

TNO-rapport

TNO 2020 R11938

**Decamod: toolbox voor rekenen aan
CO₂-reductie in transport en logistiek**

Traffic & Transport

Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
Postbus 96800
2509 JE Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

Datum	30 november 2020
Auteur(s)	A. Rondaij, J.S. Spreen
Exemplaarnummer	2020-STL-RAP-100336302
Aantal pagina's	40 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	6
Opdrachtgever	Topsector Logistiek
Projectnaam	Connekt Decamod 2
Projectnummer	060.39706

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2020 TNO

Samenvatting

In 2019 is in Nederland het Klimaatakkoord gesloten. Met dat akkoord geeft Nederland invulling aan het in wereldwijd verband gesloten Klimaatverdrag van Parijs in 2015, met als doel de opwarming van de aarde te beperken tot maximaal 2 graden Celsius.

Voor de logistieke sector betekent het Nederlands Klimaatakkoord kortgezegd dat in het jaar 2050 de CO₂-uitstoot ten gevolge van transport en logistiek naar zo goed als nul moet zijn teruggebracht. De uitvoering van het Klimaatakkoord zal de komende jaren naar verwachting dan ook leiden tot een groeiende behoefte aan objectieve informatie over de effecten en kosten van maatregelen om de CO₂-uitstoot te reduceren.

Daarom heeft Topsector Logistiek, vertegenwoordigd door Connekt, TNO gevraagd kennis en tools te ontwikkelen om dit soort vragen te kunnen beantwoorden. Dat heeft geleid tot een verzameling van tools, databases én expertise, die samen 'Decamod' worden genoemd. Decamod bevat een CO₂-boekhoudmodel waarmee het effect van maatregelen voor CO₂-reducties in de logistiek kunnen worden doorgerekend. Met Decamod kunnen zogenaamde 'what-if'-analyses worden uitgevoerd om de effecten van verschillende verduurzamingsscenario's inzichtelijk te maken.

Dit rapport geeft een beschrijving van de Decamodtoolbox en laat zien welke gegevens op welk detailniveau zijn opgenomen in de Decamod-databases en van welke databronnen gebruik is gemaakt. Bovendien gaan we in op de methodologie achter de effectberekeningen van maatregelen en op de manier waarop wij Decamod onderhouden, valideren en up-to-date houden. Daarnaast beschrijven we hoe het Decamod-*proces* eruitziet: welke stappen we met de vraagsteller doorlopen om tot een analyse van de impact van decarbonisatiemaatregelen te komen. Ten slotte gaan we in op toekomstige ontwikkelingen die de Decamodtoolbox kunnen ondersteunen of een mogelijke uitbreiding van de toolbox vormen. Zo zouden veel analyses in ieder geval profiteren van meer of betere data, data met een hoger detailniveau, en betere koppelingen tussen verschillende databronnen.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
1.1	Achtergrond	4
1.2	Vraagstelling	4
1.3	Leeswijzer	4
2	Decamodtoolbox.....	6
2.1	Basisscenario: autonome ontwikkeling logistieke sector 2014-2030	6
2.2	Decamod-effectberekeningen	13
2.3	Actualisatie, onderhoud en validatie.....	18
3	Decamodproces.....	20
3.1	Stap 1: Vraagarticulatie	20
3.2	Stap 2: Voorstel voor plan van aanpak	20
3.3	Stap 3: Dataverzameling	20
3.4	Stap 4: Decamod-effectberekening	20
3.5	Stap 5: Presentatie resultaten en iteratieslag.....	20
3.6	Stap 6: Decamod-effectrapportage	21
4	Toekomstige ontwikkelingen	22
4.1	Data	22
4.2	Gedragaspecten	24
5	Referenties	31
6	Ondertekening	32
	Bijlage(n)	
	A Definities en afkortingen	
	B Kostenkengetallen	
	C Datadimensies en -indeling	
	D NST 2007-classificering	
	E Binnenvaartvloot	
	F Datavereisten in ideale situatie	

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In 2019 is in Nederland het Klimaatakkoord gesloten. Met dat akkoord geeft Nederland invulling aan het in wereldwijd verband gesloten Klimaatverdrag van Parijs in 2015, met als doel de opwarming van de aarde te beperken tot maximaal 2 graden Celsius. De doelstellingen in het Nederlands Klimaatakkoord zijn fors: voor de logistieke sector betekent het kortgezegd dat in het jaar 2050 de CO₂-uitstoot ten gevolge van transport en logistiek naar zo goed als nul moet zijn teruggebracht.

1.2 Vraagstelling

De uitvoering van het Klimaatakkoord zal de komende jaren naar verwachting leiden tot een groeiende behoefte aan objectieve informatie over de effecten en kosten van maatregelen om de CO₂-uitstoot te reduceren. Daarom heeft Topsector Logistiek, vertegenwoordigd door Connekt, TNO gevraagd kennis en tools te ontwikkelen om dit soort vragen te kunnen beantwoorden. Dat heeft geleid tot een verzameling van tools, databases én expertise, die samen 'Decamod' worden genoemd. Decamod bevat een CO₂-boekhoudmodel waarmee inzicht kan worden verkregen in de impact van decarbonisatiemaatregelen¹ in de logistiek. Met Decamod kunnen zogenaamde 'what-if'-analyses worden uitgevoerd om de effecten van verschillende verduurzamingsscenario's inzichtelijk te maken. Na het definiëren van de te analyseren scenario's kan Decamod deze relatief snel doorrekenen. Met de resultaten kunnen besluitvormingsprocessen over maatregelen voor CO₂-reductie in de logistiek zo worden ondersteund met gerichte kwantitatieve analyses.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de toolbox die TNO in opdracht van de Topsector Logistiek heeft ontwikkeld. Ook gaat het in op de data die TNO heeft verzameld ten behoeve van Decamod. De structuur van het rapport is als volgt.

Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van de Decamodtoolbox. Er wordt uitgelegd welke gegevens op welk detailniveau zijn opgenomen in de Decamod-databases en van welke databronnen gebruik is gemaakt. Bovendien gaat dit hoofdstuk in op de methodologie achter de effectberekeningen van maatregelen en wordt ingegaan op de actualisatie, onderhoud en validatie van de toolbox. Hoofdstuk 3 omschrijft hoe het Decamod-*proces* eruitziet; welke stappen worden doorlopen om samen met de vraagsteller tot een analyse van de impact van decarbonisatiemaatregelen te komen. Ten slotte komen in Hoofdstuk 4 toekomstige ontwikkelingen naar voren die de Decamodtoolbox kunnen ondersteunen of een mogelijke uitbreiding van de toolbox vormen.

¹ Het terugbrengen van de CO₂-uitstoot wordt ook wel aangeduid met de term 'decarboniseren'. Maatregelen voor het reduceren van de CO₂-uitstoot worden daarom ook wel CO₂-reductiemaatregelen, CO₂-besparingsmaatregelen of decarbonisatiemaatregelen genoemd.

Onderwerpen die aan bod komen zijn gedragsaspecten en hoe meer data en/of data van betere kwaliteit de Decamodanalyses in de toekomst kunnen versterken. In Bijlage A is een definitielijst opgenomen van begrippen en afkortingen die in dit rapport worden genoemd.

2 Decamodtoolbox

Dit hoofdstuk beschrijft hoe de Decamodtoolbox is opgebouwd en welke brongetallen worden gebruikt als basis voor het rekenen aan de effecten van decarbonisatiemaatregelen in de logistiek. Bovendien wordt beschreven hoe TNO aan decarbonisatiemaatregelen rekent en gaat dit hoofdstuk in op de manier waarop de Decamodtoolbox wordt gevalideerd en geactualiseerd.

2.1 Basisscenario: autonome ontwikkeling logistieke sector 2014-2030

Om het effect van logistieke decarbonisatiemaatregelen inzichtelijk te kunnen maken is allereerst een basisscenario opgesteld met goederenstromen binnen de Nederlandse landsgrenzen voor zichtjaren 2014-2030. Bij het opstellen van het basisscenario is gebruik gemaakt van verschillende informatiebronnen. Daarbij is gebleken dat 2014 het meeste recente jaar is waarover alle benodigde gegevens inzake het Nederlandse goederenvervoer op het gewenste detailniveau beschikbaar zijn. TNO heeft dit jaar daarom als uitgangspunt genomen voor het basisscenario.

Het basisscenario heeft twee toepassingen. Ten eerste wordt het gebruikt om de *business as usual*-situatie onder andere op het gebied van tonnen, voertuigkilometers, CO₂-uitstoot en kosten inzichtelijk te maken. Daarnaast wordt het basisscenario gebruikt als de uitgangssituatie ten opzichte waarvan de effecten van de CO₂-besparingsmaatregelen worden berekend. TNO houdt daarbij rekening met toekomstige ontwikkelingen als gevolg van *vaststaand* beleid. De effecten en potentiële CO₂-reductie en kosten van de aanvullende maatregelen kunnen vervolgens in kaart worden gebracht.

2.1.1 Databronnen gebruikt voor vaststellen basisscenario

Het basisscenario is vastgelegd in een database. Voor het construeren van een zo accuraat mogelijk basisscenario zijn verschillende externe databronnen gebruikt. Deze databronnen zijn gecombineerd tot een brondataset voor de Decamodtoolbox die ten grondslag ligt aan het basisscenario. De brondataset betreft de totale goederenstromen die op Nederlands grondgebied worden vervoerd voor de zichtjaren 2014-2030 inclusief tonnen, voertuigkilometers, tonkilometers en de gerelateerde CO₂-uitstoot en kosten.

2.1.1.1 Vervoersstromen

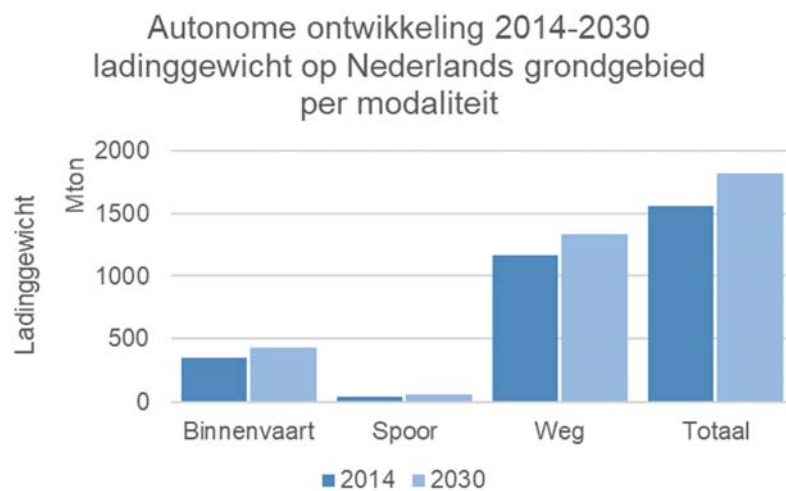
Voor de vervoersstromen (tonnen en voertuigkilometers) is gebruik gemaakt van de Basisbestanden goederenvervoer (BBGV) die de uitgangssituatie vormen voor het Basismodel Goederenvervoer (BasGoed).² Deze bestanden omvatten detailgegevens over waargenomen goederenstromen binnen, door, naar en vanuit Nederland voor de modaliteiten wegvervoer, binnenvaart en spoorvervoer per herkomst-bestemming. Het basisjaar van de BBGV is 2014 voor weg en binnenvaart en 2015 voor spoor. Met name de uitsplitsing naar voertuigtype en goederensoorten (NST 2007-classificatie) maken de BBGV geschikt voor het gewenste detailniveau in Decamod.

² TNO heeft hiertoe een overeenkomst gesloten met Rijkswaterstaat, functioneel beheerder van BasGoed.

