



In opdracht van: TKI Dinalog

Titel: Mathematics and Computer Science for Logistics Research Roadmap

Auteurs: Ton de Kok, Rob van der Mei en Guido Schäfer - Centrum Wiskunde & Informatica

Ontwerp: Michelle Haak - Miesart

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TKI Dinalog worden openbaar gemaakt of vervaelvoudigd, waaronder begrepen het reproduceren door middel van druk, offset, fotokopie of microfilm of in enige digitale, elektronische, optische of andere vorm.

© 2021 TKI Dinalog

VOORWOORD

De Topsector Logistiek financiert onderzoeksprojecten op het gebied van operations research, netwerkoptimalisatie, planning en capaciteitsverdeling. Op al deze gebieden is wiskunde een basisdiscipline.

Hoewel de behoeften van de logistieke sector vaak praktisch zijn, zijn veel van de problemen die in projecten worden aangepakt complex, in termen van wiskundige modellering en computationele schaalbaarheid van de oplossingsmethoden. Dit impliceert de noodzaak om ook aandacht te besteden aan de ontwikkeling van de onderliggende theoretische en conceptuele wiskundige kennis en rekenmethoden die nodig zijn om huidige én toekomstige uitdagingen van de logistiek sector aan te gaan.

OPDRACHT VANUIT TKI DINALOG AAN HET CWI

Ontwikkel een proces om, in nauwe samenwerking met academische leiders op het gebied van logistiek, in kaart te brengen wat de onderzoeksprioriteiten zouden moeten zijn, om te komen tot een onderzoeksagenda voor wiskunde en informatica in de logistiek. De agenda kan worden gerealiseerd door een combinatie van gerichte topsectorfinanciering en generieke NWO-financiering. TKI Dinalog zal een actieve rol spelen om deze financiering te realiseren als onderdeel van haar rol als beschermer van het logistieke kennisecosysteem.

PROCES IN DRIE STAPPEN

Om een breed draagvlak te creëren zowel vanuit de sector en de wetenschap organiseren we drie Roundtables, in volgorde: (1) met gepromoveerde wiskundigen en informatici die al geruime tijd

werkzaam zijn in het bedrijfsleven, (2) met wiskunde-hoogleraren die actief zijn op het grensvlak van wiskunde en de toepassing in de logistiek, en (3) met onderzoekers in de wiskunde en informatica, die gericht zijn op fundamenteel onderzoek met oog voor (grootschalige) toepassing.

Op basis van de uitkomsten van deze drie Roundtables is in gezamenlijkheid deze onderzoeksagenda voor wiskunde en informatica in de logistiek samengesteld. Dit rapport neemt U mee op onze reis in goed gezelschap. Een reis waar we U ook voor de komende jaren bij uitnodigen.

Ton de Kok, Rob van der Mei en Guido Schäfer
Projectteam Research Roadmap for Logistics and Supply Chain Management

1

UITKOMSTEN ROUNDTABLES

ROUNDTABLE 1: DEELNEMERS EN BRAINSTORM

DEELNEMERS

De deelnemers aan de 1e roundtable hebben hun sporen in de private en publieke sector verdiend. Ze hebben allen affiniteit met wiskunde en informatica door een promotie in een voor logistiek en supply chain management relevant vakgebied. Ze zien het belang van wiskundig onderzoek voor doorbraken in de bedrijfsvoering, en duiden de uitdagingen op basis van hun ervaring. We stellen U voor aan: Victor Allis (oprichter Quintiq, eigenaar ActiVote), Erik Diks (Managing Director Europe, Chainalytics), Harry de Haas (ASML, Vice-president Integrated Business Planning), Dennis Huisman (Expertise manager logistics processes NS, professor Public Transport Optimization), Peter van Laarhoven (lid raad van toezicht bij meerdere ondernemingen), Jan de Munck (Senior Data Scientist PostNL), Seppo Pieterse (Fellow bij Quintiq), Heico Sandee (CTO en oprichter Smart Robotics).

BRAINSTORM

In deze eerste brainstorm staan de lange-termijn uitdagingen voor “Logistics and Supply Chain Management” (LSCM). De deelnemers hebben allen veel ervaring en komen uit verschillende sectoren. De digitalisering van de samenleving is een gemeenschappelijke basis. Het genereren en verwerken van data, het creëren van informatie, het real-time automatisch beslissen, en waar nodig het involveren van de menselijke beslisser zijn voor allen sleutelprocessen. Bij het denken over de lange-termijn uitdagingen wordt een van de deelnemers duidelijk dat we ons beter kunnen concentreren op de uitdagingen van vandaag: het creëren van de juiste modellen en rekenmethoden bij het probleem dat moet worden opgelost.

UITDAGINGEN

Het duurt nog altijd vele maanden en veel metingen van schaarse experts voor een beslissingsondersteunend gereedschap werkt conform specs. Kan dit modelleringswerk en algoritmisch werk niet worden geautomatiseerd? We realiseren ons dat LSCM problemen, door hun abstractie, generiek zijn en in de loop der tijd nauwelijks veranderd. We verwachten dan ook dat de LSCM problemen vanuit een wiskundig perspectief niet veranderen. Daarmee kunnen we juist gebruik maken van talloze bestaande cases om volgende stappen te zetten in het verbeteren van de beslissingsondersteuning, geheel of gedeeltelijk geautomatiseerd. Zou dat data-driven kunnen? Kunnen we het modelleren automatiseren? Hoe kunnen we het beslissingswerk optimaal verdelen tussen mens en machine? Hoe creëren we acceptatie van geautomatiseerde oplossingen, zonder dat de mens zich volledig overlevert aan wat een algoritme voorstelt?

RESULTATEN

We delen de resultaten op in 3 categorieën, waarvoor we uitdagingen en stellingen formuleren:

- Mens en modellen
- Universeel bruikbare modellen en methoden, die snel en makkelijk klantspecifiek kunnen worden gemaakt
- Real-time dataverwerking en -deling in waardenetwerken

Dit vormt de input voor de 2e roundtable met de hoogleraren die met het ene been in de wetenschap staan en met het andere in de modder van de realiteit.

