Eindrapport Talking Trucks

smartport.nl

TNO 2022 R10252

SmartPort is een samenwerkingsverband van het Havenbedrijf Rotterdam, Deltalinqs, de gemeente Rotterdam, TNO, Marin, Deltares, de Erasmus Universiteit Rotterdam en de Technische Universiteit Delft. Door inspireren, initiëren en allianties aangaan, stimuleert en financiert SmartPort wetenschappelijk onderzoek voor en door de bedrijven in de haven van Rotterdam, in samenwerking met kennisinstellingen.
Het gaat om kennis ontwikkelen, delen en gebruiken vanuit één collectieve ambitie. De transitie naar de beste en slimste haven kan alleen slagen wanneer alle betrokken partijen gezamenlijk oplossingen aandragen voor veranderingen in de toekomst. Wij zijn ervan overtuigd dat de grootste impact bij ontwikkeling van kennis is gebaseerd op specifieke vragen uit de markt en dat de beste resultaten worden bereikt door alles te halen uit de samenwerking van handel en industrie, overheden en wetenschap.

www.smartport.nl | **LinkedIn: smartportrdam** | **Twitter: SmartPortRdam** | **Instagram: smartportrdam**

SMARTPORT PARTNERS

Deltares | Deltalinqs | Erasmus | Gemeente Rotterdam | Port of Rotterdam | MARIN | TNO | TU Delft

WITH CONTRIBUTION

provincie Zuid-Holland | TKI DINALOG

EINDRAPPORT TALKING TRUCKS

TNO 2022 R10252

Auteur(s): Christian van Ommeren (TNO), Elisah van Kempen (TNO) en Jaco van Meijeren (TNO)

Samenvatting

De digitalisering en automatisering van planprocessen zorgt niet alleen voor een verbetering van efficiëntie en betrouwbaarheid, maar biedt ook mogelijkheden voor een alternatieve aansturing van de logistieke operatie. Traditioneel gezien zijn planners de sleutelfiguren die het proces aansturen. In Talking Trucks is onderzocht of zelforganiserende logistiek waarde biedt in vergelijking met deze werkwijze. In een zelforganiserend proces maken vrachtwagens zelf keuzes door hun individuele voorkeuren te berekenen en onderling informatie uit te wisselen. In dat proces is de planner verantwoordelijk voor het aangeven van de spelregels, bijvoorbeeld het tijdvenster voor aflevering bij de klant, en het monitoren en eventueel bijsturen van de vloot.

Er zijn drie praktijkproeven uitgevoerd waarin zelforganiserende vrachtwagens en planners een basisplanning voor de dag van morgen hebben gegenereerd. Vanuit deze praktijkproeven kan geconcludeerd worden dat zelforganiserend plannen leidt tot een vergelijkbare (en zelfs iets verbeterde) punctualiteit en capaciteitsbenutting. Daarnaast biedt decentraal plannen de mogelijkheid om met een hoog aantal variabelen rekening te houden zonder dat dit de schaalbaarheid van de oplossing benadeelt. Elke individuele vrachtwagen is een eigen algoritme waarin de specifieke kenmerken van de vrachtwagen, de voorkeuren van de chauffeur, en de wensen van de planner voor die vrachtwagen kunnen worden meegenomen. Dit is groot voordeel ten opzichte van andere digitale planmethodes.

Digitaal plannen biedt ook belangrijke voordelen ten opzichte van de huidige werkwijze. Een basisplanning kan in minuten gegeneerd worden ten opzichte van uren werk voor een planner. Gedurende de dag werken planners volgens een vast proces om veranderingen te accommoderen, digitaal plannen geeft de mogelijkheid om een veelheid van opties door te rekenen, wat leidt tot een efficiëntere oplossing op een verstoring.

Voor planners leidt digitalisatie van het planproces tot een rolverandering. Het actief maken van beslissingen wordt overgelaten aan algoritmes en creëert tijd voor het monitoren van het proces, het coachen van chauffeurs en het bijsturen wanneer nodig. Dat laatste is essentieel, want er zijn behoorlijk wat details die niet digitaal beschikbaar, maar wel belangrijk zijn voor het planproces. Een planner weet bijvoorbeeld welke chauffeur vandaag wel een uur over wil werken en welke juist niet en welke klant het acceptabel vindt dat de aflevering in de middag wat later is en welke juist niet.

Voor logistieke dienstverleners zorgt digitalisatie van het planproces voor een vermindering van de afhankelijk van planners. Een zieke planner heeft minder impact, en vervangers kunnen sneller worden opgeleid. Zelforganiserend plannen biedt daarnaast mogelijkheden om beter rekening te houden met de wensen van de klant en kan zo het serviceniveau verhogen. Tot slot, kunnen Talking Trucks informatie uitwisselen met ketenpartners wat de prestatie van het distributiesysteem als geheel kan verbeteren.

Om met zelforganiserend plannen aan de slag te gaan is het zaak om de huidige processen te documenteren en zoveel mogelijk relevante informatie te digitaliseren. De volgende stap is het omzetten van die informatie naar een voorkeursfunctie voor een vrachtwagen: Wat is vanuit het perspectief van deze specifieke vrachtwagen de optimale dagbesteding?

INHOUD

01 Introductie Talking Trucks **7**
1.1 Zelforganiserende logistiek 8

02 Talking Trucks onder de motorkap **11**
1.1 Digital twins voor Van Berkel Logistics 11
2.1 Planmethodes 12
2.3 IT Architectuur Talking Trucks Planmethode 17

03 Praktijkproef **19**
3.1 Scope 19
3.2 Methodiek 20
3.3 Praktijkproef in cijfers 21
3.4 Verschillen tussen planmethodes 23
3.5 Impact op planners 24
3.6 Verandering voor logistieke dienstverleners 28

04 Talking Trucks in executie **31**

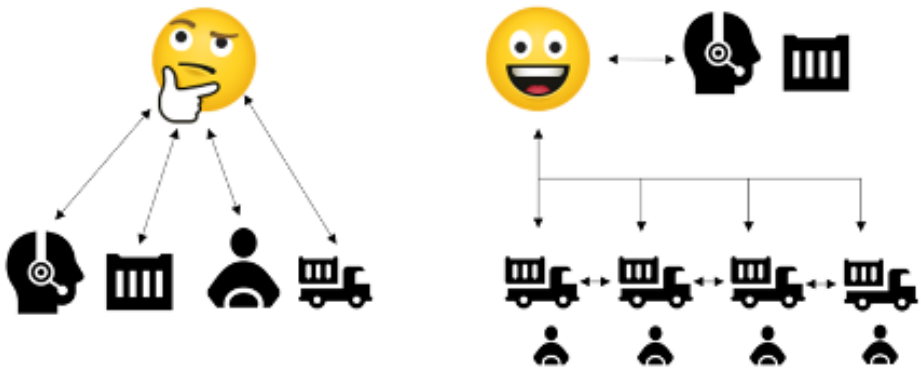
05 Voorlopige conclusies en mogelijkheden voor vervolg **33**
5.1 Onderzoeksvragen 33
5.2 Leerpunten 34
5.3 Operationalisering 34
5.4 Vervolgonderzoek 35

-01-
Introductie Talking Trucks

In de logistiek is men gewend aan centrale operationele aansturing door planners. Planners, al dan niet ondersteund door algoritmes, nemen informatie tot zich over terminals, chauffeurs, lading, vrachtwagens, klanten, gasmetingen, wegwerkzaamheden, vrijstellingen, en tal van andere details. Op basis van al die informatie, ervaring en een goed uitgedacht proces maakt de planner een plan dat gedurende de uitvoering continue wordt bijgesteld.

De resulterende logistieke operatie is niet altijd optimaal. Zo kennen we congestie in de zeehavens, wordt er nauwelijks rekening gehouden met klimaatdoelstellingen, en neemt de complexiteit voor planners exponentieel toe onder andere door toenemende volumes, een grotere hoeveelheid beschikbare data en een hogere frequentie van updates. In het trendrapport van SmartPort[1] wordt de ontwikkeling naar een "seamless port" geschetst. In een seamless port zorgt digitalisatie en automatisering niet alleen voor een efficiëntere, maar ook voor een betrouwbaardere en robuustere stroom van goederen.

Dit onderzoek is een eerste stap naar die seamless port. In Talking Trucks kunnen vrachtwagens nog niet zelf rijden, maar ze mogen wel zelf beslissen over hun werkzaamheden. Dit concept heet zelforganiserende logistiek. In de personenmobiliteit is dit de standaard. Het is dus bewezen effectief, maar kan het ook efficiënt? Heeft het voordelen? Wat zijn de nadelen? In Talking Trucks staan deze vragen centraal. De centrale onderzoeksvraag die we adresseren:



Figuur 1: Alle ballen op de planner versus de planner als teamspeler.

1 SmartPort (2021). 10 SmartPort Trends 2030-2050. Beschikbaar op https://smartport.nl/wp-content/uploads/2021/06/ENG-10-SmartPort-Trends-2030-2050_final.pdf

1. Wat is de waarde van zelforganiserende logistiek in vergelijking met de huidige werkwijze?

Daarnaast zijn er twee deelvragen:
1. Welke impact heeft zelforganiserende logistiek op planners?
2. Welke impact heeft zelforganiserende logistiek op logistieke dienstverleners?

Dit rapport beschrijft hoe een zelforganiserende planmethodiek in elkaar zit en wat er geleerd is in drie praktijkproeven. In die praktijkproeven is zelforganiserend plannen met vier andere planmethodieken vergeleken waaronder die van de menselijke planner zelf. Tot slot, worden de mogelijkheden voor vervolgonderzoek en operationalisering benoemd, en wordt de mogelijke impact op planners en logistiek dienstverleners geschetst.

Talking Trucks is uitgevoerd en gefinancierd door TNO, SmartPort, Van Berkel Logistics en DHL Global Forwarding.

1.1 Zelforganiserende logistiek

Er wordt gesproken over zelforganisatie wanneer er in een chaotisch systeem orde ontstaat doordat de onderdelen van dat systeem met elkaar interacteren zonder centrale aansturing. Decentraal plannen met Talking Trucks gebeurt volgens dit concept.

In de logistiek is dat vernieuwend. De toepassing van planmethodieken in de praktijk focust zich met name op control towers en decision supportsystemen.

Wanneer een logistiek proces voldoet aan de volgende drie eigenschappen is dat ook de juiste keuze:
1. Beperkte complexiteit (het aantal variabelen of de hoeveelheid data waarmee gerekend wordt is beperkt waardoor er binnen een acceptabele tijd een goede oplossing gevonden kan worden);
2. Alle benodigde informatie is centraal beschikbaar;
3. Alle benodigde autoriteit is gecentraliseerd.

De verkeerstoren van Schiphol is het schoolvoorbeeld van een scenario waarin centrale doorrekening en aansturing de logische keuze is.

Figuur 2: Control tower logistiek.

Er zijn echter scenario's waar de complexiteit zo snel toe neemt dat het berekenen van een (vrijwel) optimale oplossing te veel tijd kost. In het geval van containertransport per vrachtwagen, zorgt elke extra rit voor een exponentiele toename van het aantal mogelijkheden. Ook wordt transport vaak beïnvloed door processen van derden. Denk aan de vrijstelling op de containerterminal of de losploeg bij de klant. Wanneer zulke informatie niet centraal beschikbaar is kan er niet mee gerekend worden.

Tot slot is er op centraal niveau beslissingsbevoegdheid nodig, de optimale oplossing heeft geen toegevoegde waarde wanneer een ketenpartner een cruciaal tijdslot kan weigeren.

1.1.1 Voordelen zelforganiserende logistiek

In Talking Trucks passen we zelforganisatie toe voor aansturing van de vloot Van Berkel Logistics. Voor dit scenario biedt het decentraal doorrekenen en aansturen van vrachtwagens een aantal voordelen die de moeite waard zijn om te onderzoeken. Zelforganisatie maakt het namelijk mogelijk om logistiek anders te organiseren.

De twee belangrijkste voordelen van deze aanpak zijn:

- Decentralisatie verdeelt het probleem in kleinere (sub)problemen, waardoor er meer variabelen meegenomen kunnen worden in een berekening zonder dat de rekentijd exponentieel toeneemt.
- Decentrale probleemoplossing biedt mogelijkheden voor samenwerking buiten de eigen organisatie. Niet alle data van ketenpartners is te centraliseren, maar de (lokale) data die nodig is om een kleiner (sub)probleem op te lossen vaak wel.

