



Delft University of Technology

Document Version

Final published version

Citation (APA)

de Bok, M., Kuhlman, W., & Giasoumi, S. (2025). *Simulatie van cargo bike bezorging in de Rotterdamse binnenstad*. Paper presented at 52e Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2025, Groningen, Netherlands. https://mijn.cvs-congres.nl/e2/site/cvscongres/custom/site/upload/papers/final/2025/cvs_451.pdf

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright

In case the licence states "Dutch Copyright Act (Article 25fa)", this publication was made available Green Open Access via the TU Delft Institutional Repository pursuant to Dutch Copyright Act (Article 25fa, the Taverne amendment). This provision does not affect copyright ownership.
Unless copyright is transferred by contract or statute, it remains with the copyright holder.

Sharing and reuse

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

This work is downloaded from Delft University of Technology.

Simulatie van cargo bike bezorging in de Rotterdamse binnenstad

Michiel de Bok, Significance en TU Delft, debok@significance.nl / m.a.debok@tudelft.nl

Wouter Kuhlman, Significance, kuhlman@significance.nl

Sofia Giasoumi, Significance, giasoumi@significance.nl

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 20 en 21 november 2025, Groningen

Samenvatting

Deze studie onderzoekt de integratie van cargobikes en microhubs in stedelijke logistiek, met een casestudie in Rotterdam. Microhubs worden gezien als een oplossing voor het defragmenteren van last-mile bezorging en het bevorderen van emissievrije stadslogistiek. Dit leidt tot toenemend gebruik van cargo bikes in de stedelijke omgeving. Tegelijkertijd wordt het gebruik van fietsen gestimuleerd, en al deze nieuwe stromen van mobiliteit en stadslogistiek maken gebruik van dezelfde stedelijke ruimte. Voor efficiënte planvorming is het nodig om op tijd de impacts van nieuw beleid te kunnen toetsen ter voorkoming van bottlenecks op het fietsnetwerk of in de stedelijke omgeving.

Het onderzoek maakt gebruik van het stadslogistieke simulatiemodel MASS-GT, uitgebreid met een fietsnetwerkmodel, om de bereikbaarheid en netwerkprestaties van cargobikes te evalueren. De simulatie is gebaseerd op een agent-gebaseerde benadering en maakt onderscheid tussen verschillende gebruikersklassen, waaronder een specifieke klasse voor cargobikes. Deze klasse houdt rekening met voertuig grootte, snelheid en voorkeuren voor wegtype en infrastructuur.

In de usecase worden twee scenario's vergeleken: één met individuele microhubs per vervoerder en één met gedeelde hubs. Beide scenario's simuleren bezorgroutes en het gebruik van het fietsnetwerk door cargobikes. Het gedeelde hubscenario leidt tot minder cargo bike bewegingen, minder stops en lagere parkeerdruk. De simulaties tonen ook verschillen in netwerkbelasting en knelpunten, vooral in drukke gebieden zoals het Centraal Station. De resultaten laten zien dat gedeelde hubs efficiënter zijn in termen van netwerkbelasting en parkeerdruk. Knelpunten worden geïdentificeerd op basis van intensief gebruik door zowel cargobikes als reguliere fietsers. Heatmaps tonen de parkeerdruk, waarbij gedeelde hubs minder impact hebben op de openbare ruimte.

Gedetailleerde simulaties zijn essentieel voor het evalueren van stedelijke logistieke strategieën. De gepresenteerde aanpak biedt beleidsmakers inzicht in de effecten van cargobike-integratie en ondersteunt de optimalisatie van de planning van hublocaties. Toekomstig onderzoek richt zich op validatie van routevoorkeuren van cargo bike bezorgers, operationele strategieën van de bezorgdiensten, en verdere verfijning van het fietsnetwerkmodel.

1. Inleiding

Stedelijke gebieden richten zich al lange tijd op actieve vervoerswijzen voor duurzamere mobiliteit. Om pakketbezorging te verduurzamen worden microhubs geïntroduceerd als mogelijke oplossing, om de defragmentatie van stadsdistributie te verkleinen (Aljohani & Thompson, 2016). Volgens de definitie van het Urban Freight Lab (2020) zijn microhubs 'logistieke faciliteiten binnen de grenzen van stedelijke gebieden waar goederen worden gebundeld, die een beperkt aantal bestemmingen binnen een begrensd ruimtelijk bereik bedienen en een verschuiving naar emissiearme (of emissievrije) voertuigen of actieve vervoerswijzen (bijv. fietsen/lopen) mogelijk maken voor leveringen op de last yard. Microhubs vormen ook een belangrijk onderdeel van 'proximity logistics': de ontwikkeling van logistieke faciliteiten in gebieden met een hoge vraag, die in essentie stedelijk, dichtbevolkt en gemengd zijn (Buldeo Rai et al., 2022).