“NIETS PRAKTISCHER DAN EEN GOEDE THEORIE”

ROUNDTABLE 1: DE RESULTATEN

UITDAGINGEN

MENS EN MODELLEN



- Een randvoorwaarde voor Artificial Intelligence en Machine Learning, en de toepassingen daarvan, is dat ze geaccepteerd moeten worden door de eindgebruiker voordat ze een rol kunnen gaan spelen. Hoe gaan we ervoor zorgen dat ze geaccepteerd worden?
- Menselijk gedrag is niet altijd rationeel, maar hebben wel impact op een LSCM model. Hoe verwerk je menselijk gedrag in wiskundige LSCM modellen
- We moeten ervoor zorgen dat mens-machine-interactie 'seamless' wordt, ook als de machine de 'lead' heeft en de mens enkel corrigeert. Hoe zorgen we voor deze 'seamless' interactie?

UNIVERSEEL GEBRUIK EN CUSTOMIZATION



- Supply chains kunnen verdeeld worden in meerdere segmenten, die kunnen inspelen op de verschillende behoeften van groepen klanten. Een organisatie kan maar een bepaald aantal supply chains runnen. Hoe bepalen we welke dat moeten zijn?
- Hoe creëren we robuuste oplossingen, op basis van wiskundige modellen, die universeel toepasbaar zijn op (minimaal X% van de) verschillende logistieke uitdagingen?

NETWERKEN EN REAL TIME DATA



- We werken steeds meer in ketens, echter wordt niet alle informatie in een keten door schakels gedeeld. Hoe kunnen we met deze beperking toch modellen optimaliseren?
- We moeten continue optimalisaties creëren die gebaseerd zijn op real time data, in plaats van periodieke optimalisaties (per dag of per week), die een probleem oplossen dat niet langer de realiteit weerspiegelt. Hoe creëren we deze real-time optimalisaties?

OVERIGE UITDAGINGEN EN STELLINGEN

- Het bepalen van KPIs is ingewikkeld en vaak zijn er aspecten die niet eenvoudig te vatten zijn (aka "beauty-KPI"). Het meenemen van zulke aspecten is key voor de acceptatie van de output/oplossing. Hoe kunnen we dit van begin aan mee nemen in het optimalisatie proces?

STELLINGEN

- Oplossingen aanleveren kan je puur aan computers overlaten
- Menselijk gedrag wordt te simplistisch gemodelleerd
- We moeten de twee werelden dichter bij elkaar brengen, door de kwantificatie van doelen vanuit de wetenschappelijke wereld te nemen en de fuzzy calls vanuit de menselijke wereld.
- We hebben een generiek toepasbare toolbox nodig, die realtime real-world problemen oplost waarbij praktische uitvoerbaarheid in de huidige realiteit essentieel is, terwijl theoretische optimaliteit in de toekomst secundair is.
- We hebben een optimalisatie toolbox nodig die snel, adaptief en data-driven is. De haalbaarheid en kwaliteit van de oplossing is secundair.
- Zonder transparantie in data is het niet mogelijk de volgende stap te zetten op het gebied van LSCM.
- Coördinatie in autonome LSCM systemen is de sleutel tot het overkomen van toekomstige performance bottlenecks.
- Zonder slimme wiskunde en informatica gaan de toepassingen van AI in 2050 meer dan 75% van de energieproductie benutten.
- De kwaliteit van een plan beschrijven is een complexe wiskundige functie

ROUNDTABLE 2: DEELNEMERS EN BRAINSTORM

DEELNEMERS

De deelnemers aan de 2e roundtable doen onderzoek binnen het gebied Logistics and Supply Chain Management. Ze hebben alle nauwe banden met de industrie en instellingen. Hun onderzoeksvragen ontwikkelen ze op basis van hun gesprekken met probleemeigenaren. Hun gereedschappen zijn wiskundige modellering en -modelanalyse. Hun onderzoeksresultaten worden gebruikt door de probleemeigenaren. Daarmee hebben ze meetbare impact op bedrijfsvoering. We stellen U voor aan: Renzo Akkerman (WUR, Agro-logistiek), Richard Boucherie (UT, Zorglogistiek), Rommert Dekker (EUR, Operations Research), Wout Dullaert (VU, Logistics), Geert-Jan van Houtum (TUE, Onderhoudsbeheersing, Service Supply Chains), Ger Koole (VU, Zorglogistiek en Revenue Management), René de Koster (EUR, Warehousing).

BRAINSTORM

De deelnemers zijn op de hoogte van de uitkomsten van de eerste brainstorm. We hebben de deelnemers gevraagd om de wiskundige modellen die zij gebruiken bij het oplossen van LSCM vraagstukken. Een voorbeeld van zo'n wiskundig model, dat daadwerkelijk is geïmplementeerd in de praktijk, is te vinden in bijlage I. De wiskundige modellen vormen de brug naar de wiskundigen en informatici, die zich richten op fundamenteel onderzoek. De deelnemers zien de beschikbaarheid van data als een kans voor het toepassen van nieuwe algoritmen uit de AI. Ze missen in de uitkomsten van de 1e roundtable de aandacht voor grote maatschappelijke vraagstukken, zoals duurzaamheid, zorg, voedsel, energie en klimaatverandering. Hierin zien we de brede oriëntatie van deze onderzoekers.

UITDAGINGEN

Een verrassing is dat deze groep onderzoekers niet veel samenwerkt met onderzoekers die zich bezighouden met fundamenteel onderzoek binnen de wiskunde en informatica. Het is kennelijk moeilijk om deze laatste groep te interesseren voor de analyses die nodig zijn om de LSCM problemen op te lossen. De 3e roundtable moet hier meer informatie over verstrekken. Er blijken wel degelijk grote uitdagingen te zitten in de analyse van de LSCM problemen. Eigenlijk is er een soortgelijke inspanning nodig om planning-, scheduling- en routingproblemen op te lossen als die is gedaan door vele fundamentele onderzoekers om het handelsreizigersprobleem op te lossen. Daarnaast speelt onzekerheid in processen een belangrijke rol binnen LSCM vraagstukken en dat maakt de analyse van deze vraagstukken buitengewoon moeilijk. Hier liggen kansen voor toepassing van AI technieken, zoals reinforcement learning.