Decentrale algoritmes schalen dus beter mee met logistieke complexiteit, en ze bieden mogelijkheden voor een veel fijnmazigere planning die rekening houdt met een groot aantal details. Voor planners en logistieke dienstverleners kan dit betekenen dat ze een hoog klantgericht serviceniveau kunnen realiseren in plaats van logistieke eenheidsworst.

1.1.2 Nadelen zelforganiserende logistiek

Er zijn echter ook nadelen. Wanneer elke vrachtwagen voor zichzelf beslist moet elke vrachtwagen ook afstemmen met zijn collega's om conflicten te voorkomen. De tijd die gewonnen wordt op rekentijd wordt (deels) weer ingeleverd op communicatie. Daarbij geldt echter wel dat de kans op een conflict afneemt wanneer het aantal variabelen waarmee gerekend wordt toeneemt.

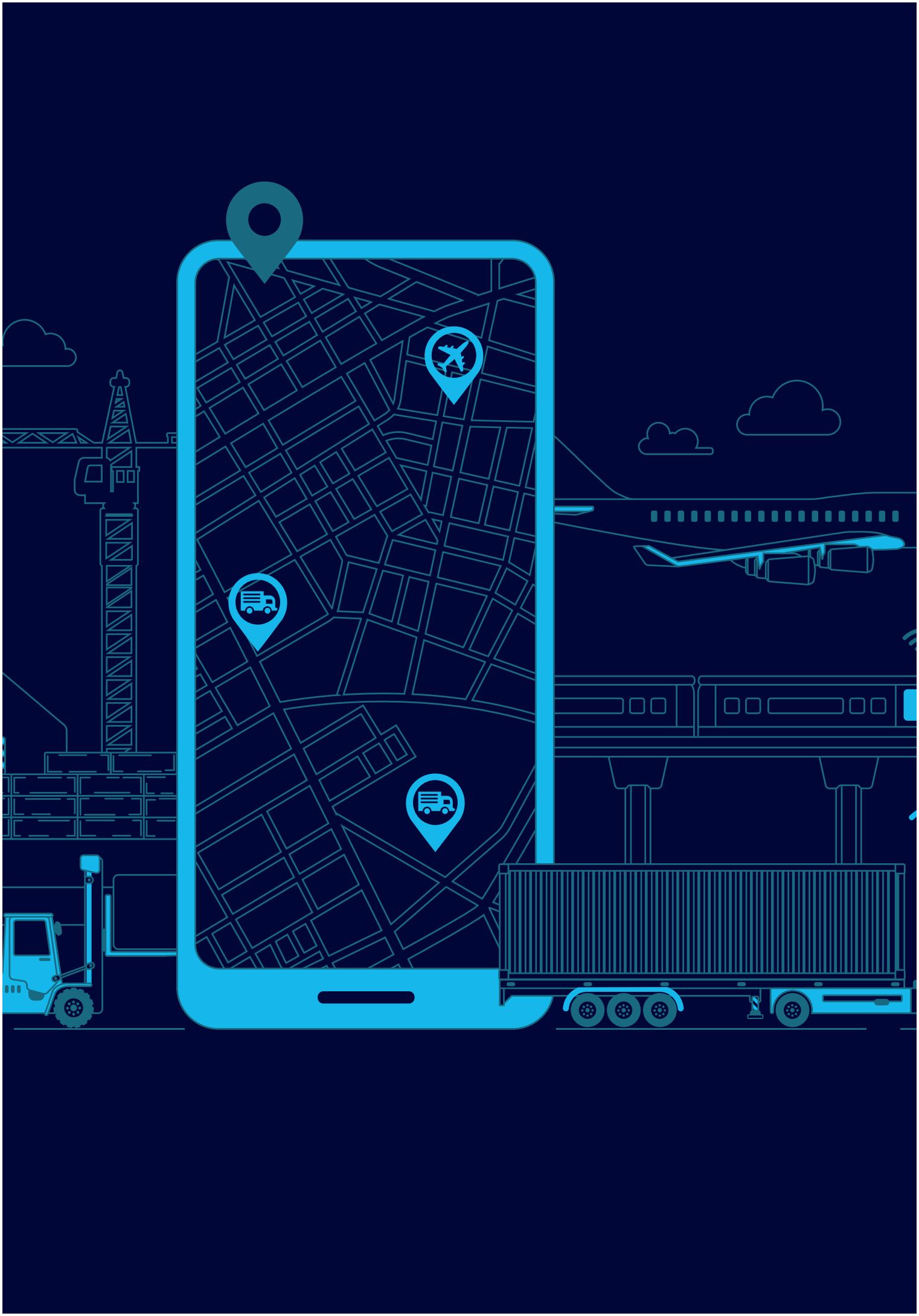
Een belangrijker nadeel is dat de oplossing het resultaat is van berekeningen en communicatie tussen individuele vrachtwagens. Het is daarom niet eenvoudig om uit te leggen *waarom* dat resultaat een goede oplossing is. In de literatuur wordt dit *emergence* genoemd, er "ontstaat" een oplossing.

1.1.3 Talking Trucks: Impact van zelforganiserende logistiek in de praktijk

Voor zowel zelforganiserende logistiek als control tower logistiek geldt dat het een uitdaging is om algoritmes in de praktijk toe te passen. Om die reden worden algoritmes vaak vergeleken op basis van simulaties. Simulaties zijn echter per definitie een versimpeling van de werkelijkheid. In Talking Trucks is daarom gekozen voor een praktijkproef. Hier wordt voortgebouwd op eerdere onderzoeken en kunnen we voor- en nadelen valideren. Daarnaast biedt een praktijkproef de mogelijkheid om de rol van de menselijke planner te onderzoeken.

Meer informatie over zelforganiserende logistiek uit eerdere onderzoeken is hier te vinden:

- Ommeren, C.R. van, et al. (2020). *Letting digital twins run the show. Exploring possibilities of letting vehicles plan and organise tranportation themselves.* Beschikbaar op http://resolver.tudelft.nl/uuid:15b16313-c89b-4bb2-aab6-de45300049ea
- Quak, H.J. et al. (2019). *Self-organization in parcel distribution – SOLiD's first results.* Beschikbaar op http://resolver.tudelft.nl/uuid:dd8300b6-4b40-41fa-9cbb-0ad903169842
- Meijeren, J.C. van, et al. (2020). *SOL Port Eindrapportage.* Beschikbaar op: https://www.dinalog.nl/wp-content/uploads/2019/08/Eindrapportage-SOL-port-Dinalog-format_DEF.pdf



-02-

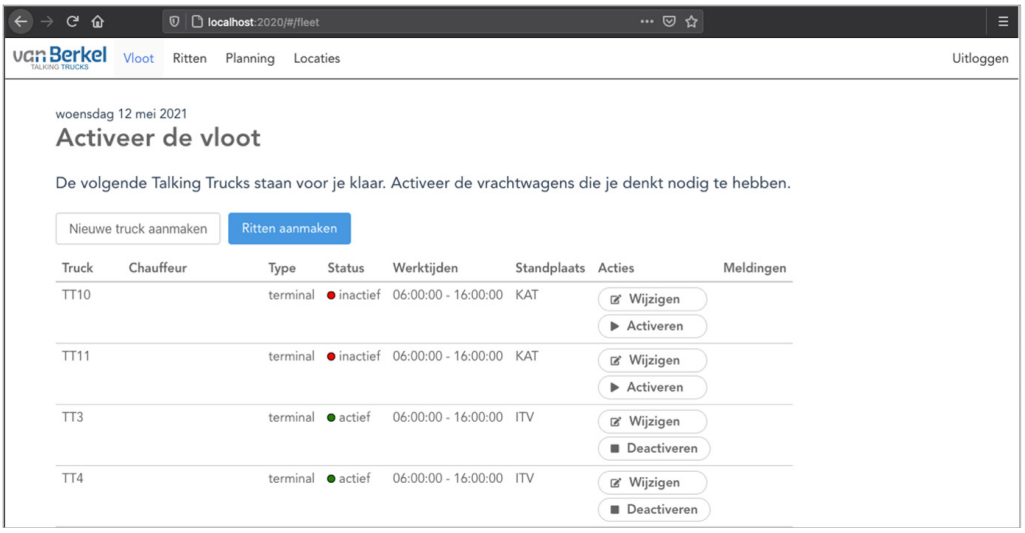
Talking Trucks onder de motor-kap

1.1 Digital twins voor Van Berkel Logistics

Om vrachtwagens zelf te laten nadenken worden er "digital twins" van de fysieke vrachtwagen gebouwd: de Talking Trucks. Een digital twin is een virtuele representatie van een fysiek object.

Een digital twin heeft drie kernfunctionaliteiten:
1. Communiceren;
2. Informatie opslaan;
3. Informatie omzetten in besluitvorming.

Om dit te illustreren volgen hieronder een aantal screenshots die laten zien hoe digital twins in Talking Trucks geactiveerd worden, ritinformatie ontvangen, en die informatie omzetten in een planning.

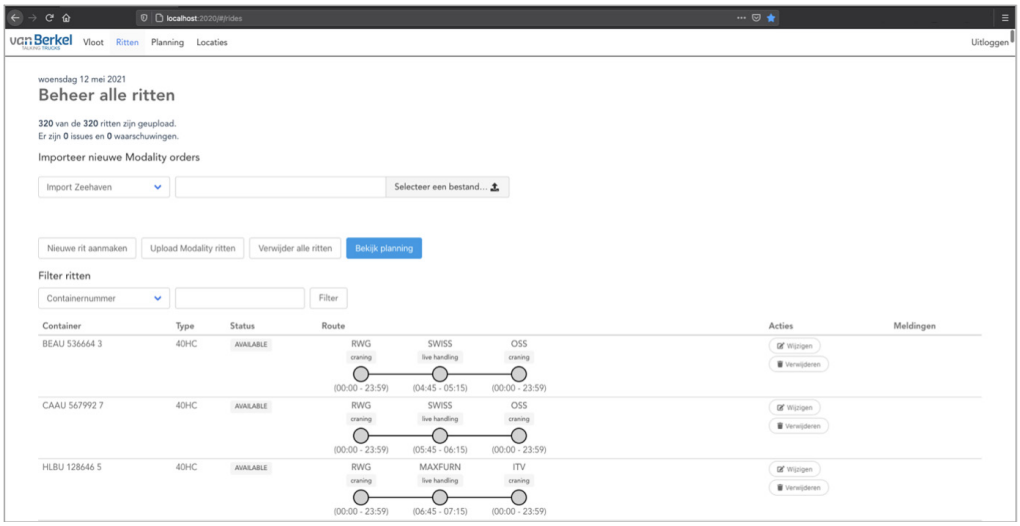


Figuur 3: Activatie van Talking Trucks.

Talking Trucks, de virtuele replica's van fysieke trucks, worden geactiveerd via een dashboard (figuur 3). Bij activatie wordt een aantal karakteristieken meegegeven.

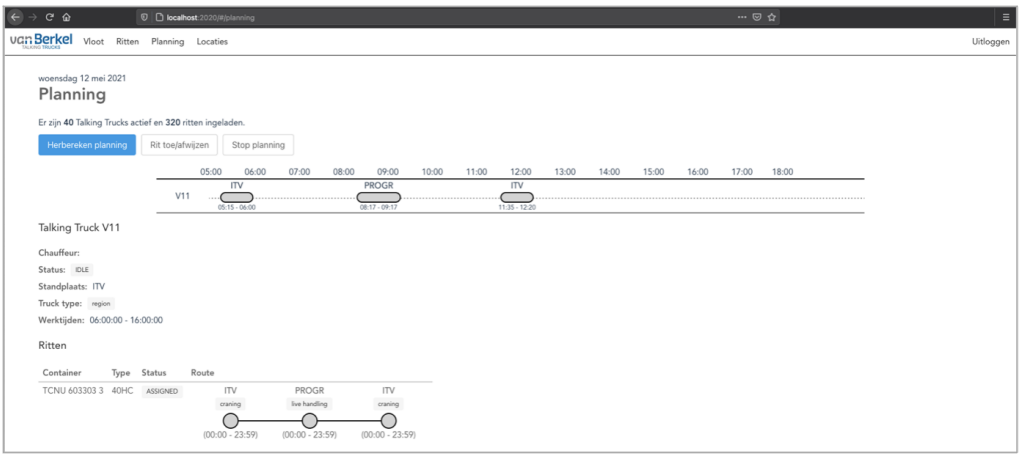
Voor de huidige implementatie zijn dit de belangrijkste drie:
- De werktijden van de chauffeur
- De standplaats: Veghel, Cuijk of Oss
- Het truck type: terminal, regio of zeehaven

De karakteristieken bepalen wat een vrachtwagen wel of niet mag en hoe graag de vrachtwagen bepaalde orders wil uitvoeren.