In veel Nederlandse steden wordt fietsen gepromoot met betere faciliteiten voor parkeren en uitbreiding van fietsinfrastructuur. Daarnaast wordt ook beleid gevormd voor duurzamere stadslogistiek en pakketbezorging, met bijvoorbeeld nieuwe slimme oplossingen zoals cargobikes of andere diensten. In deze context is het relevant om zowel het potentieel als de impact van deze cargobike diensten op het lokale fietsnetwerk en stedelijke omgeving te analyseren. In het Interreg GLEAM-project zullen casestudies worden ontwikkeld met betrekking tot de inzet van cargobikes en microhubs in de stad. Deze use cases zullen nieuwe stedelijke logistieke diensten en bedrijfsmodellen onderzoeken die cargobikes gebruiken voor emissievrije leveringen. Er wordt gebruik gemaakt van recente projecten (tour de force), Living Labs (van Duin et al., 2022), HARMONY (de Bok et al., 2024), bestaande stakeholdergroepen (Logistiek010) en nieuwe initiatieven (HUB-strategie voor Rotterdam) om veelbelovende scenario's te formuleren en te analyseren.

De stad Rotterdam heeft ook een sterk groeiend aantal fietsers en kampt met overbezetting op fietspaden en drukte in de stedelijke omgeving, met name voetgangersgebieden. Er is behoefte aan analyse van de effecten van een microhub en een cargobike oplossing op de netwerkprestaties en de druk op de stedelijke ruimte. Met de traditionele verkeersmodellen is het niet mogelijk om de benodigde indicatoren hiervoor te berekenen.

In deze studie actualiseren we het beschikbare simulatiemodel voor stedelijk vrachtvervoer, MASS-GT, en breiden we het uit met een fietsnetwerkmodel voor de evaluatie van beleidsscenario's met cargobikes. Dit netwerkmodel biedt goed inzicht in de bereikbaarheid van bestemmingen voor cargobikes, zodat het potentieel voor deze diensten kan worden beoordeeld en de directe vraag kan worden gekwantificeerd. Het model wordt toegepast op verschillende scenario's voor microhubs met cargobike bezorging om de effecten op knelpunten in het netwerk en de parkeerdruk in de openbare ruimte te onderzoeken.

2. Literatuur

Een belangrijke factor voor het succes van de implementatie van microhubs is de noodzaak van overheidsbeleid (Kim en Bhath, 2019; Urban Freight Lab, 2020). Dit onderstreept de behoefte aan empirische, betrouwbare indicatoren voor de prestaties van stedelijk goederenvervoer, maar de realiteit is dat er weinig en gefragmenteerde gegevens beschikbaar zijn over de vraag naar stedelijk goederenvervoer. Stadslogistieke simulatiemodellen kunnen relevante indicatoren opleveren voor de evaluatie van

verschillende scenario's voor de implementatie van microhubs, maar deze instrumenten zijn nog schaars.

Bestaande studies tonen het belang van simulatie aan bij het ontwerp van fietspadennetwerken. Yang et al. (2024) gebruiken simulatie van de pakketvraag om het ontwerp van fietspadennetwerken voor stedelijke bezorging in New York City te bestuderen. De studie evalueert de connectiviteit van vervoerders met wijken, maar neemt microhubs niet mee als vertrekpunt van de cargobike voor de last-yard bezorging. De groei van het aantal cargobike bezorgingen vraagt om voortdurende verbetering van het ontwerp van cargobike netwerken (Gruber, 2024). Llorca en Moeckel (2021) gebruikten een agent-gebaseerde simulator om de efficiëntie van pakketbezorging te bestuderen met behulp van een netwerk van distributiecentra en microdepots (2021).

Een belangrijke motivatie om cargobikes te gebruiken voor stedelijke bezorging is het gemak van parkeren in vergelijking tot bestelauto's (Gruber, 2024). De andere kant van dezelfde medaille is de toenemende druk op de stedelijke ruimte door het parkeren van cargobikes in de openbare ruimte. Stedelijk planners moeten toegang hebben tot betrouwbare inschattingen van de effecten van voorgestelde oplossingen om een weloverwogen afweging te kunnen maken. Het parkeren van cargobikes in de openbare ruimte is daar een voorbeeld van.