RESULTATEN

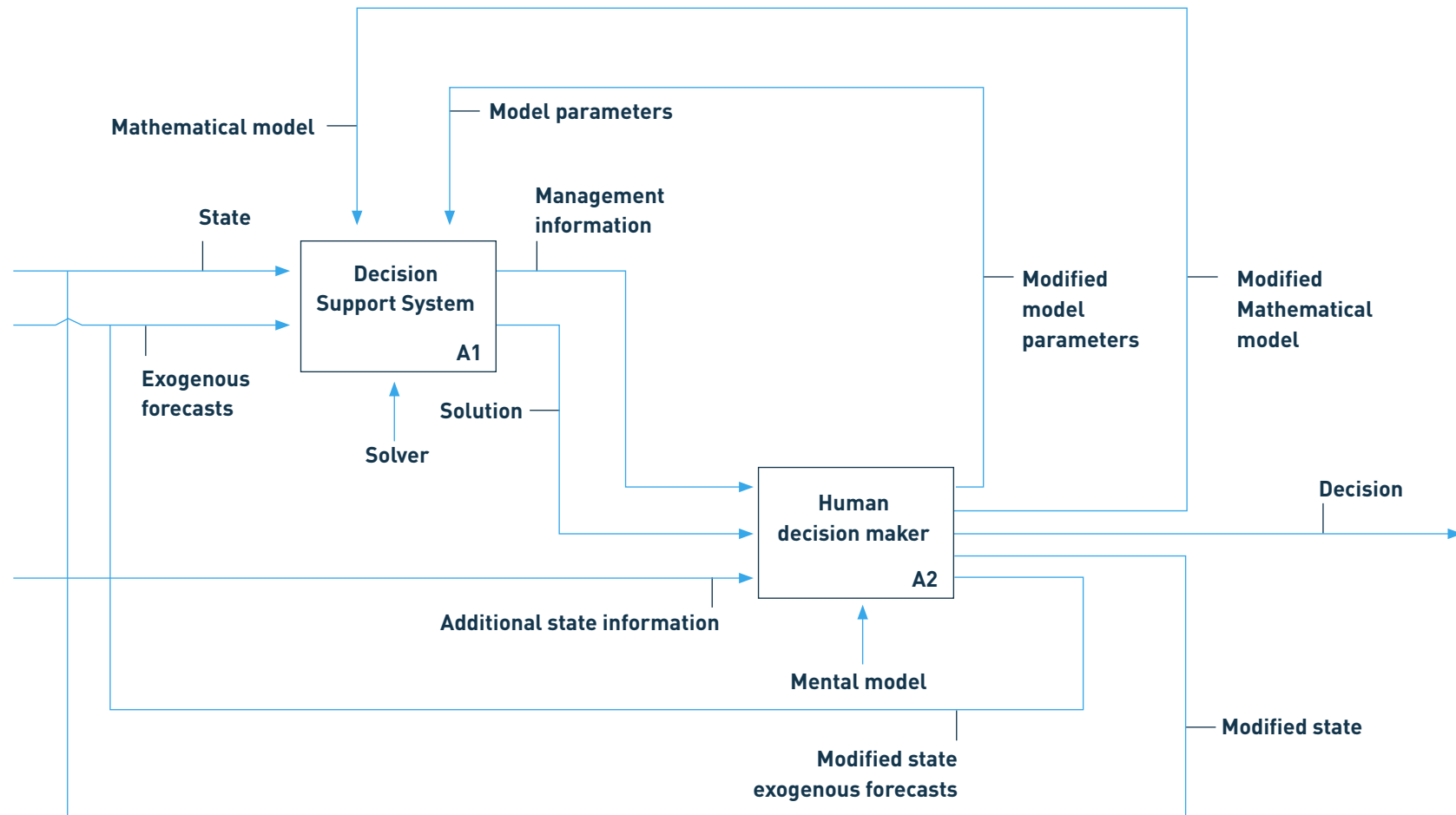
De resultaten van de 2e roundtable bestaan uit de probleemformuleringen en indicaties van mogelijk bruikbare methoden en technieken, c.q. algoritmen. Er is door deze groep onderzoekers aangetoond dat deze probleemformuleringen toegepast kunnen worden in de praktijk. Daarmee is het vinden van exacte oplossingsmethoden of benaderingsmethoden met kwaliteitsgarantie van groot praktisch belang. De probleemformuleringen kunnen worden gebruikt als input bij de 3e roundtable met de fundamenteel georiënteerde onderzoekers.

"TODAY'S EXCEPTIONS ARE TOMORROW'S ROUTINES"

