



Low impact in lastmile logistics

De introductie van het ECO-model: voor duurzaam wegtransport

Door een slim ontwerp kan de uitstoot per product naar beneden

Maarten Alta

Hogeschool van Amsterdam

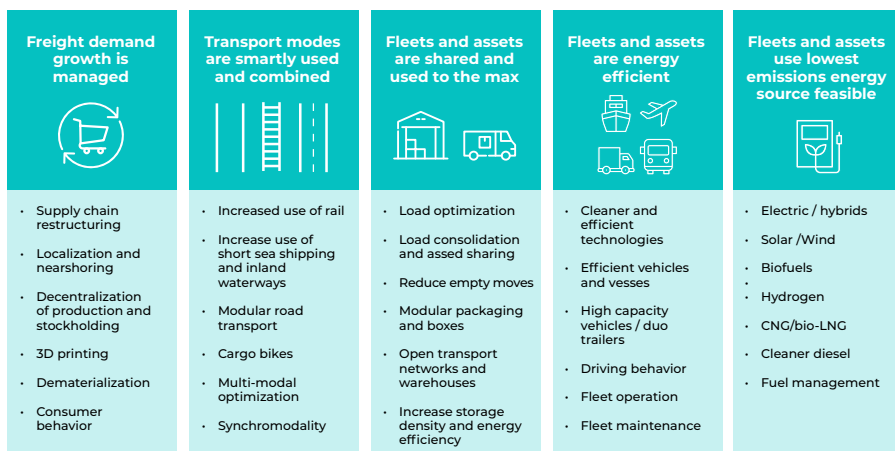
Samenvatting

Deze paper beschrijft het ECO-model. Het ECO-model is ontstaan doordat er in het onderwijs nog geen model bekend was dat de verschillende verbeterinitiatieven op het gebied van decarbonisatie in transport rubriceert en het verbeterpotentieel aangeeft per initiatief. Het geïntroduceerde model categoriseert verschillende verbeterinitiatieven volgens het acroniem ECO wat streeft naar een Efficient CO₂-arm Ontwerp van wegtransport. De eerste letter van het acroniem ECO bevat initiatieven aangaande het verhogen van de CO₂-efficiëntie tijdens laden en gebruik. CO₂-arm betreft de keuze voor de energiedrager. Daarom worden elektrisch rijden, biobrandstoffen en E-brandstoffen en verschillende modaliteiten onderzocht op hun verbeterpotentieel. De derde letter van het acroniem ECO, streeft naar een slim ontwerp van het distributienetwerk. Door een slim ontwerp kan de uitstoot per product naar beneden; dat kan door minder kilometers te maken, door aanpassing van het distributienetwerk en het warehouse en ook door laadinfrastructuur neer te zetten op slimme plekken.

Het ontstaan van het ECO-model

Het ECO-model is ontstaan doordat er in het onderwijs nog geen model bekend was dat de verschillende verbeterinitiatieven op het gebied van decarbonisatie in transport rubriceert en het verbeterpotentieel aangeeft per initiatief. Er was behoefte aan een model dat beklijft en het hele scala aan verbeterinitiatieven in zich heeft die een vervoerder kan toepassen bij het zoeken naar minder CO₂ uitstoot. Het ASI-model uit het begin van de jaren 1990 is eerst overwogen aangezien dit een manier geeft om de milieu impact van beleidsmaatregelen te structureren op het gebied van transport om zodoende de leefbaarheid van de steden te verbeteren. Het ASI-model is gefocust op de vraagkant en geeft een holistische benadering voor duurzaam transport design. ASI staat voor:

- Avoid/reduce; betreft het vergroten van efficiëntie van het transport in zijn geheel, door kilometers te vermijden bijvoorbeeld of juist minder vraag creëren.
- Shift/maintain; betreft het verhogen van efficiëntie van de individuele trip door de juiste modaliteit te kiezen
- Improve; betreft de voertuig en brandstof efficiëntie.



Figuur 1 Solutions for freight transport. Bron ALICE, 2019

Er zijn verschillende nadelen aan dit model. Het model behelst ook de vraagkant van transport aangezien Avoid/reduce ook als doel heeft om de vraag te verminderen. Dit laatste is duidelijk iets wat het nieuwe model niet beoogt. Tevens kan Reduce en Improve voor bepaalde verbeterinitiatieven overlappen of niet duidelijk zijn. Ook staat in dit model de leefbaarheid van de stad centraal, echter er is meer behoefte aan een model waar decarbonisatie centraal staat. Daar slaagt het model “solutions for freight transport” uit de Roadmap towards zero emission logistics 2050 (ALICE, 2019) beter in. Aangezien deze een compleet beeld geeft van de mogelijkheden richting zero emissie in 2050. Ook dit model heeft een aspect waarin de vraagkant wordt belicht, namelijk het consumentengedrag. Het model bekijkt door de vijf pilaren minder dan een pakkend acroniem zoals bij het ASI-model en het ECO-model wel het geval is. Tevens is het verbeterpotentieel per pilaar niet helder vastgesteld. Nadat verschillende verbeterinitiatieven zijn geïnventariseerd uit onder andere bovenstaande modellen konden deze worden gerubriceerd onder het acroniem ECO. Dit model heeft duidelijk als doel de verbeterinitiatieven op het gebied van decarbonisatie te inventariseren en het verbeterpotentieel te duiden.

Efficiëntie; het verhogen van de CO₂ efficiëntie tijdens laden en gebruik

De eerste letter van het acroniem ECO behelst de (CO₂-) Efficiëntie tijdens het opladen van de E-truck en het gebruik van de E-truck. Tijdens het opladen van E-truck betreft het de CO₂-efficiëntie die bijvoorbeeld verhoogd kan worden door gebruik te maken van stroom die minder CO₂ per kWh uitstoot. Tijdens het gebruik van de E-truck betreft het de CO₂-efficiëntie die verhoogd kan worden door een betere beladingsgraad of zuiniger rijgedrag.