3. Methodologie

3.1 Simulatieaanpak

In onze benadering gebruiken we een agent gebaseerd stadslogistiek simulatiemodel om de pakketvraag en pakketbezorgingsritten te simuleren, vergelijkbaar met Llorca en Moeckel (2021) en Yang et al. (2024). De simulator die we gebruikten is de MASS-GT, een multi-agent stedelijk vrachtvervoersmodel ontwikkeld in HARMONY als de Tactical Freight Simulator (TFS) om de besluitvorming van vrachtagenten op het niveau van individuele bedrijven en individuele vrachtzendingen te simuleren (de Bok et al., 2025). Het stelt beleidsmakers in staat om de effecten van toekomstige scenario's op het goederenvervoersysteem te kwantificeren. De TFS onderscheidt drie hoofdsegmenten van stedelijk bedrijfsvoertuigverkeer: vrachtzendingen, pakketten en diensten. Het berekent een uitgebreide set KPI's, waaronder bereikbaarheid en emissies op het autonetwerk. Een ontbrekend element is de simulatie van de netwerkeffecten van het gebruik van cargobikes op het fietsnetwerk. Het aantal cargobike ritten en voertuigkilometers kan worden geschat, maar een netwerktoewijzing ontbreekt, waardoor knelpunten in het netwerk niet kunnen worden geïdentificeerd.

In deze studie wordt een verbeterde aanpak ontwikkeld om de beschikbare tools te integreren en te actualiseren om een fietsnetwerkmodel te ontwikkelen voor de evaluatie van stedelijke logistieke beleidsscenario's met deze vervoerswijze.

3.2 Fietstoedeling

Het bestaande verkeerstoewijzingsmodel bevat weliswaar een module voor fietstoedeling, maar deze is onvoldoende gespecificeerd om realistisch routekeuzegedrag voor cargobikes weer te geven. Dit brengt twee uitdagingen met zich mee. Ten eerste bevat het model geen gebruikersklasse die het routevoorkeursgedrag voor cargobikes

weergeeft, rekening houdend met de grotere omvang (breedte) van het voertuig, verschillende snelheden en afslagboetes. Ten tweede zijn de zonenetwerkconnectoren niet gedetailleerd genoeg om de microrouting op het eerste/laatste traject van de reis weer te geven.

De routekeuze voor cargobikes verschilt van conventionele fietsers door het gewicht en de grootte van het voertuig. Om een betrouwbare inschatting te kunnen maken van het fietspadgebruik van cargobikes, moeten de routevoorkeuren deze specifieke voorkeur vastleggen. Het fietstoedeelmodel houdt rekening met drie conventionele klassen fietsers en een nieuwe klasse voor cargobikes. De regelmatige fietsers optimaliseren de reistijd, afstand of een combinatie van beide (zie vergelijking 1 tot en met 3). Een belangrijke factor in de routevoorkeur van cargobikes is een sterke voorkeur voor korte reistijden, aangezien cargobikes worden gebruikt voor commerciële operaties. Het belangrijkste verschil tussen de klasse van cargobike gebruikers en gewone fietsers, is de grotere omvang van de cargobikes op het netwerk. Routes hebben de voorkeur met asfalt en bredere fietspaden. Bestuurders van cargobikes vermijden het liefst klinkerverharding en verkeerslichten (zie vergelijking 4).

Laat een route r een reeks opeenvolgende links a zijn, waarbij l_a = lengte van de link, v_{at} = snelheid van de link op tijdsperiode t , rt_a = weerstand van het type link, m_a = weerstand van de verharding van de link en tl_a = tijd door een stoplicht. De vier gebruikersklassen proberen elk de volgende algemene kostenfunctie te minimaliseren:

DIST: Minimalisering van de routeafstand:

$$C_{dist} = \sum_{a \in r} l_a \quad (1)$$

TIME: Minimalisering van de routetijd:

