwaarde van het toepassen van slimme bouwlogistieke concepten in realistische praktijksituaties.

Door de betrokken partijen uit het platform Logistiek in de Bouw is het huidige TKI project “4C in bouwlogistiek” tot stand gekomen en voor twee jaar toegekend vanuit van het Topconsortium Kennis en Innovatie (TKI) binnen de roadmap Cross Chain Control Centers (4C). Binnen dit project wordt in een samenwerking tussen kennisinstellingen en het bedrijfsleven gewerkt aan het verbeteren van de integrale ketenregie op logistieke stromen in de bouwsector.

De betrokken bedrijven uit de bouwsector zijn: Combex, Heddes Bouw en Ontwikkeling, Lafeber, TBI, Van der Werff, DHL, BAM Utiliteitsbouw, Ballast Nedam, Workx, Dura Vermeer, Volker Wessels holding en Volker Wessels Bouwmaterieel, Shanks, Boel en van Eesteren, JP van Eesteren, Raab Karcher, Technische Unie, P&O Ferrymasters en ilips. Daarnaast wordt er tijdens verschillende congressen en bijeenkomsten een actieve bijdrage geleverd door de publieke organisaties RWS, Connekt, de gemeente Utrecht en de gemeente Rotterdam. De deelnemende bedrijven leveren een belangrijke inbreng en vervullen een essentiële rol in het toepassen en testen van nieuwe concepten in hun bedrijfsprocessen gekoppeld aan de proeftuinen.

Naast de implementatie van specifieke bouwlogistieke maatregelen en het meten van de prestaties daarvan in de praktijk, worden tijdens de uitvoering van het project periodiek werksessies (kennistafels) met het consortium van deelnemende bedrijven en kennisinstellingen georganiseerd om specifieke thema's rondom bouwlogistiek te belichten en de ervaringen daarmee binnen de proeftuin bouwprojecten uit te wisselen.

Daarnaast worden jaarlijks conferenties en netwerkbijeenkomsten georganiseerd om een brede doelgroep binnen de bouwsector te bereiken. Op deze wijze worden de ervaringen en de verkregen inzichten breed verspreid binnen de bouwsector als inspiratiebron voor overige partijen.

3 Twee proeftuin bouwprojecten

In dit TKI-project “4C in bouwlogistiek” zijn twee praktijkcases geselecteerd als zogenaamde proeftuin voor het experimenteren met bouwlogistieke concepten. Binnen dit TKI-project is een proeftuin bouwproject vastgesteld als een bestaand bouwproject, waarin vanaf de voorbereiding en start van de bouwactiviteiten actief kan worden meegedacht en (bij)gestuurd in de inrichting van de logistieke keten en de ketenregie concepten. Binnen de twee proeftuin bouwprojecten van het TKI-project zijn bouwlogistieke oplossingen in overleg met de betrokkenen gekozen en geïmplementeerd en worden in de praktijk de prestaties van de logistieke keten gemeten en vertaald naar KPI's (prestatie indicatoren), zodanig dat inzichtelijk wordt wat de daadwerkelijke impact van het toepassen van bouwlogistieke oplossingen is.

De rol en verantwoordelijkheden van respectievelijk de kennisinstellingen en de bedrijven binnen een proeftuin bouwproject is vastgelegd in het protocol TKI proeftuin bouwprojecten [ref **protocol TKI proeftuin**]. Daarin is tevens opgenomen een stappenplan tot het selecteren en toepassen van de juiste bouwlogistieke maatregelen en concepten [ref. **best practices bouwlogistiek**]. Aangezien veel onderzoek door studenten van TU-Delft, Hogeschool Rotterdam en Hogeschool Utrecht wordt uitgevoerd is in het protocol ook vastgelegd hoe omgegaan wordt met de resultaten van studentonderzoeken. Afgesproken is dat de kennisinstellingen een kort advies schrijven aan de betrokken ketenpartijen ten aanzien van de interpretatie en waarderingen van de onderzoeksresultaten van de aldaar door studenten uitgevoerde projecten.

Het stappenplan, dat is gebruikt om gezamenlijk tot een goed onderbouwde keuze van de in de proeftuin toe te passen bouwlogistieke oplossingen te komen, bestaat uit drie bijeenkomsten met inbreng van de betrokken bedrijven uit het bouwproject en de kennisinstellingen:

1. De eerste bijeenkomst is gericht op het inzicht verkrijgen in de kenmerken en karakteristieken van het bouwproject, de fasering en de bouwlogistieke stromen (bouwmaterialen, bouw materieel en personeel).
2. De tweede bijeenkomst is gericht op de keuze voor de benodigde KPI's (prestatie indicatoren) en de daarvoor benodigde gegevens uit het bouwproject en het hiermee samenhangende logistieke proces. Het bouwprojectteam stelt samen met de kennisinstellingen een long list van KPI's op.
3. De derde sessie is gericht op terugkoppeling van de (on)mogelijkheden van het toepassen van bouwlogistieke oplossingen en het meten van gegevens. Tijdens deze terugkoppeling wordt gezamenlijk vastgesteld wat wel en niet haalbaar is binnen de betreffende proeftuin en welke hulpmiddelen ter ondersteuning van het meten nodig zijn.

De kennisinstellingen adviseren, op basis van de in de afgelopen jaren binnen het platform Logistiek in de bouw opgebouwde kennis, bij het inrichten van de ketenlogistieke processen en daarbij selecteren van bouwlogistieke oplossingen en maatregelen binnen de proeftuinen.

De kennisinstellingen nemen ook de informatiestromen in de bouwlogistieke keten in beschouwing en de daarbij gebruikte ICT systemen (indien beschikbaar). Dit geeft inzicht in de huidige stand van zaken ten aanzien van informatie uitwisseling tussen ketenpartijen in de bouwketen en biedt aanknopingspunten voor de behoefte, de potentiële rol en mogelijke meerwaarde van het ontwikkelen en toepassen van een bouwlogistieke control tower binnen een proeftuin. De uiteindelijke keuze voor welke bouwlogistieke oplossingen worden toegepast binnen een proeftuin ligt bij de betrokken bedrijven, doorgaans wordt deze gemaakt door de verantwoordelijke hoofduitvoerder / hoofdaannemer. Deze stelt een implementatieplan op als leidraad bij het implementeren van bouwlogistieke oplossingen in de verschillende fases van het bouwproject. Daarnaast wordt door de hoofdaannemer een monitoringsplan opgesteld, waarin wordt beschreven welke gegevens gemeten dienen te worden, wie welke gegevens gaat meten, op welke wijze de gegevens worden gemeten, welke hulpmiddelen daarbij nodig zijn, met name vanuit ICT oogpunt (barcodescanners, RFID, etc.). De kennisinstellingen analyseren verkregen gegevens en vertalen deze naar de gedefinieerde prestatie indicatoren (KPI's) om het effect van de geïmplementeerde bouwlogistieke oplossing te kunnen monitoren.

3.1 Hotel Amstelkwartier, Amsterdam



Figuur 1: Overzicht project Hotel Amstelkwartier

Het bouwproject van TBI “Hotel Amstelkwartier” (zie figuur 1) in Amsterdam betreft gefaseerde hoogbouw (onderlaag: verdieping 1 - 6, middenlaag: 7 - 1, bovenlaag: 18 - 30) in drie verschillende stappen (ruwbouw, ruwe afbouw en afbouw). De bouwwerkzaamheden zijn gestart op 1 oktober 2014 en de verwachte oplevering was bij de start 30 maart 2016. Inmiddels liggen door verschil van inzicht tussen de opdrachtgever en opdrachtnemer de bouwwerkzaamheden reeds enige maanden stil en wordt gewacht met het starten van de afbouwfase. In augustus 2014 hebben er twee ‘pressure-cooker’ sessies plaatsgevonden rondom de proeftuin van het bouwproject “Hotel Amstelkwartier”.

Daarbij is aan de hand van een overzicht van potentiële bouwlogistieke oplossingen [ref. **best practices bouwlogistiek**] en een nadere toelichting op de specifieke omstandigheden van het bouwproject, met een aantal partijen gebrainstormd over het toepassen van bouwlogistieke oplossingen in verschillende fases van het bouwproject. Aanwezige partijen: JP van Eesteren|TBI, Croon|TBI en Wolter & Dros|TBI, DHL, Hogeschool Utrecht en TNO.

In het bouwontwerp was al rekening gehouden met zoveel mogelijk (80%) werken met prefab bouwelementen. Daarbij worden zogenaamde werkpakketten aangevoerd die afgestemd zijn op de hijscapaciteit van de hijskraan. De werkpakketten zijn daar waar mogelijk samengesteld uit prefab modules met alle disciplines geïntegreerd (B+W+E). Deze (of: de overige) bouwmaterialen worden gebundeld tot pakketten zodat zij voor zowel horizontaal transport over de weg als verticaal transport met de hijskraan geschikt zijn. Dit vergt al bundeling bij de bron (leverancier van prefab modules) als specifieke bouwlogistieke oplossingen, waarbij andere leveranciers leveren op de productielocatie van de prefab modules.

Naast bouwlogistieke oplossingen en ketenregie is ook gediscussieerd over het meten van de prestaties van de nieuwe logistieke inrichting en daarbij belangrijke prestatie indicatoren (KPI's, Key Performance Indicators). Dit is gedaan aan de hand van een overzicht van mogelijk bruikbare prestatie indicatoren, met voorbeelden uit het London Construction Consolidation Center, LCCC [ref. **LCCC**].

Het projectteam, bestaande uit de uitvoerende bedrijven, van het bouwproject van Hotel Amstelkwartier streeft naar de volgende verbeterpunten op logistiek gebied:

1. Minder transportbewegingen en een verbeterde bezettingsgraad;
2. Consolidatie en kittingactiviteiten (werkpakketten);
3. Verbeteren van de planning en de hoeveelheid van te bestellen bouwmaterialen;
4. Verminderen en slim omgaan met afval;
5. Komen tot een betere geïntegreerde planning.

Deze verbeterpunten kunnen behaald worden door het adequaat inrichten van een bouwlogistieke hub. Er wordt nog gekeken naar welke materialen wel en welke niet doeltreffend en doelmatig via deze bouwlogistieke hub aangevoerd kunnen worden. Daarnaast gaat het projectteam gebruik maken van een bouwticketsysteem, waarmee toeleveranciers (of leveringen vanaf de bouwlogistieke hub) krijgen aangewezen wanneer zij welkom zijn om bouwmaterialen te leveren aan de bouwplaats en/of de bouwlogistieke hub. Door het toepassen van venstertijden voor transporten verwacht het projectteam het bouwproces te optimaliseren en overlast en CO₂ uitstoot te reduceren. Het projectteam maakt gebruik van kittingactiviteiten (werkpakketten). Deze werkpakketten worden volgens afspraak samengesteld op een andere locatie dan de bouwplaats. De werkpakketten worden zo samengesteld dat ze een complete set aan bouwmaterialen bevatten die op een specifieke verwerkingslocatie en daar ook op een bepaald overeengekomen tijdstip aanwezig zijn. Op deze manier hoeft de monteur of (onder)aannemer niet te zoeken naar het bouw materiaal, kan er exact zoveel besteld worden als nodig is en ligt het bouw materiaal niet ergens in de logistieke keten onnodig (lang) opgeslagen.