CO₂-efficiency tijdens laden

Het verhogen van de CO₂ efficiency tijdens het laden kan behaald worden door stroom te gebruiken welke minder CO₂ per kWh uitstoot. Dit wordt dan ook uitgedrukt in CO₂ per kWh. Hiervoor worden CO₂ emissiefactoren gebruikt. (CO₂emissiefactoren, 2025) Grijs stroom leidt tot meer dan 500 gram CO₂ per kWh, vanwege de kolen- en gascentrales die Nederland van stroom voorzien, terwijl voor groene stroom er nul CO₂ per kWh gerapporteerd mag worden. Navraag bij een vooraanstaande consultant op het gebied van E-trucks leert dat er mondjasmaat groene energie contracten worden afgesloten bij de aanschaf van een E-truck. Het verbeterpotentieel van E-trucks wordt dus maar gedeeltelijk gerealiseerd als het gaat om CO₂ besparing.

Slimme laadtactieken kunnen ook leiden tot een lagere CO₂ uitstoot. Slimme laadtactieken zoals overdag het wagenpark opladen op zonnestroom bijvoorbeeld. Hierdoor wordt het energienetwerk ontlast en wordt er vooral hernieuwbare energie gebruikt

CO₂-efficiency tijdens gebruik

Verbeterinitiatieven wat betreft de CO₂-efficiëntie tijdens het gebruik betreft de bestuurder en de beladingsgraad. De CO₂ efficiency tijdens gebruik kan worden uitgedrukt in CO₂ per kilometer, CO₂ per ton kilometer, CO₂ per pallet of CO₂ per klant.

Bestuurder

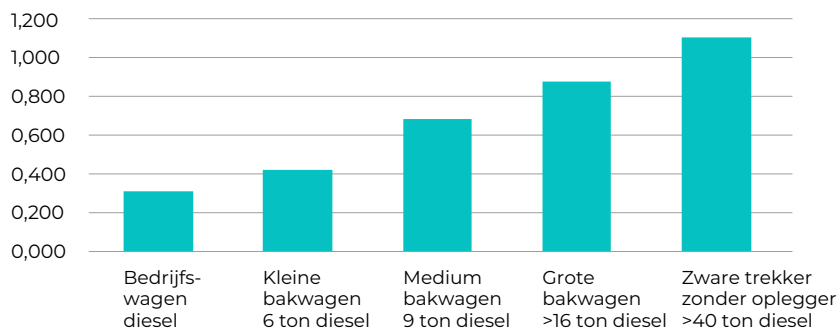
Het is belangrijk dat de bestuurder van een E-truck of elektrische bestelbus bewust is van het effect van zijn rijgedrag op het verbruik. Er kan tot 17% extra actieradius gehaald worden uit goed rijgedrag. (NT, 2024) Ook als de truck rijdt op waterstof, diesel, LPG geldt hetzelfde principe. Voor elke kilometer die er wordt gereden wordt er direct of indirect CO₂ uitgestoten. Rijstijlbegeleiding is daarom aan te bevelen om zodoende efficiënter om te gaan met de beschikbare capaciteit.

Beladingsgraad en lege kilometers

Cijfers over de beladingsgraad zijn niet goed te verkrijgen omdat niet duidelijk is welke eenheid het beste is om te meten. Zo is er jaren beladingsgraad gemeten op basis van maximale tonnage, maar dat geeft geen realistisch beeld, omdat lichte producten ook de weg op gaan. In dit geval werd de beladingsgraad gemeten door het vervoerde gewicht te delen door het maximaal toelaatbare gewicht. Beladingsgraad kan ook uitgedrukt worden in volume of vloerruimte. Voor elke wijze geldt dat het zijn beperkingen heeft. Echter, het aandeel lege kilometers kent minder discussie, dus het aandeel lege kilometers ten opzicht van de beladen kilometers. Het aandeel lege kilometers ligt al jaren rond de 30%. (CBS, 2023) Aangevend moet worden dat dit een gemiddelde is van alle sectoren en dat er grote verschillen zijn tussen

deze sectoren en tussen eigen vervoer en vervoer door logistiek dienstverleners. Neemt niet weg dat er een verbeterpotentieel is hier. Een studie van Ecorys schat het verbeterpotentieel van de logistieke efficiëntie in Nederland door innovatie in op 11 tot 16% in 2030 (Ecorys, 2021). Een recentere studie van McKinsey schat het verbeterpotentieel voor route optimalisatie, lading optimalisatie en operationele efficiency wereldwijd in op 14-18% voor 2030. (Tinnes et.al, 2024) Verbeterinitiatieven kunnen onder andere bestaan uit:

- Het vergroten van de schaalgrootte van het bedrijf. De recente overnames van transportbedrijven zou hierin een kans kunnen zijn waardoor ritten beter gecombineerd kunnen worden en lege kilometers vermeden kunnen worden.
- Het gebruiken van de Load Performance indicator (LPI). De LPI geeft inzicht in hoe efficiënt het laadvermogen is ingezet, waardoor deze gericht kan worden verbeterd. De LPI maakt inzichtelijk wat het effect is van bijvoorbeeld tijdsloten en dagelijkse leveringen op de inzet van het laadvermogen en vormt dan ook een goed uitgangspunt voor communicatie richting de ketenpartners (TopsectorLogistiek, 2025).
- Betere afspraken met verladers. Toch maar gaan rijden met 2 of drie pallets naar de klant, of leeg heen en vol terug omdat de klant nu eenmaal vraagt om op een bepaalde tijd de producten op te halen. Door betere afspraken te maken met klanten kunnen ritten worden gecombineerd en lege kilometers voorkomen.
- Delen van data; verladers en transporteurs kunnen met elkaar maar ook met andere partijen data delen. Partijen zoals Quicargo zijn hier voorbeelden van, waardoor ook weer ritten gecombineerd kunnen worden.
- De juiste mix in het wagenpark; in figuur 2 is te zien dat elke grotere combinatie grofweg 20% meer CO₂ eq uitstoot. De juiste mix in het wagenpark kan helpen om de beladingsgraad te verhogen en de CO₂ eq uitstoot te verlagen



