

TNO PUBLIEK

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

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

TNO-rapport

TNO 2022 R10341

Review LMS/NRM

Datum	22 februari 2022
Auteurs	Maaïke Snelder en Diana Vonk Noordegraaf
Reviewers model	Michiel Bliemer, Eric van Berkum, Maaïke Snelder
Exemplaarnummer	TNO-2022-SUMS-100343767
Oplage	
Aantal pagina's	58 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat
Projectnaam	RWS Review LMS/NRM
Projectnummer	060.49130

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.

© 2022 TNO

TNO PUBLIEK

Samenvatting

Achtergrond van de review

Het Landelijk Model Systeem (LMS) en het Nederlands Regionaal Model (NRM) zijn verkeers- en vervoersmodellen die gebruikt worden voor het verkennen van de effecten van beleid. Rijkswaterstaat is de eigenaar en beheerder van het LMS en NRM en draagt zorg voor het op orde houden van de kwaliteit. Zij werkt hiervoor samen met ProRail. In 2021 is het geactualiseerde modelsysteem in gebruik genomen na uitgebreide kwaliteitstoetsen. Rijkswaterstaat heeft aan TNO gevraagd om een onafhankelijke review uit te voeren om te bepalen hoe geschikt het geactualiseerde modelsysteem LMS/NRM is voor het beoogde gebruik door Rijkswaterstaat, ProRail en de beleidsdirecties van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW).

Doelstelling

Het doel van de review is om te beoordelen of het geactualiseerde modelsysteem LMS/NRM 'fit for purpose' is en aanbevelingen voor verbeteringen te geven die Rijkswaterstaat en ProRail mee kunnen nemen in de ontwikkeling van het modelsysteem de komende jaren.

Aanpak

In samenwerking met twee onafhankelijke hoogleraren, Michiel Bliemer (University of Sydney) en Eric van Berkum (Universiteit Twente), heeft TNO de review van de nieuwe versie van het LMS/NRM uitgevoerd. Rijkswaterstaat heeft voor de recente ontwikkeling van het onderliggende groeimodel van het LMS/NRM samengewerkt met onderzoeksbureau Significance. Zowel Significance en Rijkswaterstaat hebben op meerdere momenten informatie verstrekt om de review goed uit te voeren.

De review is in drie fasen uitgevoerd:

1) Voorbereiden review

Ten eerste heeft Rijkswaterstaat de huidige toepassing beschreven aan de hand van beleidsonderwerpen (de 'purpose'). Vervolgens is besloten de review uit te voeren op de volgende 3 thema's:

- Thema 1 Econometrische validiteit
- Thema 2 Bereikbaarheid verschillende modaliteiten
- Thema 3 Inkomensontwikkeling en kostengevoeligheid

2) Uitvoeren review

Ten tweede heeft Significance onder eindverantwoordelijkheid van TNO een oplegnotitie geschreven die het geactualiseerde modelsysteem samenvat op deze drie thema's, met verwijzingen naar de achterliggende documentatie. Ook hebben de hoogleraren en TNO tijdens een werksessie vragen kunnen stellen aan de beheerders en ontwikkelaar van LMS/NRM. Vervolgens hebben de hoogleraren hun reviews opgesteld en heeft TNO deze geanalyseerd.

3) Synthese en fit for purpose

Ten derde is de toetsing op de 'fit for purpose' uitgevoerd in een gezamenlijke werksessie. Aan de hand van de reviews en de opgedane kennis over het

modelsysteem is voor de verschillende beleidsonderwerpen bepaald in welke mate het LMS en het NRM fit for purpose zijn. Ook zijn verschillende aandachtspunten voor de toepassing van het LMS/NRM en aanbevelingen voor de doorontwikkeling van het instrumentarium de komende jaren gegeven.

Conclusies en aanbevelingen

De hoofdconclusie van de review is dat het LMS en het NRM over het algemeen geschikt zijn om effecten van exogene ontwikkelingen en beleidsmaatregelen waar momenteel naar gekeken wordt op de mobiliteit en de verkeersstromen te bepalen. Vergeleken met het modelinstrumentarium dat in andere landen wordt toegepast, is het LMS/NRM geavanceerd en uitgebreid (zoals het aantal meegenomen vervoerwijzen waarbij bijvoorbeeld de elektrische fiets wordt gemodelleerd). Het model en de onderliggende nutsfuncties en toedelingen zitten goed in elkaar.

De mate waarin het LMS/NRM fit for purpose is, hangt vooral af van het detailniveau en de complexiteit van de vraag. In het algemeen kan worden gesteld dat het model het meest geschikt is voor vragen over het hoofdwegennet en de vervoerwijzekeuze in de hoofdcategorieën auto, OV (trein, bus, tram of metro), fietsen en lopen. Detailleringen in termen van verschillende subcategorieën binnen één vervoerwijze, verschillende verplaatsingsmotieven, verschillende voertuigkenmerken en verschillende regio's zijn afhankelijk van de beleidsvraag in meer of mindere mate mogelijk. Zo is het modelsysteem in staat verschillende niveaus van voertuigautomatisering te onderscheiden maar is het niet geschikt voor het beschrijven van verplaatsingen met volledig automatische voertuigen (zonder bestuurder). Ook is het mogelijk om een aantal beperkingen, met aanpassingen in verschillende modules, weg te nemen of te reduceren. Afhankelijk van het beleidsonderwerp zijn er aandachtspunten en/of beperkingen in de toepassing van het LMS/NRM. Het is dus van belang dat het LMS/NRM met kennis van de mogelijkheden en de beperkingen wordt toegepast.