ROUNDTABLE 2: DE RESULTATEN

	UITDAGINGEN	STELLINGEN
MENS EN MODELLEN 	<ul style="list-style-type: none"> • Gebruiker kan ingrijpen in beslissingsondersteunend systeem door aanpassen modeloutput, modelinput, modelparameters en model (zie pagina 8) • Algoritmen moeten leiden tot oplossingen die door de mens begrepen worden • Algoritmen moeten leiden tot oplossingen die door de mens kunnen worden aangepast op inzichten en informatie, die niet meegenomen kunnen worden in het onderliggende model • Lerende modellen, waarbij modelaanpassingen geautomatiseerd worden • AI technieken, zoals (un)supervised learning en reinforcement learning 	<ul style="list-style-type: none"> • Welke kennis en vaardigheden heeft een LSCM professional nodig in een gegeven situatie? • In welke mate kan een gebruiker ingrijpen in een beslissingsondersteunend systeem, zonder dat het systeem zijn integriteit verliest? • Afweging exploratie en optimalisatie bij learning technieken
UNIVERSEEL GEBRUIK EN CUSTOMIZATION 	<ul style="list-style-type: none"> • Rijke voertuigrouteringsproblemen, waarbij technologische innovaties zoals sensoren, mobiele communicatie, transporttechnologie (bijvoorbeeld drones) leiden tot nieuwe modelformuleringen • Geïntegreerde rijke productie- en distributieproblemen, gekenmerkt door grote aantallen resources (mensen, productiemiddelen, vervoersmiddelen, opslagmiddelen), complexe netwerkstructuren (locaties, routes) en complexe randvoorwaarden (tijdigheid, capaciteit) en meerdere onafhankelijke actoren (producenten, logistieke dienstverleners, retail) • Simulation-based optimization kan als generieke aanpak worden ingezet, terwijl het simulatiemodel probleemspecifiek kan worden gemaakt 	<ul style="list-style-type: none"> • Niet-lineaire randvoorwaarden • Niet-lineaire doelfunctie(s) • Probleemgrootte • Probleemformulering die klopt met specifieke situatie • Simulation-based optimization gebaseerd op generieke aanpak garandeert geen optimum
NETWERKEN EN REAL TIME DATA 	<ul style="list-style-type: none"> • Trade-off tussen verzamelen meer data en noodzaak tot snel beslissen • Dynamisch netwerk ontwerp, veroorzaakt door nieuwe klanten, nieuwe leveranciers, nieuwe producenten, zoals in energiesystemen • Real-time data gebruiken voor modellering en aanpassen van model 	<ul style="list-style-type: none"> • Niet-lineaire randvoorwaarden • Niet-lineaire doelfunctie(s) • Probleemgrootte • Welke data gebruiken, welke niet • Frequentie van data sensing
OVERIGE UITDAGINGEN EN STELLINGEN	<ul style="list-style-type: none"> • Modellen voor ketenvraagstukken die duurzaamheid meenemen in doelfuncties en randvoorwaarden. Hierbij speelt onzekerheid in supply een grotere rol dan voorheen, omdat retourstromen van materialen minder voorspelbaar zijn. • Multi-scale modellen, die naar voren komen bij hiërarchische besluitvorming (strategisch, tactisch, operationeel) en gedistribueerde besluitvorming in supply chains 	<ul style="list-style-type: none"> • Stochastische aspecten maken modelanalyse moeilijker en daarmee modeloptimalisatie • Multi-scale modellering is een kunst, die tot op de dag van vandaag in de natuurkunde en scheikunde als een uitdaging geldt, en zo ook voor bedrijfsprocessen en hun beheersing

DECISION SUPPORT IN LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT
 WIERS AND DE KOK (2018), DESIGNING, SELECTING, IMPLEMENTING AND USING APS SYSTEMS



ROUNDTABLE 3: DEELNEMERS EN BRAINSTORM

DEELNEMERS

De deelnemers aan de 3e roundtable doen onderzoek naar fundamentele vraagstukken binnen de (toegepaste) wiskunde en informatica. Ze hebben de ambitie om problemen op te lossen, die brede toepassing hebben in de praktijk. Nieuwsgierigheid is hun primaire drijfveer. Ze werken aan klassen van wiskundige modellen, niet aan specifieke formuleringen van praktijkproblemen. Maar de wiskundige modellen waaraan ze werken hebben hun belang voor de praktijk van alledag al ruimschoots bewezen. Dat bleek ook uit de 2e roundtable. We stellen U voor aan: Ilker Birbil (UvA, AI and Optimization), Dick den Hertog (UvA, Robust Optimization), Daniek Dadush (CWI, Integer Programming), Remco van der Hofstad (TUE, Random Graphs), Han La Poutré (CWI/TUD, Intelligent Autonomous Agent Systems), Michel Mandjes (UvA, Stochastic Processes), Frits Spieksma (TUE, Combinatorische Optimalisering), Gabor Szarnyas (CWI, Data Architectures), Bert Zwart (CWI/TUE, Stochastic Processes).

BRAINSTORM

De deelnemers zijn op de hoogte van de uitkomsten van de eerste en tweede brainstorm. Ze hebben de hoofdpunten uit roundtable 1 als vertrekpunt genomen voor hun input voor de discussie. Hier ontmoeten onderzoekers die zich bezighouden met de fundamentele van mathematische programmering, database architectures, AI en Stochastische Operations Research, elkaar. Enkelen van hen hebben gewerkt aan concrete problemen uit de LSCM praktijk, waarbij de uitdagingen die in roundtable 2 naar voren zijn gekomen, worden bevestigd: LSCM is een bron van grote wiskundige uitdagingen. Anderen hebben zich tot nog toe alleen bezighouden met fundamenteel wiskundig onderzoek, met name naar breed toepasbare wiskundige concepten.

UITDAGINGEN

De vraag naar universele toepasbaarheid samen met het specifiek toepasbaar maken van modellen en algoritmen roept veel creativiteit op. Het sleutelwoord is “mining”, uit de data rond de op te lossen problematiek afleiden van het op te lossen model. Je kunt doelfuncties “minen”, maar ook randvoorwaarden. Het is wel duidelijk dat daar veel probleemdata voor nodig zullen zijn. Het efficiënter maken van AI technieken, met name die gebaseerd zijn op het trainen van neurale netwerken, vraagt om fundamenteel wiskundig onderzoek. Het begrijpen van netwerkstructuren binnen LSCM, hun ontstaan en hun besturing, is een andere uitdaging.