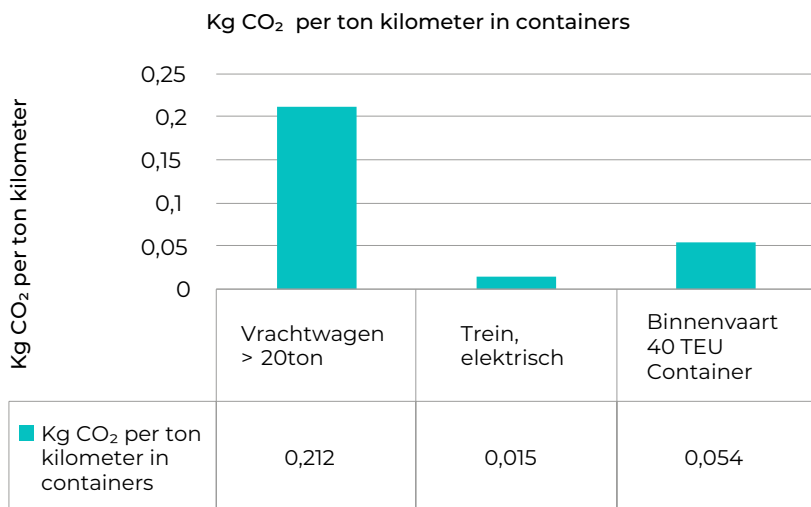
Figuur 2 CO₂ eq emissies per km per vervoersmiddel of combinatie

CO₂-arm; het kiezen van een CO₂-arme manier van vervoer

De tweede letter van het acroniem ECO streeft naar een CO₂-arme keuze van de energiedrager. Elke energiedrager heeft een andere impact op CO₂ uitstoot. Daarom worden elektrisch rijden, biobrandstoffen en E-brandstoffen en verschillende modaliteiten onderzocht.

Modal Shift

Met een modal shift wordt bedoeld dat er modaliteitswijziging plaatsvindt zodat er minder uitstoot plaatsvindt. Volgens een studie van McKinsey (Tinnes et.al, 2024) kan er in de logistiek 4-6% CO₂ worden gereduceerd door middel van het kiezen van de juiste modaliteit. Een modaliteit is in dit geval een vliegtuig, trein, spoor of vrachtwagen. Iedere modaliteit heeft zijn eigen kenmerken en is in meer of mindere mate geschikt voor het vervoeren van de betreffende vracht. We kunnen verschillende modaliteiten vergelijken op basis van CO₂ emissies zoals hier in onderstaande tabel. Op basis van deze tabel kunnen we concluderen dat de trein verreweg de minste CO₂ emissie heeft, gevolgd door de binnenvaart. Vanwege deze lagere uitstoot is geld beschikbaar gesteld door de overheid om deze modal shift mogelijk te maken waarbij mogelijke aanloopkosten (gedeeltelijk) worden gedekt. Zo zijn er voorbeelden in Nederland gerealiseerd waar suikerbieten die normaal via de weg werden vervoerd, nu vervoerd werden per bulk en container met behulp van de binnenvaart. Vervoer over het spoor, verreweg de meest duurzame manier, kent in Nederland uitdagingen op het gebied van betaalbaarheid, betrouwbaarheid, grensovergangen en de krapte op het spoornet. Dit is ook te zien in de cijfers waarin er een krimp is te zien van 12 procent in 2023 en in 2024 wordt er weer een krimp verwacht ten opzichte van 2023 in het volume over het spoor. (Evofenedex, 2024)



Figuur 3 CO₂ emissies per modaliteit

Verschillende energiebronnen

In deze paragraaf worden verschillende energiebronnen behandeld die een niet-fossiel karakter hebben. Om de impact op CO₂ te duidelijk te maken wordt bij elke energiebron aangegeven hoeveel CO₂ eq er wordt verbruikt bij de productie van de betreffende truck en het gebruik van de energiebron tot aan het einde van de levensduur. Gedetailleerde berekeningen en bronnen staan in bijlage II.

Biobrandstoffen

De eerste generatie biobrandstoffen, zoals palmolie, maakt plaats voor de tweede generatie, die gebaseerd is op afval- en reststromen, zoals gebruikte frituurolie en dierlijke vetten. Gestimuleerd door RED II ¹(Renewable Energy Directive) neemt het gebruik van HVO100 snel toe, niet alleen in transport maar ook in de luchtvaart. In figuur 4 een overzicht van de verschillende generaties in biobrandstoffen. de (Oliveira et al., 2024) Tegelijkertijd kampt de sector met uitdagingen, vooral bij grondstofbeschikbaarheid. HVO100, een hernieuwbare dieselvariant afkomstig van duurzame bronnen zoals afvalolie en dierlijke vetten, kan de CO₂-uitstoot tot 90% reduceren zoals vermeld op CO₂ emissiefactoren.nl. Tegelijkertijd blijft er bij het

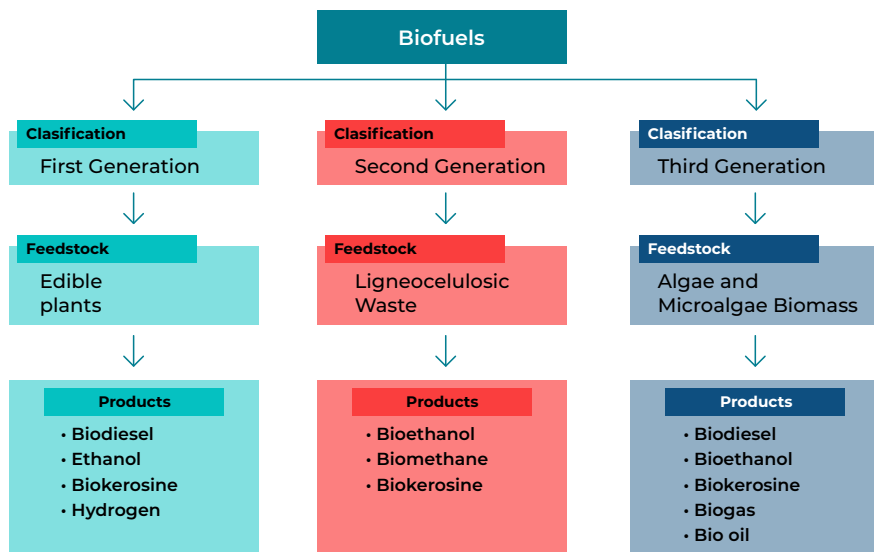
¹ De RED II (Richtlijn Hernieuwbare Energie II) is een Europese richtlijn die onderdeel is van het beleid van de EU om de overgang naar duurzame energie te bevorderen.

gebruik van HVO100 wel uitstoot van fijnstof en stikstofoxiden bestaan. Bij een niet-duurzame herkomst, zoals productie uit palmolie, kunnen echter indirecte emissies ontstaan door ontbossing. Het gebruik hiervan wordt vanwege de aanzienlijke klimaatimpact uit gefaseerd onder de RED II.