2.1.1.2 Groeiscenario

Voor de groeiverwachting van het goederenvervoer van 2014 naar 2030 is gebruik gemaakt van de BasGoed-prognose die in opdracht van Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is uitgevoerd, met de uitgangspunten van de Klimaat- en Energieverkenning 2019 (KEV 2019) (Significance, 2019). Deze resultaten zijn op een geaggregeerd niveau door PBL beschikbaar gesteld aan TNO ten behoeve van dit project. Het BasGoed-groeiscenario met de KEV-doorrekeningen is in Decamod als uitgangspunt gekozen, omdat de doorrekening van het Klimaatakkoord door PBL samenhangt met de KEV. Van de KEV-doorrekeningen met BasGoed is specifiek de autonome ontwikkeling (vaststaand beleid) in vervoerd gewicht per herkomst- en bestemmingsrelatie (SMILE-zone), NSTR-categorie en (niet)-containertransport gebruikt. De groei voor de tussenliggende jaren is in Decamod afgeleid middels lineaire interpolatie tussen 2014 en de KEV BasGoed-prognose van 2030. Voor de voertuigkilometers is dezelfde groei aangenomen als voor het vervoerde gewicht. Dit houdt in dat er in het basisscenario van Decamod geen verbetering van de logistieke efficiëntie is meegenomen in de ontwikkeling van het goederenvervoer tot 2030. De reden hiervoor is dat dergelijke logistieke efficiëntieslagen geen onderdeel zijn van vaststaand beleid en het daarom niet zeker is dat deze ontwikkelingen worden gerealiseerd. Aangezien het wel aannemelijk is dat logistieke processen in de toekomst nog zullen verbeteren, kunnen zij wel als onderdeel van een toekomstig scenario worden meegenomen in een Decamodanalyse.

Ook ten aanzien van de CO₂-emissiefactoren van de wegvoertuigen wordt de autonome ontwikkeling meegenomen. Voor het basisjaar 2014 wordt de gemiddelde CO₂-uitstoot per voertuigkilometer gebaseerd op de VERSIT+-vlootverdeling in 2014 en voor 2030 op de VERSIT+-vlootverdeling uit de KEV. Dit houdt in dat voor de voertuigen tot 2030 de effecten op de CO₂-uitstoot per voertuigkilometer als gevolg van vaststaand beleid zijn meegenomen. Voor het spoorvervoer en binnenvaart is de verwachte vlootontwikkeling niet bekend en worden eventuele effecten op de CO₂-uitstoot per voertuigkilometer als gevolg van vlootontwikkeling niet meegenomen.



Figuur 1: Omvang van het goederenvervoer (binnenlands vervoer, invoer, uitvoer en doorvoer zonder overlading) in Nederland uitgedrukt in tonnen ladinggewicht voor de modaliteiten weg, binnenvaart en spoor in de jaren 2014 en 2030.

Figuur 1 toont de autonome ontwikkeling van het goederenvervoer in Nederland naar 2030 op basis van het vervoerde gewicht. Tussen 2014 en 2030 groeit het goederenvervoer met ongeveer 17%.

Tabel 1: Ontwikkeling in modal split op basis van tonnen van 2014 naar 2030.

	2014	2030
Binnenvaart	22%	23%
Spoor	3%	4%
Weg	75%	73%

Tabel 1 geeft voor de jaren 2014 en 2030 de modal split in het goederenvervoer op Nederlands grondgebied weer. Het Nederlandse goederenvervoer wordt gedomineerd door het wegvervoer, dat voor ongeveer 75% is vertegenwoordigd in het totaal vervoerde gewicht. Het gaat daarbij voornamelijk om binnenlands transport, terwijl de modaliteiten binnenvaart en spoor vooral georiënteerd zijn op grensoverschrijdend vervoer. Internationale goederenstromen kennen volgens het economisch scenario in de groeioprognose van KEV BasGoed over het algemeen een sterkere groei. Het relatief grotere aandeel van internationaal goederenvervoer in de modaliteiten binnenvaart en spoor verklaart daarom de afname van het wegvervoer in de modal split.

Tabel 2: Overzicht van autonome ontwikkelingen die zijn opgenomen in de groei in het basisscenario tussen 2014-2030.

Autonome ontwikkelingen tot 2030 in basisscenario
<i>Groei op basis van de VERSIT+-vlootverdeling uit de KEV:</i>
Effect van vlootontwikkeling op de CO ₂ -uitstoot per voertuigkilometer
<i>Groei in tonnen op basis van KEV BasGoed-scenario op (Significance, 2019):</i>
Jaarlijkse volumeontwikkeling van binnenlandse productie en consumptie en export op basis van bedrijfstackenbeeld in het KEV economisch scenario.
Lokale ontwikkelingen in Nederland, zoals uitbreidingen van containerterminal in Moerdijk (voor een complete lijst, zie (Significance, 2019).
Ontwikkeling in waarde-gewichtsverhouding per NSTR-groep om de berekende productie en consumptie van euro's om te zetten naar tonnen.
Ontwikkeling in regionale herkomsten en bestemmingen van handelsstromen.
Diesel-, elektriciteit- en olieprijsontwikkeling op de energiekosten van weg, spoor en binnenvaart conform KEV 2019-uitgangspunten.

Een globaal overzicht van de autonome ontwikkelingen die zijn opgenomen in het basisscenario van Decamod staat in Tabel 2. Een uitgebreid overzicht van de uitgangspunten die tot de groei in tonnen (en daarmee voertuigkilometers) leiden is te vinden in het rapport van Significance (2019).

2.1.2 Beschikbare gegevens in Decamod

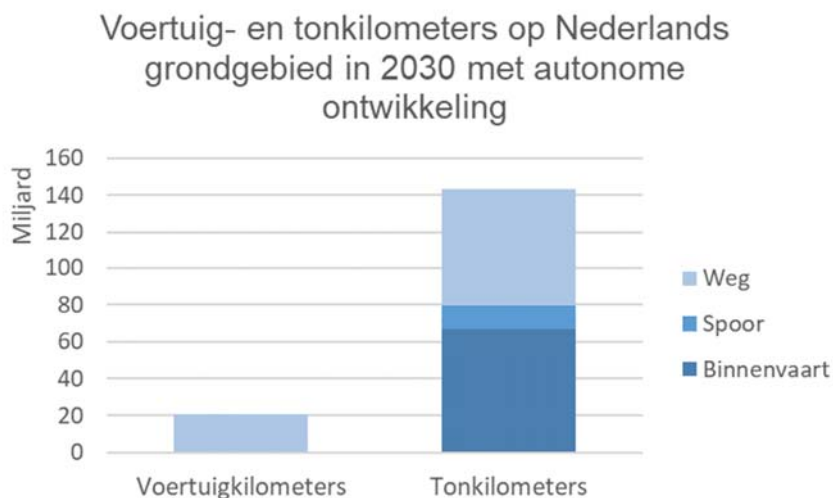
Het combineren van de verschillende databronnen leidt tot een basisscenario waarin gegevens over het Nederlandse goederenvervoer tussen 2014 en 2030 beschikbaar zijn. Deze gegevens zijn uitgedrukt in verschillende grootheden, namelijk vervoerd gewicht, aantal voertuigkilometers, energieverbruik, CO₂-uitstoot en kosten.

2.1.2.1 Vervoerd gewicht en voertuigkilometers

Vanuit de BGGV en het KEV BasGoed-groeiscenario zijn de totaal gerealiseerde en verwachte tonnen en voertuigkilometers tot en met 2030 bekend. Het vervoerde gewicht heeft betrekking op individuele transporttrajecten. Uit de bronbestanden is echter niet op te maken hoe vaak lading wordt overgeslagen. Dit houdt in dat de totaal vervoerde tonnen het totale gewicht van de goederen betreft die worden 'opgepakt'. Indien goederen ergens zijn overgeslagen, bijvoorbeeld als zij vanaf de productielocatie via een distributiecentrum naar de klant gaan, wordt dezelfde lading een extra keer meegeteld in de statistieken.

De voertuigkilometers betreffen een schatting van de kilometers die binnen de Nederlandse landsgrenzen zijn afgelegd. Bij internationale ritten, waarbij de herkomst- en/of bestemmingslocatie buiten Nederland ligt, worden alleen de geschatte gereden kilometers van en tot de Nederlandse landsgrens in beschouwing genomen.

Aan de hand van het vervoerde gewicht en de voertuigkilometers is ook een inschatting van de afgelegde tonkilometers³ (vervoerd gewicht vermenigvuldigd met het aantal afgelegde kilometers) gemaakt (Figuur 2). In de tonkilometers zijn binnenvaart en spoor voor een groter aandeel aanwezig dan in het aantal voertuigkilometers. Dit heeft te maken met de grotere ladingcapaciteit voor deze modaliteiten ten opzichte van het wegvervoer.



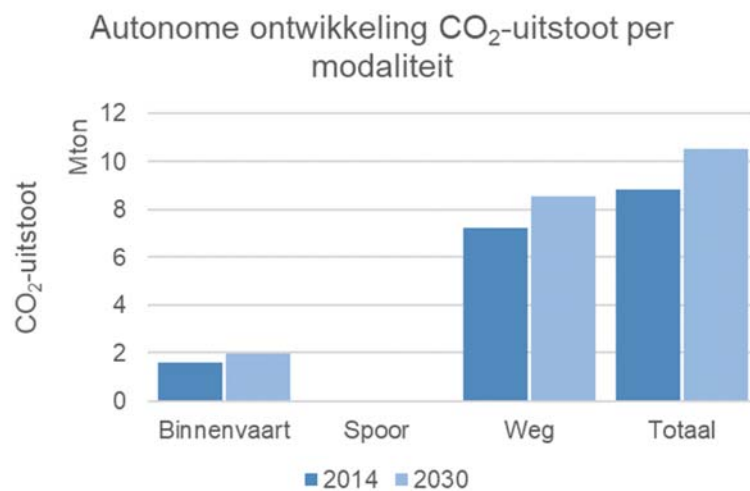
Figuur 2: Het aantal voertuig- en tonkilometers in 2030 met autonome ontwikkeling voor de modaliteiten wegvervoer, binnenvaart en spoorvervoer. Het aantal voertuigkilometers wordt gedomineerd door wegvervoer, waardoor de voertuigkilometers voor binnenvaart (ongeveer 65 miljoen) en spoorvervoer (ongeveer 3,2 miljoen) niet zichtbaar zijn in de grafiek. Wegvervoer is in 2030 in geval van autonome ontwikkeling voor 45% vertegenwoordigd in het aantal tonkilometers.

2.1.2.2 CO₂-uitstoot

De CO₂-uitstoot van het wegvervoer is berekend aan de hand van de voertuigkilometers per voertuigtype uit de KEV 2019 van PBL.

³ Het gaat hier om afgelegde tonkilometers tussen de start- en stoplocatie van een deelrit en dus niet om de tonkilometers die hemelsbreed zijn afgelegd tussen productie- en consumptielocatie.

Door deze te koppelen aan de SRM-emissiefactoren per VERSIT+ voertuigtype voor de zichtjaren 2020, 2025 en 2030 is de totale CO₂-uitstoot per KEV-voertuigtype bepaald. Op basis hiervan en een sleutel tabel tussen de KEV- en BasGoed-voertuigtypes is de gemiddelde uitstoot per voertuigkilometer van de voertuigtypes in de BBGV berekend. Voor de CO₂-berekening van de binnenvaart is gebruik gemaakt van de kengetallen van NEA (NEA, 2009) en de emissiefactoren van spoor zijn gebaseerd op de studie 'Modal shift van weg naar spoor' (TNO, 2017). Figuur 3 geeft de autonome ontwikkeling van de CO₂-uitstoot als gevolg van het goederenvervoer per modaliteit weer. De CO₂-uitstoot volgt een vergelijkbare groei met het vervoerde gewicht, omdat de groei in voertuigkilometers gelijk is genomen aan de groei in vervoerde tonnen. De getallen in Decamod omtrent CO₂-uitstoot hebben alleen betrekking op de uitstoot die vrijkomt bij het gebruik van de voer-/vaartuigen, namelijk de Tank-To-Wheel (TTW) emissies.



Figuur 3: De ontwikkeling van de CO₂-uitstoot (TTW) in het Nederlandse goederenvervoer per modaliteit tussen 2014 en 2030. Waar het wegvervoer in het aantal tonkilometers voor minder dan de helft vertegenwoordigd is, neemt deze modaliteit in het basisscenario in 2030 ongeveer 81% van de CO₂-uitstoot voor haar rekening. De grotere ladingscapaciteiten in binnenvaart en spoor zorgen ervoor dat er meer gewicht per kilometer kan worden vervoerd en de CO₂-uitstoot per ton in verhouding lager is. Daarnaast is het spoorvervoer grotendeels elektrisch aangedreven.