$$C_{time} = \sum_{a \in r} l_a * v_{at} \quad (2)$$

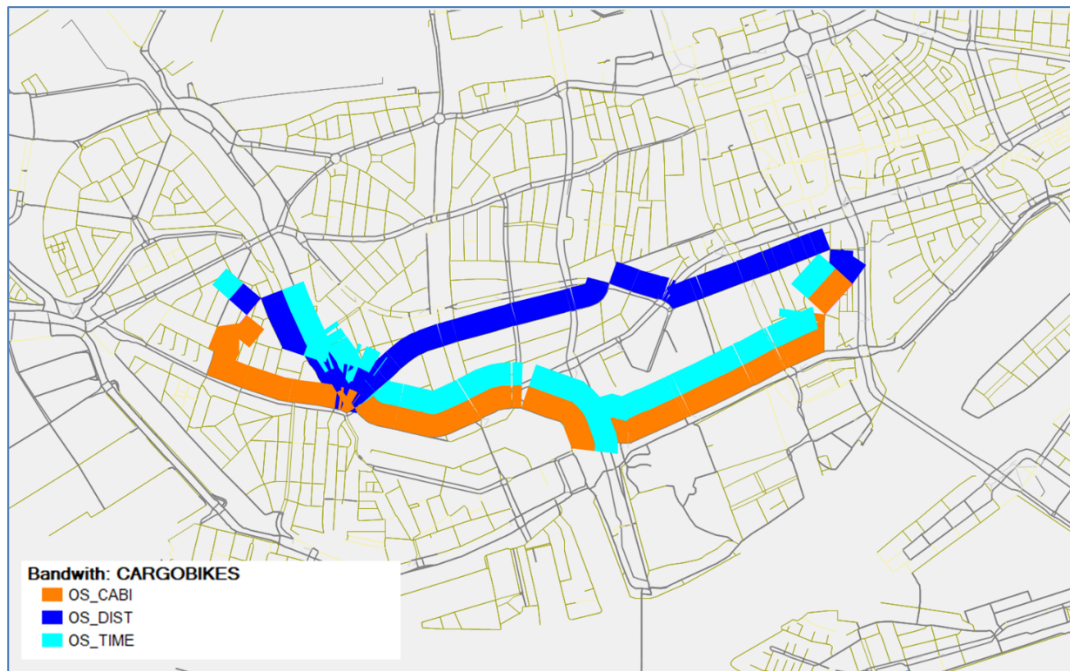
COMB: Routeafstand en tijdminimalisatie (50-50 gewichten)

$$C_{comb} = 0.5 * \sum_{a \in r} l_a * v_{at} + 0.5 * \sum_{a \in r} l_a \quad (3)$$

CABI: Routetijdminimalisatie die rekening houdt met wegkenmerken (inclusief wegtype, wegmateriaal, materiaal en verkeerslichten)

$$C_{cabi} = \sum_{a \in r} l_a * v_{at} * rt_a * m_a + tl_a \quad (4)$$

De volgende afbeelding toont het verschil in routekeuze tussen cargobike bestuurders en fietsers die de voorkeur geven aan korte routes of snelle routes. Zoals te zien is, volgt de cargobike route grotendeels de snelle route, maar waar mogelijk, bijvoorbeeld aan het einde van de route aan de linkerkant, volgt de cargobike de grijze, geasfalteerde fietslijnen in plaats van de groene, geasfalteerde straten.



Figuur 1: Routekeuze van de cargobike (oranje), ten opzichte van de kortste route (donkerblauw) en de snelste route (lichtblauw).

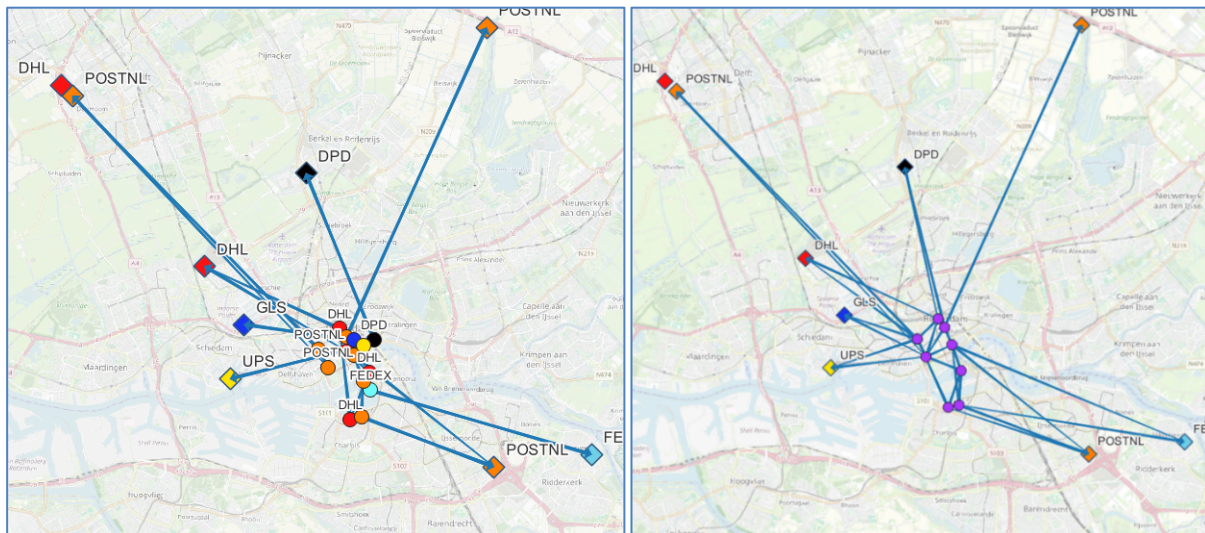
Om een betere inschatting te krijgen van de cargobike route en het parkeren op de eindbestemming, is het nodig om meer details te hebben in de modellering van de riteinden. Hoewel de verkeersanalysezones uit het model zeer gedetailleerd zijn voor verkeerstoewijzing, zijn de meeste zones nog steeds te groot en te breed om lokale microroutes van fietsroutekeuzegedrag op kleinere straten en wegen weer te geven. Om een betere voorspelling te hebben van de eindpunten van de cargobike en, wordt daarom een procedure geïmplementeerd met multipoint-toegang op het netwerk om een meer gedetailleerde en realistische spreiding over het netwerk van de cargobike ritten te hebben. De procedure maakt gebruik van een kaartlaag met adresknopen, oorspronkelijk ontwikkeld voor de verkeersintensiteitskaart op straatniveau voor de gemeente Rotterdam, die informatie bevat over de stedelijke functies op elk knooppunt (ANTEA Group, 2024). Afhankelijk van of de pakketleveringen B2B of B2C zijn, worden de ritten toegewezen aan de meest waarschijnlijke micronode.