Deze bouwlogistiek innovatie was al eerder op een ander werk van TBI (O2-VU) toegepast. Het projectteam van Hotel Amstelkwartier heeft deze methode verfijnt en toepasbaar gemaakt voor alle disciplines.

Tijdens de ruwbouwfase waren de leveranties van bouwmaterialen rechtstreeks naar het bouwwerk. Dit waren namelijk volle vrachten, voornamelijk met betrekking tot het gewicht en vrachten die niet of met moeite over konden worden geladen op andere vrachtwagens indien de bouwlogistieke hub zou worden toegepast. Bij prefab elementen werden er speciale opleggers toegepast die om het element heen werden gereden om vervolgens het element op te tillen om daarna te vervoeren. Ook alle prefab kolommen zijn rechtstreeks geleverd. Deze werden in bokken met vier tegelijk omhoog gehesen naar de vloer waar ze gemonteerd moesten worden. Hierbij werd een efficiency bereikt van vier naar één beweging.

Tijdens de ruwbouw is ook een geprefabriceerde installatieschacht ten behoeve van de hotelkamers toegepast. De installaties in de leidingschachten zijn tijdens de ruwbouwfase door Wolter en Dros prefab samengesteld, naar binnen gebracht en vervolgens aldaar gemonteerd. Hiermee zijn de installaties op een snelle manier en op maat in de schachten gemonteerd zonder verspilling van bouwmaterialen. Hieromheen zijn vervolgens metalstud wanden gebouwd. Voordelen van deze manier van inbouwen zijn een verhoging van de productiviteit (het beoogde doel van 5 kamers per dag) en besparing van retourstromen (afval).

Ook de gevel is rechtstreeks door de leverancier aangevoerd. Dit waren eveneens volle vrachten die rechtstreeks uit de fabriek naar de bouwplaats plaatsvonden. Coördinatie van de aanvoer is geregeld met een bouwticketsysteem via ilips, waarbij de leverancier zelf kon zien wanneer er ruimte in de kraanplanning was en waarbij met een kleine voorraad (acht elementen) op de bouw is gewerkt.

Voor de afbouw heeft de leverancier van de metalstud wanden, Kwakman, een hub bij bouwmaterialenhandel Van Keulen te Volendam toegepast. Dit bedrijf stelt werkpakketten van bouwmaterialen samen en zet deze op een kar (ladingdrager op wielen), transporteert de werkpakketten op de kar naar de werken (bouwplaats) en verplaatst deze tot op de plek van verwerking in de bouw. De leverancier zet op het bouwterrein de karren met daarop de werkpakketten gereed en vervolgens gaat het geheel de lift in. Tevens wordt het afval met de vrachtwagens mee teruggenomen naar de hub. Alle statiegeldpallets zijn terug gegaan naar Gyproc. Het plastic dat om de pakketten zit is eveneens adequaat afgevoerd. De leverancier (Kwakman) regelt alle externe en interne bouwlogistiek, zodat het uitvoeringsteam daar verder geen omkijken meer naar heeft op de bouwplaats.

Toe te passen logistieke innovaties tijdens de afbouwfase (nog niet gestart tijdens het schrijven van dit rapport):

- bouwlogistieke hub voor bouwmaterialen (in onderzoek);
- bouwticketsysteem via ilips;
- werkpakketten en prefabricage;
- afvalvermindering door integratie leveringen met retourstromen;
- geïntegreerd plannen (in onderzoek).

Studenten hebben vanuit verschillende cursussen van meerdere opleidingen van de Hogeschool Utrecht en Hogeschool Rotterdam bijgedragen aan onderzoek op de proeftuinen. De volgende tabel (Tabel 1) geeft een overzicht van de studentonderzoeken die hebben plaatsgevonden rondom proeftuin HAK en op welke KPI's deze van toepassing waren.

Tabel 1: Opsomming KPI's en studentonderzoeken die hebben plaatsgevonden op HAK.

proeftuin HAK					
categorie	KPI	studenten	cursus	tijdvak	onderwerp
leverbetrouwbaarheid	1.	HU Michel Labrie, Tim Rijpert	V14KPIN	nov/dec 15	transportgedrag van en naar de bouw
	2.				
snelheid	3.				
	4.				
flexibiliteit	5.				
	6.				
kostenefficiëntie	7.				
	8.				
	9.				
consolidatie en beladingsgraad	10.				
	11.				
	12.				
	13.				
milieu en omgeving	14.				
	15.				
	15.	HU Tjan Man, Ralf Timmer, Henk de Wit	V14KPIN	nov/dec 15	hergebruik bouwafval
	16.				
arbeidproductiviteit	17.				
inkoopresultaat	18.	HR Jea Zapey, Vinay Gajadhar	afstuderen	sep 15 - feb 16	prestatie meting, monitoring bouwplaats mbt effecten werkpakketten op productiviteit
overig		HU Dewi Buré, Gerben van Deel	V14KPIN	nov/dec 15	optimalisatie van planning, Ilips
		HU Abdi Osman, Stefan Verheul	V14KPIN	nov/dec 15	invloed bouwmethode op logistiek
		HU Luuk van der Sommen, Willem Hinnen	afstuderen	feb / juni 16	wat is de toegevoegde waarde van een centrale hub bij de afbouw van utilitaire projecten binnen de TBI groep?

De studenten hebben binnen hun onderzoek onder meer gekeken naar het verbeteren van de kraanbezetting en verminderen van de hoeveelheid afval op de bouwplaats, het gebruik van het logistiek planningssysteem ilips voor transport- en kraanplanning, het monitoren van KPI's, het vooraf op de hub samenstellen en bundelen van werkpakketten met bouwmaterialen en het nut en de meerwaarde van een hub.

Voor meer inzicht en informatie van de studentonderzoeken wordt verwezen naar een van de deliverables van dit project [ref. **WP3.1 Studentonderzoeken**].

Binnen het project is een integraal logistiek informatie- en plansysteem, ilips, ingevoerd. Door transporten te koppelen aan de kraanplanning kunnen hiermee wachttijden worden gereduceerd en leveringen gecombineerd. HAK heeft daarmee vanaf start implementatie ilips, zomer 2015, een grote hoeveelheid data verzameld. Hieruit kan interessante informatie worden gegenereerd over de bouwlogistieke processen.

Denk hierbij aan:

- percentage leveringen op tijd;
- doorlooptijd na afroep bij leverancier;
- afgelegde kilometers transport;
- hoeveelheid brandstofverbruik en CO₂ uitstoot.

3.2 De Trip, Utrecht



Figuur 2: Overzicht van proeftuin "De Trip" in Utrecht.

Met een feestelijke handeling begin december 2014 door minister Blok, is het bouwproject "de Trip" (zie figuur 2) van VolkerWessels in Utrecht van start gegaan. In het kader van het TKI project zijn voor de Trip vanaf de zomer diverse brainstormsessies gehouden. Daarbij is na een verdere toelichting op de specifieke omstandigheden van het bouwproject met een aantal partijen gebrainstormd over de mogelijke toepassingen van bouwlogistieke oplossingen in de verschillende fases van het bouwproject. Aanwezige partijen hierbij waren: VolkerWessels Bouwmaterieel, Boele & van Eesteren, E. Lafeber, Primum, Hogeschool Utrecht en TNO. De discussie is gevoerd aan de hand van een overzicht van potentiële bouwlogistieke oplossingen opgesteld door VolkerWessels (menukaart slimme

logistiek) en het eerder genoemde overzicht van TNO [ref. **best practices bouwlogistiek**].

Het bouwproject “de Trip” ligt tussen het water en een drukke weg. Op de bouwplaats is erg weinig ruimte voor laden/lossen van vrachtwagens. De bouwwerkzaamheden zijn gefaseerd opgebouwd, waarbij wordt gestart aan de waterkant. Studenten van Hogeschool Rotterdam hebben onderzocht wat de mogelijkheden zijn van het toepassen van een consolidatiecentrum (bouwlogistieke hub) om goederenstromen zoveel als mogelijk te bundelen [ref. **studentonderzoek De Trip – Job Stigter, Edwin Pieters**]. Daarbij zijn berekeningen gemaakt om de meest gunstige locatie van de hub te bepalen. Tevens is onderzocht of vervoer over water vanaf de opslagplaats naar de bouwplaats voor sommige bouwmaterialen mogelijk is en onder welke voorwaarden. Niet alleen bouwmaterialen worden in het onderzoek meegenomen, ook het vervoer van personeel krijgt de aandacht. Om de buurt te ontzien wordt gekeken of de bouwlogistieke hub ook ingezet kan worden als parkeerplaats, waarna het personeel per bus of boot naar de bouw vervoerd wordt. Ook is er in het onderzoek nadrukkelijke aandacht voor het automatiseren van de verschillende informatiestromen tussen de deelnemende ketenpartijen (een eerste stap naar 4C).

Tijdens diverse bijeenkomsten is naast discussie over mogelijk toe te passen bouwlogistieke oplossingen ook gediscussieerd over logistieke ketenregie en het meten van de prestaties van de nieuwe logistieke inrichting en daarbij belangrijke prestatie-indicatoren (KPI's, Key Performance Indicators). Ook hier zijn mogelijk bruikbare prestatie-indicatoren met voorbeelden uit het London Construction Consolidation Center [ref. **LCCC**] gebruikt.

Toegepaste logistieke innovaties tijdens de ruwbouw- / ruwe afbouwfase (aug 2015 – jan 2016):

- VAL op bouwlogistieke hub (Nieuwegein);
- prefabricage bij toeleveranciers / producenten.

Toegepaste logistieke innovaties tijdens de afbouwfase (feb 2016 – aug 2016):

- bouwlogistieke hub voor bouwmaterialen (Nieuwegein);
- bouwlogistieke hub voor bouwpersoneel (Nieuwegein);
- samenstellen werkpakketten op hub;
- bouwlogistiek coördinator op de hub;
- bouwlogistiek coördinator op de bouwplaats;
- bouwtickets via ilips;
- optimaliseren interne logistiek op de bouwplaats;
- afvalvermindering door integratie leveringen met retourstromen;
- integratie bouwplanning en transportplanning via ilips, TALIS, KYP.

Studenten hebben vanuit verschillende cursussen van meerdere opleidingen van de Hogeschool Utrecht en Hogeschool Rotterdam bijgedragen aan onderzoek op de proeftuinen. De volgende tabel (

Tabel 2) geeft een overzicht van de studentonderzoeken die hebben plaatsgevonden rondom proeftuin De Trip en op welke KPI's deze van toepassing waren.