2.1.2.3 Kosten

De kosten gerelateerd aan het goederenvervoer worden berekend op basis van de kosten per voertuigkilometer. Het macroniveau van de data maakt het mogelijk om te rekenen met geaggregeerde gemiddelde kosten per voertuigtype per kilometer. Voor de kosten die gepaard gaan met de drie modaliteiten zijn verschillende bronnen gebruikt. Voor binnenvaart is gebruik gemaakt van de Kostentool binnenvaart van RWS⁴ (Rijkswaterstaat, 2020), die een actueel overzicht geeft van de binnenvaartkosten. De kosten voor weg- en spoorvervoer komen respectievelijk voort uit de studies 'Effectbepaling van een vrachtwagenheffing en verschillende terugsluismaatregelen op de wagenparksamenstelling en emissies van het vrachtverkeer in Nederland' (TNO, 2019) en 'Modal shift van weg naar spoor' (TNO, 2017). De kostenkengetallen zijn te vinden in Bijlage B.

⁴ <https://www.rwseconomie.nl/kengetallen/kostentool-binnenvaart> (geraadpleegd: april 2020)

2.1.3 *Decompositie*

De mate van decompositie in de database bepaalt het detailniveau waarop analyses kunnen worden uitgevoerd. Om de impact van een maatregel op een geschikte doorsnijding van het logistieke systeem te kunnen doorrekenen is de brondata verfijnd naar de volgende dimensies: goederensoort, modaliteit, voertuigtype, richting, (niet-)containervervoer en wel/geen stadslogistiek. In Bijlage C is een schematische weergave van de decompositie opgenomen.

2.1.3.1 *Goederensoort*

De goederen zijn onderverdeeld in goederensoorten op basis van het tweede niveau van de NST 2007-classificatie. Het eerste niveau bestaat uit 20 categorieën die in het tweede niveau worden onderverdeeld in totaal 81 groepen. In Bijlage D is hiervan een overzicht te vinden.

2.1.3.2 *Modaliteit en voertuigtype*

Per modaliteit (wegvervoer, binnenvaart en spoorvervoer) wordt onderscheid gemaakt in het transport per voer- of vaartuigtype. Voor wegvervoer gaat dit om de voertuigtypes bestelauto, vrachtwagen, vrachtwagen met aanhanger, trekker oplegger, LZV en speciale voertuigen⁵. De scheepstypes zijn onderverdeeld in RWS-klassen en omvatten motorvrachtschepen, duwstellen en koppelverbanden. In Bijlage E staat een compleet overzicht van de scheepstypes met een specificatie van de RWS-klassen waarin onderscheid wordt gemaakt. In het spoorvervoer wordt onderscheid gemaakt tussen bulk- en containervervoer.

Tabel 3: Overzicht van de voer-/vaartuigtypes per modaliteit.

<i>Wegvervoer</i>	<i>Binnenvaart</i>	<i>Spoorvervoer</i>
Bestelauto	Motorvrachtschepen	Bulkvervoer
Vrachtwagen	Duwstellen	Containervervoer
Vrachtwagen met aanhanger	Koppelverbanden	
Trekker oplegger		
LZV		
Speciale voertuigen		

2.1.3.3 *Herkomst-bestemmingsrelaties*

Voor het wegverkeer en de binnenvaart zijn in de Decamod-database de herkomst-bestemmingsrelaties opgenomen volgens de BasGoed-zonering. Deze zonering is gebaseerd op de SMILE+-indeling met 40 COROP-gebieden in Nederland (Figuur 4) en 37 buitenlandse zones. Voor de modaliteit spoor zijn vanuit het gebruikte basisbestand alleen de herkomsten en bestemmingen op NUTS-3-niveau bekend. Aan de hand van een koppeltabel zijn deze omgezet naar regio's volgens de SMILE+-indeling.

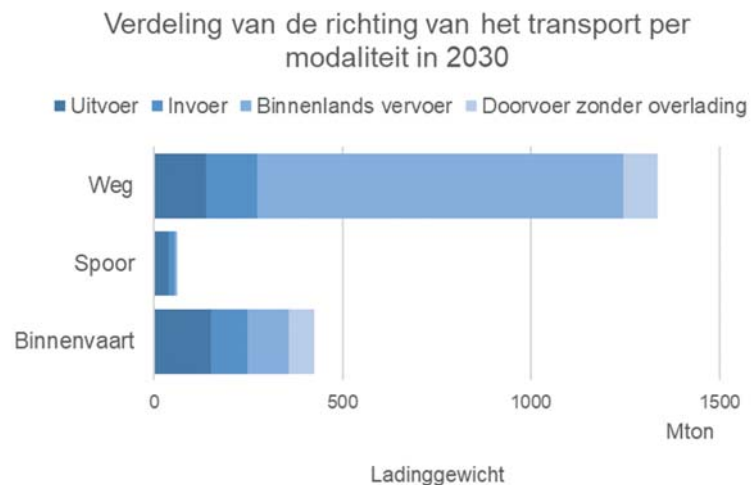
⁵ In de CO₂-berekeningen van LZV's en speciale voertuigen wordt de emissiefactor (gCO₂/km) van het voertuigtype trekker oplegger aangenomen.



Figuur 4: Deze kaart laat zien met welke regioverdeling (COROP) de herkomsten en/of bestemmingen in Nederland zijn opgenomen in de Decamod-database.

2.1.3.4 *Richting*

Het goederenvervoer in de database is bovendien onderverdeeld in verschillende richtingen met betrekking tot nationaal en internationaal transport. Op basis van het land van herkomst en het land van bestemming is het transport verdeeld over de volgende richtingen: binnenlands vervoer, invoer, uitvoer en doorvoer zonder overlading. Figuur 5 laat zien hoe het goederenvervoer in het basisscenario is verdeeld over deze richtingen gebaseerd op het vervoerde gewicht in 2030 uitgaande van de autonome ontwikkeling.



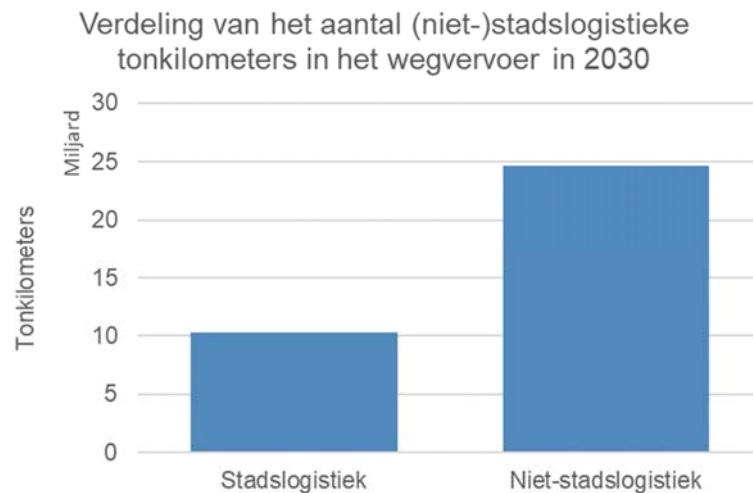
Figuur 5: Verdeling van het goederenvervoer per richting en modaliteit op basis van het ladinggewicht (in tonnen) in 2030 uitgaande van de autonome ontwikkeling. Het goederenvervoer over de weg bestaat voor het overgrote deel (73%) uit binnenlandse stromen. Het vervoer via de binnenvaart en over het spoor bestaat voornamelijk uit grensoverschrijdende stromen. In het spoorvervoer is bijvoorbeeld slechts 6% van het vervoerde gewicht gerelateerd aan binnenlands vervoer.

2.1.3.5 *Containervervoer*

De database bevat ook informatie over containervervoer. Op basis van de gegevens uit de BBGV is bekend of de lading in containers is opgenomen of niet. Onderscheid tussen lege containers en containers met lading wordt hierin vooralsnog niet gemaakt.

2.1.3.6 *Stadslogistiek*

Per NST 2007-categorie is een aandeel van de goederenstromen toegewezen aan stadslogistiek en het overige deel aan niet-stadslogistiek. Deze toewijzing is gedaan op basis van het rapport 'de Omvang van Stadslogistiek' (CE Delft, 2016), waarin per NST 2007-goederenstroom kilometers zijn toegewezen aan vervoerssegmenten in de stadslogistiek of aan niet-stadslogistiek. Het onderscheid tussen stadslogistiek en niet-stadslogistiek is in Decamod alleen gemaakt voor de modaliteit wegvervoer. Daarnaast zijn containertransport en internationale stromen uitgesloten van stadslogistiek. Figuur 6 laat zien dat ongeveer een derde deel van deze goederenstromen in 2030 gerelateerd is aan stadslogistiek op basis van de afgelegde tonkilometers.



Figuur 6: Verdeling tussen stadslogistieke en niet-stadslogistieke goederenstromen op basis van het aantal afgelegde tonkilometers in het binnenlandse wegtransport met autonome ontwikkeling in 2030. Containertransport en internationale stromen zijn hiervan uitgesloten.

2.2 **Decamod-effectberekeningen**

Het doorrekenen van de effecten van logistieke decarbonisatiemaatregelen op voertuigkilometers, CO₂-uitstoot en kosten is een essentieel onderdeel van de Decamodtoolbox. In deze paragraaf wordt de methodologie van het doorrekenen van de maatregelen uiteengezet en wordt toegelicht hoe Decamod omgaat met het combineren van maatregelen. Daarnaast wordt er ingegaan op welke punten maatregelen kunnen aangrijpen.

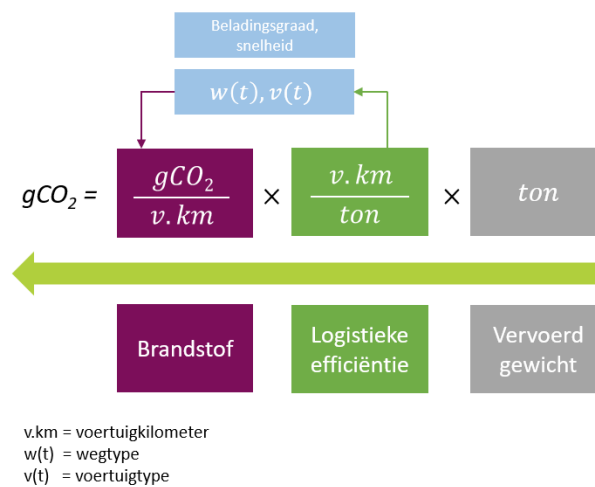
2.2.1 *Methodologie*

In deze paragraaf wordt de methodologie toegelicht die wordt toegepast voor de doorrekening van maatregelen.

De invoering van logistieke decarbonisatiemaatregelen heeft invloed op een aantal logistieke prestatievariabelen (tonnen en voertuigkilometers). Daarnaast wordt de vlootsamenstelling beïnvloed en in het geval van wegvervoer kan de verdeling over wegtypes veranderen. De veranderingen in deze karakteristieken hebben effect op twee prestatievariabelen die relevant zijn voor beleidsmakers, namelijk de CO₂-uitstoot en kosten.

2.2.1.1 CO₂-uitstoot

In Figuur 7 staat de methodologie weergegeven die wordt aangehouden in Decamod om de potentiële CO₂-besparingen van logistieke maatregelen te kwantificeren. Deze methodologie volgt een stappenplan waarin per prestatievariabele wordt bekeken of en in welke mate de maatregelen daarop aangrijpen.



Figuur 7: Schematische weergave van de methodologie die in Decamod wordt gevolgd om de effecten van een logistieke maatregel door te rekenen. Vanuit de vervoerde tonnen (rechts) wordt berekend hoeveel voertuigkilometers daarmee gemoeid zijn en hoe de voertuigkilometers zijn verdeeld over voertuigtypes en wegtypes. Vervolgens wordt de CO₂-uitstoot berekend.

Hoeveelheid vervoerde goederen (ton)

Het vertrekpunt voor de berekeningen is de hoeveelheid vracht (in tonnen) die wordt vervoerd. Met Decamod moet het mogelijk zijn om scenario's in een toekomstige duurzame wereld zodanig in kaart te brengen dat altijd kan worden voldaan aan de vraag naar goederen. Vandaar dat de 'wet van behoud van lading' als uitgangspunt geldt voor de effectberekeningen. Maatregelen die gericht zijn op het verminderen van het vervoerde volume vallen daarom buiten de scope van Decamod. Let wel, het kan wel voorkomen dat door bijvoorbeeld de inzet van andere type voertuigen of vanwege een modal shift tonnen worden verschoven binnen het logistieke systeem.

Voertuigkilometers

Het aantal voertuigkilometers hangt samen met de logistieke efficiëntie; het aantal tonnen dat per voertuigkilometer wordt vervoerd. Op basis van de historische voertuigkilometers per ton goederen (afhankelijk van het voertuigtype) wordt, parallel aan een verandering in tonnen, het aantal voertuigkilometers berekend.