4. Use case

In de use case vergelijken we het 'business as usual'-scenario met twee scenario's met een microhubnetwerk met cargobike bezorging in het centrum van Rotterdam. In de referentie-use case worden meer dan zeventuizend pakketten bezorgd in het verzorgingsgebied van de microhubs, met in totaal 44 gesimuleerde bezorgroutes en een totaal van 960 voertuigkilometers. Deze 44 routes worden geëxploiteerd door de zes pakketvervoerders die actief zijn in het onderzoeksgebied.

Net als in de studie van Llorca en Moeckel (2021) zijn microhubs onderdeel van de bezorgstrategie met cargobikes. De microhubs voegen een extra last-yard stap toe aan het bezorgtraject. De pakketten worden bij de microhub afgeleverd met een

geconsolideerd transport (kleine vrachtwagen). De cargobike wordt gebruikt voor de last-yard bezorging in het verzorgingsgebied. Voor de exploitatie van microhubs bestuderen we een scenario waarin de hubs door elke vervoerder afzonderlijk worden geëxploiteerd, en een scenario met gedeelde exploitatie (white-label).



Figuur 2: Cargobike netwerken in de use case. Met hubs voor één vervoerder (links) en gedeelde 'open' hubs (rechts).

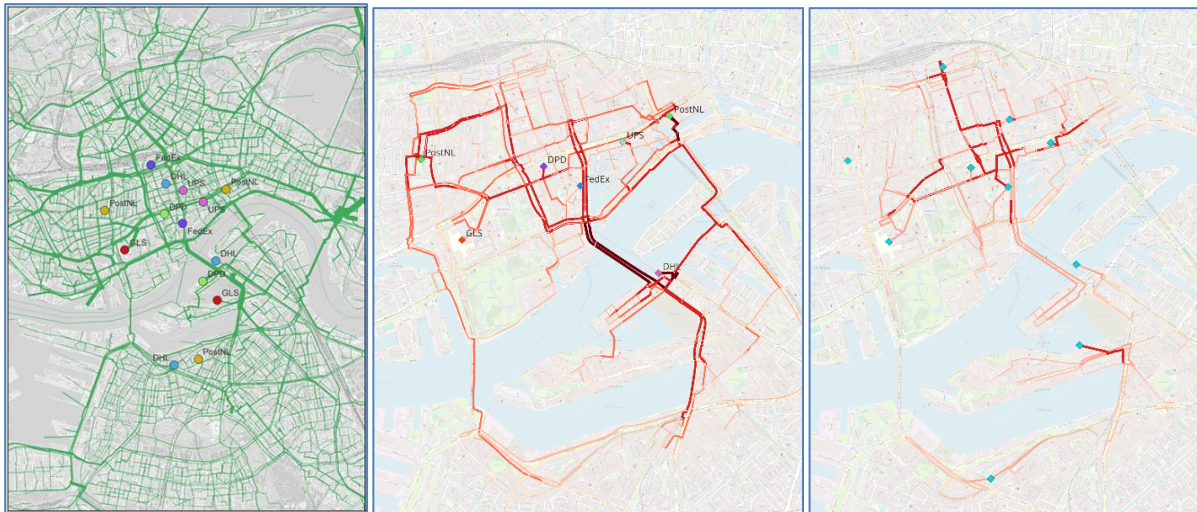
5. Simulatieresultaten

De netwerkscenario's voor cargobikes en microhubs zijn gesimuleerd om de effecten op het fietsnetwerk en de stedelijke ruimte te beoordelen. De simulaties maken het mogelijk om de effecten van verschillende cargobike scenario's op twee belangrijke indicatoren te evalueren:

1. Knelpunten in het fietsnetwerk
2. Heatmap met parkeerdruk van cargobikes

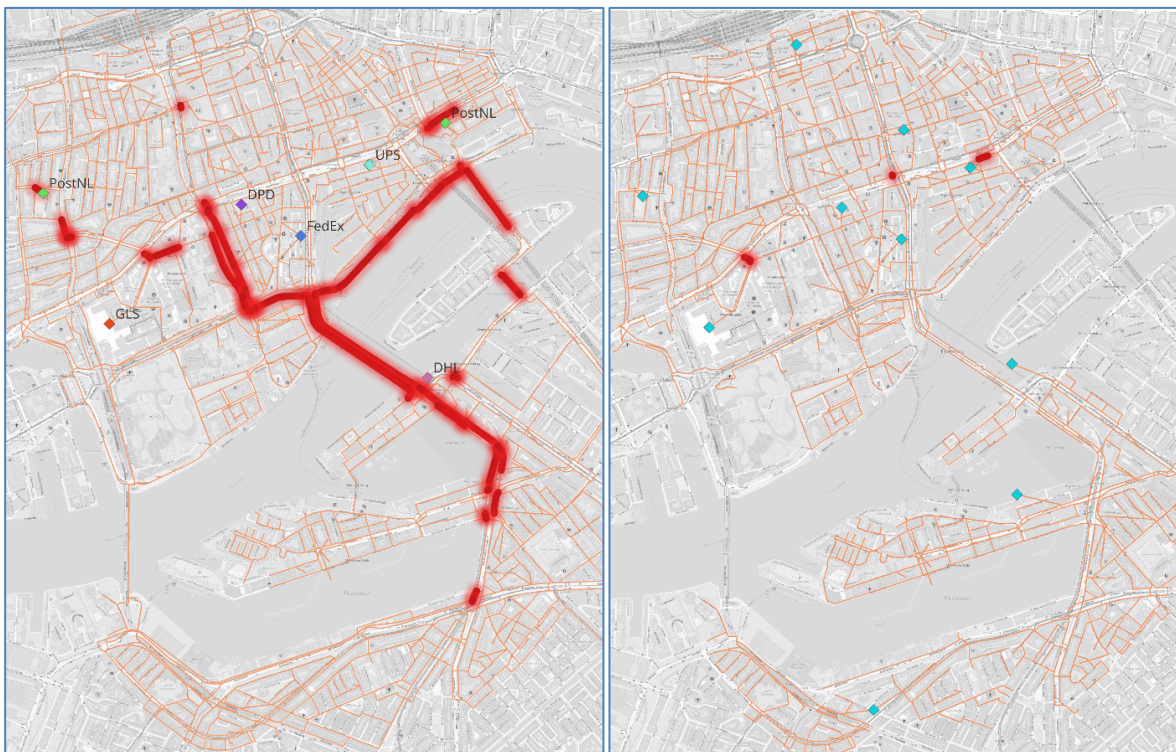
De bezorgschema's, het toekennen van pakketten aan een rondrit, zijn gesimuleerd met het stadslogistieke simulatiemodel MASS-GT. Deze bezorgschema's zijn input voor de fietstoedeling. De cargobike bezorgingsritten starten vanaf de betreffende microhub en bezoeken verschillende zones om de uiteindelijke bezorging uit te voeren totdat de capaciteit van de cargobike is bereikt (de capaciteit is aangenomen op 13 pakketten/fiets). De figuur toont de gesimuleerde bezorgritten. Een zeer duidelijk onderscheid is het aantal bezorgritten dat wordt gegenereerd wanneer vervoerders samenwerken of de microhub faciliteiten delen.

Figuur 3 toont de resultaten voor de fietstoedeling. Deze toont de intensiteit van het reguliere fietsverkeer op het netwerk en het extra cargobike verkeer in de twee scenario's. In de drukste delen van het netwerk, rond het Centraal Station of de Erasmus Universiteit, komen fietsintensiteiten van 3.000 tot 5.000 fietsers per dag veel voor. De cargobike stromen zullen een extra gebruikersgroep toevoegen aan het fietspadennetwerk. De resultaten laten duidelijke fietspatronen zien tussen de scenario's. Ook een significant hogere intensiteit van cargobike bewegingen in de scenario's met één vervoerder.