Tabel 2: Opsomming KPI's en studentonderzoeken die hebben plaatsgevonden op De Trip.

proeftuin De Trip					
categorie	KPI	studenten	cursus	tijdvak	onderwerp
leverbetrouwbaarheid	1.	HU Joppe Oudijk	V14KPIN	nov/dec 15	koppeling 6 wekenplanning en KYP
	2.	HU Casper van Oeveren, Igor van den Ijssel	V14KPIN	nov/dec 15	koppeling KYP met TMS
snelheid	3.				
	4.				
flexibiliteit	5.				
	6.				
kostenefficiëntie	7.				
	8.				
	9.				
consolidatie en beladingsgraad	10.	HU Rieko Gosman, Simon van Wengerden	afstuderen	sep 15 - feb 16	hoeveel reductie mogelijk bij gebruik van HUB tov kosten en milieu tov traditioneel proces?
	11.				
	12.				
	13.				
milieu en omgeving	14.	HU Niels Veerman	afstuderen	feb 16 - juni 16	mobisolar als energiebron ipv aggregaat
	15.				
	16.				
arbeidproductiviteit	17.	HU Lusan Stoffels	afstuderen	feb 16 - juni 16	arbeidsproductiviteit
inkoopresultaat	18.	HR Armando Blair	stage	sep 15 - feb 16	inkoopproces voor aannemer, wat opnemen in contracten?
		HR Joeri Beekman	afstuderen	sep 15 - feb 16	inkoopproces
overig		HU Jeffrey van Norden, Emiel Hofman, Jouke Hennipman	V14KPIN	nov/dec 15	koppeling BIM en Asta Powerproject

De studenten hebben binnen hun onderzoek onder meer gekeken naar de kosten en baten van het gebruik van een bouwlogistieke hub, het gebruik van het logistiek planningssysteem KYP in combinatie met TMS/WMS, een aggregaat met zonne-energie als energiebron, het meten van arbeidsproductiviteit op de bouwplaats, het belang van het inkoopproces voor bouwlogistiek en de koppeling van bouwplanning aan BIM. Voor meer inzicht en informatie van de studentonderzoeken wordt verwezen naar een van de deliverables van dit project [ref. **WP3.1 Studentonderzoeken**].

4 Bouwlogistieke Control Tower

In dit TKI-project is het ontwikkelen van een concept 4C control tower voor de bouwsector, de bouwlogistieke control tower, een belangrijk onderdeel van het verbeteren van de logistieke competentie van de bouwsector. De ambitie van het TKI-project is het toepassen daarvan in één of meer proeftuin bouwprojecten. Deze ambitie is uitgespreid over 5 jaar, waarbij in oplopende complexiteit wordt geëxperimenteerd met logistieke control towers in proeftuin bouwprojecten (in totaal 4). De eerste twee jaar van het TKI-project wordt binnen twee lopende proeftuin bouwprojecten op kleine schaal geëxperimenteerd met nieuwe ICT-systemen van start-up MKB bedrijven ter ondersteuning van een bouwlogistieke control tower. Daarbij ligt de focus op het koppelen van bouwplanning op de transportplanning vanuit een hub. In de uiteindelijke visie van een bouwlogistieke control tower is een bredere span of control mogelijk, waarbij op bedrijfs overstijgend niveau (over meerdere bouwprojecten) ketenprocessen, waaronder de processen van toeleveranciers en meerdere verschillende goederen- en personenstromen op elkaar worden afgestemd.

Voor het toepassen van slimme bouwlogistieke oplossingen is een goede informatie uitwisseling tussen alle ketenschakels in logistieke keten noodzakelijk. De benodigde informatiestromen tussen partijen in de keten die samenhangen met de fysieke logistieke stromen zijn beschreven met behulp van de SCOR methode. Daarin wordt aangegeven welke partij verantwoordelijk is voor het initiëren van de informatie-uitwisseling behorende bij een fysiek logistiek proces. Vastgelegd wordt wie respectievelijk informatie komt brengen en/of halen. Een informatiedienst gebaseerd op een informatie-uitwisselingsplatform waarop alle ketenschakels met hun eigen IT-systemen (bijvoorbeeld WMS, TMS of ERP) zijn aangesloten, maakt het mogelijk om deze informatie te delen en eveneens deze benodigde gegevens in rekenmodellen te gebruiken. Zo kan ieder zijn eigen gegevens beschikbaar stellen en aangeven wie deze gegevens mag gebruiken (en wie niet!). Door informatie tussen partijen uit te wisselen over wat de juiste producten zijn, wat de juiste tijd van leveren is, welke kwaliteit vereist is, wat de overeengekomen kosten/prijs is van de informatie en informatie-uitwisseling, wat de juiste vorm van informatieoverdracht is en welke drager wordt gebruikt en welke service afspraken (SLA) gemaakt zijn met betrekking tot de informatie-uitwisseling, kan worden bijgehouden of bepaalde vooraf afgesproken normen worden gehaald. Welke informatie exact wordt uitgewisseld hangt sterk samen met de prestatie-indicatoren (KPI's) die binnen een (proeftuin)project worden overeengekomen. Indien de prestaties gedurende het project op basis van de overeengekomen KPI's regelmatig worden bijgehouden en ge-update, kan daarop ook worden gestuurd en bijgestuurd indien deze afwijken van de verwachtingen en plannen.

Een bouwlogistieke control tower moet inzicht bieden in de actuele stand van zaken ten aanzien van bouwplanning en logistieke planning in de integrale keten (vanaf toeleveranciers bouwmaterialen). Dit actuele inzicht wordt uitgedrukt in overeengekomen prestatie-indicatoren (KPI's) tussen alle ketenpartners en is gebaseerd op actuele input uit IT-systemen van alle ketenpartners.

In de bouwlogistieke control tower is ook de relatie tussen de bouwplanning en de logistieke planning weergegeven, zodanig dat duidelijk is wat de wederzijdse consequenties zijn van wijzigingen (versnellingen / vertragingen / verstoringen) in de planning.

In de twee proeftuinen zijn ervaringen opgedaan met IT-systemen om inzicht te krijgen in de logistieke planning en consequenties voor de bouwplanning en vice versa. Bij Hotel Amstelkwartier is het IT-systeem ilips, www.ilips.nl, ingevoerd en gebruikt voor de planning van de logistieke aan- en afvoerstromen, de planning van het verticaal transport (hijskraan) en synchronisatie van de verticale en horizontale transporten en het gebruik van bouwtickets voor de leveringen op de bouwplaats. Bij de Trip is gebruik gemaakt van verschillende IT-systemen, te weten: KYP (www.kyp.nl), ilips (www.ilips.nl) en het transport management systeem (TMS) van Ed Lafeber TALIS van TANS (www.tans.net). De ervaringen die hiermee zijn opgedaan zijn wisselend en worden hieronder toegelicht.

4.1 KYP

Kyp is bedoeld om gedurende het bouwproces de planning van de bouwactiviteiten op de bouwplaats (bouwplanning) in te voeren en bij te houden. KYP is een relatief nieuw IT-systeem van een onlangs gestarte onderneming en er wordt dan ook nog volop aan ontwikkeld. KYP is vooral ontwikkeld om de communicatie van de bouwplanning door de gehele keten van alle betrokken ketenpartners tijdig en eenduidig te communiceren. Tijdens het bouwproject van de Trip is het systeem KYP uitgetest, maar uiteindelijk niet op het project toegepast.

4.2 ilips

ilips is eveneens een relatief nieuw IT-systeem van een start-up bedrijf, waar nog volop aan wordt ontwikkeld. ilips is tijdens het bouwproces gebruikt voor verschillende functies:

1. de planning van de logistieke aan- en afvoerstromen;
2. de planning van het verticaal transport (hijskraan) en synchronisatie van de verticale en horizontale transporten;
3. uitgifte van bouwtickets voor de leveringen op de bouwplaats;
4. als voorraadregistratie systeem voor het bijhouden van de voorraden op de hub en op de bouwplaats.

De samenwerking met ilips bij proeftuin "Hotel Amstelkwartier" is om diverse redenen gekozen:

- ilips ondersteunt het bouwlogistieke concept van een hub en hoofdaannemer JP v Eesteren wil dat een informatiesysteem voor logistieke planning en coördinatie dit ondersteunt;
- ilips bevat een module voor automatische CO₂ registratie, waardoor CO₂ reductie direct zichtbaar wordt.

Het toepassen van ilips voor de planning van transporten vergt draagkracht van alle partijen in de keten, zodanig dat transporten bij de bron worden ingepland in het systeem en vervolgens in de tijd worden bijgesteld en/of gevolgd door de betrokken partijen in de uitvoering.

In de praktijk bleek de CO₂ registratie omslachtig te zijn. Daarvoor is ilips afhankelijk van een goede en consequente input op de bouwplaats (bijvoorbeeld fulltime iemand aan de poort die administratieve handelingen uitvoert). Het toepassen van de CO₂ module staat of valt wel met het consequent bijhouden van de rittenadministratie.

Ervaringen met ilips op "Hotel Amstelkwartier" heeft de directie van TBI doen besluiten om ilips TBI breed in te zetten. Het wordt op de werken niet verplicht gesteld maar het staat ze wel ter beschikking. ilips heeft specifieke aspecten van het transportproces van TBI in het systeem verwerkt en heeft daarmee een TBI specifieke versie van ilips gemaakt. De vastgelegde gegevens in ilips waren bruikbaar in het studentonderzoek naar bouwlogistiek op de proeftuin "Hotel Amstelkwartier". Het vastleggen en registreren van KPI's voor de afbouwfase, eventueel ondersteund door ilips, is nog niet gelukt aangezien de afbouwfase is uitgesteld tot nader order.

De CO₂ registratie door middel van ilips bleek uiteindelijk onhaalbaar. ilips is vooral ingezet als planningstool op "Hotel Amstelkwartier". ilips is een prima hulpmiddel voor het plannen en realiseren van een hogere dichtheid in het bouwplaatstransport (consolidatie en beladingsgraad). Vooral de module om leveranciers zelf inzicht te geven in het verticale transport op de bouwplaats (kraanplanning) biedt meerwaarde. Daarnaast biedt het een makkelijk en direct communicatiehulpmiddel bij wijzigingen in de bouw- dan wel logistieke planningen. Discipline in het invoeren van gegevens (administratie van handelingen, transporten, etc.) is van cruciaal belang in de bruikbaarheid van het IT-systeem. Goede input voorkomt wachttijden en daaraan gekoppelde faalkosten.

4.3 TALIS

Talis is het transport management systeem van Ed Lafeber. Talis is tijdens de eerste fase van het bouwproces gebruikt om transporten te plannen en gegevens betreffende de prestaties van de transporten te registreren. Daarvoor is een interface met het WMS systeem op een PC in de bouwlogistieke hub gekoppeld aan het bouwproject van de Trip geïnstalleerd.

De ervaringen met TALIS zijn verdeeld:

- Als planningssysteem voor het plannen en bijhouden van transporten was de verbinding van de geïnstalleerde interface op de bouwlogistieke hub te traag om daadwerkelijk goed te functioneren. De functionaliteit voor het plannen van transporten is daarna ondergebracht in ilips.
- Talis is wel succesvol gebruikt als registratiesysteem van alle gegevens van de transporten van Ed Lafeber tussen hub en bouwplaats. Dit levert waardevolle gegevens op voor de analyse van een aantal prestatie-indicatoren (KPI's), zoals: wachttijden, reistijden, aantal transporten, emissies van de transporten en verreden kilometers.