Ook kunnen maatregelen direct effect hebben op het aantal voertuigkilometers, bijvoorbeeld door het inzetten van een voertuig met een groter laadvermogen. In dat geval wordt er meer vracht vervoerd per voertuigkilometer indien de randvoorwaarden in de hele logistieke keten dit toelaten.

Vlootsamenstelling en wegtypes

De volgende stap is om te bepalen hoe de voertuigkilometers verdeeld zijn in termen van vloot en wegtypes (indien wegvervoer). Zo kan er een verschuiving plaatsvinden van goederen tussen modaliteiten of verandert de inzet van voertuigtypes door de invoering van een ontkoppelpunt aan de rand van de stad. Ook de wegtypes (stad, platteland, snelweg) spelen hierin mee.

CO₂-uitstoot

Uit voorgaande stappen wordt bekend hoe de tonnen en voertuigkilometers zijn verdeeld over de modaliteiten, voertuigtypes en wegtypes. Vervolgens wordt met emissiefactoren per voertuigkilometer de CO₂-uitstoot berekend die vrijkomt bij het goederenvervoer in het geschetste scenario. De emissiefactoren hangen samen met het voertuig- en wegtype.

2.2.1.2 *Kosten*

Voor het berekenen van de kosten van een maatregel wordt een vergelijkbare methodologie aangehouden als voor de berekening van de CO₂-uitstoot. Nadat het effect op de voertuigkilometers en vlootsamenstelling is berekend wordt het effect op de transportkosten in kaart gebracht. Het macroniveau van de berekeningen in Decamod maakt een goede inschatting van de transportkosten mogelijk op basis van de voertuigkilometers. Daarom zijn in de huidige scope de kosten alleen gekoppeld aan voertuigkilometers.

2.2.2 *Aangrijpingspunten van maatregelen*

In deze paragraaf wordt toegelicht hoe Decamod omgaat met het combineren van maatregelen en wat er gebeurt als aangrijpingspunten van verschillende maatregelen overlappen. Met het aangrijpingspunt van een maatregel worden de prestatievariabele(n) (bijvoorbeeld voertuigkilometers of CO₂-uitstoot) en het gedeelte van het logistieke systeem bedoeld waarop het effect van de maatregel van toepassing is.

Het effect van een maatregel wordt bepaald door het reductiepotentieel en het toepassingspotentieel van de maatregel, zoals te zien is in Figuur 8. In Paragraaf 2.2.2.1 en Paragraaf 2.2.2.2 volgt een toelichting over het reductie- en toepassingspotentieel van maatregelen.

$$\text{Impact} = \text{Reductiepotentieel} \times \text{Toepassingspotentieel}$$

Figuur 8: De impact van een maatregel wordt berekend door het reductiepotentieel te vermenigvuldigen met het toepassingspotentieel van de maatregel.

2.2.2.1 *Reductiepotentieel*

Maatregelen hebben een effect dat leidt tot een bepaalde reductie of toename van een logistieke prestatievariabele. Dit wordt het reductiepotentieel van een maatregel genoemd.

Indien twee afzonderlijke maatregelen aangrijpen op dezelfde prestatievariabele zijn ze afhankelijk van elkaar en wordt het reductiepotentieel van beide maatregelen beïnvloed. Zo kan er bijvoorbeeld interactie zijn tussen maatregelen op het gebied van brandstofverbruik. Een eerste maatregel kan het verbeteren van de rijstijl van bestuurders zijn door middel van trainingen, waardoor de CO₂-emissies per kilometer reduceren. Een tweede maatregel is bijvoorbeeld een verbetering van de motorefficiëntie, wat ook tot een reductie leidt van de CO₂-emissies per voertuigkilometer. Door de verbetering van de motorefficiëntie heeft de verbetering van de rijstijl minder effect; het reductiepotentieel van deze maatregel is daardoor minder groot. Het gecombineerde effect van de afzonderlijke maatregelen is in de regel niet gelijk aan de som van deze effecten.

De Decamodtoolbox is in staat om te rekenen met de afhankelijkheid tussen maatregelen op het gebied van hun reductiepotentiëlen. Dit vraagt doorgaans wel om verdere studie, zodat de mate waarin de afhankelijkheid optreedt goed in kaart kan worden gebracht.

2.2.2.2 *Toepassingspotentieel*

Het reductiepotentieel van een maatregel kan van toepassing zijn op een kleiner gedeelte van het logistieke systeem, namelijk op verschillende elementen van de decompositie zoals omschreven in Paragraaf 2.1.2.3. Dit maakt het mogelijk om de impact van maatregelen bijvoorbeeld alleen te onderzoeken voor één logistiek segment of een selectie van goederensoorten en voertuigtypes. De selectie van het logistieke systeem waarop een maatregel effect heeft is het toepassingspotentieel.

Ook op het gebied van het toepassingspotentieel van maatregelen kan afhankelijkheid tussen maatregelen voorkomen. Zo kan een eerste maatregel leiden tot een vermindering van de voertuigkilometers van pakketdiensten met 10%. Een tweede maatregel verbetert de motorefficiëntie waardoor de CO₂-uitstoot per voertuigkilometer daalt met 5%. Door de reductie in het aantal voertuigkilometers van de eerste maatregel is het toepassingspotentieel van de tweede maatregel met 10% gereduceerd. De daling van 5% in de CO₂-uitstoot per voertuigkilometer wordt namelijk alleen nog toegepast op de resterende voertuigkilometers na de invoering van de eerste maatregel.

Het aanhouden van de methodiek zoals omschreven in Paragraaf 2.2.1 zorgt ervoor dat in Decamod afhankelijkheid tussen maatregelen op het gebied van toepassingspotentiëlen impliciet wordt meegenomen in de modellering.

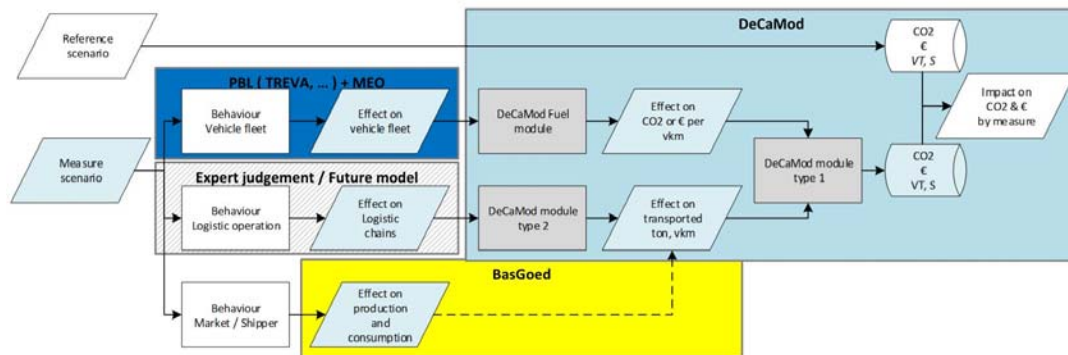
2.2.2.3 *Tweede-orde-effecten*

Logistieke maatregelen hebben doorgaans invloed op de inrichting van het logistieke systeem. Als gevolg hiervan kan het directe effect dat een maatregel heeft op een prestatievariabele doorwerken op andere prestatievariabelen. Dit wordt een tweede-orde-effect genoemd. Dit treedt bijvoorbeeld op bij een toename in de beladingsgraad. Het initiële aangrijpingspunt van deze verandering is de verhouding voertuigkilometers per ton. Met een toename van de beladingsgraad zijn immers minder voertuigkilometers nodig om hetzelfde gewicht te vervoeren. Maar als gevolg van de toename in de beladingsgraad vindt een tweede-orde-effect plaats: de gewichtstoename per voertuig leidt namelijk ook tot een toename in het energieverbruik per kilometer en daarmee ook in de CO₂-uitstoot per voertuigkilometer.

Voor de tweede-orde-effecten van maatregelen geldt dat deze niet impliciet worden meegenomen in de doorrekening van de effecten van maatregelen in de toolbox. Indien de vraagsteller dit wenst kan er wel rekening gehouden worden met deze effecten. In dat geval kan in overleg met de vraagsteller worden bepaald welke tweede-orde-effecten naar alle waarschijnlijkheid optreden als gevolg van een maatregel. Vervolgens is mogelijk verder onderzoek nodig om de tweede-orde-effecten (goed) in kaart te brengen.

2.2.3 *Proces van een Decamod-analyse*

Bij iedere Decamod-analyse wordt een stappenplan, het Decamodproces, uitgevoerd om van vraag tot scenarioanalyse en resultaten te komen. In Hoofdstuk 3 worden deze stappen toegelicht. Als onderdeel van de effectberekening in het Decamodproces wordt de Decamodtoolbox ingezet. Deze paragraaf beschrijft hoe dit proces er van input voor de Decamodtoolbox tot resultaten uitziet. In Figuur 9 is dit ook schematisch weergegeven.



Figuur 9: Schematische weergave van een Decamod-effectberekening. Het vraagstuk, met een basisscenario (*reference scenario*) en een scenario waarin een decarbonisatiemaatregel wordt geïmplementeerd (*measure scenario*), vormen de input voor de toolbox. Eventueel worden andere modellen geraadpleegd of een voorstudie gedaan om het effect van een maatregel te bepalen. Vervolgens wordt de impact op de CO₂-uitstoot en kosten berekend door de uitkomst van het toekomstige scenario te vergelijken met het basisscenario.

Om te beginnen, en als onderdeel van het Decamodproces, wordt het vraagstuk in kaart gebracht. Zo wordt in overleg met de vraagsteller onder andere de scope vastgesteld en wordt besproken welke maatregelen gaan worden doorgerekend. Tijdens deze stappen kan bijvoorbeeld een selectie worden gemaakt van het logistieke systeem (bijv. alleen containervervoer) en kan worden gekeken naar de tijdpaden van maatregelen. Nadat het vraagstuk is gespecificeerd kunnen de maatregelen vertaald worden naar Decamodscenario's waarin de decarbonisatiemaatregelen worden geïmplementeerd. Indien nodig worden in overleg met de vraagsteller andere modellen geraadpleegd of wordt een voorstudie uitgevoerd om het verwachte effect van een maatregel, in termen van reductie- en toepassingspotentieel en tweede-orde-effecten, te beoordelen. Ook is het verfijnen of uitbreiden van de Decamodtoolbox een optie.

Na het opstellen van deze scenario's vindt de effectberekening met de Decamodtoolbox plaats.

De impact van het scenario waarin de maatregelen actief zijn op onder andere CO₂-uitstoot, voertuigkilometers en kosten wordt vastgesteld en vergeleken met het basisscenario. Het verschil tussen het basisscenario en een toekomstig scenario resulteert in de impact van een maatregel.

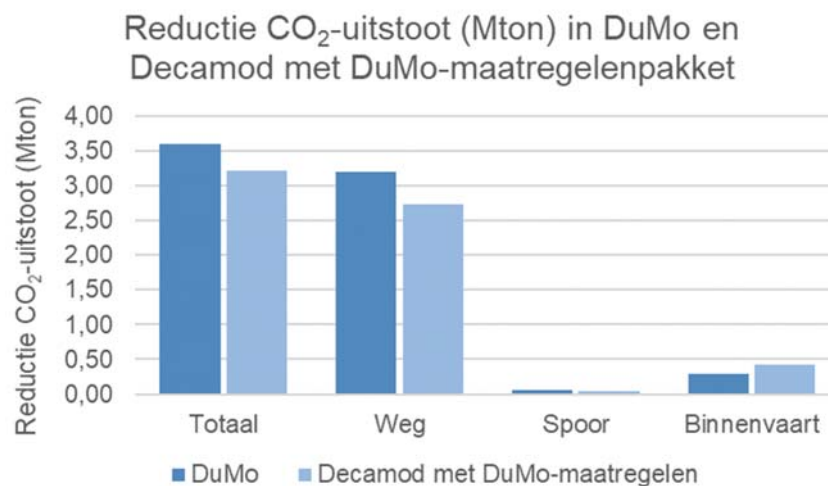
2.3 Actualisatie, onderhoud en validatie

2.3.1 Actualisatie en onderhoud

De Decamodtoolbox is een groeimodel. Dat betekent dat TNO de toolbox steeds uitbreidt naar gelang de vragen in de markt. Ook zorgt TNO ervoor dat de databases van Decamod jaarlijks worden geactualiseerd met de laatste cijfers en gegevens. Zo blijft Decamod up-to-date.