De toepassing van HVO100 in dieseltrucks zorgt voor behoud van de actieradius en functionaliteit, maar de kosten liggen hoger, afhankelijk van de marktprijs. Door nieuwe regelgeving stijgt de vraag naar HVO in sectoren zoals wegtransport, zeevaart, binnenvaart en luchtvaart. Grote ondernemersverenigingen zoals Evofenedex raden onder andere aan om over te stappen op HVO100 gezien de beperkte extra kosten en de grote CO₂ besparing. In januari 2025 lag het verschil tussen HVO100 en diesel op 15 cent per liter. Wat neerkomt op 4 cent extra per kilometer om 90% CO₂-eq. te besparen.

De derde generatie biobrandstoffen, geproduceerd door het kweken van grondstoffen, biedt een veelbelovend perspectief, maar is door technologische en schaaluitdagingen nog geen volwaardig alternatief. Ondanks de toenemende vraag naar hernieuwbare brandstoffen door regelgeving en de noodzaak tot CO₂-reductie, blijft onzeker of het aanbod voldoende kan meegroeien. Nederland zal waarschijnlijk extra hernieuwbare brandstoffen moeten importeren om aan de vraag te voldoen (Geilenkirchen, Harmsen, & Nusteling, 2024)

Een truck die rijdt op HVO100 heeft tijdens fabricage van de truck en het gebruik gedurende 1,2 miljoen kilometer 170.000 kg CO₂-eq uitgestoten. Een dieseltruck stoot meer dan 1.000.000 kg CO₂-eq uit. Dit is dus een reductie in CO₂-eq van rond de 80%.



Figuur 4 Generaties biofuels. Bron: Oliviera, 2024.

Elektrobrandstof

E-brandstof is een synthetisch alternatief voor fossiele brandstoffen, geproduceerd uit opgevangen CO₂ en grote hoeveelheden hernieuwbare energie, waarmee waterstof wordt gemaakt. Daarna wordt CO₂ toegevoegd. Hoewel de technologie nog in de kinderschoenen staat, blijft de productie van E-brandstoffen beperkt vanwege de hoge kosten ten opzichte van fossiele brandstoffen. Toch is het potentieel groot, vooral wanneer er ruim voldoende goedkope hernieuwbare energie beschikbaar is, zoals zonne-, wind- of waterenergie. In theorie is E-brandstof koolstofneutraal, omdat alleen opgevangen CO₂ wordt verbrand. Er blijven echter emissies van NO_x, fijnstof en roet aanwezig, zij het in mindere mate dan bij diesel. Volgens onderzoek zijn E-brandstoffen, vanwege de beschikbaarheid en betaalbaarheid, op termijn eerder geschikt voor sectoren die niet direct geschikt zijn voor elektrificatie zoals de luchtvaart en scheepvaart en de zware industrie (Ueckerdt et al., 2021).

Een truck die rijdt op E-brandstoffen stoot tijdens fabricage van de truck net zoveel uit als de truck met een verbrandingsmotor, het zijn in feite dezelfde trucks. Naar de uitstoot tijdens het opwerken van de E-brandstof en het verbranden van de E-brandstof moet nog meer onderzoek worden gedaan.

Waterstof

Waterstoftechnologie is een opkomende innovatie die al succesvol wordt toegepast in specifieke situaties. Hoewel betaalbaarheid en beschikbaarheid momenteel uitdagingen vormen, zijn actieradius en functionaliteit vaak toereikend. Waterstof kan zowel worden ingezet als vervanging voor diesel in verbrandingsmotoren als in elektrische trucks met brandstofcellen. Bij gebruik in brandstofcellen worden geen CO₂- of NO_x-emissies geproduceerd. Een nadeel van brandstofcellen is de hoge productiekostprijs en de complexiteit van de grondstofvoorziening. In een verbrandingsmotor is waterstof echter 30-40% minder efficiënt dan in een brandstofcel. Aangezien de beschikbaarheid van waterstof momenteel beperkt is zijn er Europese afspraken gemaakt. Deze bepalen dat er vanaf 2030 om de 200 kilometer een waterstoftankstation moet komen langs Europese kernwegen. (EU, 2023)

Volgens TNO is waterstof in de toekomst een goed alternatief waar batterij-elektrische oplossingen tekortschieten zoals zware wegvoertuigen en de scheepvaart (TNO., 2024).

Een truck met een verbrandingsmotor die rijdt op groene waterstof heeft na fabricage van de truck en het gebruik na 1,2 miljoen kilometer 179.000 kg CO₂-eq uitgestoten. Een truck met een brandstofcel die rijdt op groene waterstof heeft na fabricage van de truck en het gebruik na 1,2 miljoen kilometer 175.000 kg CO₂-eq uitgestoten.

Uit deze cijfers blijkt dus dat waterstof in een brandstofcel of in een verbrandingsmotor nauwelijks van elkaar verschilt qua uitstoot CO₂-eq na 1,2 miljoen kilometer als we de vrijgekomen CO₂ eq bij productie van de truck ook meerekenen.

BIO-LNG

BIO-LNG wordt geproduceerd door dierlijke mest en afval om te zetten in biomethaan. Dankzij de grondstoffen kan BIO-LNG lokaal worden geproduceerd. Door de hoge energiedichtheid is BIO-LNG geschikt voor langeafstandstransport. Het gebruik van BIO-LNG kan leiden tot een CO₂-reductie van meer dan 80% vergeleken met diesel. BIO-LNG is niet wijd verspreid beschikbaar, maar het aantal punten waar het beschikbaar is groeit ieder jaar.

Een truck met een verbrandingsmotor die rijdt op BIO-LNG heeft tijdens fabricage van de truck en het gebruik gedurende 1,2 miljoen kilometer bijna 200.000 kg CO₂-eq uitgestoten.