De volgende studentonderzoeken hebben bijgedragen aan de kennisopbouw op dit gebied:

- (1) Victor Steegman, Job Haitsma Mulier en Arthur Friederichs hebben gekeken naar een mogelijke koppeling tussen WMS, TMS en KYP. Zij concluderen: Door KYP toe te passen op de WMS en TMS systemen wordt het afroepsysteem voor de bouwplaats de Trip gemakkelijker. KYP combineert de twee systemen in een afroep systeem. Hierdoor kan in een duidelijk overzicht met globale duidelijke vragen eenvoudig beschreven worden wat er allemaal getransporteerd moet worden, waarvoor het nodig is en op welk tijdstip het aanwezig moet zijn. In een afroepformulier van KYP kan in het onderste gedeelte worden ingevuld wat er benodigd is en kan het bovenste gedeelte worden ingevuld door de leverancier. Doordat de leverancier dit zelf kan invullen wordt automatisch ook in de planning de tijd ingevuld. Het IT-systeem registreert dan of dit mogelijk is en zorgt er zo voor dat er geen dubbele plannings zijn.
- (2) Tim van Vliet en Michel Labrie hebben in het kader van de vraag: "*Hoe kunnen de binnen ilips opgeslagen gegevens bijdragen aan de optimalisatie van de logistieke planning?*" onderzocht of er met behulp van de gegevens uit Illips mogelijkheden zijn om bouwmaterialen uit de regio te halen om zo een hogere LEED score te halen voor het onderwerp "*Gebruik lokale of regionale materialen*" en de CO₂ uitstoot tijdens het transport te verminderen. Zij concluderen dat het mogelijk is om bedrijven die dicht bij de bouwplaats gevestigd zijn als leverancier aan te stellen, om zo het CO₂ verbruik flink te reduceren.
- (3) Igor van den IJssel en Casper van Oeveren hebben onderzocht of de koppeling tussen KYP en TMS voor een verbetering van de bouwlogistiek kan zorgen. Zij concluderen dat hierdoor tijd en geld bespaard kan worden maar geven ook aan dat KYP deze stap nog niet wenst te nemen.
- (4) Gerben van Deel en Dewi Bure hebben onderzocht "*Welke optimalisaties behaald kunnen worden door het transport naar- en op de bouwplaats te analyseren, mede door het gebruik van de data van ilips?*". Zij concluderen dat het beter is de vrachten te verspreiden over het verloop van de dag, omdat dan de druk in de ochtend verlaagd wordt. Als een bepaald bouw materiaal toch nodig is om 7:00 's ochtends, dan is het voordeliger om deze een dag van te voren aan het eind van de middag of in de avond naar de bouwplaats te vervoeren en vervolgens naar de eindbestemming te hijsen. Met dit advies is het dan ook mogelijk dat de bouwvakkers meteen om 7:00 aan de slag kunnen aangezien de benodigde materialen of onderdelen dan al op hun eindbestemming liggen en zo mogelijk exact op de plek van verwerking. En hoewel de kraanplanning overdag van 7:00 tot 16:00 vaak al druk bezet is, is het dus handiger om goederen te bufferen aan het eind van de middag tot 19:00. Vanaf 19:00 moet er een nachtwerkvergunning aangevraagd worden (Amsterdam.nl, 2015).

5 Meten van prestaties van bouwlogistiek

Voor het meten van Kritische Prestatie Indicatoren (KPI's) in veel logistieke ketens kan gebruik worden gemaakt van het standaard referentie model: Supply Chain Operations Reference Model, kortweg het SCOR-model. Dit SCOR model gaat uit van 5 attributen. Elk van deze 5 attributen is opgebouwd uit een set van KPI's waarmee dit specifieke attribuut in kaart kan worden gebracht. De volledige lijst met KPI's is met de projectteams besproken en uiteindelijk zijn voor de 5 attributen Reliability, Responsiveness, Agility, Costs en Assets binnen SCOR meer dan 80 relevante KPI's geselecteerd. De variant van SCOR voor KPI's op het gebied van duurzaamheid heet GreenSCOR hierin worden ook KPI's beschreven die met het thema duurzaamheid samenhangen. De KPI's op het gebied van milieu en duurzaamheid zijn in overleg met de proeftuinen toegevoegd aan KPI's die vallen onder de vijf attributen van de SCOR-methode.

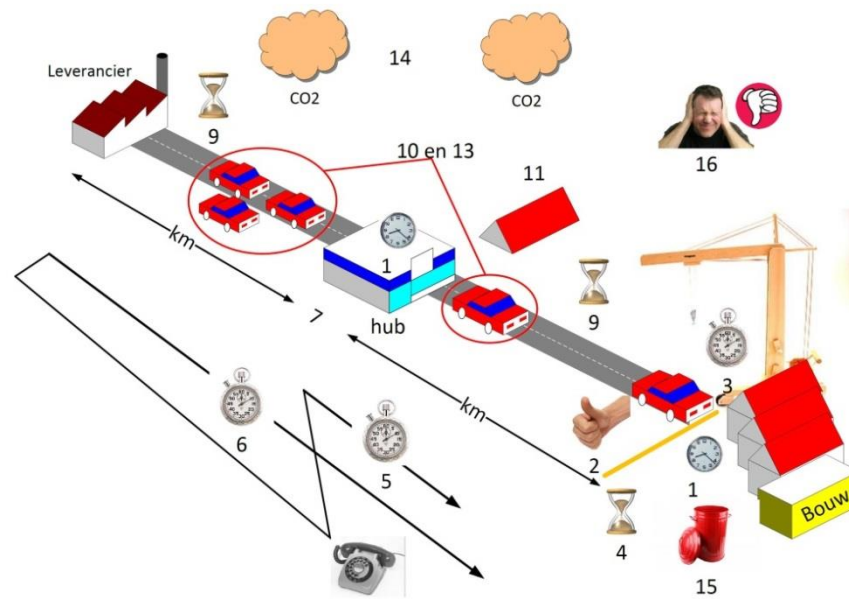
In de literatuur zijn nog weinig voorbeelden te vinden waarin het SCOR-model in de bouwsector wordt toegepast. Om het passend te krijgen zijn dan ook een paar aanpassingen voorgesteld. Via <http://www.logistiek.nl/Supply-Chain/algemeen/2006/1/Hoe-herontwerp-ik-een-keten-met-SCOR-LOGDOS100102W/> is meer informatie beschikbaar over het SCOR model en haar toepassing.

Op basis van de KPI's die worden gebruikt in de SCOR-methodiek is geïnventariseerd welke KPI's de projectteams willen meten op de twee proeftuinen. Uit deze inventarisatie kwam een lijst van meer dan 80 prestatie indicatoren. Het is onmogelijk en ook niet wenselijk om alle prestatie indicatoren te meten en te monitoren binnen de twee proeftuinen. Daarom is een selectie gemaakt van de KPI's welke voor de proeftuinen gemeten worden. Deze selectie is te zien in onderstaande tabel en de bijbehorende figuur. In eventuele nieuwe proeftuinen/of andere praktijksituaties kunnen andere KPI's belangrijk zijn en geselecteerd worden. Uitgangspunt is dat de keuze aan het begin van een bouwproject met de aanwezige ketenpartijen in overleg wordt vastgesteld.

Tabel 1: KPI's bouwlogistiek

Categorie	KPI	Indicatoren	Traject	Fase	Effect
Leverbetrouwbaarheid (reliability)	1	Percentage leveringen op tijd	L-B,H-B	alle	I
	2	Percentage leveringen conform eisen	L-B, H-B	alle	I
Snelheid (responsiveness)	3	Lostijden op bouwplaats	B	Alle	I,E
	4	Wachttijden op bouwplaats	B	Alle	I
Flexibiliteit (agility)	5	Doorlooptijd afroep hub	H	RA,A,I	I
	6	Doorlooptijd leverancier	L	R,RA	I
Kosten efficiëntie (costs)	7	Afgelegde kilometers transport	L-B,L-H,H-B	Alle	I,E
	8	Vermeden kilometers transport	L-B	Alle	I,E
	9	Wachttijd gedurende transport (file)	L-B,L-H,H-B	Alle	I,E
Consolidatie- en beladingsgraad (assets)	10	Consolidatiegraad hub	H	RA,A,I	I
	11	Voorraden op hub	H	Alle	I
	12	beladingsgraad gewicht	L-B,L-H,H-B	R,RA	I
	13	beladingsgraad volume	L-B,L-H,H-B	RA,A,I	I
Milieu en omgeving	14	CO ₂ uitstoot	L-B,L-H,H-B	Alle	E
	15	Afvalreductie	L-B,L-H,H-B,B	RA,A,I	E
	16	Overlast van bouwverkeer	L-B,H-B,B	Alle	E
Arbeidsproductiviteit	17	Duur bouwactiviteiten	B	Alle	I
Inkoopresultaat	18	Kostenbesparing op inkoop	L	Alle	I

Legenda Traject	Legenda Fase	Legenda Effect
L= Bij de leverancier	R= Ruwbouw	I= Intern
L-B= Van leverancier naar bouw	RA= Ruwe Afbouw	E= Extern
L-H= Van leverancier naar hub*	A= Afbouw	
H= Op de hub*	I= Inrichting	
H-B= Van hub* naar bouwplaats		
B= Op de bouwplaats		
R= Retourstromen		



Figuur 3: Gewenste KPI's te meten in de proeftuinen

Om conclusies te kunnen trekken over de prestaties van de toegepaste bouwlogistieke oplossingen in de praktijk van de twee proeftuinen wordt in de praktijk gemeten en worden relevante gegevens verzameld c.q. gemeten (zie Figuur 3). Op basis van de gegevens worden voor de geselecteerde KPI's de praktijkprestaties bepaald. Het meten (verzamen) van de benodigde gegevens kan gebeuren op grond van diverse bronnen:

1. De voorkeur gaat uit naar reeds geregistreerde en beschikbare gegevens uit bestaande informatiesystemen, dit vereist de minste extra inspanning;
2. Indien de benodigde gegevens niet beschikbaar zijn, wordt gekeken of nieuwe gegevens door de bestaande en/of nieuwe informatiesystemen kunnen worden geregistreerd, hierbij is een goede analyse nodig van de wijze waarop de nieuwe gegevens **automatisch** worden vastgelegd in de informatiesystemen en dit vereist meestal technische aanpassingen in de informatiesystemen;
3. Naast het automatisch verzamelen van gegevens door middel van bestaande en/of nieuwe informatiesystemen is het mogelijk om handmatig metingen te laten verrichten door het bouw personeel op de locatie zelf;
4. Ten slotte kunnen (steekproefsgewijs) metingen worden uitgevoerd door bouw personeel dan wel studenten.