2.3.2 Validatie

Voor het valideren van de Decamodtoolbox is gebruik gemaakt van de effectschattingen in het zogenaamde 'DuMo' (duurzame mobiliteit) paper waarin TNO berekeningen heeft uitgevoerd van het CO₂-reductiepotentieel voor goederenvervoer en logistiek (TNO, 2017). De verwachting is dat de reductiepotentiëlen in enerzijds DuMo en anderzijds Decamod (met hetzelfde maatregelenpakket als DuMo) qua orde grootte vergelijkbaar zijn. Als validatieslag van Decamod zijn om die reden de maatregelenpakketten uit DuMo doorgerekend met de Decamodtoolbox. Figuur 10 laat zien dat de reductiepotentiëlen in de DuMo-berekeningen en die in de Decamod-analyse vergelijkbaar zijn. De afwijkingen zijn te verklaren door verschillen tussen het basisscenario van DuMo (wat gebaseerd is op de NEV) en Decamod, met name met betrekking tot de verdeling van de CO₂-uitstoot over de modaliteiten.



Figuur 10: Verschil in de CO₂-reductiepotentiëlen in DuMo en Decamod met het maatregelenpakket van DuMo uitgesplitst naar modaliteit.

De toegevoegde waarde van Decamod ten opzichte van de berekeningen die gemaakt zijn in het kader van DuMo is dat de decompositie van de Decamod-database het mogelijk maakt om dezelfde soort berekeningen gedetailleerder en met betere onderbouwing en toewijzing uit te voeren. In DuMo zijn de effecten van maatregelen op een geaggregeerd niveau berekend.

De decompositie in Decamod maakt het mogelijk om de effecten van een groot scala aan decarbonisatiemaatregelen inzichtelijk te maken op nationaal niveau, maar bijvoorbeeld ook op regionaal niveau of per goederensoort. Daarnaast kunnen de effecten van de maatregelen in Decamod specifiek worden toegepast op de segmenten waar ze plaatsvinden. De besparingen in een bepaald segment als gevolg van decarbonisatiemaatregelen kunnen vervolgens gemakkelijk in perspectief worden gezet met bijvoorbeeld de CO₂-uitstoot op een geaggregeerder niveau. Daarnaast zijn in de DuMo-paper alleen de effectschattingen op CO₂-uitstoot uitgevoerd, maar kan Decamod ook het effect op andere transportvariabelen, zoals voertuigkilometers en kosten gemakkelijk inzichtelijk maken.

Naast de validatie van de onderliggende data en berekeningen in de toolbox aan de hand van de resultaten uit een vergelijkbare studie vindt ook een interne validatieslag plaats. TNO ontwikkelt Decamod volgens de richtlijnen voor code-ontwikkeling in de afdeling Sustainable Transport and Logistics, die zijn opgesteld om de kwaliteit, reproduceerbaarheid en overdraagbaarheid van modellen en tools zeker te stellen. De richtlijnen bevatten afspraken over programmeren, de opslag en versiebeheer van bestanden en over de review en methodes voor testen van modellen en tools. Voor Decamod betekent dit onder andere dat er automatische testfuncties zijn geïntegreerd die de werkelijke uitvoer van verschillende elementen en databewerkingen in de toolbox checkt met de verwachte uitvoer. Dit betekent dat het model zoveel mogelijk zelf fouten signaleert. De geïntegreerde testfuncties dragen zo bij aan de ontwikkeling van een betrouwbare toolbox van hoge kwaliteit, ook bij onderhoud of uitbreiding ervan.

Tot slot is de toolbox in de ontwikkelfase beproefd aan de hand van twee use cases: een over de effecten van modal shift in het containervervoer op de corridors Oost en Zuid, en een over de mogelijkheden voor CO₂-reductie in de bouwlogistiek in Nederland. De resultaten van deze analyses zijn met TNO-experts op de betreffende onderwerpen getoetst.

3 Decamodproces

Voor het beantwoorden van vragen over de effecten van klimaatmaatregelen doorloopt TNO met de vragensteller het volgende proces.

3.1 Stap 1: Vraagarticulatie

Met de vraagsteller wordt de vraag in kaart gebracht. Het gaat hierbij om de te beoordelen decarbonisatiemaatregel(en) en het ontwerp en toepassingsgebied daarvan en het vaststellen van de scope van de analyse (bijvoorbeeld een corridor, een logistiek segment, een regio, etc.). TNO kan op basis hiervan vaststellen of de Decamodtoolbox geschikt is voor het beantwoorden van de vraag of dat nog aanpassingen aan de toolbox moeten worden gedaan.

3.2 Stap 2: Voorstel voor plan van aanpak

Op basis van de uitkomsten van stap 1 doet TNO een voorstel voor het uitwerken van het vraagstuk. Het kan zijn dat TNO, alvorens de vraag te kunnen beantwoorden met behulp van de Decamodtoolbox, eerst een korte voorstudie en/of datacollectie-inspanning moet verrichten. TNO informeert de vraagsteller daar altijd vooraf over. In de regel kan gesteld worden dat TNO beschikt over adequate macrogegevens (zie ook de omschrijving van het basisscenario in paragraaf 2.1), maar dat onderliggende meso- en microdata vaak niet beschikbaar zijn.

3.3 Stap 3: Dataverzameling

Als bekend is voor welke maatregel(en) de vraagsteller de CO₂- en kosteneffecten wil laten beoordelen, kan TNO vaststellen welke gegevens daarvoor vereist zijn en of TNO daarover beschikt. In het geval dat gegevens nodig zijn die nog geen onderdeel uitmaken van de TNO-databases zal TNO met de vraagsteller verkennen of en hoe deze data te verkrijgen zijn. Zijn de benodigde gegevens niet voorhanden, dan kan TNO mogelijk zogenaamde *default factors* gebruiken, aannames doen en/of werken met bandbreedtes of scenario's. TNO stelt afspraken hiervoor altijd op in overleg met de vraagsteller.

3.4 Stap 4: Decamod-effectberekening

Nadat in overeenstemming met de vraagsteller is bepaald hoe het vraagstuk wordt uitgewerkt, worden de maatregelen met de reductie- en toepassingspotentiëlen geïncorporeerd in de Decamodtoolbox. Vervolgens wordt de Decamod-analyse uitgevoerd volgens de methodiek zoals beschreven in paragraaf 2.2.

3.5 Stap 5: Presentatie resultaten en iteratieslag

Na de doorrekening in Decamod worden de effecten van de maatregel(en) voorgelegd aan de vraagsteller. Samen met TNO worden de resultaten besproken. Indien gewenst kan het scenario, toepassings- of reductiepotentieel van de verschillende decarbonisatiemaatregelen worden aangepast, waarna stap 4 opnieuw wordt uitgevoerd.

3.6 Stap 6: Decamod-effectrapportage

De laatste stap in het proces is het vastleggen van de resultaten in een Decamod-effectrapportage. Deze rapportage beschrijft het ontwerp en toepassingsgebied van de decarbonisatiemaatregel(en) zoals vastgesteld in stap 1. Daarnaast omvat deze effectrapportage een toelichting op de gegevens en aannames die ter aanvulling van de Decamod-database gebruikt zijn om het effect van de maatregel(en) in kaart te brengen. Ten slotte worden de kwantitatieve effecten van de maatregel(en) gepresenteerd.

4 Toekomstige ontwikkelingen

Dit hoofdstuk beschrijft mogelijke toekomstige uitbreidingen en ontwikkelingen van de Decamodtoolbox. Ten eerste wordt de huidige datasituatie toegelicht. Onder andere datalacunes komen aan bod. Vervolgens wordt ingegaan op de rol van gedragseffecten als gevolg van beleidsmaatregelen.

4.1 Data

Het doel van de Decamodtoolbox is om beleidsmakers te ondersteunen op stads-, regionaal of landelijk niveau met informatie over de impact van maatregelen op gebied van transport en logistiek. De kwaliteit van het basisscenario en prognoses en de daarmee samenhangende potentiële besparingen die volgen vanuit de Decamodtoolbox hangen samen met de kwaliteit en compleetheid van de beschikbare data. Dit hoofdstuk gaat in op de datalacunes waar Decamod mee te maken heeft en hoe daarmee wordt omgegaan.

4.1.1 *Data op verschillende niveaus*

In het algemeen geldt: hoe meer data er beschikbaar is, hoe beter de kwaliteit van de uitkomsten van de analyses in Decamod. Maar naast kwantiteit spelen ook kwaliteit en de interpreteerbaarheid van data een belangrijke rol. Bij de ontwikkeling van Decamod is gebleken dat op het gebied van beschikbaarheid van data nog veel winst te halen valt. In grote lijnen zijn er twee niveaus van data te onderscheiden.

Ten eerste zijn er de microdata die verzameld worden door individuele partijen. *Transportbedrijven* bijvoorbeeld beschikken over het algemeen over informatie zoals hun brandstofgebruik, het aantal voertuigkilometers, laad- en loslocaties van goederen etc. Informatie over het gewicht en volume van de vervoerde goederen of data over de productie- en consumptielocatie is vaak niet bekend bij deze bedrijven. *Verladers* hebben daarentegen juist wel data over de getransporteerde goederen en de transportketen, maar geen inzicht in de route, het brandstofverbruik of het gebruikte voertuigtype.

Microdata worden ingezameld door statistiekbureaus zoals het Centraal Bureau voor Statistiek (CBS). De data wordt vervolgens geaggregeerd zodanig dat de data niet terug te herleiden is naar individuele partijen. Data op dit geaggregeerde niveau wordt ook wel macrodata genoemd. Decamod gebruikt onder andere de macrodata over het Nederlandse goederenvervoer die het CBS produceert voor de effectberekeningen. De effectberekeningen vinden plaats op macroniveau (nationaal niveau) of op mesoniveau (bijvoorbeeld een bepaalde regio of logistiek segment). Als het gaat om data werkt Decamod volgens het principe 'zo gedetailleerd als nodig en zo geaggregeerd als mogelijk'. De Decamod-database kan worden gezien als een kenniskubus van voertuigkilometers, CO₂-uitstoot en kosten gerelateerd aan het Nederlandse goederenvervoer in meerdere dimensies (modaliteiten, goederensoorten etc.), waarbij het idee is dat de kubus op zo veel mogelijk kruispunten gevuld wordt.

4.1.2 Datalacunes

Zoals eerder genoemd heeft TNO toegang tot macrodata over het Nederlandse goederenvervoer. Dit gaat om transporttrajecten en data van deelritten, binnenvaartreizen en spoorlading per herkomst-bestemmingsrelatie. Het is belangrijk hierbij op te merken dat deze gegevens bestaan uit losse schakels in een keten tussen productie- en consumptielocatie van meerdere herkomst-bestemmingsrelaties. Figuur 11 laat in een schematische weergave de losse schakels zien waaruit een transportketen (tussen productie- en consumptielocatie) kan bestaan. Een belangrijke datalacune is dat inzicht in data over de gehele keten, dus over hoe de losse schakels met elkaar in verbinding staan, ontbreekt. Het aantal verplaatsingen van de lading is daarom niet bekend op macroniveau (het hele systeem). Als gevolg hiervan is het bijvoorbeeld niet mogelijk om de carbon footprint van een eenheid product van productie tot consumptie in kaart te brengen.



Figuur 11: Schematische weergave van een transportketen.

Doordat de losse schakels in de transportketen wel inzichtelijk zijn en er daarmee een nagenoeg volledig beeld van de omvang van de vervoerde goederen in Nederland en de daarmee gepaarde voertuigkilometers en CO₂-uitstoot is, kan Decamod wel effectberekeningen doen op de losse schakels (of op een geaggregeerd niveau daarvan). Zo kan bijvoorbeeld worden berekend wat het effect is op CO₂-emissies indien tussen bepaalde herkomst-bestemmingsrelaties lading wordt verschoven van weg naar binnenvaart en spoor.

Naast de afwezigheid van volledige transportketendata ontbreekt ook adequate informatie over logistieke segmenten (bijvoorbeeld het goederenvervoer gerelateerd aan de bouwsector). Zo zijn er wel gegevens bekend over de type goederen (NST 2007), maar deze kunnen slechts beperkt worden gelinkt aan logistieke segmenten. Bij de toedeling van goederensoorten aan logistieke segmenten moet Decamod daarom werken met aannames. Ook informatie over het type transport, zoals stadsdistributie, is niet zichtbaar in de huidige beschikbare datasets.