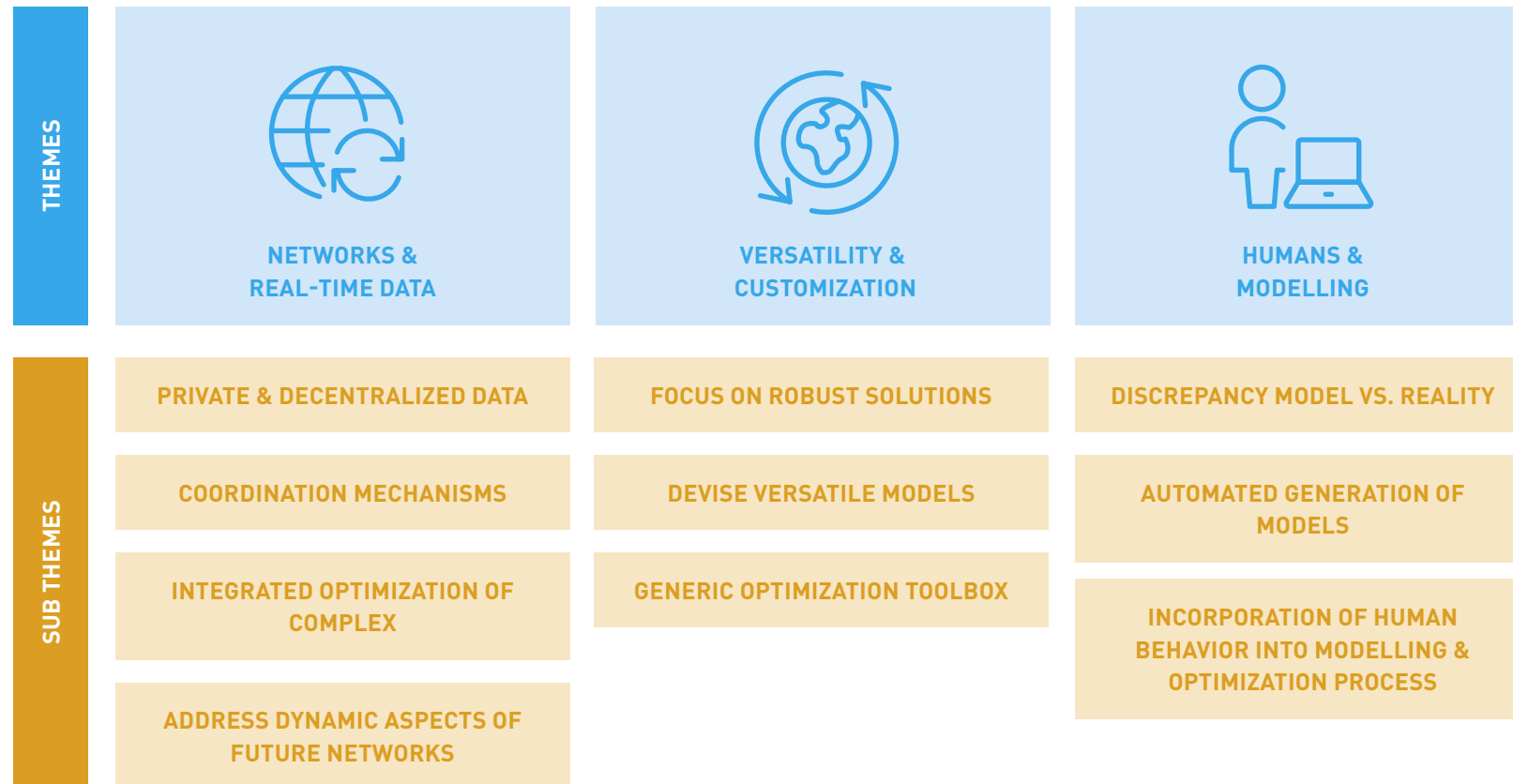
RESULTATEN

De resultaten van de 3e roundtable bestaan uit het leggen van de relatie tussen de in roundtable 1 aangegeven hoofdthema's binnen LSCM en de onderzoeksuitdagingen voor fundamenteel wiskunde en informatica onderzoek. Dit leidt tot de formulering van subthema's en tot relevante concepten uit de wiskunde en informatica. De resultaten worden in het Engels geformuleerd, omdat dit de resultaten breder toegankelijk maakt.

“GOED IS BETER DAN BEST”

2

OVERVIEW THEMES AND SUBTHEMES





NETWORKS & REAL-TIME DATA

SUBTHEMES	CONTENT	M&CS CONCEPTS
PRIVATE & DE-CENTRALIZED DATA	<ul style="list-style-type: none"> Private and decentralized data held by multiple stakeholders with different (often conflicting) objectives Need: Schemes that are privacy-preserving and manipulation-resistant 	<ul style="list-style-type: none"> Distributed computing Differential privacy Incentive compatibility Secure multi-party computation
COORDINATION MECHANISMS	<ul style="list-style-type: none"> Coordination mechanisms for decentralized networks <ul style="list-style-type: none"> Induce cooperation (incentive/pricing schemes) Align individual objectives with system goal Ensure fairness, simplicity (explainable) 	<ul style="list-style-type: none"> Algorithmic mechanism design Pricing strategies Incentive schemes Fairness and resilience
INTEGRATED OPTIMIZATION OF COMPLEX DATA	<ul style="list-style-type: none"> Integrated optimization of complex networks <ul style="list-style-type: none"> Integration of real-time data Multilayer, multimodal networks, etc. Learning and online decision making 	<ul style="list-style-type: none"> Reinforcement learning Learning-augmented algorithms Online decision-making
DYNAMIC ASPECTS OF FUTURE NETWORKS	<ul style="list-style-type: none"> Dynamic aspects of future networks <ul style="list-style-type: none"> Model dynamic networks, on-demand, shared Based on spatial data, physical laws, etc. Network failures, cascading failures, rare events, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> Distributed computing Agent-based optimization



VERSATILITY & CUSTOMIZATION

SUBTHEMES	CONTENT	M&CS CONCEPTS
DEVISE VERSATILE MODELS	<ul style="list-style-type: none"> • Create “versatile” models <ul style="list-style-type: none"> • Applicable to different application domains • Based on similar building blocks • Learnable, easily customizable 	<ul style="list-style-type: none"> • Generic analysis and optimization techniques • Robustness analysis • Simulation optimization
GENERIC OPTIMIZATION TOOLBOX	<ul style="list-style-type: none"> • Generic optimization toolbox (think of: Math Prog 2.0) <ul style="list-style-type: none"> • Important aspect: problems are huge • Crucial: fast, data-driven, adaptive • Primary: feasible and implementable (in practice) • Secondary: proof of optimality, quality guarantees 	<ul style="list-style-type: none"> • Online optimization • Iterative methods • Conic optimization • Preprocessing techniques for solving models for recurring LSCM problems
ROBUST SOLUTIONS	<ul style="list-style-type: none"> • Focus on “robust” solutions <ul style="list-style-type: none"> • Universal solutions (applicable to various scenarios) • A-priori solutions (adaptable to various scenarios) • Incorporate uncertainties and handle changing input parameters 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptive robust optimization • Optimization and estimation