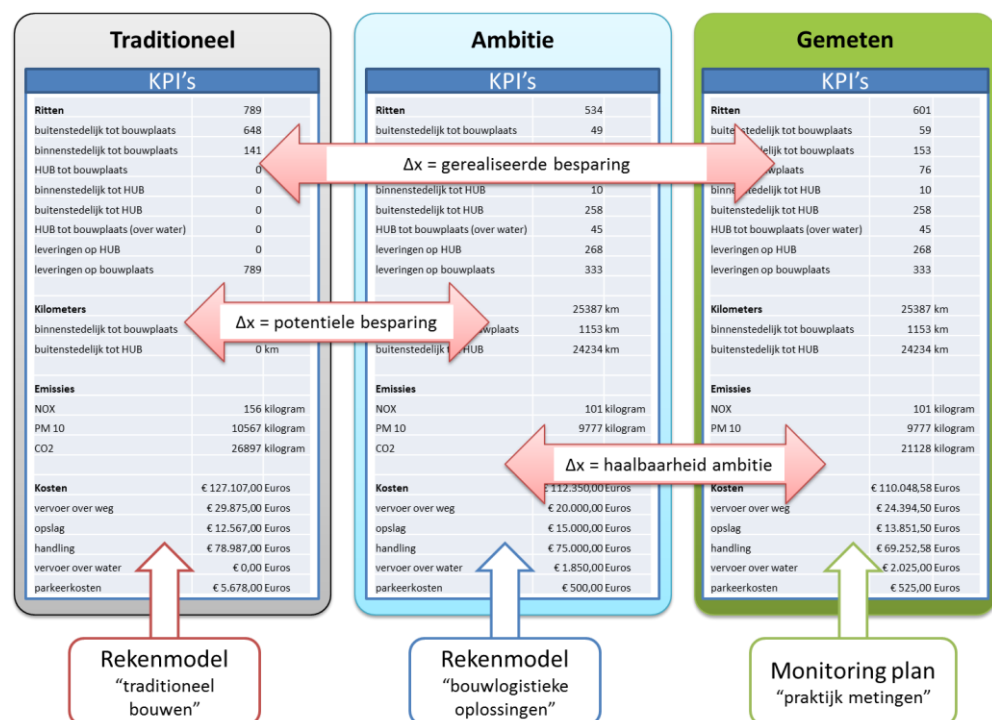
Per situatie dient bekeken te worden wat mogelijk is. Voor de twee proeftuinen is een monitoringsplan opgesteld met een overzicht van belangrijke prestatie indicatoren (KPI's) en hoe deze gemeten worden. Een uitvoerige analyse en beschrijving van de selectie van KPI's en de wijze van monitoren van de twee proeftuinen is beschreven in een van de deliverables van dit project [ref. **WP2.2 Ontwikkeling prestatie-indicatoren voor bouwlogistiek**].

De geselecteerde KPI's zijn op basis van het monitoringsplan in de praktijk gemeten tijdens de afbouwfase bij proeftuin "De Trip" ("Hotel Amstelkwartier wacht nog op start van afbouwfase).

De bruikbaarheid van de geselecteerde KPI's en de mate van succes in het meten en registreren van data voor de KPI's wordt nader toegelicht in hoofdstuk 7 verderop in dit document.

6 Evaluatiemodel, rekenmodellen en referentiebibliotheek

Voor het beoordelen van de prestaties van een bouwproject op het gebied van logistiek worden zoals in het voorgaande hoofdstuk toegelicht prestatie-indicatoren (KPI's) gebruikt. Iedere KPI geeft een waardeoordeel over de prestaties op een specifiek gebied (bijvoorbeeld: het aantal leveringen op de bouwplaats per tijdseenheid). De daadwerkelijk in de praktijk **gemeten** bouwlogistieke prestaties, geven de prestaties weer onder de toepassing van een aantal vooraf geselecteerde en geïmplementeerde bouwlogistieke oplossingen (maatregelen zoals: het toepassen van een hub gecombineerd met bouwticket systeem). Dit geeft pas inzicht als daaraan de context kan worden toegevoegd van: 1) de verwachte prestaties voor dit bouwproject bij een **traditioneel** ingericht logistiek proces, zonder toepassing van slimme bouwlogistieke oplossingen en 2) de vooraf geschatte verwachtingen ten aanzien van de prestaties met toepassing van slimme bouwlogistieke oplossingen, zijnde de **ambitie**. Het vergelijken van de daadwerkelijk gemeten prestaties met de verwachtingen ten aanzien van traditioneel geeft de daadwerkelijke **realisatie**. Het vergelijken van de daadwerkelijk gemeten prestaties met de verwachtingen ten aanzien van ambitie geeft inzicht in de **haalbaarheid van de ambitie**. Het vergelijken van de verwachtingen tussen traditioneel en ambitie geeft inzicht in de **potentieel haalbare besparing**. Het evaluatiemodel, zie Figuur 4, geeft bovenstaande schematisch weer.



Figuur 4: Evaluatiemodel voor het beoordelen van de prestaties van bouwlogistiek.

Voor het bepalen van de verwachting van de prestaties van een bouwproject bij een traditioneel ingericht bouwlogistiek proces en met toepassing van slimme

bouwlogistieke oplossingen worden rekenmodellen gebruikt. De rekenmodellen maken gebruik van logistieke kengetallen en rekenregels voor het schatten van de prestaties uitgedrukt in de verschillende prestatie-indicatoren (KPI's). In de rapportage van de studentonderzoeken [ref. **Wp3.1 Studentonderzoeken**] is meer informatie beschikbaar over de gebruikte bouwlogistieke rekenmodellen c.q. studies waarin rekenmodellen zijn toegepast.

Ook in studies buiten het TKI-project zijn in het verleden rekenmodellen op het gebied van bouwlogistiek toegepast. De bekendste daarvan zijn:

- Bouwlogistiek rekenmodel Jubitorrens Den Haag, BAM, Dennis Segeren;
- Bouwlogistiek rekenmodel Amsterdam, gemeente Amsterdam, IBA, Robert de Roos;
- Bouwlogistiek rekenmodel Rotterdam, gemeente Rotterdam, Flip Kolet;
- Bouwlogistiek rekenmodel Duurzame Bouwlogistiek Amsterdam (DBA), TNO, Siem van Merriënboer.

Veel theoretisch onderzoek uit het verleden beperkt zich tot het vergelijken van ambitie met traditioneel en doet een uitspraak over de potentieel te verwachten besparingen met bepaalde bouwlogistieke oplossingen. De huidige proeftuinen waarin daadwerkelijke prestaties gemeten worden, voegen daar het inzicht aan toe vanuit de praktijk op basis van daadwerkelijk gemeten prestaties. Dit geeft vervolgens waardevolle inzichten in de logistieke kengetallen, rekenregels en methoden die worden gebruikt in de rekenmodellen voor het bepalen van de te verwachten voordelen van specifieke bouwlogistieke oplossingen. Al de opgedane ervaringen worden vertaald in lessons learned. Deze lessons learned betreffen deels kengetallen voor het schatten van de impact van bouwlogistieke oplossingen op de prestaties van een bouwproject (in termen van kosten van een bouwproject, maar ook duurzaamheidsaspecten zoals emissies van schadelijke stoffen). Deze kengetallen worden vastgelegd in een zogenaamde referentiebibliotheek [ref. **Referentiebibliotheek**].

De referentiebibliotheek is een levend document en de gegevens in de referentiebibliotheek worden voortdurend verrijkt met de resultaten van uitgevoerde analyses.

In de referentiebibliotheek vindt u een opsomming en beschrijving van de meest voorkomende bouwlogistieke oplossingen (best practices) die onderkend zijn binnen het Platform Logistiek in de bouw. Bovendien wordt er een verwijzing gegeven naar onderzoek dat heeft plaatsgevonden naar theoretische, dan wel praktijktoepassingen van deze bouwlogistieke oplossingen. De referentiebibliotheek kan dus worden gebruikt als naslagwerk bij het zoeken naar meer informatie over specifieke bouwlogistieke oplossingen. Daarnaast wordt in de referentiebibliotheek op basis van een praktijkinventarisatie van een set referentieprojecten een indeling gemaakt van kritische kenmerken van een bouwproject, zogenaamde typologische kenmerken zoals: omvang, locatie, mate van industrialisatie en de wijze waarop de bouwlogistiek is ingericht. De logistieke kengetallen worden gekoppeld aan de verschillende typologieën. Daarmee kan een ordegraote inschatting gemaakt worden van de te verwachten goederen- / personeelsstromen.

Deze kan gebruikt worden als leidraad bij de inrichting van de bouwlogistieke keten en de keuze voor het toepassen van specifieke bouwlogistieke oplossingen in een bepaalde fase van een bouwproject.

Met deze indeling naar typologieën kan vervolgens worden gekeken wat het effect is op transport en logistiek en bijbehorende externe effecten indien een aantal van deze typologische kenmerken wordt gewijzigd. Feitelijk is elk gebouw of bouwproject in te delen in, of is te duiden, volgens een aantal typologische kenmerken. Een vast typologisch kenmerk is de 'omvang', waarin we spreken van een groot, een gemiddeld of een klein bouwobject en daarmee dus ook een bouwproject. Binnen het onderzoek zien we dit als een soort bouwblokjes die ergens in Nederland kunnen worden gerealiseerd of gepland. Dan komt dan ook direct het tweede typologische kenmerk om de hoek kijken, namelijk 'locatie'. Hier wordt een onderscheid gemaakt tussen binnenstedelijk, aan de rand van de stad en buiten bebouwd stedelijk gebied. Dat dit grote invloed heeft op transport en logistiek is evident. De overige typologische kenmerken zijn de mate van 'industrialisatie' of pre-fabricering, verschuivend van traditioneel tot compleet afbouwen in de fabriek. Het laatste typologische kenmerk is de 'contractvorm' waarin wijze waarop wordt samengewerkt wordt gedeut. Van een aantal combinaties van typologische kenmerken zijn voorbeeldprojecten of referentieprojecten in de referentiebibliotheek opgenomen. Uiteindelijk worden er meer projecten in de referentiebibliotheek opgenomen en worden deze gebruikt om ondernemingen inzicht te geven in de wijze waarop typologische kenmerken samenhangen met transport en logistiek in het bijzonder de effectiviteit, de efficiency en de hiermee samenhangende externe effecten, zoals CO₂, fijnstof en veiligheid. De referentiebibliotheek is de basis voor het vastleggen van logistieke kengetallen en lessons learned van het toepassen van bouwlogistieke oplossingen in de praktijk. De resultaten van nieuwe proeftuinen, met bouwlogistieke oplossingen, zullen vervolgens weer worden gebruikt om de referentiebibliotheek aan te vullen en van kwaliteit te doen verbeteren. Daarmee is de referentiebibliotheek een levend document, wat zoveel betekent als dat er voortdurend toevoegingen van nieuwe kennis en ervaringen in het document plaatsvinden. De referentiebibliotheek is bedoeld voor uitvoerende- en adviserende bedrijven in de logistieke keten van een bouwproject.

7 Resultaten data analyse proeftuin De Trip

De hier beschreven data analyse betreft de data analyse van de ruwe afbouwfase en afbouwfase van proeftuin bouwproject De Trip. De data analyse van proeftuin bouwproject HAK is helaas binnen dit project niet uitgevoerd, aangezien de afbouwfase van het bouwproject dusdanig was uitgesteld, dat deze nog niet was gestart bij het afsluiten van het TKI project 4C in bouwlogistiek.