Figuur 4: Ritinformatie in het dashboard.

Eenmaal geactiveerd kan een Talking Truck ritinformatie ontvangen. Ritinformatie bevat alle gegevens gerelateerd aan de rit die relevant zijn voor de uitvoering (figuur 4). Hieronder vallen locaties, tijdsvensters, containertype en servicetype bij de klant. Het service type bij de klant bepaalt hoe lang de vrachtwagen moet wachten. Bij afkoppelen of kranen is de wachttijd slechts 15 minuten, maar bij "live handling" wordt de container ter plekke geladen of gelost en varieert de afhandeltijd tussen klanten.



Figuur 5: Planning voor Talking Truck V11.

De Talking Trucks gebruiken deze informatie om een aantal voorkeursroutes uit te rekenen en communiceren deze met elkaar om conflicten te voorkomen en op te lossen. Een voorkeursroute is een route die het beste past bij een individuele truck. In een voorkeursroute worden alle ritten op tijd uitgevoerd en wordt een werkdag zo veel als mogelijk gevuld met beladen ritten en afhandeltijd. Het rekenwerk en de onderlinge communicatie resulteert uiteindelijk in een uitvoerbare planning die middels het dashboard wordt getoond aan de planner (figuur 5).

2.1 Planmethodes

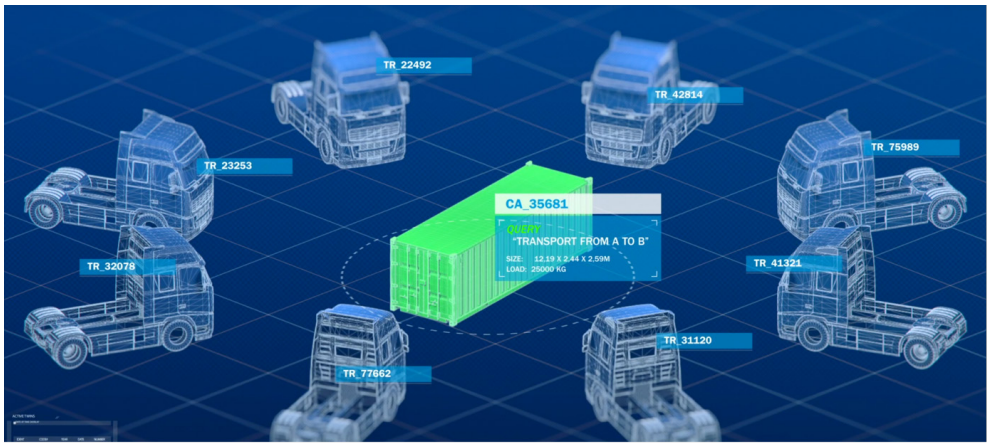
Er zijn meerdere wegen naar Rome wanneer het gaat over het genereren van planningen. De hierboven beschreven IT-architectuur maakt het mogelijk om decentraal te plannen.

Om een gevoel te krijgen bij de effectiviteit van decentraal plannen en om een kwantitatief antwoord te

kunnen geven op de onderzoeksvraag zijn vijf planmethodes vergeleken:

1. Talking Trucks (2.2.1)
2. Menselijke planners (2.2.2)
3. Reinforcement learning (2.2.3)
4. Linear programming solver (2.2.4)
5. Heuristiek earliest deadline + random (2.2.5)

Elk van deze methodes wordt nader toegelicht.



Figuur 6: Decentraal plannen met Talking Trucks.

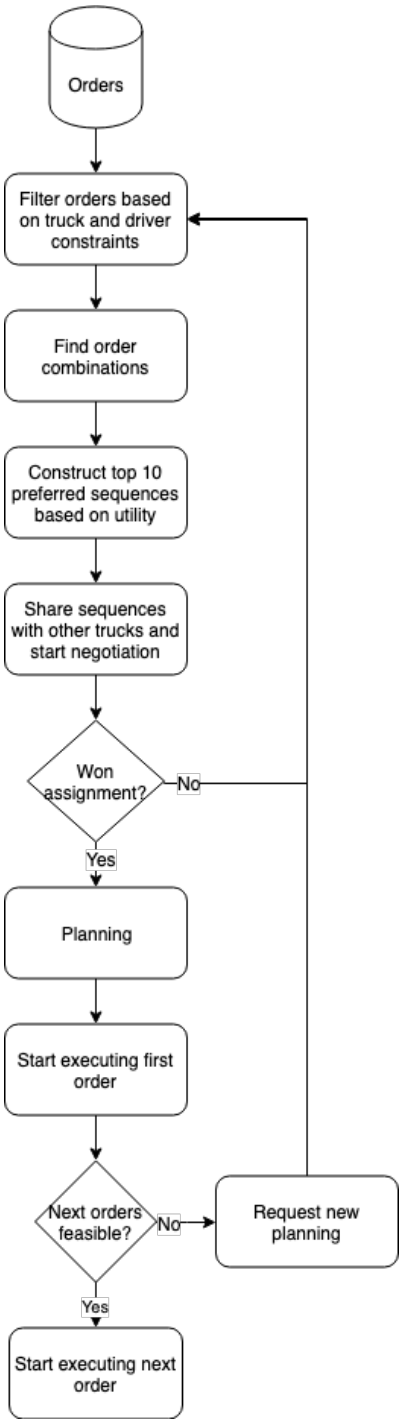
2.2.1 Decentraal plannen met Talking Trucks (TNO-DCOP)

Een Talking Truck volgt het Engelstalige stappenplan weergegeven in figuur 7. Alle binnenkomende orders worden gefilterd op basis van de karakteristieken van de truck. Bijvoorbeeld wanneer een order buiten de werktijden van de chauffeur moet worden uitgevoerd wordt deze order door de Talking Truck genegeerd.

Van alle "geldige" orders maakt de Talking Truck 10 (of meer) mogelijke routes gerangschikt op voorkeur. Die voorkeur wordt berekend door middel van een voorkeursfunctie. Een route krijgt een hogere voorkeur wanneer de vrachtwagen een hogere beladen rij- of afhandeltijd heeft. De details over de voorkeusfunctie zijn in een wetenschappelijk paper te vinden.[2]

De voorkeursroutes worden gedeeld met de andere Talking Trucks. Als er geen conflicten zijn (trucks die dezelfde orders willen uitvoeren) krijgt de Talking Truck de route toegewezen met zijn hoogste voorkeur. Wanneer er wel een conflict is volgt een onderhandeling tussen de betrokken trucks en krijgt de truck die het meest te verliezen heeft zijn voorkeursroute. De andere trucks beginnen dan opnieuw met het berekenen van voorkeursroutes op basis van de overgebleven orders.

Gedurende de executie ontvangt de Talking Truck informatie over de positie en de activiteiten van de fysieke truck, eventuele verstoringen, en eventuele wijzigingen in orders. Wanneer nieuwe informatie beschikbaar komt rekent de Talking Truck door of alle toegewezen ritten nog uitvoerbaar zijn. Als dit niet het geval is wordt er een signaal verstuurd naar de planner en kan er een herplanning worden aange-vraagd.



2 Pingen, G.L.J. et. al. (onder review). Talking Trucks: Decentralized Collaborative Multi-AgentOrder Scheduling for Self-Organizing Logistics. Beschikbaar op aanvraag.

2.2.2 Centraal plannen met menselijke planners (Van Berkel)

Menselijke planning begint een dag van tevoren. De planner verzamelt alle beschikbare orders en maakt een inschatting van het benodigde aantal trucks.

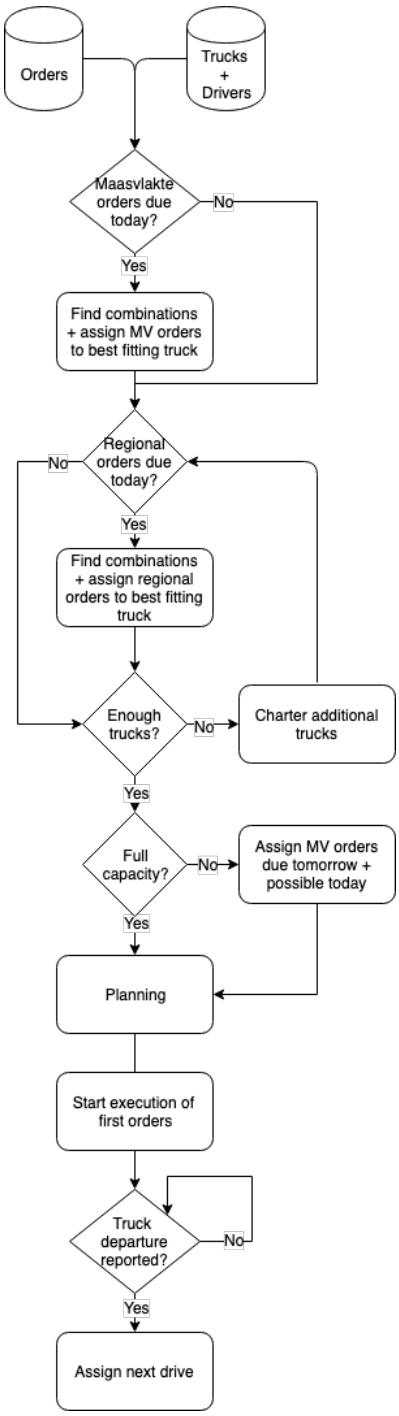
Vervolgens worden orders aan trucks toegewezen op basis van prioriteit. Wanneer er containers vandaag van of naar de Maasvlakte moeten, worden deze eerst ingepland. Meestal is er echter speling omdat de tijdsvensters voor pick-up en drop-off op de Maasvlakte over meerdere dagen spannen. In dat geval worden Maasvlakte orders verschoven naar de middag omdat het regiowerk typisch een piek heeft in de ochtend.

Regioritten worden gesorteerd op de afgesproken tijd met de klant. Vervolgens probeert de planner zoveel mogelijk combinaties te maken waarbij een vrachtwagen beladen heen en terug rijdt. Wanneer er genoeg ritten zijn naar één klant dan wordt daar één vrachtwagen in zijn volledigheid aan toegewezen.

Als de planner ontdekt dat er te veel volume is voor het aantal trucks, worden er extra charter trucks ingeschakeld of wordt er geschoven (indien mogelijk) met zeehaven volume.

Gedurende de dag voeren chauffeurs alle "eerste ritten" uit die de planner heeft toegewezen. Daarna volgt de planner losjes de planning en worden "volgende ritten" toegewezen op het moment dat een vrachtwagen rapporteert op de terugreis te zijn naar de achterland terminal.

Zie figuur 8 voor een visuele weergave van dit proces.



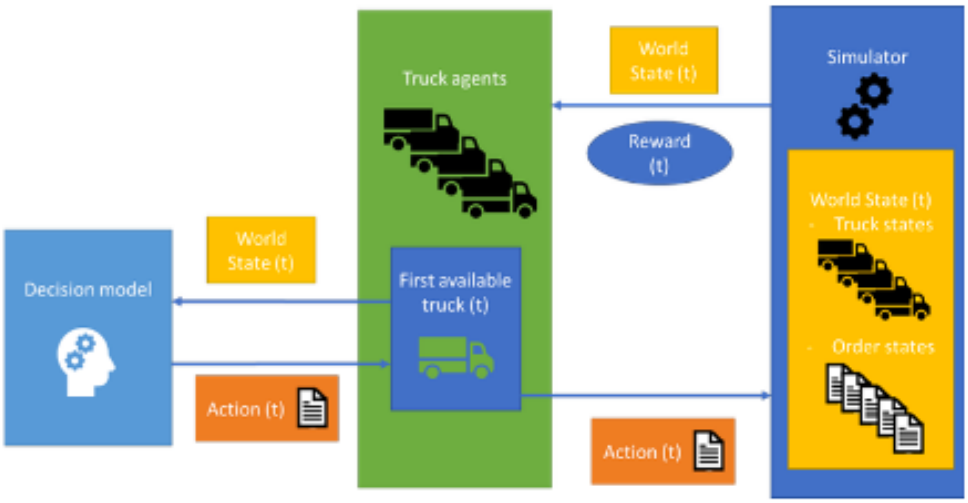
2.2.3 Centraal plannen met reinforcement learning (RL model)

In decentraal plannen gebruiken individuele Talking Trucks beslisregels en een onderhandelingsmechanisme om een planning te genereren. Menselijke planners gebruiken een vast proces en maken in elke processtap een afweging.