Elektrificatie

Volgens een studie van McKinsey (Tinnes et.al, 2024) heeft elektrificatie voor 2030 het potentieel om 10-12% CO₂ te besparen. Batterijvoertuigen hebben dus potentie, nadelen kunnen zijn dat de aanschafprijs te hoog is, te korte actieradius of een beperkte functionaliteit en de milieu-impact bij het mijnen van de grondstoffen en de productie van de batterijen is significant, denk dan aan de milieu schade en de energie die nodig zijn om de grondstoffen te bewerken. Echter tijdens de operatie geeft de E-truck belangrijke voordelen op het gebied van emissies op de plek waar de E-truck zich bevindt. Indirect treden er echter wel emissies op als de energie niet op een duurzame wijze wordt opgewekt.

Batterij-elektrisch rijden is tevens de meest energie-efficiënte manier van rijden. Als we dit vergelijken met een dieselmotor dan gaat er veel meer energie naar de aandrijving, waar dit bij een verbrandingsmotor deels opgaat aan warmte. Het aanschaffen van elektrisch vervoer is complex, vandaar dat we in deel twee van deze reader dieper ingaan op de elektrificatie van wagenparken.

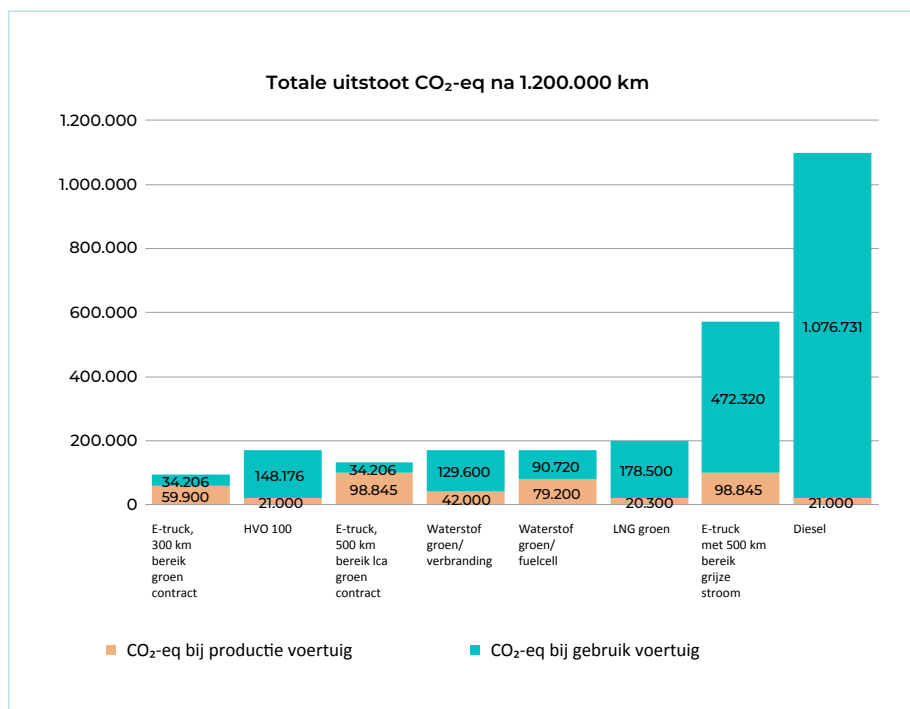
Een truck met elektrische aandrijving met een bereik van 300 kilometer heeft tijdens fabricage van de truck en door het gebruik van groene stroom gedurende 1,2 miljoen kilometer 88.000 kg CO₂-eq uitgestoten. Een truck met elektrische aandrijving met een bereik van 500 kilometer heeft tijdens fabricage van de truck en door het gebruik van groene stroom gedurende 1,2 miljoen kilometer 127.000 kg CO₂-eq uitgestoten. Het verschil tussen beide is te verklaren door de milieu impact van de grotere batterij. Beide waarden zijn berekend op basis van een zakelijk groen stroom contract met een mix van zon, wind en biomassa.

Conclusies

In figuur 5 zien we de uitstoot bij fabricage en bij gebruik van de truck. We kunnen concluderen dat:

- De batterij-elektrische truck met een bereik van 300 kilometer heeft een relatief lage CO₂ eq uitstoot. Opgemerkt moet worden dat er wordt uitgegaan van groene stroom, als er gedurende de levensduur wordt geladen met grijzere stroom dan zal de hoeveelheid CO₂ eq snel oplopen.
- De E-truck met een grotere accu heeft een hogere CO₂ eq impact door de uitgestoten CO₂ eq bij productie.
- HVO100 en BIO-LNG zijn goede alternatieven op het gebied van duurzaam transport aangezien deze minimaal 80% besparen op CO₂ eq en een relatief lage uitstoot hebben bij fabricage van de truck.

Waterstoftrucks met of zonder brandstofcel hebben ongeveer een gelijke uitstoot. De waterstof-tank zorgt voor CO₂ eq uitstoot bij productie bij beide trucks, en het accupakket van een brandstofcel zorgt weer voor extra uitstoot bij productie. Wat daarna weer gedeeltelijk wordt gecompenseerd door de hogere efficiëntie van de brandstofcel ten opzichte van de verbrandingsmotor. Opgemerkt moet worden dat er hier is uitgegaan van groene waterstof, indien er gedurende de levensduur wordt getankt met grijze waterstof dan zal de CO₂ eq die wordt uitgestoten zeer snel stijgen, mogelijk tot boven de CO₂ eq uitstoot van diesel.



Figuur 5 totale uitstoot bij verschillende energiebronnen

Ontwerp; door een slim ontwerp CO₂ vermijden

De derde letter van het acroniem ECO streeft naar een slim Ontwerp. Door een slim ontwerp kan de uitstoot per product naar beneden; dat kan door minder kilometers te maken door aanpassing van het distributienetwerk, door aanpassingen in het warehouse en ook door laadinfrastructuur neer te zetten op slimme plekken.