De data analyse van de proeftuin bouwproject De Trip is uitgevoerd over de periode van de ruwe afbouwfase en de afbouwfase, startend in week 7 van 2016 en eindigend op week 34 van 2016 (totaal 28 weken). De ruwbouwfase is buiten beschouwing gelaten in de data analyse, aangezien de hub in deze fase nog slechts een beperkte rol heeft gespeeld. Daarbij is getracht om data te verzamelen op de hiervoor beschreven 18 prestatie indicatoren (KPI's). Gedurende het proces van monitoring is gebleken dat sommige KPI's minder relevant waren of verkeerd geïnterpreteerd binnen de context van de bouwlogistieke keten. Dit heeft ertoe geleid dat op sommige KPI's geen resultaten beschikbaar zijn.

7.1 Proces van data naar KPI's

Het proces van data registratie en vervolgens de vertaling van de beschikbare data naar KPI's is geen eenvoudige taak en moet zeker niet worden onderschat. In de praktijk blijkt het nog erg lastig om de juiste data voor de KPI's op een betrouwbare en structurele wijze vast te leggen, zodanig dat over de gehele periode data beschikbaar is. Daarbij helpt het als gegevens al standaard worden geregistreerd door in gebruik zijnde IT systemen. Bij de Trip is het transport management systeem (TMS) van E. Lafeber Internationale Transporten B.V. beschikbaar voor een deel van de transporten (uitgevoerd door E. Lafeber Internationale Transporten B.V.) en ilips voor voorraadregistratie, de planning van transporten en de kraanplanning. Dit heeft ervoor gezorgd dat een deel van de data beschikbaar was voor de analyse, maar uiteindelijk moest nog wel veel handmatig worden toegevoegd. De structurele werklast die dit vergt moet niet worden onderschat. Vervolgens is een regelmatige en goede afstemming tussen de data analisten (TNO in dit geval) en de betrokken logistiek managers uit de praktijk nodig om onduidelijkheden in de data te voorkomen en goed begrip van de data te garanderen. Voor de huidige data analyse van de afbouwfase van De Trip was ook niet alle data beschikbaar. De ontbrekende data is samen met de bouwlogistieke experts van de bouwplaats geschat op basis van de wel beschikbare data.

Onderstaand wordt per categorie een toelichting gegeven op de gemeten resultaten voor de KPI's, dan wel het ontbreken daarvan.

7.2 Leverbetrouwbaarheid (reliability)

Categorie	KPI	Indicatoren	Traject	Traditioneel	Meetresultaten	Eenheid
Leverbetrouwbaarheid (reliability)	1	Percentage leveringen op tijd	L - H	n.v.t.	100%	%
	1	Percentage leveringen op tijd	L - B			%
	2	Percentage leveringen conform eisen	L - H	n.v.t.	99%	%
	2	Percentage leveringen conform eisen	H - B	n.v.t.	100%	%

KPI 1. Percentage leveringen op tijd. De eis voor leveringen op de hub is ruim (2 weken voor start werkzaamheden op bouwplaats) gezien de mogelijkheid om op de hub voorraden aan te houden. Dit zorgt voor een tijdige ontvangstcontrole op de levering en de tijd om eventuele onvolkomenheden te herstellen. Daarnaast geeft het de leverancier(s) / transporteur de flexibiliteit om het transport tussen de toeleverancier(s) en de hub(s) te optimaliseren. Alle leveringen op de hub zijn binnen het gestelde tijdsvenster van 2 weken uitgevoerd, resulterend in 100% percentage levering op tijd. De leveringen van hub aan de bouwplaats zijn JIT uitgevoerd. We hebben echter geen informatie over het gesteld tijdsvenster voor levering, waardoor we gerealiseerd levertijd niet kunnen vergelijken met planning en voor deze KPI geen resultaten kunnen laten zien.

KPI 2. Percentage leveringen conform eisen. De leveringen op de hub waren vrijwel allemaal conform de vooraf besproken eisen. Denk daarbij aan: juiste aantal artikelen, juiste artikelen en onbeschadigd. Er waren zover bekend slechts 2 incidenten met beschadigde bouwmaterialen op een totaal van 190 leveringen (van leverancier aan hub) gedurende de afbouwfase. Dit heeft geresulteerd in een 99% percentage leveringen conform eisen. De leveringen vanaf de hub aan de bouwplaats zijn 100% conform eisen, gezien de voortijdige ontvangstcontrole op de hub. Voor de directe leveringen vanaf de leverancier aan de bouwplaats is geen informatie over leveringen conform eisen bekend, dus deze is buiten beschouwing gelaten.

De schattingen voor bovenstaande KPI's van de prestaties bij een traditioneel uitgevoerd bouwlogistiek concept (vanaf leverancier direct aan de bouwplaats, L – B) zijn vooralsnog niet bekend.

7.3 Snelheid (responsiveness)

Categorie	KPI	Indicatoren	Traject	Traditioneel	Meetresultaten	Eenheid
Snelheid (responsiveness)	3	Lostijden op bouwplaats (totaal, incl. wachttijd)	L - B, H - B			61 min.
	3	Lostijden op hub (totaal incl. wachttijd)	L - H	n.v.t.		26 min.
	4	Wachttijden op bouwplaats	B			11 min.
	4	Wachttijden op hub	H	n.v.t.		4 min.
	9	Wachttijd gedurende transport (file)	L - B, H - B		13	13 min.
			Besparing transporttijd leverancier	L - H	n.v.t.	

KPI 3. Lostijden op bouwplaats. De lostijd op de bouwplaats is een gemiddelde lostijd gebaseerd op de transporten tussen hub en bouwplaats geregistreerd door het TMS van E. Lafeber Internationale Transporten B.V. en de transporten direct vanaf de leveranciers waarvan informatie bekend is. Deze zijn inclusief de wachttijd op bouwplaats. Het totaal aantal metingen bedraagt 230, daarvan zijn 190 transporten van hub naar bouwplaats en 40 direct van leverancier aan bouwplaats. De gemiddelde lostijd op de bouwplaats over 230 metingen bedraagt 61 min. Er is geen schatting bekend voor traditionele lostijd op de bouwplaats. Maar ervan uitgaande dat er veel meer leveringen direct vanaf de leveranciers op de bouwplaats plaatsvinden in een traditioneel concept (zie Transport) verwachten we ook een aanzienlijk hogere lostijd. De verhoging in lostijd zit naar verwachting vooral in de wachttijd doordat er geen ruimte is om te lossen of doordat het personeel niet beschikbaar is om te lossen.

KPI 3. Lostijden op hub. De lostijd op de hub is de gemiddelde lostijd (inclusief wachttijd) geregistreerd door personeel op de hub over 129 ritten (leverancier – hub).

KPI 4. Wachtijden op bouwplaats. De wachttijd op de bouwplaats is ook een gemiddelde wachttijd gemeten over de transporten tussen hub en bouwplaats geregistreerd door het TMS van Ed Lafeber en de transporten direct vanaf de leveranciers waarvan informatie bekend is. De gemiddelde wachttijd bedraagt 11 min. / rit. Een schatting voor de wachttijd op de bouwplaats bij een traditioneel bouwlogistiek concept is niet bekend. Zoals eerder vermeld verwachten we hier wel een aanzienlijke verhoging bij traditioneel logistiek concept.

KPI 4. Wachtijden op hub. De gemiddelde wachttijd op de hub, ook geregistreerd door personeel op de hub, was gering (4 min. / rit). Dit is te verklaren doordat personeel op de hub vrijwel altijd beschikbaar was voor het lossen van de levering en de levering vooraf was aangemeld en afgestemd met de hub.

KPI 9. Wachttijd gedurende transport (file). Deze is gemeten voor de transporten tussen hub en bouwplaats geregistreerd door het TMS van Ed Lafeber en bedraagt 13 min. / rit. Er is geen verschil te verwachten met traditioneel bouwen.

Uiteindelijk kunnen we bovenstaande lostijden en wachttijden vertalen naar een besparing in tijdsbesteding per rit van een toeleverancier naar de hub in plaats van naar de bouwplaats. Deze besparing bedraagt gemiddeld 81 min. per rit. Dit is de som van de binnenstedelijke reistijd (heen en terug, inclusief vertraging door file = 46 min.) en het verschil tussen lostijd op de bouwplaats en lostijd op hub (35 min.). Hierbij gaan we ervan uit dat de lostijd op de bouwplaats bij traditionele logistiek gelijk is aan de lostijd op de bouwplaats zoals nu geregistreerd.

7.4 Flexibiliteit (agility)

- KPI 5. Doorlooptijd afroep hub
- KPI 6. Doorlooptijd leverancier

De vertaling van flexibiliteit naar meetbare KPI's is niet gelukt voor dit bouwlogistieke proces. Doorlooptijd vanaf afroep van hub en bestelling bij leveranciers zegt niets over het goed presteren van de logistieke keten en is niet te vergelijken met traditionele bouwlogistiek. Het gaat hier in feite over het omgaan met (last minute) veranderingen in bestellingen en hoe goed / snel de logistieke keten hierop reageert. Doorlooptijd is een KPI die hoort bij snelheid (responsiveness) en daar uitvoerig is toegelicht.

7.5 Transport (efficiency)

Categorie	KPI	Indicatoren	Traject	Traditioneel	Meetresultaten	Eenheid	Winst
Transport (efficiëntie)		Aantal ritten naar bouwplaats	L - B	1.800	260	#	69%
		Aantal ritten naar bouwplaats	H - B	n.v.t.	305	#	
		Aantal ritten naar HUB	L - H	n.v.t.	190	#	75%
		Aantal ritten personeelsvervoer	H - B	700	280	#	60%
	7	Afgelegde kilometers transport naar bouwplaats	L - B, H - B	324.000	48.434	km's	
	7	Afgelegde kilometers transport naar hub	L - H	n.v.t.	54.900	km's	
	7	Afgelegde kilometers transport	L - H, H - B, L - B		103.334	km's	
	7	Afgelegde kilometers personeelsvervoer	H - B	6.020	2.408	km's	60%
	8	Vermeden kilometers transport	L - H, H - B	n.v.t.	224.278	km's	69%
		Transportkosten	L - H, H - B	€ 540.000	€ 156.556	€	71%

KPI 7. Afgelegde kilometers transport. De schatting voor de afgelegde transportkilometers tijdens de ruwe afbouwfase en afbouwfase in de traditionele situatie is gebaseerd op de “*expert opinion*” van bouwlogistieke coördinatoren op de bouwplaats van de Trip en op de hub. Daarbij is uitgegaan van gemiddeld 8,8 ritten per dag over periode van 41 weken (oorspronkelijke planning van de ruwe afbouw en afbouwfase) = totaal van 1800 ritten. Het gaat om een gemiddelde afstand vanaf leverancier tot de bouwplaats en van leverancier tot de hub van 90 km. De transportgegevens over aantal ritten en afgelegde km’s zijn gebaseerd op de gegevens van de vrachtbrieven van de uitgevoerde en geregistreerde ritten en het TMS van E. Lafeber Internationale Transporten B.V.. Daarbij is de afstand tussen de hub en de bouwplaats bedraagt 4,3 km. De gemeten rittendata was helaas niet over de gehele periode beschikbaar. De ontbrekende data is in overleg met de bouwlogistieke experts aangevuld op basis van de gemeten beschikbare data.