Ook reinforcement learning gebruikt een "beslismodel", maar dit model is een neuraal netwerk en dat netwerk wordt getraind in plaats van gevoed door de kennis van domein experts. Het beslismodel ontvangt een zogenaamde "world state". Die world state bevat informatie over trucks, orders, en de truck die aan de beurt is om een order te kiezen. Vervolgens maakt het model een beslissing (action). Die beslissing is de toewijzing van een order aan de truck die aan de beurt is. Een ongetraind model zal een random beslissing maken.

De vrachtwagen die aan de beurt is voert deze order uit in een simulator. Voor de uitvoering krijgt de truck een "reward". Die reward is gerelateerd aan de punctualiteit. Wanneer de order te laat is krijgt de truck een negatieve reward. De reward wordt gebruikt door het beslismodel om te leren. Bij een positieve reward worden het gebruikte pad in het neurale netwerk iets versterkt en bij een negatieve reward wordt dat pad iets verzwakt.

Op deze wijze leert het beslismodel om orders die op tijd worden uitgevoerd te prefereren boven orders die te laat worden uitgevoerd. Het gehele trainingsproces is hieronder schematisch weergeven (figuur 9).



Figuur 9: Plannen met reinforcement learning.

Voor onze experimenten is het reinforcement learning model 24 uur getraind op basis van synthetische (zelf-gegenereerde) voorbeelddata. Een volledige planning wordt gegenereerd doordat trucks iteratief een order mogen kiezen op basis van de volgorde in tijd waarop ze beschikbaar komen voor een nieuwe order. Tijdens het plannen wordt de trainingsstap overgeslagen.

2.2.4 Centraal plannen met linear programming (Linear Programming)

Van Berkel zelf heeft een algoritme ontwikkeld dat iteratief orders toewijst aan vrachtwagens. De eerste vrachtwagen krijgt zoveel mogelijk orders toegewezen, gevolgd door de volgende, tot alle vrachtwagens een lijst aan orders hebben. Gedurende de toewijzing wordt er rekening gehouden met de karakteristieken van de vrachtwagens en de orders.

2.2.5 Centraal plannen met een heuristiek (Earliest Deadline & Random)

Een heuristiek is een vuistregel. Het grote voordeel van een heuristiek is eenvoud. In Talking Trucks zijn twee heuristieken geïmplementeerd die elk iteratief orders toewijzen aan trucks.

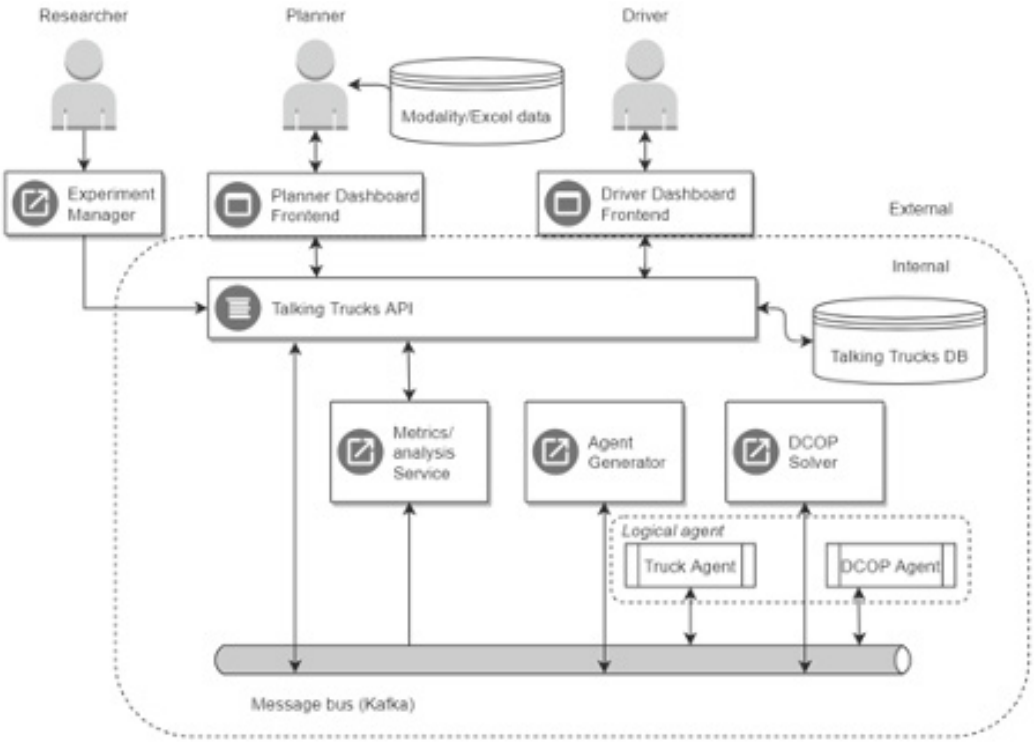
Elke truck krijgt om de beurt een order toegewezen volgens de volgende beslisregels:

1. Volledig random;
2. De order met de eerste deadline (bij de klant).

Voor beiden heuristieken geldt dat alleen orders worden toegewezen die voor de beschikbare vrachtwagen uitvoerbaar zijn. Orders mogen te laat afgeleverd worden, maar niet te vroeg.

2.3 IT Architectuur Talking Trucks Planmethode

Om de praktijkproeven te kunnen uitvoeren is een behoorlijk aantal softwarecomponenten ontwikkeld. De samenhang van die componenten is weergeven in het onderstaande architectuur diagram. Elk van die componenten wordt kort benoemd.



Figuur 10: Talking Trucks Architectuur.

2.3.1 Experiment Manager

Met de experiment manager worden simulaties opgestart. Dit component kan Talking Trucks activeren en nieuwe ritten, wijzigingen en executie milestones namens de chauffeur publiceren. In het project wordt deze software gebruikt om functionaliteit te testen en te demonstreren.

2.3.2 Planner Dashboard

In de praktijkproeven wordt het activeren van de Talking Trucks en doorgeven van ritten en wijzigingen overgelaten aan de planner. Dit kan via het planner dashboard. Ook de uiteindelijke planning wordt in dit dashboard gevisualiseerd. De screenshots eerder in dit document zijn van het planner dashboard.

2.3.3 Driver Dashboard

Om naar chauffeurs te kunnen communiceren welke ritten ze moeten uitvoeren en chauffeurs de mogelijkheid te bieden om vertragingen (of versnellingen) door te geven is een mobiele app nodig. Het praktijkexperiment beperkt zich tot het plannen, maar de basisfunctionaliteit om informatie naar een app te sturen en berichten vanuit een app te ontvangen is ontwikkeld. De experiment manager maakt van deze functionaliteit gebruik om chauffeursgedrag te simuleren.

2.3.4 Talking Trucks API + Talking Trucks Database

Een API is een application programming interface die tussen softwarecomponenten en de database in staat. De API zorgt voor authenticatie, data validatie en het correct opslaan dan wel doorgeven van binnenkomende informatie.

2.3.5 Message Bus (Kafka)

Een message bus fungeert als een groeps-WhatsApp. Opdrachten om Talking Trucks te activeren, nieuwe ritten of wijzigingen vanuit de bovenste drie componenten (Experiment Manager, Planner Dashboard, Driver Dashboard) worden gepubliceerd op de message bus. Gekoppelde componenten, waaronder de Talking Trucks, luisteren mee en gaan aan de slag wanneer de informatie voor hen relevant is.

2.3.6 Agent Generator

De agent generator creëert Talking Trucks. Wanneer de planner een Talking Truck activeert, start de agent generator een Talking Truck die vervolgens gaat meeluisteren op de message bus. In het schema heet een Talking Truck een Truck Agent. Die agent is verantwoordelijk voor het luisteren naar binnenkomende ritten en het berekenen van voorkeursplanningen. Die voorkeursplanningen worden gepubliceerd op de message bus en opgepakt door de DCOP agent.

2.3.7 DCOP Solver

DCOP staat voor Decentralised Constraint Optimisation Problem. Dit is het stuk software dat zorgt voor de onderhandeling tussen Talking Trucks wanneer twee of meer trucks dezelfde rit willen uitvoeren. Elke Talking Truck heeft een eigen DCOP agent die hier verantwoordelijk voor is. Wanneer de planner een Talking Truck activeert wordt er automatisch een DCOP agent gestart. Die DCOP agent luistert naar de voorkeursplanningen van zijn gekoppelde Truck agent en begint wanneer nodig een onderhandeling.

Het resultaat van die onderhandeling wordt gepubliceerd op de message bus (zodat de Truck agent weet welke ritten zijn toegewezen) en opgeslagen in de database (zodat de planner die informatie via de API kan opvragen).

Conceptueel zijn een Truck Agent en een DCOP Agent samen een Talking Truck.

2.3.8 Metrics/analysis service

Uiteindelijk is het van belang om te kunnen meten hoe goed een planning is. De kwaliteit van een planning wordt onder andere bepaald op basis van punctualiteit (zijn orders op tijd ingepland) en benutting van capaciteit (hoeveel uren staat een trucks niks te doen). De metrics service is verantwoordelijk voor het berekenen van KPIs over het planningsresultaat.

-03-
Praktijkproef

De vijf verschillende planmethodes zijn beproefd in drie praktijkexperimenten op 24 september, 1 oktober en 8 oktober 2021. In dit hoofdstuk is de praktijkproef verder toegelicht en worden de resultaten in cijfers, de kwalitatieve verschillen tussen de planmethodes, de impact op planners, en de mogelijke impact op logistieke organisaties verder uitgewerkt.

3.1 Scope

Alhoewel de verschillende planmethodes de mogelijkheid bieden om de volledige planning voor Van Berkel te berekenen is in de praktijkproef de scope teruggebracht tot alle regiovrachtwagens en regio-ritten vanaf de achterlandterminal in Oss.

Ter vergelijking: een volledige planning bevat ook de ritten naar de zeehaven en zogenaamde terminalritten op het industrieterrein, en alle ritten vanaf en tussen de achterlandterminals in Veghel en Cuijk.

1. Er zijn twee redenen voor deze scope beperking:
   Kalibratie van algoritmes: De Talking Truck algoritmes waren tot het moment van de praktijkproef alleen getest in simulatie.
   De voorkeursfuncties van de trucks en de input data (met name de geschatte afhandeltijden, rijtijden en service-types bij de klant) dienden gevalideerd te worden. In de experimenten is dit iteratief gedaan in samenwerking met de planners. Door de scope te beperken tot Oss werd het mogelijk om per order de input data te controleren en na elke proef de voorkeursfuncties van de Talking Trucks bij te stellen. Als voorbeeld: Qua input data is gebruik gemaakt van een tijdsvenster van 15 minuten voor en 15 minuten na de afgesproken tijd bij de klant. Uit overleg met de planners bleek dat dit tijdsvenster voor sommige klanten veel groter is, bijvoorbeeld van 07:00 tot 17:00. Na het aanpassen van de input data zijn ook de voorkeursfuncties aangepast om orders met een eerdere deadline voorrang te geven boven orders die ook kunnen (vanwege een ruim tijdsvenster).
   Dit zorgt voor een betere eindoplossing omdat orders met een ruim tijdsvenster verschuiven naar later op de dag en zo ruimte maken voor het piekvolume in de ochtend.
2. Planner observatie: Menselijke planners genereren een planning met veel shortcuts. Bijvoorbeeld: soms krijgt een vrachtwagen alleen een klantnaam als opdracht met de term PENDELEN. Voor de drie experimentdagen is achteraf met de planners gecontroleerd welke specifieke orders er in dit soort gevallen gekoppeld dienden te worden aan de truck. Dit is nodig om een goede evaluatie te kunnen maken. Door de scope te beperken tot regioritten vanuit Oss bleef het aantal checks behapbaar.