Toegang tot extra gegevens (bijvoorbeeld ketendata) zullen de Decamod-analyses verrijken, maar de huidige databeschikbaarheid is voldoende om de effecten van beoogde beleidsmaatregelen in Decamod met adequate kwantitatieve ondersteuning te berekenen. Afhankelijk van hoe omvangrijk een datalacune is, zijn er verschillende manieren waarop Decamod ermee omgaat. Een deel van de lacunes kan worden gevuld aan de hand van aannames die gebaseerd zijn op eerder onderzoek of expert judgement. Gevoeligheidsanalyses kunnen vervolgens inzicht bieden in de gevoeligheid die gepaard gaat met bepaalde aannames. Indien een datalacune te omvangrijk is, zoals de afwezigheid van volledige transportketendata, zullen de extra analyses die gedaan zouden kunnen worden bij de beschikbaarheid van de data (zoals de carbon footprint van een eenheid product van productie tot consumptie) niet plaatsvinden.

In Bijlage F is in detail opgenomen tot welke data TNO in het kader van Decamod toegang zou willen hebben uitgesplitst in macro- en microdata.

- 4.1.3 *Zicht op verbeteringen en aanbevelingen voor verbeterde datacollectie*
Inzicht in volledige goederenketens is niet alleen voor Decamod interessant, maar ook voor andere instanties zoals Rijkswaterstaat. Deze wens heeft ertoe geleid dat CBS in opdracht van RWS bezig is met een pilot om goederenketens in beeld te brengen door het integreren van handels- en transportdata. Voor Decamod zou inzicht in deze data betekenen dat bijvoorbeeld inzichtelijk gemaakt kan worden hoeveel CO₂-uitstoot gepaard gaat met het transporteren van een producteenheid van productie- naar consumptielocatie. Als de ketendata van CBS voldoende compleet en kwalitatief goed is kan worden onderzocht of en hoe deze data in Decamod gebruikt kan worden om aanvullende analyses te kunnen maken.

4.2 Gedragsaspecten

Met de Decamodtoolbox zijn de effecten van een technische maatregel, zoals het vervangen van een deel van de dieselveertuigvloot door elektrische voertuigen, relatief eenvoudig te bepalen. Logistiek dienstverleners vervangen echter niet zomaar hun dieselveertuigen voor elektrische voertuigen. Het is waarschijnlijker dat de aanleiding daarvoor een andere wetgevende maatregel is. Zo wordt in steeds meer steden een zogenaamde zero-emissie (ZE) zone geïntroduceerd. De overstap van diesel- naar elektrische voertuigen is in dat geval een reactie op de invoering van een wetgevende maatregel. Logistiek dienstverleners zullen deze wet- en regelgeving volgen, maar het is onduidelijk of elektrische voertuigen enkel voor ZE-zones zullen worden gebruikt of breder worden ingezet. Het voorspellen of berekenen van dergelijke tweede-orde-effecten van een wetgevende maatregel is zeer complex en op dit moment geen onderdeel van de Decamodtoolbox (zie ook paragraaf 2.2.2.3). Om te onderzoeken of en hoe de Decamodtoolbox in de toekomst kan worden uitgebreid met een functionaliteit om te rekenen aan gedragseffecten heeft TNO een verkenning hiernaar uitgevoerd.

- 4.2.1 *Identificatie van gedragsaspecten in de logistiek*
De structuur van een logistieke keten is afhankelijk van de wisselwerking tussen verschillende individuele beslissers en tussen de vraag naar en het aanbod van transport. Verladings- en consumenten beslissen over de vraag naar transport, terwijl het aanbod van transport afhankelijk is van de infrastructuur (fysieke netwerken) en transportmiddelen (service-netwerken). Veranderingen en gedragseffecten in logistieke ketens worden daardoor beïnvloed en bepaald door de voorkeuren en eisen van consumenten, het winstoogmerk van bedrijven, nieuwe mogelijkheden als gevolg van technologische ontwikkelingen en het beleid van overheden.

Overheden en beleidsmakers kunnen logistiek en transport op verschillende manieren beïnvloeden.

Dit kunnen zij doen door middel van:

- het veranderen van de kostenstructuur met belastingen of subsidies;
- het veranderen van normen en regelgeving die de transportsector sturen, zoals de invoering van een ZE-zone of normen voor logistieke en voertuigemissies;

- een bijdrage te leveren aan het veranderen van de omgeving en mogelijkheden, zoals infrastructurele wijzigingen of het stimuleren en ontwikkelen van technologisch onderzoek.

Deze veranderingen leiden tot gedragsreacties, maar het is onbekend hoe en in welke mate individuele beslissers daarop reageren.

4.2.1.1 *Verandering van de kostenstructuur*

De kostenstructuur kan veranderd worden door beleidsmaatregelen (hogere accijnzen, belastingen etc.), de markt (beschikbaarheid van chauffeurs, olieprijs etc.) en andere factoren. Op regionaal/landelijk niveau zullen bedrijven op dergelijke prijssignalen reageren. Een verandering in transportprijzen heeft bijvoorbeeld impact op het volume van handel, de duur van handelsrelaties, de organisatie van logistieke ketens en andere bijbehorende logistieke keuzes.

Logistiek en transport reageren ook op prijssignalen die niet direct verbonden zijn aan transport. Vastgoedprijzen, beschikbaarheid van logistieke medewerkers en subsidies voor regionale werkgelegenheid zullen bijvoorbeeld een effect hebben op logistieke stromen en transportvolumes.

4.2.1.2 *Verandering van normen en regelgeving*

Naast financieel beleid (brandstofaccijnzen, voertuigbelasting, wegenbelasting etc.) zijn er andere manieren waarop beleidsmakers transport en logistiek kunnen beïnvloeden. De invoering van ZE-zones, milieuzones en normen voor logistieke en voertuigemissies zijn enkele voorbeelden die tot het instrumentarium van beleidsmakers behoren.

In tegenstelling tot veranderingen in kostenstructuur heeft niet-financieel beleid en wetgeving alleen indirect impact op de kostenstructuur van bedrijven. ZE-zones zorgen er bijvoorbeeld impliciet voor dat bedrijven in ZE-voertuigen moeten investeren en ZE-voertuigen hebben een andere levenscyclus en kostenstructuur dan conventionele voertuigen. Met andere woorden: beleid en wetgeving schetsen het kader waarin bedrijven hun business moeten gaan uitvoeren; de implementatie en allocatie van middelen binnen dit kader wordt dan aan de markt overgelaten.

Het eerste-orde-gedragseffect (directe effect), waarin partijen zich aan nieuwe regels en normen houden, is goed te kwantificeren. Uitdagend wordt het echter om tweede-orde-effecten (indirecte effecten), zoals een verandering van gedragseffecten door een andere kostenstructuur of spillover-effecten, te kwantificeren.

4.2.1.3 *Verandering van de omgeving*

De omgeving en de veranderingen die daarin plaatsvinden beïnvloeden het gedrag van individuele beslissers. Er is bijvoorbeeld een algemene trend in de richting van massa-individualisatie en snellere levering van producten, wat de handelsstromen en het consumentengedrag beïnvloedt. Deze trend vereist een andere organisatie van de logistiek. Ook technologische ontwikkelingen, zoals zelforganisatie in de logistiek of zelfrijdende auto's en vrachtwagens (platooning), en onvoorziene ontwikkelingen, zoals natuurrampen, geopolitieke ontwikkelingen en pandemieën hebben invloed op gedrag. Hoe het gedrag van individuele beslissers verandert als gevolg van dergelijke veranderingen in de omgeving is moeilijk te voorspellen.

4.2.2 Modelleren van logistiek gedrag

Ongeacht of een beleidsmaatregel financieel of niet-financieel van aard is zal het leiden tot veranderingen in gedrag. Om transportbeleid effectiever te kunnen voeren is daarom meer inzicht nodig in gedragsmechanismen. Het modelleren van gedrag is echter complex. Er zijn wel tools en modellen beschikbaar die gedrag kunnen schatten, maar deze zijn in de regel niet bijzonder nauwkeurig.

4.2.2.1 Nu beschikbare modellen

Voorbeelden van huidige beschikbare methodes om gedrag te voorspellen zijn berekeningen met prijselasticiteiten en simulatiemodellen. Met behulp van prijselasticiteiten kan gedrag relatief makkelijk worden ingeschat. Maar omdat de prijselasticiteit zelf vaak niet bekend is, zijn inschattingen op basis van prijselasticiteiten relatief grof en onzeker. De huidige staat van gedragsmodellen met simulaties bevat mixen van micro- en macromodellen op het gebied van logistieke keuzes (BasGoed, SMILE/SMILE+, ADA, TRIMODE), multi-agent simulaties en micromodelling van logistieke keuzes op bedrijfsniveau (INTERLOG, FAME, MASS-GT). In Tabel 4 worden de toepassingsgebieden en enkele voor- en nadelen van de genoemde modellen samengevat.

Tabel 4: Overzicht van beschikbare modellen waarmee transportstromen kunnen worden gemodelleerd.

Model	+	-
Basis Goederenvervoermiddel (BasGoed) Nationaal niveau (Nederland).	BasGoed is een transportmodel dat wordt gebruikt bij het opstellen van goederenvervoerprognoses op basis van verschillende economische en transportsценario's. De economische scenario's worden vertaald naar groei van de productie en consumptie per regio en goederensoort. Vervolgens wordt bepaald wat het effect is van veranderingen in transporttijden en logistieke kosten voor het transport per modaliteit. Daarbij wordt voor zover mogelijk op macroniveau rekening gehouden met gedragsreacties. BasGoed is met name geschikt voor het doorrekenen van ontwikkelingen op het gebied van economie, infrastructuur en logistieke kosten.	BasGoed kent functionaliteit voor het modelleren van gedragsreacties in de logistiek op geaggregeerd niveau. Het is met BasGoed echter niet goed mogelijk om gedragsreacties te voorspellen op het meer gedetailleerde niveau waarop Decamod-vraagstukken zich doorgaans afspelen.
SMILE/SMILE+. Nationaal niveau (Nederland). (Tavasszy, Smeenk, & Ruijgrok, 1998)	SMILE was één van de eerste modellen waarin rekening werd gehouden met logistieke aspecten. Het bevat een uitgebreide logistieke module die o.a. gebruik maakt van meerdere soorten logistieke ketens (bijv. direct transport tussen productie- en	De empirische validatie van de logistieke module is in termen van transportstromen tussen herkomst- en bestemmingslocaties moeilijk aan te tonen. Het model is verouderd en wordt zover bekend niet (meer) toegepast.

	<p>consumptielocatie, transport via een regionaal distributiecentrum etc.) en logistieke families (goederensoorten met verschillende logistieke kenmerken). De logistieke beslissingen zijn gebaseerd op het minimaliseren van de logistieke kosten.</p>	
<p>Logistics Chain Model (LCM) <i>Nationaal niveau (Nederland, Duitsland), Europa</i> (Davydenko & Tavasszy, 2013)</p>	<p>LCM is het eerste empirisch gevalideerde en bewezen model van logistieke ketens die productie- en consumptielocaties verbinden. Het LCM is een macromodel aangestuurd door logistieke kosten en is geschikt voor (beleids)analyse van productie-consumptie stromen op regionaal niveau en analyse van omvang van regionale distributie. Gedrag van bedrijven is gemodelleerd door middel van logistieke kosten en elasticiteiten.</p>	<p>Het model opereert met een beperkt aantal variabelen. De scope is dus gericht op macroanalyses en niet geschikt voor het inzoomen op een gedetailleerd niveau. Goederensoorten zijn geaggregeerd; dat maakt sectorale analyse moeilijk.</p>
<p>ADA <i>Internationaal, nationaal of regionaal niveau.</i> (Ben-Akiva & de Jong, 2013)</p>	<p>In een ADA-model worden de productie- en consumptiestromen en het netwerk op een geaggregeerd niveau gesimuleerd. De logistieke beslissingen (bijv. omvang van de zending, modaliteit, gebruik van distributiecentra) worden op een gedesaggregeerd (bedrijfsniveau) gemaakt en zijn gebaseerd op het minimaliseren van de logistieke kosten.</p>	<p>Om het gedesaggregeerde niveau van de logistieke module te benutten is er op zendingsniveau data nodig van bedrijven. Deze data is vaak niet beschikbaar.</p>
<p>TRIMODE <i>Europees niveau.</i> (Fiorello, Nökel, & Martino, 2018)</p>	<p>TRIMODE bestrijkt heel het goederentransport in Europa op een gedetailleerd niveau. Er wordt rekening gehouden met logistieke beslissingen over de keten, zoals modaliteit en distributiecentra/magazijnen.</p>	<p>Vanwege het macroniveau van dit model zijn de uitkomsten niet voldoende accuraat op nationaal of regionaal niveau.</p>
<p>INTERLOG <i>Nationaal niveau.</i> (Liedtke, 2009)</p>	<p>INTERLOG is één van de eerste modellen die aspecten van gedrag integreren op microscopisch niveau. De verlader kiest bijvoorbeeld de vervoerder op basis van voorkeuren. De logistieke- en transportbeslissingen worden op bedrijfsniveau gemaakt en de interactie tussen verschillende spelers wordt</p>	<p>Informatie over de logistieke keten, zoals modaliteiten en distributiecentra/magazijnen worden niet gemodelleerd. De empirische validatie is moeilijk aan te tonen.</p>

	gemodelleerd. Beslissingen worden genomen op basis van het minimaliseren van de logistieke kosten.	
FAME <i>Nationaal niveau (Amerika).</i> (Samimi, Mohammadian, & Kawamura, 2010)	FAME maakt gebruik van gedesaggregeerde data over karakteristieken van bedrijven (sector, aantal werknemers, locatie etc.), het multimodale transportnetwerk en interactie tussen bedrijven om op bedrijfsniveau goederenstromen in de VS te simuleren en voorspellen. In de microsimulatie van FAME nemen bedrijven de logistieke beslissingen.	De data van bedrijven is moeilijk te verkrijgen.
MASS-GT <i>Stadsniveau.</i> (de Bok & Tavasszy, 2018)	MASS-GT focust specifiek op het goederentransport in de stad. Het gedrag van de agents wordt gesimuleerd.	Dit is een prototype en beschikt nog niet over een logistieke keuzemodel.