De besparingen op personeelsvervoer zijn gebaseerd op de werknemers van Boele & van Eesteren, werkzaam gedurende de afbouwperiode op de bouwplaats (gemiddeld 10 per dag op een totaal van 80 per dag), die vanaf de hub hebben gepoold met 9 persoonsbusjes.

KPI 8. Vermeden kilometers transport. De vermeden transportkm’s zijn gebaseerd op bovenstaande gegevens. De besparing in transportkilometers bedraagt 69%.

De besparing in aantal transportritten is afhankelijk van de focus, maar voor de binnenstad betekent het een besparing van 69% in aantal ritten naar de bouwplaats (dus door de binnenstad).

De besparing in transportkosten is een schatting gebaseerd op een transporttarief van €75,- per uur en een gemiddeld duur van 4 uur per transport traditioneel (heen en terug inclusief laden en lossen) en 2,65 uur per transport vanaf leverancier naar de hub (waarbij rekening is gehouden met de gemeten tijdsbesparing van 81 min per transport) en 1,78 uur per transport tussen hub en bouwplaats (gebaseerd op de gemeten gemiddelde lostijd op de bouwplaats en reistijd tussen hub en bouwplaats). De besparing in transportkosten bedraagt 71%.

7.6 Consolidatie- en beladingsgraad (assets)

Categorie	KPI	Indicatoren	Traject	Traditioneel	Meetresultaten	Eenheid
Consolidatie- en beladingsgraad (assets)	10	Consolidatiegraad hub	L - B, H - B	n.v.t.		%
	11	Voorraden op hub				
	12 - 13	beladingsgraad	L - B	40%	48%	%
	12 - 13	beladingsgraad	L - H	n.v.t.	44%	%
	12 - 13	beladingsgraad	H - B	n.v.t.	90%	%

KPI 10. Consolidatiegraad hub. De consolidatiegraad hub is een prestatie indicator van hoe goed de hub er in slaagt het aantal transporten vanaf de toeleveranciers naar de bouwplaats te verdichten tot minder ritten en vollere ritten vanaf de hub

naar de bouwplaats (dat kan zijn hogere capaciteit en/of hogere beladingsgraad). Dit is dus geen vergelijking met een traditioneel logistiek concept en zegt dus niets over het presteren van de hub en derhalve niet gebruikt in de analyse van de KPI's.

KPI 11. Voorraden op hub. Het is niet gelukt een schatting te geven voor deze KPI. De registratie van de omvang van de voorraad op de hub gedurende de afbouwperiode is nog niet geautomatiseerd, maar zal in de toekomst door ilips worden bijgehouden. Er is wel een aanzienlijk resterende voorraad aan bouwmaterialen geconstateerd op de hub. Deze zijn een gevolg van een beter logistiek systeem met minder verlies, waardoor tijdens de inkoop ook minder reserves hoeven te worden aangekocht. Deze restvoorraad vertegenwoordigt ook een geldelijke besparing doordat deze bouwmaterialen deels kunnen worden ingezet in andere nieuwe bouwprojecten. De waarde van de restvoorraad wordt geschat op € 46.000,-.

KPI 12. beladingsgraad gewicht en KPI 13. beladingsgraad volume. Door de logistiek manager en het personeel op de hub en op de bouwplaats is bij elk leverend transport een schatting van de beladingsgraad geregistreerd, daarbij rekening houdend met zowel gewicht als volume. Dit is uiteindelijk gemiddeld tot een overall KPI voor beladingsgraad. De schattingen voor de beladingsgraad variëren echter dusdanig dat hier twijfels bestaan over de betrouwbaarheid van deze gegevens. Voor toekomstige metingen wordt nader onderzocht hoe de beladingsgraad op een betrouwbare wijze kan worden gemeten.

7.7 Milieu en omgeving

Categorie	KPI	Indicatoren	Traject	Traditioneel	Meetresultaten	Eenheid	Winst
Milieu en omgeving	14	CO ₂ uitstoot	L - B	307.800	98.167	kg	68%
	14	Nox uitstoot	L - B	4.536	1.447	kg	68%
	14	PM10 uitstoot	L - B	12.960	4.133	g	68%
	15	Afvalreductie	H				5%
	16	Overlast van bouwverkeer	L - B, H - B	1800	565	#	69%

KPI 14. CO₂ / NO_x / PM10 uitstoot. Dit uitstoot schadelijke stoffen hangt af van het voertuig en de verreden km's. Daarvoor worden de emissiefactoren voor uitstoot schadelijke stoffen van de website van onder meer Connekt gehanteerd (zie www.co2emissiefactoren.nl). We gaan hierbij uit van Euro V voertuigen voor zowel traditioneel als de daadwerkelijke gemeten situatie. Het is niet bekend of een deel van de voertuigen Euro VI was.

KPI 15. Afvalreductie. Deze KPI is geschat door het personeel op de bouwplaats op basis van de omvang van verpakkingsmateriaal dat op de hub is achtergebleven. Er zijn geen daadwerkelijke meetgegevens beschikbaar. Er is nog niet actief verzameld op de bouwplaats en retourtransport gecombineerd met de transporten naar de bouwplaats vanaf de hub, dus de besparingen zijn op dit punt nog zeer gering. De verwachting is evenwel dat hier ook nog meer besparingen mogelijk zijn door hier actief op te sturen.

KPI 16. Overlast van bouwverkeer. Dit is uitgedrukt in het aantal transporten naar de bouwplaats. Eventueel overlast van congestie op de weg door wachtende vrachtwagens voor de poort van de bouwplaats is nog niet geregistreerd.

7.8 Arbeidsproductiviteit

Categorie	KPI	Indicatoren	Traject	Traditioneel	Meetresultaten	Eenheid	Winst
Arbeidsproductiviteit	17	Duur bouwactiviteiten	B	41	28 weken		32%

KPI 17. Arbeidsproductiviteit. De arbeidsproductiviteit is in dit geval gebaseerd op de verhouding tussen de oorspronkelijke planning van de doorlooptijd en de daadwerkelijk gemeten doorlooptijd. Dit betreft dus eigenlijk niet echt arbeidsproductiviteit, maar versnelling in productietijd.

Hierin is een nadrukkelijke verkorting van de totale doorlooptijd tijdens de afbouwfase waargenomen. Dit is te verklaren door enerzijds een verbetering in de afstemming tussen de bouwactiviteiten en de leveringen van bouwmaterialen als gevolg van het gebruik van een hub, en anderzijds door een goede interne logistiek op de bouwplaats. Dit geeft aan dat er in de planning nog veel risico's zijn ingebouwd, waarbij rekening wordt gehouden met falen van de logistieke keten. Door toepassing van een hub zijn deze risico's te vermijden.

7.9 Inkoopresultaat

- KPI 18. Kostenbesparing op inkoop.

Hiervan zijn geen gegevens bekend.

8 Visie op bouwlogistiek 2025

Om duidelijk te krijgen welk ontwikkelingsproces de bouwsector dient te doorlopen, is een visie beschreven m.b.t. de bouwsector in 2025. Belangrijk onderdeel van deze visie vormt de toepassing van een technologische inrichting met een geavanceerde ICT infrastructuur en zogenaamde Cross Chain Control Centers (4C), waarin partijen met elkaar samenwerken om innovatie in de bouwsector te versnellen, inclusief de daarvoor afgestemde bouwlogistiek. De bouwsector en het gebruik van Cross Chain Control Centers wordt respectievelijk vanuit de volgende veranderingsperspectieven beschreven: de bouwketen vanuit een marktbenadering, een opdrachtgeversbenadering, samenwerking in de keten, informatie en communicatietechnologie, delen van kosten en opbrengsten, processen in de keten, aspecten van de nieuwe economie en transparantie in uitwisseling van gegevens (Girmscheid en Hartmann, 2001). Indien de beschreven visie wordt gedeeld in de bouwsector kan een agenda tot verandering worden opgesteld en vervolgens een implementatieplan worden opgesteld om deze veranderingsagenda te realiseren.

- (1) De bouwplanning wordt tot een zo gedetailleerd niveau uitgewerkt en ge-update en via een zogenaamd BIMPlus-systeem via "The Cloud" voor iedere betrokkene toegankelijk gemaakt (Wang & Chong, 2015). Door de gebruikte informatiehuishouding is het voor alle partijen in de bouwlogistieke keten bekend waar in welke gebouwen hun bouwmaterialen zijn verwerkt. Fabrikanten blijven eigenaar van de verwerkte bouwmaterialen. Er wordt 24/7 in drie ploegen prefab gebouwd zowel in de fabriek als op de bouw. De uiteindelijke bouwtijd is tot 1/10 van de gebruikelijke bouwtijd gereduceerd. Sloopafval bestaat niet meer maar wordt gezien als waardevolle grondstof. Via allerlei handige applicaties wordt beschikbare capaciteit waaronder machines, mensen, transportmiddelen maar ook te recyclen afvalmateriaal tegen de op dat moment best beschikbare prijs in de markt gezet en aangeboden.
- (2) Opdrachtgevers hebben allerlei incentives ingebouwd om samen met opdrachtnemers EMVI-criteria (Economisch Meest Voordelige Inschrijving) te realiseren in een bouwproject. Minimaal 10% van de aanneemsom wordt in reserve gehouden en "opgeplust" met nog eens 10% van de opdrachtgever. Een onafhankelijke jury beoordeelt of en in hoeverre de criteria zijn gehaald en bepaalt de incentive-marge. Vooral bouwtijd, duurzame bouwlogistiek, duurzaam bouwen, duurzame materialen en een 'total cost of ownership' zijn de belangrijkste criteria. Elk gebouw is een samenstelling van gemonteerde bouwmaterialen met een unieke oorsprong waarvan de fabrikant eigenaar blijft. Elk bouw materiaal heeft zijn eigen levenscyclus, wordt geïnspecteerd, onderhouden en vervangen. Aan het einde van zijn leven keert het terug de keten in om ergens te worden hergebruikt in zijn oorspronkelijk vorm of gedemonteerd en als nieuw te gebruiken grondstof te worden gebruikt. Gebouwen zijn via "The Cloud" met alle relevante partijen verbonden via het concept dat nu al bekend staat als "The Internet of Things".
- (3) De rol van de cultuur bepaalt voor een groot deel de mogelijkheden om ook daadwerkelijk innovaties door te voeren (Hartmann, 2006). De sfeer in bouwteams en consortia is er één van vertrouwen en adequaat samenwerken

waarin KPI's worden gemonitord en de resultaten uit "best-practice" analyses worden gedeeld om zo voor continue verbetering te zorgen. De organisatievorm is omgevormd in een modulaire structuur van een aantal grotere concerns en een paar kleinere meer gespecialiseerdere ondernemingen. De concerns coördineren het bouwproces en zijn verantwoordelijk voor de eindassemblage. Onderaannemers zijn verantwoordelijk voor maatgevende en gestandaardiseerde bouwpakketten, zoals ruwbouw, afbouw-binnenwanden, installaties voor elektrisch, water, gas, warmte, sanitair, enz. Het aantal vrijheidsgraden in de bouw wordt beperkt door de op de markt beschikbare bouwpakketten. Vrijheid en innovatie ligt in de bouwpakketten waarvoor echter wel dwingende afspraken worden gemaakt voor de "interfaces", zodat deze in de assemblage goed op elkaar aansluiten.