HUMANS & MODELLING

SUBTHEMES	CONTENT	M&CS CONCEPTS
DISCREPANCY MODEL VS. REALITY	<ul style="list-style-type: none"> Discrepancy model vs. reality <ul style="list-style-type: none"> Overcome abstraction bottleneck Multiple objectives Human factors 	<ul style="list-style-type: none"> Beyond worst-case analysis Model mining
AUTOMATED GENERATION OF MODELS	<ul style="list-style-type: none"> Automated generation of models <ul style="list-style-type: none"> Extract, learn from data (historical, massive) Important aspect: adaptivity of model (real-time, self-adjusting, online) 	<ul style="list-style-type: none"> Constraint mining Random graph models for logistics Optimization with constraint learning
HUMAN BEHAVIOR IN MODELLING & OPTIMIZATION	<ul style="list-style-type: none"> Incorporate human behavior in modelling and optimization <ul style="list-style-type: none"> Diverse behavior (rational, risk-averse, preferences) Incorporate "hidden knowledge" (experience) Tradeoff: accuracy vs. interpretability of solutions Seamless human-machine interaction 	<ul style="list-style-type: none"> Data-driven models Algorithmic Game Theory Explainable AI

OPEN ACCESS REPOSITORY VOOR LSCM DATA UIT GEVALSTUDIES

Uit de 3 roundtables is sterk naar voren gekomen dat de volgende doorbraak in logistiek en supply chain management bestaat uit data-driven modellen en methoden. We moeten vaststellen dat er, ondanks dat het 30 jaar geleden is dat grootschalige implementatie van ERP systemen een aanvang nam, we niet beschikken over een open access repository van data voor LSCM problemen. Wel mogen we vaststellen dat, mede dankzij het TKI Dinalog, er enorm veel LSCM onderzoeksprojecten zijn gebaseerd op directe interactie met probleemeigenaren uit de LSCM praktijk en daar ook uitgebreid gebruikgemaakt is van empirisch datamateriaal. Deze wijze van samenwerking tussen wetenschap en LSCM probleemeigenaren stoelt op de unieke Nederlandse traditie om studenten uit hoger en wetenschappelijk onderwijs afstudeerprojecten in de praktijk uit te voeren.

Wat echter ontbreekt is het systematisch vastleggen van de data die tijdens deze onderzoeksprojecten zijn gebruikt. Dit is in belangrijke mate het gevolg van de vertrouwelijkheid van gegevens over de bedrijfsvoering van betrokken ondernemingen. Dit betekent dat de data moeten worden geanonimiseerd voor ze publiek beschikbaar kunnen worden gesteld. Deze problematiek is vergelijkbaar met de eisen m.b.t. privacy van medische data. Op dit moment zien wij grootschalige onderzoeksprojecten binnen de medische wetenschap, waarbij behandelingsprotocollen en -resultaten worden gedeeld. Om een doorbraak te bewerkstelligen binnen het LSCM onderzoek is een soortgelijke praktijk van kennis- en datadeling nodig. Hierbij kunnen onderzoekers als de deelnemers aan de 2e roundtable een cruciale rol vervullen. Zij hebben immers al veel ervaring met onderzoek in

samenwerking met LSCM probleemeigenaren en ervaring met het gebruikmaken van data uit ERP, MES en APS systemen.

De eerste stap in het opzetten van de repository is het definiëren van verschillende datamodellen. Hierbij kan gebruikgemaakt worden van de datamodellen die de basis vormen van bestaande ERP, MES en APS systemen. Hierbij zij opgemerkt dat er een grote verscheidenheid aan APS en MES systemen bestaat, waar ERP systemen een sterkere datamodel-standaardisatie hebben doorgemaakt. Het komen tot de gewenste datamodellen is een onderzoeksproject op zichzelf.

Ervan uitgaande dat binnen twee jaar de repository beschikbaar komt, is het van belang om afspraken te maken over het opslaan van de gegevens van LSCM onderzoeksprojecten. Voor BSc en MSc projecten kan hierbij gebruik gemaakt worden van de betrokken studenten. Om dit efficiënt en effectief te doen, dienen studenten vertrouwd gemaakt te worden met de datamodellen, waarop de repository is gebaseerd. Hierbij kan gebruikgemaakt worden van te ontwikkelen opleidingsmodules. Deze modules lenen zich bij uitstek bij het vertrouwd maken met alle voor bedrijfsvoering relevante processen. Dit past typisch in het eerste jaar van opleidingen bedrijfskunde. Er is in Nederland al tientallen jaren ervaring met dit type onderwijs, met name aan de TUD, TUE, UT en RUG. Een nieuw element hierbij is de concrete koppeling met de repository.