De ordergrootte van het planprobleem met een beperkte scope is rond de 9 vrachtwagens en 40 orders. Tabel 1 geeft de verschillen tussen de drie experimentdagen weer.

Een aantal belangrijke verschillen:
- Op 24 september hadden alle trucks dezelfde werktijden (100% homogeniteit);
- Op 8 oktober werden 73% van de orders afgekoppeld, op 1 oktober was dit maar 40%;
- Op 24 september hadden alle orders een strikt tijdsvenster (30 minuten), op 8 oktober waren er slechts 12 orders (ofwel 29%) met een strikt tijdsvenster, alle andere orders hadden een ruim tijdsvenster.

Tabel 1: Verschillen tussen de drie experimentdagen.

Datum	Trucks	Homogeniteit werktijden	Orders	Afkoppelen	Live-handling	Strikt/ruim tijdsvenster
24/9	8	100%	38	22 (58%)	16 (42%)	38/0
1/10	9	89%	37	15 (40%)	22 (60%)	30/9
8/10	9	56%	41	30 (73%)	11 (27%)	12/29

Twee andere verschillen:
- 24 september en 8 oktober kennen een hoog aantal orders naar dezelfde klant, 1 oktober juist niet;
- 1 oktober heeft als enige dag een aantal orders die starten in Oss en eindigen op de achterlandterminal in Veghel;

De verschillen tussen de planproblemen geven een beeld van de dynamiek in het logistieke proces bij Van Berkel. Een goede planmethode moet met deze dynamiek kunnen omgaan.

3.2 Methodiek

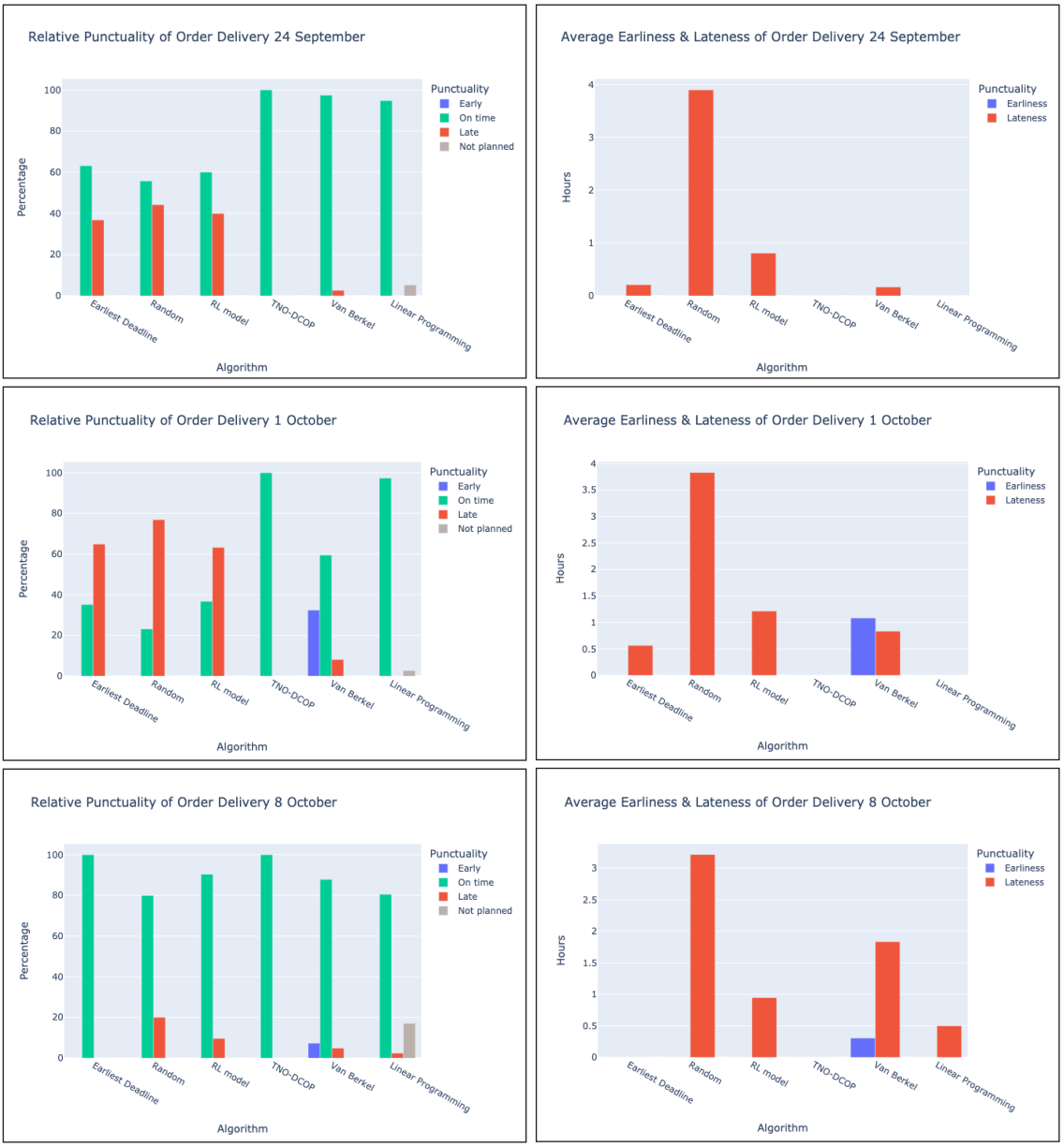
Voor elke individuele praktijkproef zijn zeven stappen doorlopen:
1. Verzamelen van de gemaakte dagplanning door de planners.
2. Het verrijken van de dagplanning waar nodig, zie "planner observatie" hierboven.
3. Het genereren van de Talking Trucks dagplanning op basis van de verrijkte data
4. Het bespreken van de Talking Trucks dagplanning met een planner en de operationeel manager. Uit deze feedback gesprekken bleek dat de input data vaak relatief is. Een tijdsvenster kan voor een bepaalde klant op een bepaalde dag veel groter zijn dan de input data aangeeft. Sommige chauffeurs zijn bereid een uurtje over te werken, anderen juist niet. Deze flexibiliteit maakt een planning vaak sluitend.
5. Het aanpassen van input data en voorkeursfuncties naar aanleiding van de feedback. Dit zorgt ervoor dat de automatische planningsmethodes met dezelfde input data plannen als de planners. Zie "kalibratie van algoritmes" hierboven.
6. Opnieuw genereren van Talking Trucks dagplanning en andere planningen op basis van de aangepaste input data.
7. Het genereren van statistieken over de punctualiteit en capaciteitsbenutting voor elke planmethode.

Alle volgende cijfers met betrekking tot praktijkproef gaan over het genereren van een basisplanning en dus niet over het omgaan met veranderingen gedurende de dag. Hoofstuk 4 geeft kort inzicht in hoe de Talking Trucks (TNO-DCOP) planmethode kan worden ingezet voor herplanning als reactie op een verandering die plaatsvindt tijdens de uitvoering van het transport.

3.3 Praktijkproef in cijfers

3.3.1 Punctualiteit

De onderstaande zes grafieken geven de resultaten weer van de verschillende planmethodes op het gebied van punctualiteit. Een interne doelstelling van Van Berkel is om zoveel mogelijk orders op tijd in te plannen.



Figuur 11: Punctualiteit van de basisplanning per planmethode.

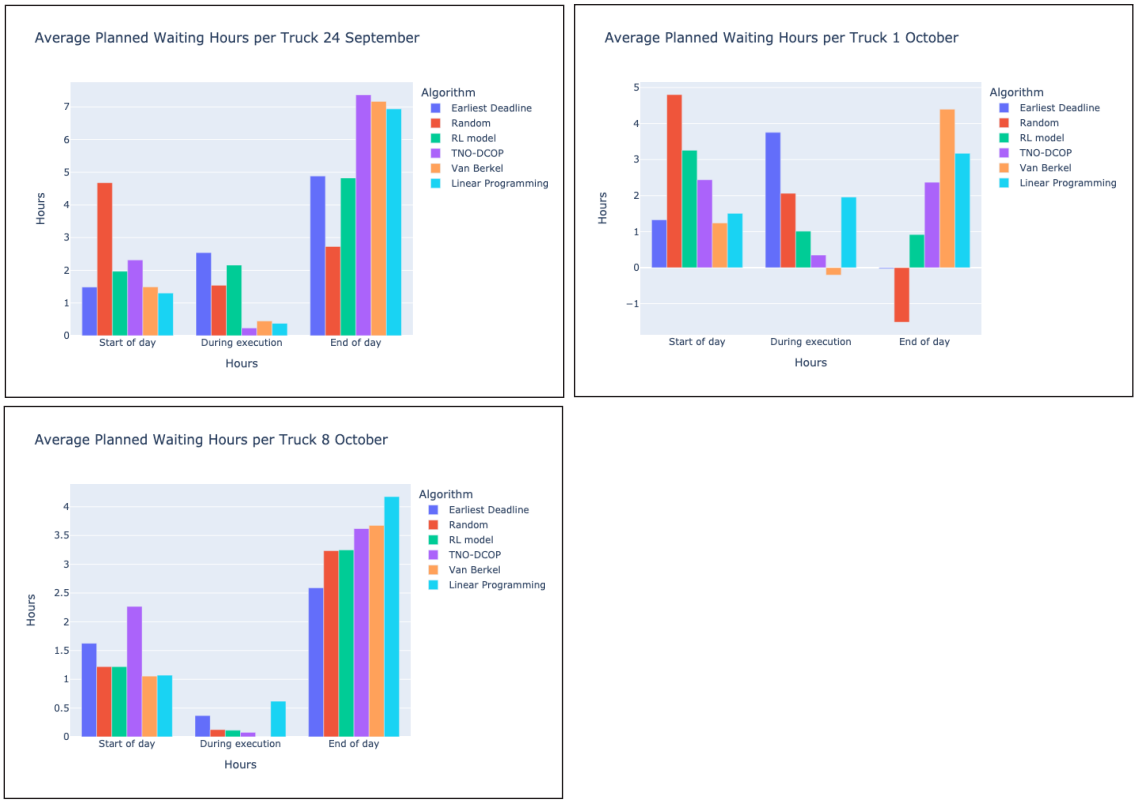
Een aantal conclusies:

- Random toewijzing produceert, zoals verwacht, een planning met een lage punctualiteit.
- De earliest deadline heuristiek presteert vrij goed. De verwachting is wel dat deze prestatie afneemt wanneer orders minder homogeen zijn en er grotere verschillen in rijtijd zijn (bijvoorbeeld wanneer zeehaven en terminalritten worden toegevoegd).
- Menselijke planners weten 95% van de orders op tijd in te plannen, maar wanneer orders te laat gepland worden kan dat in tijdsduur flink toenemen, op 8 oktober zijn ritten die te laat uitgevoerd worden gemiddeld een uur en drie kwartier te laat.

- Linear programming presteert goed, maar weet niet alle orders weg te plannen. Dit komt met name omdat het linear programming model niet kan omgaan met tijdsvensters. Er is dus minder ruimte om te schuiven, en een aantal orders worden niet ingepland met de kanttekening "niet mogelijk om op tijd in te plannen".
- TNO-DCOP, de Talking Trucks methode, weet alle orders op tijd weg te plannen.

3.3.2 Capaciteitsbenutting

Vrijwel net zo belangrijk als punctualiteit is dat vrachtwagens effectief worden ingezet. Dit wordt gemeten aan de hand van het aantal wachturen gedurende de dag. Wachturen aan het begin van de dag of aan het eind van de dag kunnen worden ingezet voor ad hoc klusjes, maar wachturen gedurende de dag geven een indicatie over hoe goed de actieve werktijd van de vrachtwagen wordt benut.



Figuur 12: Capaciteitsbenutting van de basisplanning per planmethode.

We zien hier dat met name de Talking Trucks (TNO-DCOP) en de planners van Van Berkel goed presteren. Deze planmethodes plannen de minste wachturen gedurende de dag.