De huidige beschikbare modellen kennen beperkingen in het accuraat bepalen van gedragsreacties. Om dat uit te leggen is het nuttig om onderscheid te maken tussen geaggregeerde en gedesaggregeerde modellen. Geaggregeerde modellen (ook wel macromodellen) zijn modellen waarbij geen rekening gehouden wordt met de rol en gedragsvoorkeuren van individuele bedrijven, zoals verladers of vervoerders, terwijl dit juist wel het niveau is waar beslissingen worden genomen. De schattingen uit dergelijke modellen zijn daarom vooral geschikt voor beleidsanalyse op macroniveau. In gedesaggregeerde modellen worden logistieke beslissingen wel genomen op het niveau van individuele bedrijven of groepen bedrijven met dezelfde karakteristieken. Voor betrouwbare uitkomsten is echter ook data op een dergelijk gedesaggregeerd niveau nodig en het gebrek aan data op dit niveau (bedrijven zijn meestal niet bereid data op microniveau te delen vanwege de vertrouwelijke aard ervan) vormt een obstakel. Daarnaast zijn deze modellen moeilijk om empirisch te valideren. Dat laatste probleem doet zich in mindere mate voor bij geaggregeerde modellen, omdat er op geaggregeerd niveau wel transportstatistieken beschikbaar zijn. Bovendien is de verzameling van bedrijfsdata buiten de statistiekbureaus om erg kostbaar.

Naast de genoemde beperkingen van geaggregeerde en gedesaggregeerde modellen kunnen de huidige modellen ook niet goed omgaan met disruptieve ontwikkelingen. Dit komt doordat zulke gebeurtenissen moeilijk te kwantificeren zijn en meestal niet aansluiten bij de context (historische data, kosten, gevoeligheden etc.) van waaruit modellen zijn ontwikkeld. Autonoom rijden zal bijvoorbeeld een verschuiving opleveren in de kosten: van de loonkosten voor chauffeurs naar kosten voor IT-systemen en dataverwerking. Deze reductie in loonkosten kan wel worden gevoed aan de huidige modellen, maar doordat de hele kostenstructuur is aangetast wordt de betrouwbaarheid van de modelresultaten beïnvloed. Het model is namelijk niet bedoeld om met een grote verandering, zoals een verandering in de

kostenstructuur, om te gaan. Daarnaast zetten grote veranderingen in de waardes van de modelvariabelen de modellen buiten hun gevalideerde operationele scope. Dat maakt het lastig om met de huidige modellen de reactie van logistieke dienstverleners op bijvoorbeeld innovaties, technologieën of omgevingsveranderingen te kwantificeren.

Concluderend, de huidige beschikbare modellen kunnen over het algemeen niet goed omgaan met drastische veranderingen in de omgeving. Daarnaast vormt het gebrek aan data een obstakel voor modellen waar logistieke keuzes op een gedesaggregeerd niveau zijn geïmplementeerd. Voor geaggregeerde modellen is vaak wel de benodigde data beschikbaar, maar worden de logistieke beslissingen niet gemodelleerd daar waar deze keuzes daadwerkelijk gemaakt worden.

4.2.2.2 *Toekomstige ontwikkelingen*

Simulatiemodellen bieden de mogelijkheid om gedetailleerde logistieke keuzes en gedrag te modelleren, in principe zonder kennis van prijselasticiteiten. Op dit moment worden micro-simulatiemodellen ontwikkeld die de populaties van beslissers nabootsen en ook macroniveau-indicatoren en -ontwikkelingen meenemen.

Er zijn drie klassen modellen die potentieel goed om kunnen gaan met de onzekerheid van gedragsreacties:

- 1) *Agent-gebaseerd (agent-based)*. Deze manier van modelleren biedt de mogelijkheid om de complexiteit van het transportsysteem beter te modelleren doordat in grotere mate rekening kan worden gehouden met individuele beslissingen, acties en interactie tussen *agents* (spelers in het logistieke systeem). De uitkomsten van deze simulatiemodellen hangen af van de mate waarin de geprogrammeerde gedragsregels van de agenten afwijken van de werkelijkheid;
- 2) *Systeemdynamica*. Dit soort modellen beschrijft complexe, dynamische systemen en de ontwikkeling daarvan in de loop van de tijd. Deze modellen werken met tijdreeksen en kunnen worden gebruikt om de “stabiele toestand” van het systeem te vinden – in de systeemtheorie bevindt een systeem of proces zich in een stabiele toestand als de variabelen die het gedrag van het systeem of het proces definiëren in de tijd niet meer veranderen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het nieuwe evenwicht waar het logistieke systeem zich in gaat bevinden na de introductie van een nieuwe maatregel;
- 3) *Exploratory modelling*. Exploratory modelling wordt in tegenstelling tot andere (conventionele) type modellen niet gebruikt om voorspellingen te doen over een nog onbekende toestand van een systeem. In plaats daarvan gebruikt het de bekende onzekerheden om te laten zien wat mogelijke uitkomsten zijn van verschillende scenario's. Het geeft op die manier meer inzicht in de gevolgen en de gevoeligheid van de belangrijkste onzekerheden op de modelresultaten.

4.2.3 *Aanbevelingen*

Het modelleren van gedragseffecten is een complexe aangelegenheid en in veel gevallen vereist dat een onderzoek en modelleerinspanning op zich. Decamod is

nu opgezet als een 'CO₂-boekhoudmodel', waarin alle gegevens beschikbaar zijn voor het berekenen van de effecten van decarbonisatiemaatregelen in de logistieke sector.

Om deze effecten te berekenen wordt op basis van expert judgement, scenario's en beschikbare literatuur ingeschat hoe de logistieke sector zal reageren op maatregelen, en met Decamod wordt vervolgens het CO₂-effect bepaald.

Als in de toekomst wensen ontstaan om met behulp van Decamod ook gedragsreacties te kunnen modelleren, vereist dat naar verwachting een forse inspanning. Het verdient daarom aanbeveling te onderzoeken of Decamod in de toekomst kan aansluiten bij nu in ontwikkeling zijnde gedragsmodellen. In de tussentijd kunnen, als vraagstellers hieraan behoefte hebben, gedragseffecten in een voorstudie voor een Decamodtraject worden gekwantificeerd.

5 Referenties

- Ben-Akiva, M., & de Jong, G. (2013). The Aggregate-Disaggregate-Aggregate (ADA) Freight Model System. In M. Ben-Akiva, M. Meersman, & E. Van de Voorde (Red.), *Freight Transport Modelling* (pp. 69-90). Emerald Group Publishing Limited.
- CE Delft. (2016). *De omvang van stadslogistiek*. Delft: CE Delft.
- Davydenko, I. Y., & Tavasszy, L. A. (2013). Estimation of warehouse throughput in freight transport demand model for The Netherlands. *Transportation Research Record*, 2379(1), 9-17.
- de Bok, M., & Tavasszy, L. (2018). An empirical agent-based simulation system for urban goods transport (MASS-GT). *Procedia Computer Science*, 130, 126-133.
- Fiorello, D., Nökel, K., & Martino, A. (2018). The TRIMODE integrated model for Europe. *Transportation Research Procedia*, 31, 88-98.
- Liedtke, G. (2009). Principles of micro-behavior commodity transport modeling. *Transportation Research Part E*, 45, 795-809.
- NEA. (2009). *Kostenkengetallen binnenvaart 2008*. Zoetermeer.
- Rijkswaterstaat. (2020, April). *Kostentool binnenvaart*. Opgehaald van <https://www.rwseconomie.nl/kengetallen/kostentool-binnenvaart>
- Samimi, A., Mohammadian, A., & Kawamura, K. (2010). A behavioral freight movement microsimulation model: method and data. *Transportation Letters*, 2(1), 53-62.
- Significance. (2019). *Basgoed runs KEV 2019*. Den Haag: Significance.
- Tavasszy, L., Smeenk, B., & Ruijgrok, C. (1998). A DSS for modelling logistic chains in freight transport policy analysis. *International Transactions in Operational Research*, 5(6), 447-459.
- TNO. (2017). *Factsheets CO2 reductiemogelijkheden voor verkeer en vervoer*. Den Haag: TNO 2017 R11296.
- TNO. (2017). *Modal shift van weg naar spoor; Potentie tot 2050 en effect op CO2-uitstoot*. Delft: TNO 2017 R10463.
- TNO. (2019). *Effectbepaling van een vrachtwagenheffing en verschillende terugsluismaatregelen op de wagenparksamenstelling en emissies van het vrachtverkeer in Nederland*. Den Haag: TNO 2019 R11725.

6 Ondertekening

Den Haag, 30 november 2020



J.S. Spreen
Projectleider

TNO



A. Rondaij
Auteur

A Definities en afkortingen

BasGoed – Basis Goederenvervoermodel. Dit is een transportmodel dat is opgezet om op strategisch niveau uitspraken te doen over goederenvervoer in Nederland en wordt onder andere gebruikt voor goederenvervoerprognoses.

BBGV – Basisbestanden Goederenvervoer vormen het uitgangspunt van BasGoed en omvatten de waargenomen goederenstromen.

COROP – Coördinatie Commissie Regionaal OnderzoeksProgramma. COROP verwijst naar de commissie die in 1970 de COROP-indeling heeft vastgesteld. De COROP-indeling bestaat uit 40 regio's (COROP-gebieden) in Nederland. De COROP-gebieden vormen op Europees niveau de Nederlandse NUTS 3-gebieden.

KEV 2019 – De Klimaat- en Energieverkenning 2019. De KEV is gepubliceerd door PBL en geeft inzicht in de ontwikkeling van de Nederlandse uitstoot van broeikasgassen en het energiesysteem tot en met 2030.

LZV – Langere en Zwaardere Vrachtautocombinatie.

NST 2007 – Een goederenclassificatie gebaseerd op Nomenclature uniforme des marchandises pour les Statistiques de Transport, 2007.

NSTR – Een goederenclassificatie gebaseerd op Nomenclature uniforme des marchandises pour les Statistiques de Transport, Révisée.

NUTS-3 – Nomenclature des Unités Territoriales Statistiques. NUTS-3 is de regionale indeling van het grondgebied van de Europese Unie ingevoerd door het Europese statistiekbureau Eurostat.

PBL – Planbureau voor de Leefomgeving.

SMILE – Strategisch Model Integrale Logistiek en Evaluatie (SMILE). SMILE is een goederenvervoermodel met als doel om de gevolgen van economische en logistieke ontwikkelingen voor o.a. de Nederlandse transport- en distributiesector, inzichtelijk te maken. De SMILE-zones komen uit de zone-indeling die in dit model wordt gebruikt.

SRM-emissiefactoren – Algemene emissiefactoren die elk jaar door TNO en PBL worden gepubliceerd. De berekening van de SRM-emissiefactoren is gebaseerd op het emissiemodel VERSIT+ dat door TNO is ontwikkeld.