**“METEN IS WETEN IS EEN,
WETEN WAT JE MOET METEN IS TWEE”**

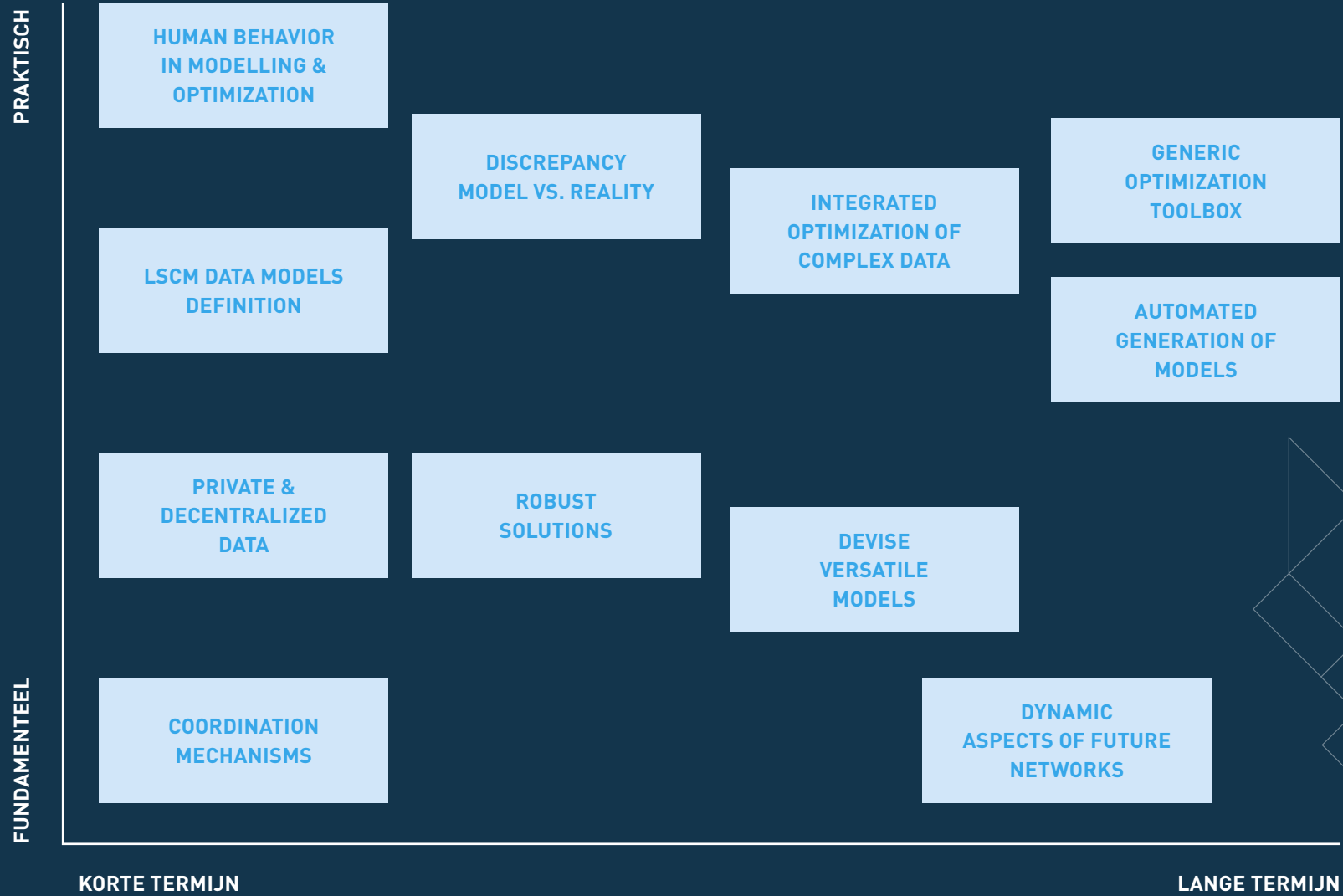
ROADMAP VOOR LOGISTIEK EN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

We hebben de resultaten van de drietrapsraket beschreven, waarmee wij een reis hebben gemaakt om te komen tot een roadmap voor wiskunde en informatica onderzoek ten behoeve van Logistiek en Supply Chain Management. We hebben een relatie gelegd tussen de uitdagingen, geformuleerd door professionals met heel veel praktijkervaring in LSCM, en concepten uit de wiskunde en informatica, waarmee gericht fundamenteel en toegepast onderzoek kan worden gedaan om de uitdagingen het hoofd te bieden. We hebben in de 1e roundtable hoofdthema's geïdentificeerd zijnde "Mens en modellen", "Universeel gebruik en customization", en "Netwerken en real-time data". In de 2e roundtable hebben we modellen en algoritmen geïdentificeerd die de uitdagingen binnen de drie hoofdthema's adresseren. Dit werd de input voor de 3e roundtable, waar wiskundigen en informatici subthema's hebben benoemd, die zij kunnen koppelen aan wiskundige concepten, die vragen om fundamenteel onderzoek. Op de volgende pagina hebben we de roadmap op een globale wijze vormgegeven middels de subthema's. We zien zowel fundamenteel als praktisch georiënteerd onderzoek, en zowel korte termijn als lange termijn resultaten.

In de roadmap hebben we ook de opzet van een repository benoemd, waarin data uit- en voor onderzoeksprojecten wordt opgeslagen. Dit is gemotiveerd door de vaststelling dat veel nieuwe methoden en modellen data-based zullen zijn op een explicietere manier dan dat mensen data (be)schouwen en daarna tot modellen en methoden komen. Met het opzetten van zo'n repository kan het Nederlandse onderzoek op LSCM gebied een duurzaam concurrentieel voordeel verwerven en slaat het munt uit de bestaande nauwe verwevenheid tussen wetenschappelijk onderzoek en het oplossen van concrete problemen in de bedrijfsvoering.

Deze roadmap vraagt natuurlijk verdere uitwerking. De in dit rapport aangedragen elementen vormen een solide basis voor deze verdere uitwerking. Daarnaast stelt deze roadmap in staat om onderzoekers uit te nodigen om projectvoorstellen uit te werken en in te dienen. Dit kan gaan om zowel onderzoek naar de verdere uitwerking van de geïdentificeerde wiskundige concepten, onderzoek dat deze concepten inzet voor nieuwe manieren om LSCM problemen op te lossen, alsook om bijdragen aan het ontwikkelen van de repository.

ROADMAP FOR MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCE IN LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT



BIJLAGE 1. FORMULERING VAN EEN GENERIEK LSCM PROBLEEM

The Supply Chain Operations (SCOP) model arises in any company producing products from materials using resources. It can be easily formulated as an LP, but that formulation should be seen as a heuristic, as the problem is by nature stochastic. Even if we assume deterministic flow times (throughput times), there are no analytical results (policies, performance) for the SCOP problem with stationary i.i.d. demand. It has been shown that this SCOP formulation yields both a basis for operational planning in real-life simulation, and empirically valid results for its stochastic version.