De negatieve wachturen bij Van Berkel op 1 oktober ontstaan wanneer orders eerder gepland worden dan de truck beschikbaar is. Bij de random heuristiek ligt de oorzaak in toegewezen orders buiten de werktijd van chauffeurs.

3.3.3 Talking Trucks vs. Planners

De cijfers in de tabel 2 representeren de gemiddeldes over de drie experimentdagen waarbij alleen de planners van Van Berkel en de Talking Trucks met elkaar vergeleken worden. De verschillen zijn klein, maar Talking Trucks presteert in cijfers net iets beter. Dit komt met name omdat met de Talking Trucks methode op 1 oktober alle orders ingepland kunnen worden met 1 truck minder. Het aantal truck uren ligt net iets hoger door een verschil in de voor Talking Trucks vaste aannames over rij- en afhandeltijden.

Tabel 2: Talking Trucks planmethode ten opzichte van de huidige werkwijze.

KPI	Van Berkel (huidige werkwijze)		Talking Trucks TNO-DCOP)	
Aantal trucks	8,7	100%	8,3	96%
Uren trucks	66,6	100%	69,5	102%
Wachturen trucks*	2,7	100%	1,8	68%
Orders te laat	1,9	5%	0	0%
Gem. minuten te laat	57		0	

3.4 Verschillen tussen planmethodes

Tussen de planmethodes zitten een aantal belangrijke verschillen. Voor elk van de vijf planmethodes worden de prestaties op vijf factoren kwalitatief toegelicht: rekentijd, schaalbaarheid, uitlegbaarheid, complexiteit (het aantal variabelen waar rekening mee gehouden kan worden) en toepasbaarheid.

Tabel 3: Verschillen tussen planmethodes.

Planmethode	Rekentijd	Schaalbaarheid	Uitlegbaarheid	Complexiteit	Toepasbaarheid
Planners	1 uur	Laag	Hoog	Hoog	Matig/Hoog
Heuristiek	Milliseconden	Zeer hoog	Zeer hoog	Laag	Matig
Linear programming	Milliseconden	Hoog	Hoog	Matig/Hoog	Hoog
Reinforcement Learning	Milliseconden	Matig	Laag	Hoog	Matig
Talking Trucks	Seconden	Hoog	Matig	Zeer hoog	Hoog

Menselijke planners

Er zit een correlatie tussen rekentijd en schaalbaarheid. Menselijke planners hebben de meeste tijd nodig om een planning te genereren. Daardoor is de schaalbaarheid laag. Een ander nadeel van een hoge rekentijd is dat het niet mogelijk is om alle mogelijkheden door te rekenen wanneer er gedurende de dag veranderingen optreden. Daarom wordt er teruggevallen op een proces dat lijkt op de "earliest deadline" heuristiek. Een ander nadeel van menselijke planners is dat ze goed ingewerkt moeten worden voordat ze effectief hun werk kunnen doen, de toepasbaarheid is daarom lager. Het voordeel van menselijke planners is dat ze hun keuzes goed kunnen uitleggen en dat ze rekening kunnen houden met hoge complexiteit (zoals variabele klantwensen).

Heuristieken

Heuristieken, vuistregels, zijn snel en daardoor zeer schaalbaar. De reden dat ze snel zijn is echter dat keuzes gemaakt worden met een simpele beslisregel. Daardoor zijn de keuzes goed uitlegbaar, maar bevatten ze weinig complexiteit. Het toepassen van een planmethode op basis van een heuristiek is mogelijk, maar de oplossing heeft altijd een correctie nodig van een andere planmethode om de uitkomst niet efficiënt of zelfs onuitvoerbaar is.

Linear programming

Linear programming is snel, schaalbaar, en heeft een hoge uitlegbaarheid. Die uitlegbaarheid dankt de planmethode aan het feit dat er iteratief met "constraints" gepland wordt. De eerste truck die beschik-

baar is krijgt dus zijn beste ritten toegewezen gegeven zijn specifieke eigenschappen. In die constraints kan veel complexiteit worden meegenomen, maar er zijn beperkingen. Zo kiezen vrachtwagens iteratief, en houden ze dus geen rekening met elkaar. Dit leidt tot een suboptimale verdeling van ritten. Daarnaast houdt linear programming geen rekening met tijdsvensters, orders worden ingepland op basis van de afgesproken tijd bij de klant. De reden hiervoor is dat tijdsvensters het aantal mogelijkheden enorm vergroot, en in een linear programming algoritme zorgt dat voor een exponentiele toename in rekentijd (en dus afname in schaalbaarheid). De toepasbaarheid van de oplossing is hoog, maar de gegenereerde oplossing is niet optimaal.

Reinforcement learning

Reinforcement learning is snel, maar heeft juist een matige schaalbaarheid. De reden daarvoor is dat het beslismodel zeer snel beslissingen kan maken, maar vooraf een lange trainingstijd nodig heeft. Uit simulaties in Talking Trucks bleek dat grotere planproblemen, zoals de volledige planning van Van Berkel, te complex zijn voor deze planmethode om te leren. Dat wil zeggen dat er ondanks lange training geen goed beslismodel gegeneerd kon worden. Reinforcement learning staat echter nog in de kinderschoenen en er zijn meerdere mogelijkheden voor implementatie. Het is mogelijk dat andere implementatie deze nadelen kan mitigeren. Het voordeel van reinforcement learning is dat het in potentie juist zeer geschikt is voor complexe beslismodellen. Wanneer de planmethode voorzien wordt van goede input data en een goede methode om beloningen (rewards) toe te kennen kan de methode met een neuraal netwerk zelf een zeer complex beslismodel trainen. Het nadeel daarvan is dat de uitlegbaarheid laag is. Ook de toepasbaarheid is om bovenstaande redenen vooralsnog matig.

Talking Trucks

Tot slot, zorgt de decentrale aanpak van Talking Trucks voor zowel een hoge schaalbaarheid en de mogelijkheid om met hoge complexiteit te kunnen plannen. De keerzijde van een decentrale aanpak is echter de matige uitlegbaarheid. De resulterende planning is immers het resultaat van zowel de individuele berekeningen van vrachtwagens en de daaropvolgende afstemming binnen de vloot. Soms lijken keuzes voor een planner op het eerste onlogisch en de uitdaging is dan ook uit te leggen waarom die keuze gemaakt is en wat het nadeel is van een eventuele alternatieve keuze. Decentraal plannen heeft in potentie wel een hoge toepasbaarheid omdat de resulterende planning rekening houdt met veel variabelen, een hoge punctualiteit en capaciteitsbenutting heeft, en omdat oplossingen voor de eventuele veranderingen gedurende de dag binnen seconden gegenereerd kunnen worden.

3.5 Impact op planners

Het is de verwachting dat digitalisering, automatisering en het werken met planalgoritmes invloed hebben op de werkomgeving, het takenpakket en de benodigde vaardigheden van planners. Ter voorbereiding op een praktijkproef (waarin planners werken met het *Talking Trucks* algoritme) is een nulmeting uitgevoerd om de huidige situatie van de planner in kaart te brengen. Hierin is de *skills-based* aanpak gevolgd zoals ontwikkeld in het TNO SEED-ERP project Human Capital (zie Van Kempen et al. 2020).

3.5.1 Werkomgeving

De werkdagen van planners variëren van 06.00-17.30 of van 07.00-17.00/19.30.
Er zijn twee hoofdtaken: Het opstellen van de planning voor morgen, en het toewijzen van ritten gedurende de dag.

Het opstellen van de planning voor de volgende dag heeft als doel om alle eerste ritten vast te zetten en te controleren dat er voldoende chauffeurs en trucks beschikbaar zijn om alle ritten uit te voeren. Gedurende de dag verandert na de eerste rit nog 80% van de planning, naar schatting van de planners.

De meest voorkomende verandering komt door vertraging bij het laden of lossen op de zee terminal of bij de klant. Deze informatie wordt door de chauffeur aan de planner doorgegeven.

Gedurende de dag komt er veel informatie op de planner af, via:
- WhatsApp, mobiele en vaste telefoon wordt er gecommuniceerd met chauffeurs, planners op andere locaties (en soms klanten en zeehaventerminals). Daarnaast volgen de planners elkaars telefoongesprekken omdat wijzigingen ieders werk beïnvloeden.
- Radiocontact met chauffeurs en kraanmachinisten op het terrein. Camerabeelden geven weer waar chauffeurs zich bevinden.
- Vragen van chauffeurs aan de chauffeursbalie.
- Computerschermen met informatie over terugkerende trucks, de status van containers, en de dagplanning.

De piekdrukte varieert gedurende de dag. De grootste drukte is in de ochtend tussen 6.00-7.00 uur wanneer alle chauffeurs vertrekken en om 15.00-17.00 uur als de chauffeurs terugkomen en de containers voor volgende dag worden klaargezet.

3.5.2 Takenpakket

Zowel het management (n=1) als de planners van Van Berkel (n=3) zijn gevraagd welke taken binnen en buiten het werkpakket van de truck planners vallen.
De taken zijn gebaseerd op het beroepscompetentieprofiel van de planner zoals opgesteld door het Sectorinstituut Transport en Logistiek (STL, 2018).

De taken zijn gevisualiseerd in Tabel 4. De kleurcodering geeft aan in hoeverre de respondenten hier hetzelfde naar kijken.

De hoofdtaken van de planners zijn:
- Het uitvoeren van de planning, monitoren en tijdens de uitvoering contact houden met betrokkenen;
- Afwijkingen bij uitvoering van de planning signaleren en oplossen;
- Opstellen van een zo optimaal mogelijke (efficiënte en effectieve) planning, rekening houdend met alle partijen.

Over de jaren heen is het werk van de planner steeds specialistischer geworden. Zo is het binnenhalen en vastleggen van transportopdrachten bij Van Berkel ondergebracht bij een andere afdeling en valt dit dus buiten het takenpakket.

Het beschouwen van het operationele proces en het aandragen van mogelijke verbeteringen is momenteel geen onderdeel van het takenpakket, maar de wens vanuit het management is om dit in de toekomst wel te doen.

Tabel 4: Huidige taken truck planners Van Berkel Logistics.

Binnen het takenpakket	Buiten het takenpakket
Uitvoering van de planning monitoren en tijdens uitvoering contact houden met alle betrokken partijen (o.a. klant, chauffeur).	Beschouwen van operationele proces en bedrijfseconomische resultaten, door middel van o.a. informatie van chauffeurs, systemen en planningssoftware.
Afwijkingen bij uitvoering van de planning signaleren en oplossen.	Binnenhalen (acquireren) van transportopdrachten.
Opstellen van een zo optimaal mogelijke (efficiënte en effectieve) planning, rekening houdend met alle partijen.	Inzicht in samenstelling van kostprijs om financiële consequenties van beslissingen te overzien.
Werken met planningssoftware en checken of de planning aan alle randvoorwaarden voldoet.	Gegevens over nieuwe transportopdrachten vastleggen in systeem of dossier.
Verzamelen van benodigde documenten voor verschillende transportopdrachten en deze controleren op geldigheid.	Afstemmen van belangen tussen opdrachtgever, directie van organisatie en chauffeurs.
Signaleren van problemen/knelpunten in bedrijfsprestaties en nadenken over oplossingen hiervan.	Ontvangen van nieuwe transportaanvragen en beoordelen of deze kan worden uitgevoerd binnen wettelijke, technische en bedrijfseconomische randvoorwaarden van de onderneming.
Rekenen met gewichten en afmetingen voor de beladingsgraad van de vrachtauto.	

Tabel 5: Kleurcodering tabel 4.

Kleurcodering
100% overeenstemming binnen het takenpakket
75% overeenstemming binnen het takenpakket
50%-50% binnen/buiten het takenpakket
75% overeenstemming buiten het takenpakket
100% overeenstemming buiten het takenpakket

3.5.3 Vaardigheden en werkstijlen

Op basis van het competentieprofiel is met behulp van De Paskamer en O*NET (databases met op vaardigheden gebaseerde functieprofielen) een selectie gemaakt van relevante vaardigheden en werkzaamheden voor transportplanners.