TTW – Tank-To-Wheel. De verbrandingsemisies die vrijkomen bij het gebruik van het voertuig. Voor binnenvaart wordt de term 'Tank-To-Propeller' gebruikt.

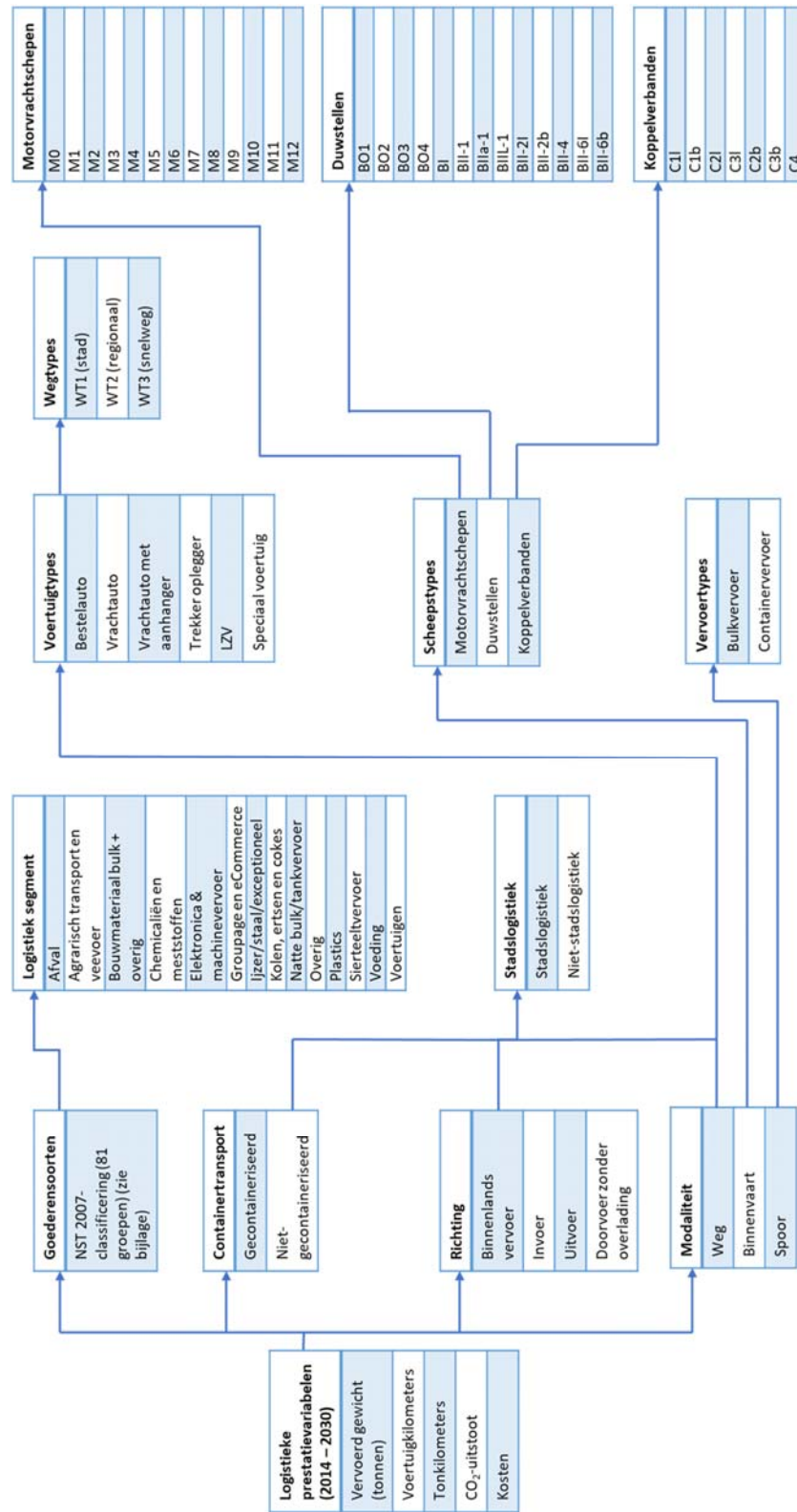
B Kostenkengetallen

Tabel 5: Kostenkengetallen (€/voertuigkilometer) voor de modaliteiten binnenvaart, weg en spoor per voertuig-/scheepstype. De kosten voor weg- en spoorvervoer komen respectievelijk voort uit de studies 'Effectbepaling van een vrachtwagenheffing en verschillende terugsluismaatregelen op de wagenparksamenstelling en emissies van het vrachtverkeer in Nederland' (TNO, 2019) en 'Modal shift van weg naar spoor' (TNO, 2017). Voor binnenvaart is gebruik gemaakt van de Kostentool binnenvaart (Rijkswaterstaat, 2020).

Binnenvaart		Weg		Spoor	
Scheepstype	€/vkm	Voertuigtype	€/vkm	Type vervoer	€/vkm
M0	7,48	Bestelauto	0,75	Containervervoer	101
M1	7,48	Vrachtwagen	1,35	Bulkvervoer	101
M2	8,43	Vrachtwagen met aanhanger	1,56		
M3	9,85	Trekker oplegger	1,58		
M4	10,94	LZV	1,83		
M5	13,36	Speciaal voertuig	2,00		
M6	14,26				
M7	18,90				
M8	21,67				
M9	27,26				
M10	31,81				
M11	35,71				
M12	41,36				
BI	17,36				
BI-1	19,52				
BI-2L	31,53				
BI-2b	27,08				
BI-4	52,9				
BI-6b	61,23				
BI-6l	76,55				
BIIL-1	22,88				
BIla-1	21,08				
BO1	13,42				
BO2	12,51				
BO3	13,49				
BO4	13,95				
C1b	11,06				
C1l	12,13				
C2b	25,36				
C2l	28,54				
C3b	33,68				
C3l	39,52				
C4	50,80				

C Datadimensies en -indeling

Figuur 12 laat een overzicht zien van de logistieke prestatievariabelen en de dimensies van de data in de database van de Decamodtoolbox, zoals omschreven in Hoofdstuk 2. Het geeft weer in welke dimensies het basisscenario kan worden uitgesplitst en op welk detailniveau de effectberekeningen kunnen plaatsvinden.



Figuur 12: Logistieke prestatievariabelen en dimensies in de Decamodtoolbox.

D NST 2007-classificering

De NST 2007 is een classificatiesysteem voor goederen en bestaat uit 20 onderdelen op het eerste niveau. Hierin zijn 81 groepen onderverdeeld. Tabel 6 geeft hier een overzicht van.

Tabel 6: NST 2007-goederenclassificatie.

NST 2007- onderdeel	Benaming	Groepen
01	Landbouw- en visserijproducten	01.1, 01.2, 01.3, 01.4, 01.5, 01.6, 01.7, 01.8, 01.9, 01.A, 01.B
02	Steenkool, bruinkool, ruwe aardolie en aardgas	02.1, 02.2, 02.3
03	Ertsen, turf en andere delfstoffen	03.1, 03.2, 03.3, 03.4, 03.5, 03.6
04	Voedings- en genotmiddelen	04.1, 04.2, 04.3, 04.4, 04.5, 04.6, 04.7, 04.8, 04.9
05	Textiel(producten) en leder(waren)	05.1, 05.2, 05.3
06	Hout(waren), papier, pulp en drukwerk	06.1, 06.2, 06.3
07	Cokes en geraffineerde aardolieproducten	07.1, 07.2, 07.3, 07.4
08	Chemicaliën, vezels, rubber en splijtstoffen	08.1, 08.2, 08.3, 08.4, 08.5, 08.6, 08.7
09	Overige niet-metaalhoudende minerale producten	09.1, 09.2, 09.3
10	Metalen en metaalproducten	10.1, 10.2, 10.3, 10.4, 10.5
11	Machines, apparaten, consumenten elektronica etc.	11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.7, 11.8
12	Transportmiddelen	12.1, 12.2
13	Meubelen en overige industrieproducten n.e.g.	13.1, 13.2
14	Secundaire grondstoffen en afval	14.1, 14.2
15	Brieven, pakketten	15.1, 15.2
16	Uitrusting voor het vervoer van goederen	16.1, 16.2
17	Verhuisgoederen; bagage; niet-markt goederen	17.1, 17.2, 17.3, 17.4, 17.5
18	Groupage goederen	
19	Niet identificeerbare goederen	19.1, 19.2
20	Overige goederen	

E Binnenvaartvloot

Tabel 7: De sloopstypes (RWS-klasse) waarin in Decamod onderscheid wordt gemaakt uitgesplitst naar de sloopcategorieën motorvrachtschepen, duwstellen en koppelverbanden.

Motorvrachtschepen	Duwstellen	Koppelverbanden
M0	BO1	C1l
M1	BO2	C1b
M2	BO3	C2l
M3	BO4	C3l
M4	BI	C2b
M5	BII-1	C3b
M6	BIIa-1	C4
M7	BII-1	
M8	BII-2l	
M9	BII-2b	
M10	BII-4	
M11	BII-6l	
M12	BII-6b	

F Datavereisten in ideale situatie

F.1 Macrodata

Tabel 8: Benodigde macrodata voor Decamod in ideale situatie.

Macrodata	
Transportketendata	
	Productie- en consumptielocatie
	Eenheden van de lading (ton, TEU, pallets, etc.)
	Type goederen (NST 2007)
	Logistiek segment (bouw, afval etc.)
	Hemelsbrede afstand tussen productie- en consumptielocatie
	Transportketenprestatie (bijv. hemelsbrede tonkilometers)
	Transportlegprestatie (voertuigkilometers per modaliteit, CO ₂ -uitstoot per modaliteit)
Transportdata	
	Laad- en loslocatie
	Type laadlocatie (productie/distributie)
	Type loslocatie (distributie/consumptie)
	Type goederen (NST2007)
	Logistiek segment (bouw, afval etc.)
	Verpakkingstype (bulk, container, pallet etc.)
	Aantal ritten of leveringen
	Hemelsbrede afstand tussen de herkomst- en bestemmingslocatie
	Eenheid van de lading (ton, TEU, pallets etc.)
	Transportlegprestatie (bijv. hemelsbrede tonkilometers)
Transportdata	Ritniveau (geladen en lege ritten)
	RitID
	Modaliteit
	Voertuigtype
	Brandstoftype
	Laadvermogen voertuig
	ID's van de geladen zendingen
	Eenheid van de lading
	Startlocatie van de rit
	Stoplocaties van de rit (laden, lossen en beide)
	Eindlocatie van de rit
	Totale ritafstand (inclusief lege kilometers)
	Totale afstand per land en/of regio
	Totale afstand per wegtype (of over spoor/water)
	Totaal brandstof- en energieverbruik
	Totale emissies

F.2 Microdata

Tabel 9: Benodigde microdata voor Decamod in ideale situatie.

Microdata	
Transportketendata	
	Productie- en consumptielocatie
	Eenheden van de lading (ton, TEU, pallets etc.)
	Hoeveelheid goederen verzonden per periode (uitgedrukt in eenheden)
	Type goederen (NST 2007)
	Logistiek segment (bouw, afval etc.)
	Hemelsbrede afstand tussen productie- en consumptielocatie
	Transportketenprestatie (bijv. hemelsbrede tonkilometers)
	Transportleg (zie transportdata)
	Som van de transportlegprestaties
Transportdata	Zending gegevens - transportactiviteit
	ZendingID
	Laad- en loslocatie
	Type laadlocatie (productie/distributie)
	Type loslocatie (distributie/consumptie)
	Type goederen (NST2007)
	Logistiek segment (bouw, afval etc.)
	Verpakkingstype (bulk, container, pallet etc.)
	Aantal ritten of leveringen
	Hemelsbrede afstand tussen de herkomst- en bestemmingslocatie
	Eenheid van de lading (ton, TEU, pallets etc.)
	Transportlegprestatie (bijv. tonkilometers)
Transportdata	Ritniveau (geladen en lege ritten)
	RitID
	Modaliteit
	Voertuigtype
	Brandstoftype
	Laadvermogen voertuig
	ID van de geladen zendingen
	Eenheid van de lading
	Startlocatie van de rit
	Stoplocaties van de rit (laden, lossen en beide)
	Eindlocatie van de rit
	Totale ritafstand (inclusief lege kilometers)
	Totale afstand per land en/of regio
	Totale afstand per wegtype (of over spoor/water)
	Totaal brandstof- en energieverbruik
	Totale emissies