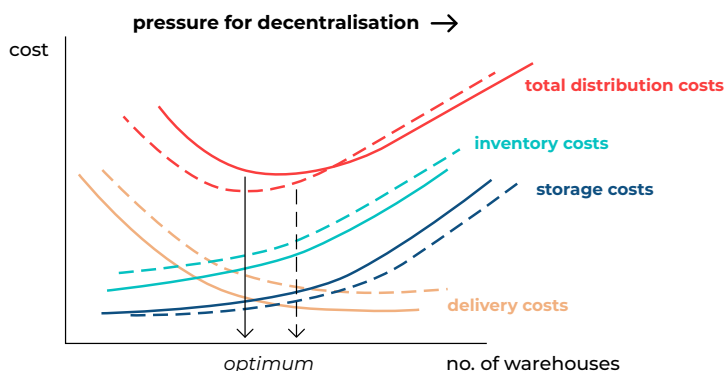
Distributienetwerk

Het ontwerp van een distributienetwerk speelt een cruciale rol in de logistieke keten. Het bepaalt niet alleen welke afstanden met welke voertuigen worden afgelegd, maar heeft ook directe impact op elektrificatie en duurzaamheid. Binnen een distributienetwerk onderscheiden we drie belangrijke schakels:

- Distributiecentra (DC's)
- Hubs
- Microhubs

Een interessante dynamiek binnen deze schakels wordt weergegeven in onderstaande figuur van McKinnon. (McKinnon, 2009) Hieruit blijkt dat naarmate het aantal distributiecentra toeneemt, de totale distributiekosten aanvankelijk dalen. Dit komt doordat de gemiddelde afstand tot de klant kleiner wordt, wat de leverkosten reduceert. Echter, er is een kantelpunt: na een bepaald optimum stijgen de kosten weer. Dit komt doordat de hogere kosten van extra DC's niet langer worden gecompenseerd door de dalende leverkosten.

De keuzes die worden gemaakt in het ontwerp van het distributienetwerk hebben directe gevolgen. Kijkend naar de impact van decentralisatie op afgelegde kilometers en CO₂-uitstoot, zien we een soortgelijk patroon. De totale uitstoot stijgt in eerste instantie, door een toename in afgelegde kilometers, en daalt daarna weer. Dit verloop hangt sterk samen met het type voertuigen dat wordt ingezet. Bij gebruik van voertuigen met traditionele verbrandingsmotoren is de CO₂-uitstoot namelijk direct gekoppeld aan de afgelegde afstand.



Figuur 6 Decentralisatie en de kosten. Bron. McKinnon (2009)

De uitdaging ligt in het vinden van dat optimum: een balans tussen efficiëntie, kosten-beheersing en duurzaamheid. Om dit te kunnen doen is er een gedetailleerde data gedreven begrip nodig van de huidige DC's, operationele kosten, vraagvoorspelling en scenario planning (Tinnes et.al, 2024).

In de afgelopen decennia zijn distributienetwerken nog decentraler geworden en kwam de introductie van hubs en microhubs. In de jaren 70 werden er verscheidene hubs in Europese steden geïmplementeerd. Een hub is een logistieke basis in de nabijheid van de plaats waar de service wordt geleverd. Een microhub is nog dichterbij de klant en levert aan een nog kleinere groep klanten of gebied. Het voordeel van een microhub is dat uit meerdere studies is gebleken dat de totale operationele tijd voor vervoerders lager werd omdat de servicetijd, de tijd voor het lossen en leveren wordt gereduceerd (Lee, 2019). In bijlage I worden er meerdere varianten beschreven hoe je een microhub kan inrichten.

Kortom, het distributienetwerk bepaalt, in bepaalde mate, wat de afstanden zijn die overbrugd moeten worden. Ergens in de netwerkconfiguratie ligt een optimum als het gaat om de hoeveelheid Dc's, waarbij het aantal kilometers is geminimaliseerd. Dit kan van belang zijn op het moment dat kilometers, of actieradius van een voertuig, een bottleneck is binnen de netwerkconfiguratie en wanneer je op CO₂ eq, dus ook afstand, wilt minimaliseren.

Warehouses (Distributie centra)

Warehouses (of distributiecentra) kunnen CO₂ reduceren door de energievraag te verminderen zoals in onderstaande usecases.

User case GLS

GLS exploiteert bijvoorbeeld een zelfvoorzienend, emissievrij magazijn in Essen met vrijwel gesloten hulpbronnenkringlopen voor lucht, water en elektriciteit. Dit omvat het investeren in ventilatoren en verlichtings- en temperatuursensoren; het verbeteren van het gebouw om energie vast te houden; het ter plaatse inzetten van hernieuwbare energiebronnen en het gebruik van elektrische apparatuur (Tinnes et.al, 2024).

Join the move to -15 degrees

Diepgevroren voedsel wordt vaak bewaard bij -18 graden, deze standaard is vastgesteld in het midden van de 20e eeuw waarbij een goede marge is aangehouden. Echter, veel producten presteren ook goed bij -12 graden. Elke graad lager kost 2 tot 3% meer energie (Dpworld, 2025). Een variant hierop is dat vrieshuizen bij een overvloed aan hernieuwbare energie de temperatuur verlagen en deze later weer laten oplopen.

Laadplekken

Er kan aanzienlijke CO₂-besparing worden gerealiseerd door strategisch laden binnen het distributienetwerk mogelijk te maken. Een hogere laadfrequentie maakt het mogelijk om een kleiner accupakket te gebruiken. De ecologische voetafdruk van een accu is dermate groot dat er een bewuste keus gemaakt moet worden als het gaat om de grootte van het accupakket. Uit onderzoek van het International Council on Clean Transportation (ICCT) naar personenwagens blijkt dat bij drie soorten rijders het energieverbruik met 8-10% toeneemt, de emissies met 15-20% hoger liggen en de Total Cost of Ownership met 15-23% stijgt wanneer de actieradius wordt vergroot van 250 naar 500 kilometer door het gebruik van een groter accupakket (Poupinha & Dornoff, (2024).