Deze selectie is voorgelegd aan het management (n=1) en de planners van Van Berkel Logistics (n=3). Tabel 6 geeft de top-10 vaardigheden en werkstijlen weer (1-meest belangrijk-10 minst belangrijk). Deze lijst is samengesteld op basis van de input van de individuele planners en teamleider. Het betreft dus een geaggregeerd gemiddelde; individuele rankings kunnen hiervan afwijken. Daarom dient de huidige ranking zorgvuldig geïnterpreteerd te worden. De top-3 vaardigheden en skills zijn door de meeste respondenten als belangrijk aangegeven (plek 1-5).

Actief luisteren en de aandacht erbij houden zijn vaardigheden waarvan alle planners zeggen ze zeer belangrijk te vinden. Daarnaast is het beoordelen van een situatie, en het maken van keuzes essentieel om goed te kunnen plannen en de transportactiviteit juist te coördineren.

Werkstijlen hebben invloed op hoe goed iemand zijn taak uitvoert. De planners bij Van Berkel hebben 50 tot 60 chauffeurs onder hun hoede. Een verantwoordelijke werkstijl is daarom cruciaal. Rustig kunnen blijven bij onverwachte situaties en eerlijk zijn in de communicatie is eveneens belangrijk. Planners dienen niet alleen verantwoordelijkheid te nemen in lastige situaties, maar ze hebben vooral ook een ondersteunende en coachende rol ten opzichte van chauffeurs, goede sociale vaardigheden zijn dus essentieel.

Tabel 6: Huidige vaardigheden en werkstijlen truck planners Van Berkel Logistics.

	Algemene vaardigheden	Vaardigheden	Werkstijlen
1	Actief luisteren	Aandacht erbij houden	Verantwoordelijk
2	Oordelen en keuzes maken	Algemene regels in de praktijk toepassen	Controle over jezelf
3	Coördineren	Luisteren	Eerlijk
4	Klantvriendelijk	Bedenken van verschillende mogelijkheden	Samenwerken
5	Kritisch nadenken	Manier van denken aanpassen	Tegen stress kunnen
6	Bemiddelen	Herkennen en ordenen	Zelfstandig
7	Storingen oplossen	Dichtbij zien	Leiderschap
8	Spreekvaardigheid	Informatie sorteren	Kunnen aanpassen
9	Sociale gevoeligheid	Problemen herkennen	Nauwkeurig
10	Overtuigen	Spreken	Creatief

3.5.4 Verwachtingen ten opzichte van nieuwe technologie en Talking Trucks

Vanuit het management ziet men dat technologie de planner kan ondersteunen in de routinematige werkzaamheden. Het idee is dat hetzelfde aantal planners met behulp van technologie meer werk kan verrichten. Gezien de groeiende transportvolumes ligt er nu te veel druk bij planners.

De verwachting is dat technologie als Talking Trucks de zakelijke en praktische kant van het werk kan overnemen. Voor de sociale interactie met chauffeurs is de planner echter onmisbaar.

Planners denken over het algemeen dat verdere automatisering van hun werk onvermijdelijk is. De houding varieert van "laat maar komen", tot "automatisering maakt mijn werk makkelijker".

In het kader van het Living Lab CATALYST[3] werd ook gesproken met planners van Cornelissen, DPD en Transportbedrijf R. Nagel. Planners verwachtten dat:

- Er meer automatisering zal komen, maar ook dat er mensen nodig zullen blijven om toezicht te houden en uitzonderingen te behandelen. De rol van planner zal veranderen in die van system operator.
- Technologie vooral een ondersteunend instrument is voor het maken van een betere planning, het zal niet de hele rol van de huidige planner vervangen.

3 catalystlab.nl

3.6 Verandering voor logistieke dienstverleners

Ook voor logistieke dienstverleners betekent de toepassing van nieuwe technologie zoals Talking Trucks verandering.

Hieronder zeven mogelijke veranderingen beschreven:
1. Rolwijziging planners;
2. Chauffeurstevredenheid en -inzet;
3. Servicelevels;
4. Ketensamenwerking;
5. Business model;
6. Verandering operationele processen;
7. Verduurzaming.

Rolwijziging planners – Talking Trucks betekent een verandering voor de werkwijze van planners. Hun taak verandert van directe aansturing naar monitoring, bijsturing en het afhandelen van verstoringen en uitzonderingen. Voor een logistiek dienstverlener betekent dit vooral dat de afhankelijkheid van planners vermindert. Het wordt makkelijker om een nieuwe planner te trainen omdat een groot deel van de complexiteit en het maken van beslissingen wordt overgenomen door de
Talking Trucks.

Chauffeurstevredenheid -en inzet – Voor chauffeurs verandert er ogenschijnlijk weinig. In plaats van dat verstoringen worden doorgegeven aan de planner, geeft een chauffeur deze nu digitaal door aan de digital twin van zijn vrachtwagen. Chauffeurs zijn echter geen stukgoed, en een Talking Truck maakt het mogelijk om rekening te houden met de voorkeuren van chauffeurs en ze in te zetten op vaardigheden die ze willen leren (bijv. het uitvoeren van zeehavenritten) of juist vaardigheden waar ze zeer effectief in zijn (bijv. het uitvoeren van ritten naar een vaste klant).

Servicelevels – Nu wordt er veelal vooraf een vast tijdstip voor transport afgesproken met de klant. Talking Trucks maakt het mogelijk om variabele tijdsvensters af te spreken. Daarnaast kan een klant ook digitaal informeren of een ad hoc transport mogelijk is, opvragen wanneer een bepaald transport is ingepland, of een last-minute wijziging doorgeven. Het serviceniveau naar de klant kan dus omhoog door verbeterde informatievoorziening en een uitbreiding van het serviceaanbod.

Ketensamenwerking – In de logistiek wordt er veel samengewerkt met ketenpartners, zoals de douane, zeehaventerminals en charter operators. Technologie als Talking Trucks maakt het mogelijk om deze afstemming te digitaliseren. Daarbovenop is het mogelijk voor een Talking Truck van Van Berkel om informatie uit te wisselen met een Talking Truck van een concurrent. Zo kan een lege rit naar bijvoorbeeld de Maasvlakte voorkomen worden.

Business model – Ketensamenwerking, een groter serviceaanbod aan de klant en minder afhankelijkheid van planners bieden mogelijkheden voor alternatieve business modellen. Daarnaast zijn mogelijkheden om zowel kosten te besparen als additionele waarde te creëren.

Verandering operationele processen – Bij elkaar betekenen de bovenstaande veranderingen een behoorlijke verandering van operationele processen. De interacties tussen planners, chauffeurs, klanten, customer support, en ketenpartners zullen veranderen doordat een deel van taken via Talking Trucks gedigitaliseerd worden. De nieuwe processen dienen goed in kaart gebracht en gemonitord te worden om te waarborgen dat de gewenste effecten behaald worden.

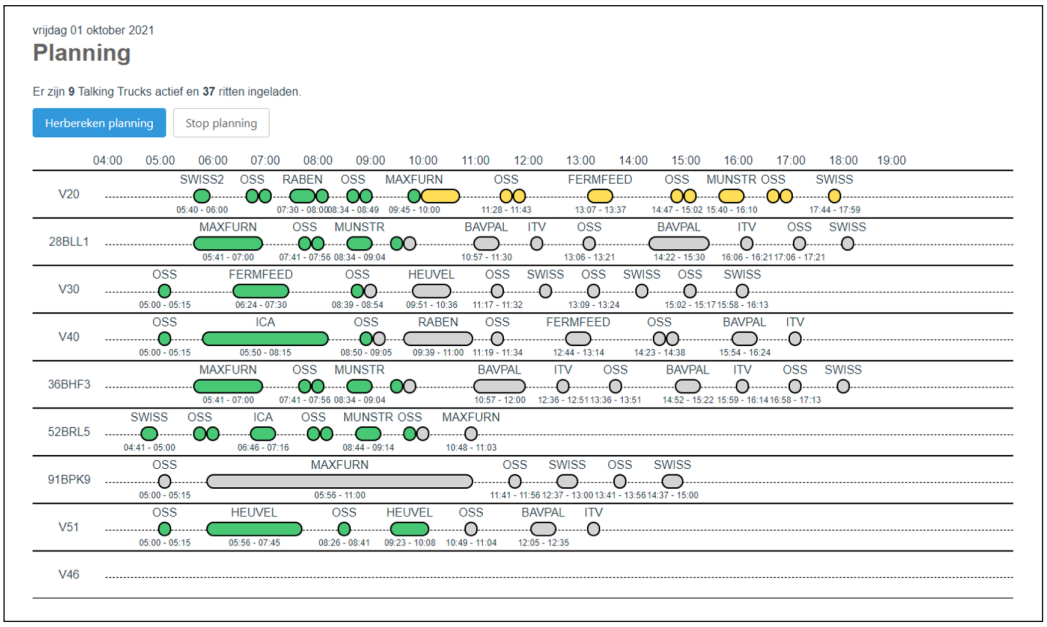
Verduurzaming – Tot slot biedt digitalisering ook potentie voor verduurzaming. Talking Trucks geven een veel gedetailleerder inzicht in de prestatie van de vloot dan op dit moment het geval is. Daarbovenop biedt het mogelijkheden om de voorkeuren van individuele trucks bij te stellen om systeem KPIs, zoals duurzaamheid, positief te beïnvloeden.

-04-

Talking Trucks in executie

Een van de grote voordelen van automatisch plannen is het snel kunnen doorrekenen van de mogelijke opties bij veranderingen. Binnen Talking Trucks is dit voordeel niet kwantitatief onderzocht in de praktijkproef, maar de benodigde software is (deels) ontwikkeld, wat het mogelijk maakt om verandering en herplanning te simuleren. Dit hoofdstuk geeft een klein inkijkje in deze mogelijkheid.

Figuur 13 geeft weer wat er gebeurt wanneer een truck, V20 in dit geval, vertraging oploopt. De gemeten (via GPS) of vermeldde (via de chauffeur) vertraging wordt ontvangen door Talking Truck V20. Deze truck rekent uit dat alle opvolgende, geelkleurde ritten te laat op hun bestemming zullen aankomen. De groengekleurde ritten zijn op tijd uitgevoerd, de grijze ritten staan op tijd gepland.

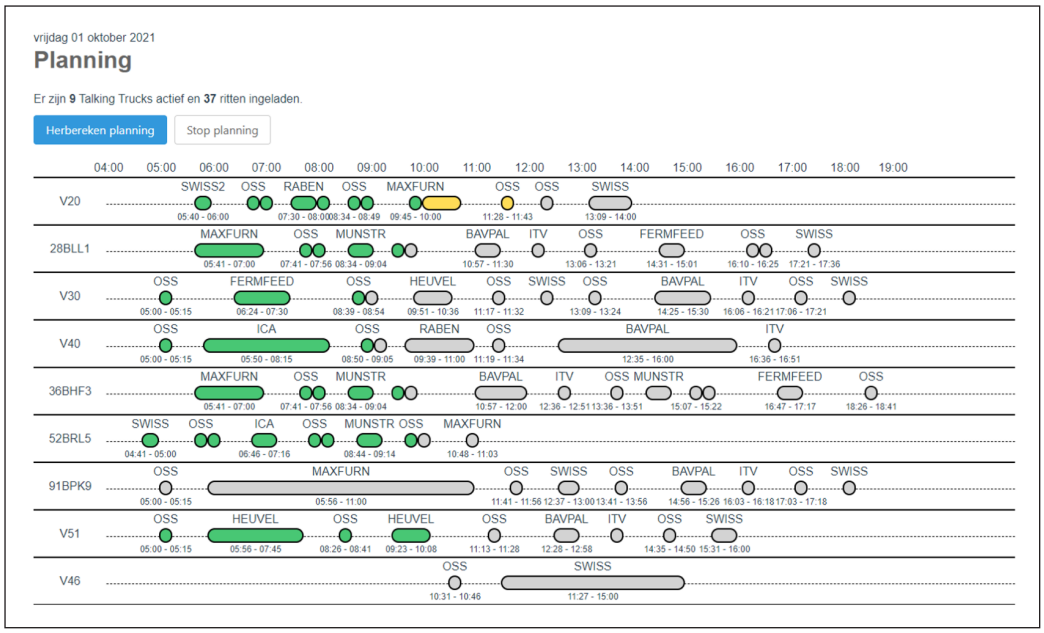


Figuur 13: 30 minuten vertraging bij MAXFURN heeft effect op alle volgende ritten.