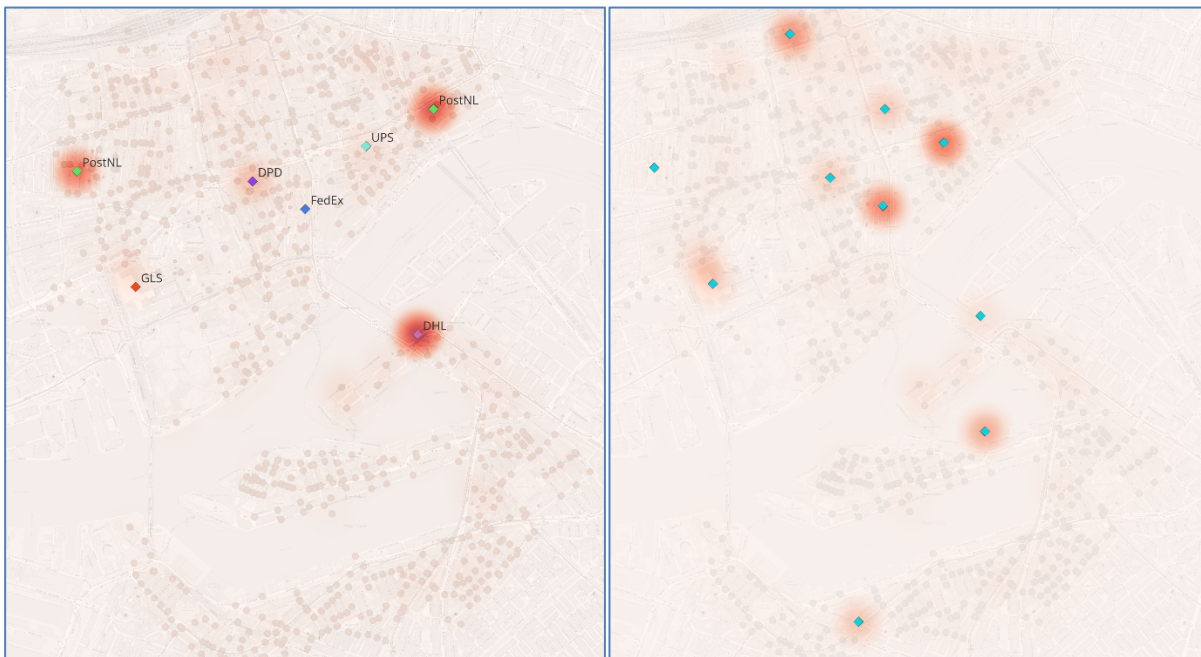
Figuur 3: Fietsintensiteiten gewone fietsers (links), cargobikes in het scenario met één vervoerder (midden) en cargobikes in het scenario met gedeelde 'open' hubs (rechts).

Om knelpunten in het fietspadennetwerk te identificeren, worden de locaties geïdentificeerd die veel worden gebruikt voor cargobikes en de gewone fietsers. Knelpunten worden gedefinieerd als schakels met een hoog gebruik van zowel cargobikes als gewone fietsers. We hanteerden een arbitraire onafhankelijke drempelwaarde van minimaal 400 gewone fietsers en 30 cargobikes. De resultaten zijn gevisualiseerd in figuur 4. Hieruit blijkt dat de netwerkconfiguratie van microhubs en de werking ervan ook van invloed is op het ontstaan van knelpunten. Een groot verschil tussen de scenario's is dat in de configuratie met één carrier de hogere intensiteiten op het netwerk ook meer potentiële knelpunten creëren. In het scenario met één vervoerder is er een indicatie van een mogelijk knelpunt in bijna alle belangrijke corridors, inclusief de oververbindingen.



Figuur 4: Knelpunten voor cargobikes en gewone fietsers op het fietsnetwerk in het scenario met één vervoerder (links) en een scenario met gedeelde 'open' hubs (rechts).

De parkeerdruk van cargobikes is te meten aan de hand van het aantal cargobike stops per adresknoop. De Figuur 5 toont de intensiteit van het parkeren van cargobikes voor pakketbezorging. Allereerst wordt het beeld gedomineerd door de hubs als hotspots met veel cargobike stops. Dit is logisch, want elke cargobike tour eindigt bij de microhub. De hoogste intensiteit van cargobike stops ligt rond de 142 stops op één locatie, voor een van de gedeelde microhubs in het samenwerkingsscenario. Het scenario met individuele hubs per vervoerder leidt tot bezorgritten met minder leveringen per stop. Als gevolg hiervan worden er meer stops gemaakt om alle leveringen in een cargobike bezorgrit te doen. Dit vertaalt zich in meer stops en een verhoogde parkeerdruk in alle wijken. In de praktijk zal dit ook te ervaren zijn, aangezien cargobike en van meerdere vervoerders in dezelfde straten zullen bezorgen. Dit zorgt ook voor meer druk van het stallen van cargobikes op de trottoirs. De heatmap kan een kwantitatieve inschatting geven van deze impact. Wanneer het wordt gecombineerd met andere lagen, bijvoorbeeld met de breedte van het trottoir of de intensiteit van voetgangers, kunnen knelpunten als gevolg van de parkeerdruk op tijd worden gesignaleerd. Dit biedt de mogelijkheid om mitigerende maatregelen te nemen in de planfase van stedelijke vernieuwing.