Let us define period t as the time interval $[t-1, t]$. At time t , $t=0, 1, 2, \dots$, release decisions are taken. We define for $i=1, 2, \dots, N$:

$D_i(t)$	independent demand for item i in period t , i.e. demand in period t for item i , that is not derived from demand for items in $I \sim E$
$G_i(t)$	dependent demand for item i in period t , i.e. demand in period t for item i , that is derived from demand for items in $I \sim E$
$p_i(t)$	quantity of item i that becomes available at the start of period t from the transformation activity generating item i
$r_i(t)$	quantity of item i released at the start of period t immediately after receipt of $p_i(t)$
$I_i(t)$	physical inventory of item i at the start of period t , immediately before receipt of $p_i(t)$
$B_i(t)$	backlog of item i at the start of period t , immediately before receipt of $p_i(t)$
$J_i(t)$	net inventory, i.e. physical inventory minus backorders, of item i at the start of period t , immediately before receipt of $p_i(t)$
P	Set of items i with $D_i(t) > 0$ for some $t > 0$.
C_{kt}	Amount of capacity available in units of time of resource k in period t , $k = 1, \dots, K$, $t \geq 1$,
U_k	Set of items that can be processed on resource k
c_i	Time required to process one unit of item i on its resource
$q_i(t)$	Amount of item i processed in period t , $t \geq 1$.
L_i	throughput time between time of release of an order for item i and time at which the ordered items are available for usage in other items and/or delivery to customers

Planned lead time assumption

$$p_i(t) = r_i(t - L_i), \quad t \geq 0$$

Necessary and sufficient material constraints

$$(3.1) \quad B_i(t+1) - B_i(t) \leq D_i(t), \quad \forall i, t \geq 1$$

$$(3.2) \quad r_i(t) \geq 0, \quad \forall i, t = 1, \dots, T$$

$$(3.3) \quad I_i(t+1) - B_i(t+1) = I_i(t) - B_i(t) - G_i(t) - D_i(t) + r_i(t - L_i), \quad \forall i, t = 1, \dots, T$$

Necessary and sufficient resource constraints

$$(3.4a) \quad \sum_{s=1}^t r_i(s) \geq \sum_{s=1}^t q_i(s), \quad \forall i, t = 1, \dots, T$$

$$(3.4b) \quad \sum_{s=1}^t r_i(s) \leq \sum_{s=1}^{t+L_i-1} q_i(s), \quad t = 1, \dots, T$$

$$(3.5) \quad \sum_{i \in U_k} c_i q_i(t) \leq C_{kt}, \quad \forall k, t = 1, \dots, T$$

$$(3.6) \quad q_i(t) \geq 0, \quad \forall i, t = 1, \dots, T$$

Objectives

$$\alpha_i := \lim_{t \rightarrow \infty} P\{I_i(t) > 0\}, \forall i \in P, \text{ non-stockout probability}$$

$$\beta_i := \lim_{t \rightarrow \infty} 1 - \frac{E[(I_i(t) + p_i(t) - D_i(t))^+] - E[(-I_i(t) - p_i(t))^+]}{E[D_i(t)]}, \forall i \in P, \text{ fill rate}$$

$$C(t) = \sum_{i=1}^N h_i I_i(t)$$

$$\bar{C} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \sum_{s=1}^t C(s)$$

Problem formulations**Problem** (P_α)

$$\min \bar{C}(\mathcal{P})$$

s.t.

$$\alpha_i(\mathcal{P}) \geq \alpha_i^*, i \in P$$

Problem (P_β)

$$\min \bar{C}(\mathcal{P})$$

s.t.

$$\beta_i(\mathcal{P}) \geq \beta_i^*, i \in P$$

WIJ ZIJN DANK VERSCHULDIGD AAN

DEELNEMERS 1E ROUNDTABLE

Victor Allis - oprichter Quintiq, eigenaar ActiVote
Erik Diks - Managing Director Europe, Chainalytics
Harry de Haas - ASML, Vice-president Integrated Business Planning
Dennis Huisman - Expertise manager logistics processes NS, professor Public Transport Optimization
Peter van Laarhoven - lid raad van toezicht bij meerdere ondernemingen
Jan de Munck - Senior Data Scientist PostNL
Seppo Pieterse - Fellow bij Quintiq
Heico Sandee - CTO en oprichter Smart Robotics

DEELNEMERS 2E ROUNDTABLE

Renzo Akkerman - WUR, Agro-logistiek
Richard Boucherie - UT, Zorglogistiek
Rommert Dekker - EUR, Operations Research
Wout Dullaert - VU, Logistics
Geert-Jan van Houtum - TUE, Onderhoudsbeheersing, Service Supply Chains
Ger Koole - VU, Zorglogistiek en Revenue Management
René de Koster - EUR, Warehousing

DEELNEMERS 3 ROUNDTABLE

Ilker Birbil - UvA, AI and Optimization
Dick den Hertog - UvA, Robust Optimization
Daniek Dadush - CWI, Integer Programming
Remco van der Hofstad - TUE, Random Graphs
Han La Poutré - CWI/TUD, Intelligent Autonomous Agent Systems,
Michel Mandjes - UvA, Stochastic Processes
Frits Spieksma - TUE, Combinatorische Optimalisering
Gabor Szarnyas - CWI, Data Architectures
Bert Zwart - CWI/TUE, Stochastic Processes

DE JONGE HONDEN VAN FRISSE BLIKKEN

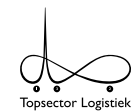
Donnie Temmink
Willem van der Loo



TKI DINALOG

Graaf Engelbertlaan 75
4837 DS Breda

info@dinalog.nl
www.dinalog.nl
+31 (0)76 531 53 00



TKI Dinalog is het Topconsortium voor Kennis en
Innovatie van de Topsector Logistiek