Tevens heeft onderzoek aangetoond dat voor elke extra kWh aan batterij-capaciteit er tussen de 61 en 106 kWh CO₂-eq. wordt uitgestoten (Emilsson & Dahllöf, 2019). Dit is van belang, aangezien de productie van batterijen een aanzienlijke milieubelasting veroorzaakt en elke extra kWh aan capaciteit tot extra uitstoot leidt. Je kan hierin onderscheid maken tussen:

- Elektrisch laden op strategische plekken. Door een Europees en/of landelijk dekkend netwerk van laadinfrastructuur kan de batterijgrootte worden beperkt. Europese afspraken zoals de Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR) draagt hieraan bij. Deze bepaalt dat om de 60 kilometer laadpalen moeten worden geïnstalleerd met een vermogen van minstens 350kW, tegen 2030 op aangewezen routes (EU, 2023).
- Elektrisch opladen door middel van een Electronic Road Systeem. Hierdoor kan een vrachtwagen opladen tijdens het rijden. Hierdoor worden trajecten haalbaar gemaakt en kan er op accupakketten worden bespaard. Door het gebruik maken van een ERS kan 33% CO₂ bespaart worden uitgaande van de verwachte energiemix in 2030 (van Ommeren et al., 2022).

Bevindingen

Verwacht wordt dat E-trucks vanaf 2030 in een stroomversnelling komen vanwege beleidsmaatregelen en financiële prikkels. In de komende jaren is er behoefte aan een transitiebrandstof zoals HVO100 en BIO-LNG.

Zowel bij de E-truck als de waterstoftruck is groene energie een must, in de praktijk wordt er veel grijze stroom gebruikt voor E-trucks waardoor het CO₂ verbeterpotentieel niet ten volste wordt benut.

Zoals vastgelegd in het klimaatakkoord, moet de energiemix tegen 2030 voor 70% uit duurzame bronnen bestaan. Dit verlaagt de CO₂-uitstoot bij zowel de productie van een truck als het verbruik van energie van de trucks die (hernieuwbare energie) gebruiken en daarmee kan het verbeterpotentieel van E-trucks verder gerealiseerd worden.

Discussie

Er zijn twee verschillende duurzaamheidsmodellen onderzocht, alvorens het Eco-model te ontwikkelen. Er zullen echter nog meer modellen zijn die niet zijn onderzocht. Dit is wellicht een gemiste kans voor het onderzoek geweest aangezien dit had kunnen bijdragen aan het Eco-model. De bronnen die gebruikt zijn voor de berekeningen van CO₂ uitstoot tijdens fabricage van vrachtwagens zijn zeer verschillend. Het varieert tot sites van vrachtwagen fabrikanten en wetenschappelijke bronnen. Zoals de waterstof truck met en zonder fuelcell. Hierbij zijn berekeningen gebaseerd op wetenschappelijk onderzoek en voor andere trucks zijn vrachtwagenfabrikanten als bron opgevoerd. Ook als het gaat om verbruik dan zijn er verschillende bronnen gebruikt. De verwachting is echter wel dat de conclusies die zijn getrokken niet zullen veranderen. De lijst van verbeterinitiatieven is niet compleet, er zullen nog andere initiatieven zijn die niet aan bod zijn gekomen. Dit kan later aangevuld worden.

Literatuurlijst

- ALICE (2019). *A framework and process for the development of a roadmap towards zero emissions logistics in 2050*. Opgehaald van <https://www.etp-logistics.eu/wp-content/uploads/2019/12/Alice-Zero-Emissions-Logistics-2050-Roadmap-WEB.pdf>
- Co₂emissiefactoren (2025). Opgehaald van [Co2emissiefactoren.nl](https://co2emissiefactoren.nl)
- de Oliveira, D. T., de Mescouto, V. A., de Jesus Paiva, R., da Silva, S. R. F., Santos, L. A. B., Serra, G. M., Xavier, L.P., Rodrigues-Noronha, R.C., & de Nascimento, L. A. S. (2024). Use of Residual Lignocellulosic Biomass and Algal Biomass to Produce Biofuels. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(15), 8299. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2024, 8 28). *Belasting zware motorrijtuigen (Eurovignet)*. Opgehaald van ondernemersplein KVK: <https://ondernemersplein.kvk.nl/belasting-zware-motorrijtuigen-eurovignet/>
- Dpworld. (2025). Opgehaald van <https://www.dpworld.com/sustainability/jointhetomovetominus15>
- Ecorys (2021). *Terugsluis Vrachtwagenheffing, Effecten van verbetering van logistieke*.
- Emilsson, E., & Dahllöf, L. (2019). *Lithium-ion vehicle battery production-status 2019 on energy use, CO₂ emissions, use of metals, products environmental footprint, and recycling*. IVL

- EU (2023). *Europese Green Deal: ambitieuze nieuwe wet voor de uitrol van toereikende infrastructuur voor alternatieve brandstoffen*. Brussel.
- European Council, (2023, Dec 14). *Press release*. Opgehaald van <https://www.consilium.europa.eu/>: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/12/14/corporate-sustainability-due-diligence-council-and-parliament-strike-deal-to-protect-environment-and-human-rights/>
- Evofenedex (2024). Opgehaald van <https://www.evofenedex.nl/actualiteiten/>
- Geilenkirchen, G.P., Harmsen, J., & Nusteling, A.W.H. (2024). *Klimaatneutrale mobiliteit in 2050 een verkenning van beelden en paden daar naartoe*. TNO.
- Lee, J. (2019). *Delivering Last-Mile*. Calgary: PEMBINA.
- McKinnon, A. (2009). The present and future land requirements of logistical activities. *Land use policy*, 26, S293-S301..
- Poupinha, C., & Dornoff, J. (2024). *The bigger the better? How battery size affects real-world energy consumption, cost of ownership, and lifecycle emissions of electric vehicles*. Opgehaald van <https://theicct.org/publication/bev-battery-size-energy-consumption-cost-ownership-lca-ev-apr24/>
- Roque, L. F. A., da Costa, R. B. R., de Souza, T. A. Z., Coronado, C. J. R., Pinto, G. M., Cintra, A. J. A., Raats, O.O, Oliveira, B.M., Frez, G.V. & Alves, L. F. R. (2023). Experimental analysis and life cycle assessment of green diesel (HVO) in dual-fuel operation with bioethanol. *Journal of Cleaner Production*, 389, 135989. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.d.).Mobiliteit en MIA\Vamil
- Tinnes, E., Perez, F., Kandel, M., & Probst, T. (2024). Decarbonizing logistics: Charting the path ahead. *McKinsey & Company*. Opgehaald van <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/decarbonizing-logistics-charting-the-path-ahead?stcr=4D886553EE74C139458620902DEDDBF&cid=other-eml-alt-mip-mck&hlkid=1b88840f1b404883a4a2ea16b633eb1b&hctky=1234124&hdpid=d3681e08-4972-4421-8e9>
- TNO (2024). *Waterstofmotor als vliegwiel voor energietransitie*. Opgehaald van [tno.nl: https://www.tno.nl/nl/duurzaam/mobiliteit-logistiek/waterstof-energietransitie/?utm_source=chatgpt.com](https://www.tno.nl/nl/duurzaam/mobiliteit-logistiek/waterstof-energietransitie/?utm_source=chatgpt.com)
- TopsectorLogistiek. (2025, 1). *TNO: LPI geeft inzicht in laadprestaties en verbeterpotentieel*. Opgehaald van <https://topsectorlogistiek.nl/tno-lpi-geeft-inzicht-in-laadprestaties-en-verbeterpotentieel/>
- Ueckerdt, F., Bauer, C., Dirnaichner, A., Everall, J., Sacchi, R., & Luderer, G. (2021). Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 11(5), 384-393.
- Urban Freight Lab (2020). *Common MicroHub*. Washington: University of Washington.