Figuur 5: Voorbeeld van een heatmap voor het parkeren van cargobikes in de hubs met één vervoerder (links) en gedeelde 'open' hubs (rechts).

6. Conclusies en discussie

Voor de brede afweging van stedelijke plannen voor verkeerscirculatie en stadslogistiek is het noodzakelijk om de impact van en voor alle relevante gebruikers in kaart te brengen. Voor stadslogistiek, en in het bijzonder cargobikes, zijn weinig tools beschikbaar om impacts van beleid of ontwikkelingen inzichtelijk te maken. In deze studie is een uitbreiding van een bestaand simulatiemodel voor stedelijk goederenvervoer gepresenteerd, voor de evaluatie van stedelijke logistieke beleidsscenario's met cargobikes.

De simulatie van cargobike stromen vereist een expliciet routekeuzegedrag voor cargobike rijders en voldoende detail in de zonale netwerkconnectoren om een nauwkeurige weergave van het einde van de rit te hebben. Er zijn simulatieresultaten gepresenteerd uit twee verschillende scenario's voor cargobike - en microhubs in het centrum van Rotterdam. De simulatieresultaten laten zien hoe verschillend de effecten van de scenario's uitpakken op de stedelijke omgeving. De aanpak maakt een gedetailleerde analyse mogelijk van knelpunten in het netwerk en de parkeerdruk als gevolg van grootschalige pakketbezorging met cargobikes. Deze informatie kan worden gebruikt om de locatiestrategieën voor de ontwikkeling van logistieke vrachthubs te evalueren en optimaliseren.

Toekomstige activiteiten zullen zich specifiek richten op het valideren van de routevoorkeur voor cargobikes, operationele strategieën van de bezorgdiensten, en op het vergroten van de detaillering in de ritten van de fietsnetwerkopdracht.

Referenties

- ANTEA Groep (2024) "Technische rapportage: Intensiteitenkaarten, stadslogistiek en bouwverkeer", 9 september 2024.
- Aljohani, K., R Thompson (2016). "Impacts of logistics sprawl on the urban environment and logistics: Taxonomy and review of literature." *Journal of Transport Geography* 57: 255-263 DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2016.08.009.
- Buldeo Rai, H., Verlinde, S., Merckx, J., & Macharis, C. (2017). Crowd logistics: An opportunity for more sustainable urban freight transport? *European Transport Research Review*, Vol 9(3), 39. <https://doi.org/10.1007/s1254401702566>
- de Bok, M., S Giasoumi, L Tavasszy, S Thoen, A Nadi, J Streng (2024). "A simulation study of the impacts of micro-hub scenarios for city logistics in Rotterdam." *Research in Transportation Business & Management* 56 DOI: 10.1016/j.rtbm.2024.101186.
- de Bok, M., L Tavasszy, S Thoen, L Eggers, I Kourounioti (2025). "MASS-GT: an empirical model for the simulation of freight policies", *Simulation Modelling Practice and Theory* 142 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2025.103140>.
- Gruber, J. (2024). "Results and learnings from Europe's largest cargo bike testing program for companies and public institutions." *Transportation Research Procedia* 79: 146–153
- Kim, C., & Bhatt, N. (2019). Modernizing urban freight deliveries with micro-hubs. Pembina Institute.
- Llorca, C., R Moeckel (2021). "Assesment of the potential of cargo bikes and electrification for last-mile parcel delivery by means of simulation of urban freight flows." *European Transport Research Review* 13(1) DOI: 10.1186/s12544-021-00491-5.
- Urban Freight Lab. (2020). Common MicroHub Research Project Research Scan. Washington: Supply Chain Transportation & Logistics Center.
- van Duin, R., N van den Band, A de Vries, P Verschoor, M el Ouasghiri, P Warffemius, N Anand, H Quak (2022). Sharing Logistics in urban freight transport: a study in 5 sectors. 5th International Conference Green Cities, Szczecin, Poland.
- Yang, H., H Landes, J Chow (2024). "A large-scale analytical residential parcel delivery model evaluating greenhouse gas emissions, COVID-19 impact, and cargo bikes." *International Journal of Transportation Science and Technology*, Vol 15, pp 136-154. DOI: 10.1016/j.ijtst.2023.08.002 .