In deze situatie dreigen er vier ritten te laat op hun bestemming aan te komen:

1. MAXFURN – OSS;
2. OSS – FERMFEED – OSS;
3. OSS – MUNSTR – OSS;
4. OSS – SWISS.

Er kan automatisch of handmatig een herplanning getriggerd worden. Figuur 14 laat het resultaat van de herplanning zien waarbij alle niet uitgevoerde orders herverdeeld zijn en slechts de rit waarop de vertraging is opgelopen te laat op zijn bestemming komt. Die rit (MAXFURN – OSS) is al onderweg en kan dus niet opnieuw gepland worden. Om een sluitende planning mogelijk te maken is er een extra truck nodig, V46 was in eerste instantie overbodig, maar wordt nu voor 1 rit ingepland.



Figuur 14: Herplanning zorgt voor een herverdeling van alle niet uitgevoerde ritten zonder verlies van punctualiteit.

Qua proces wijkt dit niet sterk af van de huidige werkwijze van de planners. Vertragingen worden opgevangen door het toewijzen van vervolgritten op het moment dat een truck weer op de terugweg naar de achterlandterminal is. Het verschil is echter dat een groot aantal opties met elkaar vergeleken worden en elke truck wordt voorzien van een sluitende en zo efficiënt mogelijke dagplanning. Op het oog lijkt dit een eenvoudig incident en een truckplanner had de ritten met het risico op vertraging van V20 naar V46 verplaatst. Talking Trucks zoeken echter naar een zo optimaal mogelijke planning voor iedereen met maximale benutting van truckcapaciteit. Dit leidt ertoe dat ook veel reeds geplande ritten (de grijze blokjes) van plek verschoven zijn. In de meeste gevallen is dit geen probleem en wijkt dit voor chauffeurs niet af van de huidige werkwijze. In sommige gevallen worden chauffeurs echter toegewezen aan 1 specifieke klant en hebben ze bijvoorbeeld een toegangspas tot het terrein van die klant bij zich. In zulke gevallen kunnen ritten of geforceerd gekoppeld worden (ritten worden dan niet langer meegenomen tijdens een herplanning) of dient dit als een variabele te worden meegenomen in de voorkeursfunctie van die specifieke Talking Truck. Het voordeel van die laatste optie is dat het flexibiliteit biedt: orders naar die specifieke klant blijven bijvoorbeeld toegewezen aan die specifieke Talking Truck tenzij deze een vooraf bepaalde vertragingsduur wordt overschreden.

-05-
Voorlopige conclusies en mogelijkheden voor vervolg

5.1 Onderzoeksvragen

Wat is de waarde van zelforganiserende logistiek in vergelijking met de huidige werkwijze?
Kwantitatief is in Talking Trucks aangetoond dat zelforganiserend plannen minstens zo effectief is als de huidige werkwijze. Qua efficiëntie zorgen Talking Trucks zelfs voor een iets hogere punctualiteit en capaciteitsbenutting. Ook in vergelijking met andere geautomatiseerde planmethodes presteert Talking Trucks goed.

Een belangrijk voordeel, dat geldt voor alle digitale planmethodes, is tijdswinst. Het opstellen van een basisplanning door een planner duurt uren en kan digitaal in een aantal minuten. Daarnaast biedt sneller plannen de mogelijkheid van ad hoc herplannen wanneer er gedurende de dag een verandering optreedt.

Naast tijdswinst vermindert digitaal plannen ook de afhankelijkheid van planners. Wanneer een planner vertrekt of tijdelijk niet aanwezig is (bijvoorbeeld door ziekte) is het makkelijker om nieuw personeel te trainen.

De zelforganiserende planmethode van Talking Trucks biedt daarnaast voordelen voor het opnemen van een hoge mate van complexiteit in de automatische planning. Als deze complexiteit als een vereiste gezien wordt is Talking Trucks ook schaalbaarder dan andere methodes. Er kunnen grotere problemen met een groter aantal variabelen worden opgelost.

Bovendien biedt Talking Trucks mogelijkheden voor interactie met planners, samenwerking met ketenpartners en integratie met klanten. Voor samenwerking buiten de eigen organisatie geldt, dat dit kan met minimale data uitwisseling.

Er zijn ook nadelen aan zelforganiserend plannen. De gemaakte keuzes zijn lastig uitlegbaar, de software bestaat uit veel componenten, en de voorkeursfuncties van Talking Trucks zijn niet triviaal.

Het is, echter, duidelijk dat zelforganisatie waarde biedt, en dat niet alleen op het gebied van de logistieke operatie, maar ook voor de planners en de logistiek dienstverlener zelf.

Welke impact heeft zelforganiserende logistiek op planners?
Voor planners ligt een rolverandering in het verschiet. Het technische deel van hun werk dat zicht richt op het optimaliseren van planning en executie wordt voor een groot deel uit handen genomen door Talking Trucks. Een planner krijgt zo rust om het geheel in de gaten te houden, de technologie bij te sturen wanneer nodig, uitzonderingen op te pakken en chauffeurs te coachen.

Welke impact heeft zelforganiserende logistiek op logistieke dienstverleners?
De operatie van een logistiek dienstverlener loopt minder risico door een lagere afhankelijkheid van de moeilijk overdraagbare domeinkennis van planners. Daarnaast zijn er mogelijkheden voor ketensamenwerking, nieuwe servicemodellen, verduurzaming en kostenbesparing.

5.2 Leerpunten

Gedurende het Talking Trucks project zijn een vijftal leerpunten genoteerd die van nut kunnen zijn voor vergelijkbare trajecten in de toekomst:

1. Operationele complexiteit: Het ontwikkelen van software die daadwerkelijk in de praktijk getest kan worden was complexer en tijdrovender dan vooraf ingeschat. Een voorbeeld hiervan is order afhankelijkheid: In eerder onderzoek communiceerden vrachtwagens een lijst van favoriete orders. De toewijzing van een order heeft echter effect op deze voorkeurslijst, omdat de vrachtwagen na uitvoering van de order met een lege trailer op de Maasvlakte, afgekoppeld bij een klant, of na laden/lossen terug op dezelfde achterlandterminal staat. Vaak is dus juist de combinatie van orders (vol naar de Maasvlakte + vol terug) favoriet en niet de losse order. Voor een menselijke planner is dit triviaal, voor een algoritme heeft het consequenties.
2. Integratie: De integratie van alle softwarecomponenten en het koppelen met data uit bestaande softwaresystemen kost veel tijd.
3. Scope creep: Om een automatische planning in de praktijk te testen dienen er pragmatische keuzes gemaakt te worden om binnen budget en beschikbare tijd een MVP (minimum viable product) op te leveren. Binnen Talking Trucks is er bijvoorbeeld aandacht besteed aan de uitlegbaarheid van algoritmes en het ontwikkelen van een tool om de software te testen, beiden waren voor het project niet absoluut noodzakelijk.
4. Meetbaarheid van de praktijk: De data die in bestaande softwaresystemen staat is niet dezelfde als waar planners mee rekenen. Als een rit volgens de software te laat is, kan het goed zijn dat de planner weet dat dit voor deze specifieke lading bij deze ene klant geen probleem betekent. Om te weten hoe goed een automatische planmethode presteert is het belangrijk om ervoor te zorgen dat ook de huidige werkwijze meetbaar is.
5. Flexibiliteit en informele keuzes van planners: Planners nemen in de dagelijkse operatie op flexibele en informele wijze veel beslissingen op basis van informatie die ze in hun hoofd hebben. Bijvoorbeeld welke chauffeur wel/niet naar welke klant kan/mag of bij welke klant een order wel/niet X minuten te laat mag worden afgeleverd. Dit is veelal informatie die niet is vastgelegd en daardoor in de algoritmes niet kan worden meegenomen. Die flexibiliteit is echter wel de sleutel tot een sluitende planning en klanttevredenheid en kan niet in alle gevallen gedigitaliseerd worden. Interactie tussen algoritme en planner is dus essentieel.

5.3 Operationalisering

In Talking Trucks is prototype-software ontwikkeld om logistieke planningen te genereren. Er zijn onderwerpen die opgepakt dienen te worden om deze software operationeel in te zetten:

- IT technisch dient de software geïntegreerd te worden met bestaande ordersystemen en doorontwikkeld te worden tot een stabiele en productie-waardige versie.
- In de praktijkproef is getest met een kleiner planprobleem. Voor operationalisering dient een test uitgevoerd te worden op het volledig planningsprobleem.
- Een interessante vraag is hoe moeilijk het is om de voorkeursfuncties van Talking Trucks aan te passen naar de situatie van andere logistieke dienstverleners naast Van Berkel.
- De interactie met de mens dient verder uitgediept te worden. Er is nog geen analyse gedaan over hoe planners werken met de software ervaren, aan welke KPIs ze behoefte hebben, en welke informatie ze

terug willen geven aan de Talking Trucks om de planning bij de sturen.
- De software is nog niet getest gedurende executie. Een pilot waar het omgaan met veranderingen wordt vergeleken met de huidige werkwijze is een logische vervolgstap.

Voor logistiek dienstverleners die aan de slag willen met automatisch en decentraal plannen valt het aan te bevelen om operationele planprocessen te documenteren en zoveel mogelijk variabelen (waar een planner mee rekent) te digitaliseren.

De volgende stap is om een goede planning te formaliseren door voorkeursfuncties te schrijven die deze variabelen omzetten in een ritplanning. De centrale vraag hier is: Wat is vanuit het perspectief van deze vrachtwagen de beste dagbesteding?

Talking Trucks wisselen de individuele antwoorden op deze vraag met elkaar uit en komen zo tot een oplossing.

5.4 Vervolgonderzoek

Niet alle vervolgstappen zijn gericht op operationalisering. Er zijn onderwerpen die nog een stuk verder van de praktijk staan, maar wel meer onderzoek verdienen:
- Talking Trucks genereren een oplossing, maar is het ook mogelijk om de planner een aantal opties aan te bieden? Heeft dit voordelen?
- Talking Trucks werken met vaste tijdsvensters, maar in de praktijk heeft de mate van afwijking van de afgesproken tijd een verschillende waarde. Hoe kan flexibiliteit in tijdsvensters algoritmisch worden ingebouwd om toe te laten dat in sommige gevallen ritten te laat (of te vroeg) worden ingepland? Onder welke voorwaarden is dit toelaatbaar?
- Talking Trucks is voor een planprobleem bij Van Berkel ontwikkeld, toegepast en gevalideerd. Hoeveel tijd en moeite kost het vanuit de opgebouwde kennis en ervaring bij Van Berkel om een vergelijkbare methode toe te passen op een vergelijkbaar probleem bij een andere partij?
- De Talking Trucks planmethode is toegepast op containerlogistiek van vrachtwagens. Is dezelfde planmethode toepasbaar op andere modaliteiten en andere ladingdragers?
- De Talking Trucks planmethode biedt mogelijkheden voor ketensamenwerking. Hoe kan er met deze methode over organisaties heen gepland worden? Heeft dit voordelen? Kan hiermee leegrijden worden teruggedrongen?
- Kan dezelfde planmethode ingezet worden om multimodaal te plannen?
- Kunnen de alternatieve geautomatiseerde planmethodes doorontwikkeld worden om de nadelen te mitigeren?
- De focus ligt op zelforganiserende transportmiddelen, maar kan hetzelfde concept toegepast worden op lading? Wat zijn de voor- en nadelen van intelligente containers?

Colofon
©SmartPort
april 2022

Ontwerp: IJzersterk.nu
Fotografie: Shutterstock

Alle opgenomen informatie is eigendom van SmartPort en TNO. Reproductie van inhoud, geheel of gedeeltelijk, is toegestaan mits bronvermelding.

Vrijwaring
SmartPort heeft de grootst mogelijke zorg besteed aan de samenstelling van dit document. Desondanks accepteert SmartPort geen aansprakelijkheid voor eventuele onjuistheden in de informatie, noch voor schade, overlast of ongemak dan wel andersoortige gevolgen die voortvloeien uit of samenhangen met het gebruik van deze informatie.

connecting
knowledge

HEEFT U VRAGEN?

SmartPort
info@smartport.nl
tel. 010 402 03 43