van Ommeren, K., Haanen, P., Lelieveld, M., Aldenkamp, M., van der Woude, T., van Sloten, R., Quee, J., & Ploos van Amstel, W. (2022). Analyse kosteneffectiviteit Electric Road Systems (ERS) voor Nederland. Decisio.

Volvo. (2024). *Alternatieve brandstoffen voor vrachtwagens*.

Bijlage 1 Microhubs

Er zijn meerder manieren hoe je een microhub kan inrichten in je operationele model. Hier worden vier opties voor genoemd: (Lee, 2019)

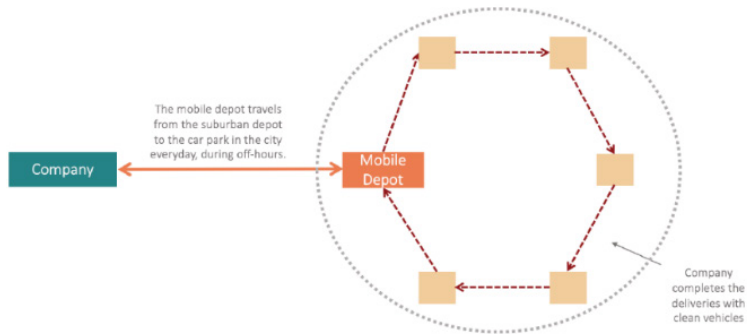
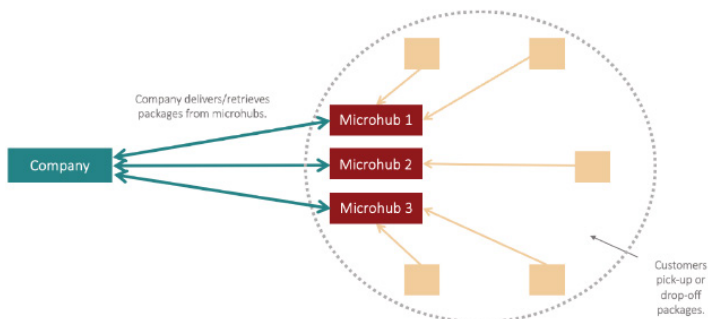


Figure 1 Single carrier consolidation approach with the use of mobile depots

Single carrier consolidation; in deze configuratie wordt een mobiel depot naar een centrale locatie gebracht en vanuit daar vinden de leveringen plaats.

Figure 2: Single carrier consolidation approach with pick-up points

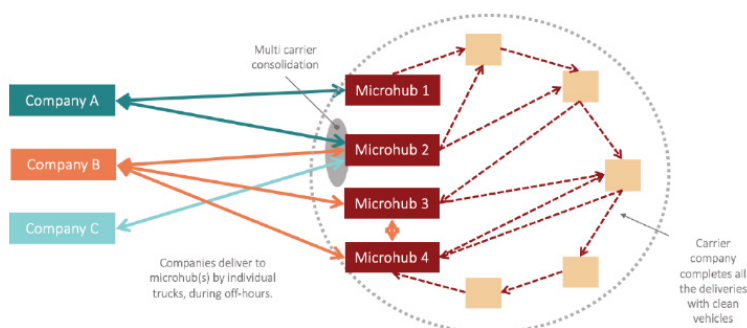


Single carrier consolidation approach with pick-up points. In deze configuratie worden er pick-up points gerealiseerd waarin de klant pakketjes kan ophalen of wegbrengen. Voordeel van deze manier van werken is dat de klant zelf kan bepalen

wanneer dit gebeurd en de vervoerder zal dus niet meer voor een dichte deur komen te staan. Deze variant kan ook uitgevoerd worden in een *Multi-carrier consolidation approach*. In dit geval zullen de microhubs beheerd worden door meerdere bedrijven. Echter, de klant kan nu de pakketjes afroepen bij de vervoerders.

Een laatste variant is de *Mixed multi-carrier consolidation* waarin bepaalde microhubs een consolidatieslag maken en vanuit daar geleverd wordt en andere microhubs maken hun ronde zonder consolidatieslag. (Urban FreightLab, 2020)

Figure 4: Mixed multi-carrier consolidation approach



Bijlage 2 toelichting op totale uitstoot CO₂

de CO₂ emissies tijdens gebruik zijn berekent aan de hand van de emissiefactoren die in Nederland worden gehanteerd via co2emissiefactoren.nl in 2025. De CO₂ bij productie van de trucks komt via sites van verschillende fabrikanten. Aannames moesten worden gedaan bij de waterstof trucks. Voor het verbruik van de trucks zijn gemiddeldes genomen. Bij recycling van de trucks kan CO₂ gedeeltelijk worden teruggewonnen. Dit is niet in de histogrammen te zien, volgens Volvo (2024) kan bij een verbrandingsmotor 6.750 kg CO₂ worden teruggewonnen en 16.500 kg CO₂ bij een batterijtruck met een klein accupakket. Recycling cijfers van andere modellen zijn niet gevonden. Bij het berekenen van de emissies van stroom van de E-trucks is uitgegaan van energiemix van een zakelijk groen energie contract van Greenchoice. Hiervan is per energiebron de LCA bepaalt aan de hand van de waardes van co2emissiefactoren.nl.