- (4) Coördinatie en afstemming van bouwprocessen wordt gedaan in een netwerk van samenwerkende partijen door middel van Cross Chain Control Centers (4C's), waarin de operationele planning van bouwprocessen wordt vormgegeven. De behoefte aan bouwmaterialen worden vanuit het BIMPlus-planningssysteem op de markt uitgezet (vraag) voor fabrikanten, producenten en onderaannemers (aanbod). Bij een geselecteerde fabrikant en/of toeleverancier wordt via het BIMPlus-planningssysteem de juiste informatie geleverd voor het inplannen van de order voor fabricage en aflevering. Via het BIMPlus-planningssysteem communiceert de bouwplanning met de productie/afleverplanning van de fabrikant en/of toeleverancier (dus het MRP- of ERP systeem), alsmede met alle relevante logistieke dienstverleners die verantwoordelijk zijn voor het transport (TMS), de opslag en/of de overslag van bouwmaterialen (WMS) bijvoorbeeld op een hub. De bouwmaterialen dan wel de verpakkingen dan wel de ladingdragers dan wel de transportmiddelen zijn met sensoren en/of transponders en/of RFID-chips uitgerust. Op de cruciale locaties (scan-gates) in de keten wordt een scan doorgevoerd en gedeeld met het BIMPlus-planningssysteem. Verder communiceren transportmiddelen en deze scan-gates en sommige cruciale of zeer kostbare bouwmaterialen via GPS met het BIMPlus-planningssysteem zodat de exacte locatie van bouwmaterialen in de gehele keten bekend en beschikbaar is. Met behulp van informatie uit verkeerssystemen, actuele file informatie en informatie met betrekking tot incentives om bijvoorbeeld de spits te mijden of alternatieve routes te kiezen (bijvoorbeeld in de nacht) wordt de beste inrichting van de bouwlogistiek bepaald. De besluitvorming m.b.t. het inplannen van productie gebaseerd op de bouwplanning wordt overgelaten aan 'Multi-Agent Systemen'.
- (5) Op de bouwplaats zijn bouwprofessionals bezig met de montage van deelpakketten. Het klaarleggen van bouw materiaal gereed voor verwerking wordt aan logistieke dienstverleners uitbesteed. Zij weten wat de dagplanning is en leveren bouw materiaal "just-in-time" aan. Het geheel doet op de bouw steeds meer denken aan de werkverdeling op een OK in een ziekenhuis. De chirurg doet zijn/haar werk bijgestaan door assistenten en heeft de beschikking tot de benodigde instrumenten om de operatie doeltreffend en doelmatig uit te voeren. Deze werkwijze leidt er toe dat het bouwproces een volledig ontzorgd proces wordt waar iedereen zich op zijn of haar kerntaken kan richten.

Om de beschreven toekomstvisie te realiseren moeten de volgende ontwikkelrichtingen verder worden onderzocht:

1. Culturele veranderingen;
2. Nieuwe bouwconcepten gebaseerd op standaardisatie en modularisatie;
3. Nieuwe verdienmodellen;
4. ICT infrastructuur zoals het beschreven BIMPlus-planningssysteem;
5. Verkorten van de bouwtijd naar 24/7 en
6. Bouwen op basis van prefab onderdelen.

9 Lessons Learned en valorisatie resultaten

In het project is op vele aspecten van het onderwerp bouwlogistiek kennis en ervaring opgedaan. Deze is regelmatig tussen de betrokken consortiumpartners gedeeld, maar ook breder binnen de bouwsector zijn de resultaten gedeeld. Dit is gedaan middels het verspreiden van nieuwsbrieven (4x per jaar), het organiseren van kennisuitwisselingsbijeenkomsten met consortiumpartners en geselecteerde externe genodigden (zogenaamde kennistafels, 6x per jaar) en het organiseren van een bouwlogistiek congres, toegankelijk voor de gehele bouwlogistieke community (1x per jaar). De grote belangstelling voor het laatste congres ("Bouwlogistiek anno 2016" van 28 juni 2016 bij Connex in Delft) geeft aan dat binnen de bouwsector het besef groeiende is dat er wat te winnen op dit gebied.

De betrokken consortiumpartners hebben allen een duidelijke ontwikkeling doorgemaakt op het gebied van bouwlogistiek. Dit is niet tijdelijk van aard geweest, maar ook voor de langere termijn doorgevoerd binnen de verschillende organisaties. Zo is er bij TBI een nieuwe functie / afdeling gecreëerd voor onder meer kennisuitwisseling op het gebied van bouwlogistiek en breed binnen de organisatie uitdragen van de ervaringen en mogelijkheden. De bouwlogistiek hub van VolkerWessels wordt inmiddels breder toegepast bij meerdere bouwprojecten. Iwan te Winkel van Raab Karcher (een van de betrokken groothandels organisaties binnen het project) is uitgeroepen tot Logistiek Manager van het jaar 2016.

De betrokkenheid van de vele studenten in het project middels studentonderzoeken heeft ertoe geleid dat kennisoverdracht heeft plaatsgevonden naar jonge logistieke professionals. Vele van deze jonge professionals hebben inmiddels ook hun weg gevonden in het bedrijfsleven bij de betrokken bedrijven of breder in de sector. Kennisoverdracht van 4C concepten en concepten rondom bouwlogistiek door jonge professionals wordt gezien als een belangrijke manier waarop op langere termijn cultuurverandering in de logistieke sector kan plaatsvinden.

Enkele van de voornaamste lessons learned die zijn opgedaan binnen de twee proeftuinen met het toepassen van diverse bouwlogistieke concepten vindt u onderstaand.

9.1 Lessons learned 1: kosten en baten inzichtelijk maken

Maak voor uw ketenpartners inzichtelijk hoeveel een bouwlogistiek concept kan opleveren. Doe dit zo vroeg mogelijk in het ontwerptraject.

Bouwlogistieke concepten leveren een positieve bijdrage aan het versnellen van het bouwproces, een vermindering van de logistieke kosten en bouwkosten in totaal en het verminderen van de milieuvervuiling en omgevingsoverlast. Om deze bijdragen (zowel investeringen als opbrengsten) op voorhand inzichtelijk te maken en achteraf te evalueren zijn diverse rekenmodellen beschikbaar en toegepast. Door de projectgroep is tevens een evaluatiemodel opgesteld om deze met elkaar te vergelijken. Geef uw ketenpartners inzicht in deze kosten en baten. Dit helpt om de partners ook echt te betrekken bij het concept. Als u de kosten en baten vroeg in het ontwerptraject inzichtelijk maakt, kunt u samen met uw ketenpartners de meest optimale bouwlogistiek kiezen en tot een eerlijke verdeling van de bijbehorende kosten en baten komen.

9.2 Lessons learned 2: relatie bouwproces met bouwlogistiek

Geef partijen inzicht in de consequenties van hun keuzes (bouwontwerp dan wel bouwuitvoering) op het gebied van bouwlogistiek.

Wil de opdrachtgever tijdens de realisatie nog wijzigingen aanbrengen in het bouwontwerp dan wel de uitvoering van het bouwproces? Dat kan, maar heeft naast consequenties voor het bouwen ook gevolgen voor het logistiek concept. Dat betekent dat sommige optimalisaties in de bouwlogistiek, zoals het samenstellen van werkpakketten, niet meer realiseerbaar zijn of extra tijd vergen. Dit heeft invloed op de bouwkosten en logistieke kosten en uiteindelijk ook de CO₂-uitstoot.

9.3 Lessons learned 3: 4C control tower

Een 4C control tower met integratie van verschillende ICT systemen kan voor een grote efficiencyslag zorgen, maar werkt pas echt als het gebruiksgemak hoog is, acceptatieniveau in de gehele bouwlogistieke keten is geland en het opleidingsniveau van de bouwlogistieke stakeholders daarop is aangepast.

Het integreren van ICT systemen als Building Information Model (BIM), Transport Management System (TMS), Warehouse Management System (WMS) kan zorgen voor een grote efficiencyslag in de integrale bouwlogistieke keten. De gebruiker bepaalt uiteindelijk of deze efficiency benut wordt of niet. Het gebruiksgemak van de ICT systemen, het opleidingsniveau van de gebruikers en acceptatiecultuur binnen de sector zal bepalend zijn of de gebruikers met de systemen aan de slag gaan.

9.4 Lessons learned 4: logistiek concept

Evalueer het logistieke concept gedurende het bouwproces en na afloop en geef uw partners de kans om de voordelen te ervaren en in te zien.

Het logistieke concept werpt pas zijn vruchten af als alle ketenpartners het voordeel ervan inzien en meedoen vanuit een intrinsieke motivatie. Dit gaat niet vanzelf, geef uw personeel en ketenpartners de kans om de voordelen van het concept te ervaren en in te zien. Dit werkt het beste door ze vanaf het begin te betrekken in het proces van optimaliseren van het totale bouwlogistieke proces.

10 Referenties

[best practices bouwlogistiek] Van Merriënboer, de Vries, Ludema, Vrijhoef, “Best practices in bouwlogistiek”, TNO, 15 november 2013.

[protocol TKI proeftuin] Van Merriënboer, de Bes, “Protocol TKI proeftuinen bouwlogistiek”, TNO, 27 januari 2015.

[LCCC] Department for Transport, , “London Construction Consolidation Centre”, Transport for London, October 2007.

[Girmscheid & Hartmann, 2001] Girmscheid, G., A. Hartmann, *Innovation Management in Construction Companies – An Integrated Model*, CIB World Building Congress, 2001.

[Hartmann, 2006] Hartmann, A., *The role of organizational culture in motivating innovative behaviour in construction firms*, Construction Innovation, Vol 6, Iss 3 pp 159-172, 2006.

[Wang & Chong, 2015] Wang, X. & H.Y. Chong, *Setting new trends of integrated Building Information Modelling (BIM) for construction industry*, Construction Innovation, Vol. 14 Iss 1 pp. 2-6., 2015.

[WP2.2 Ontwikkeling prestatie-indicatoren voor bouwlogistiek] Dr.ir. Ruben Vrijhoef, Ir. Martin van Dijkhuizen, Hogeschool Utrecht, 17 februari 2015.

[WP3.1 Studentonderzoeken] Marjoke de Boer, Martin van Dijkhuizen, Jan Sterkenburg, Peter van der Schaaf, Marcel Ludema en Ruben Fransen, “TKI 4C in bouwlogistiek, WP3.1 Studentonderzoeken, Hogeschool Utrecht, 22 augustus 2016.