Voor de verschillende exogene ontwikkelingen en maatregelen is in Tabel S-1 in meer detail samengevat of het LMS/NRM geschikt (groen), deels geschikt (geel) of 'niet of beperkt' geschikt (oranje) is voor de toepassing. De letters in de tabel verwijzen naar de aandachtspunten die onder de tabel staan en een verklaring vormen voor de score. De grijs gemarkeerde maatregelen vallen buiten de scope van de review aangezien dit onderwerpen betreffen die buiten het beoogde toepassingsbereik vallen (zoals binnenstedelijke vraagstukken, luchtvaart en goederenvervoer). In de tabel is te zien dat het LMS/NRM geschikt is voor een groot deel van de exogene ontwikkelingen en beleidsmaatregelen. Voor een aantal maatregelen waarbij ruimtelijke differentiatie naar milieukeurmerken van belang zijn zoals variabilisatie van autokosten per kilometer met differentiatie naar milieukeurmerken, elektrificatie van personenauto's en belasting op CO₂-uitstoot is het LMS/NRM deels (geel) geschikt. Het LMS/NRM is beperkt geschikt om de effecten van emissievrije zones en milieuzones te bepalen. Het LMS/NRM is deels geschikt om de effecten van niet-reizen en innovaties en nieuwe diensten zoals connected, coöperatief en automatisch rijden, deelmobiliteit, Mobility-as-a-Service en restrictief beleid met betrekking tot autobezit te bepalen omdat hierbij veel aannames moeten worden gedaan. Voor exploratieve doeleinden kan het LMS/NRM echter wel ingezet worden om potentiële effecten van deze innovaties en diensten te bepalen in verkennende 'what-if' analyses. Tot slot is het LMS/NRM deels geschikt om het effect van kwaliteitsverbeteringen van het fietsnetwerk en deelfietsen op stations te bepalen

en niet/beperkt geschikt om het effect van hubs te bepalen. Multimodale verplaatsingen met het OV kunnen wel worden gemodelleerd, maar multimodale verplaatsingen via andere hubs dan treinstations kunnen alleen exploratief via het wijzigen van modelinvoerwaarden (exogene invoer) worden gemodelleerd.

Tabel S-1: Fit for purpose (Aandachtspunten a – o zijn mede bepalend voor de scores)

	Beleidsonderwerp	Nadere omschrijving	Score
Strategische nationale vragen	Exogene ontwikkelingen	Demografische ontwikkelingen (bevolkingstoename, vergrijzing, veranderende samenstelling/kleinere huishoudens)	
		Ruimtelijke ontwikkelingen (Urbanisatie en krimp van het buitengebied)	
		Economie en welvaart (grote ontwikkelprojecten inwoners & arbeidsplaatsen)	
		Economie en welvaart (inkomen)	n, o
		Landelijke autobezit en kosten per kilometer	
		Parkeertarieven	
		Treintarieven	j
		Tarieven Bus en Tram/metro	j, k
		Niet-reizen	a
		Landzijdige mobiliteit van luchtreizigers	
		Internationaal personenautoverkeer	
	Verstedelijkingsstrategieën	Mate van verdichting van steden	
	Investerings in de netwerken	Investerings in het hoofdwegennetwerk	i, f, g
		Investerings in het spoorwegennetwerk	j, g
	Verschillende vormen van betalen naar gebruik	Brandstofaccijns	
		Variabilisatie autokosten/km	
		Variabilisatie autokosten/km - differentiatie naar milieukeurmerken	b, h
		Variabilisatie autokosten/km - differentiatie naar tijd en plaats	
		Congestieheffing	
	Ontwikkelingen wagenpark	Tol	
		Elektrificatie personenauto's (en evt. waterstof)	b, h
	Klimaatakkoord	Belasting op CO ₂ -uitstoot	b, h
		Emissievrije zones en milieuzones in de stad	b, h
		Autoluwe zones	e
		Aanpassing werkgeversvergoeding voor woon-werk en zakelijk verkeer voor auto en OV	
Exploratieve vraagstukken	Innovaties, nieuwe diensten en gedragsverandering	Connected, coöperatief en automatisch rijden	c
		Deelmobiliteit (auto- en fietsdeelsystemen, ridesourcing)	d
		Mobility-as-a-service	m
		Restrictief beleid met betrekking tot autobezit	e
Regionale gebiedsgerichte analyses (NRM)	Investerings in het hoofdwegennet	Mobiliteitssysteem in een regio	i, f, g
	Investerings in het regionaal OV	Hoogwaardig openbaar vervoer, zoals tram- of metroverbindingen	j, k, g
	Regionale verstedelijkingsstrategieën	Mobiliteit in regio en functioneren netwerk	
	Regionale en stedelijke ontwikkelingen gericht op mobiliteitstransitie	Autoluwe zones	e
		Parkeertarieven	
		Kwaliteitsverbeteringen fiets	l
		Meer deelfietsen op stations	d
		Toename carpoolen	
		Deelauto's	
		Hubs	m
Verkenningen en planuitwerkingen	Knelpuntanalyse	Ontwikkelingen mobiliteitsvraag en uitbreiding infrastructuur	
	Maatschappelijke baten	Ontwikkelingen mobiliteitsvraag en uitbreiding infrastructuur	i
	Verkeersprognoses en bereikbaarheidsindicatoren	Ontwikkelingen mobiliteitsvraag en uitbreiding infrastructuur	i
	Geluidsniveaus, stikstofdepositie, luchtkwaliteit en CO ₂ -emissies	Ontwikkelingen mobiliteitsvraag en uitbreiding infrastructuur	h

Geschikt
 Deels geschikt
 Niet of beperkt geschikt
 Buiten scope review

- a. Telewerken/winkelen/educatie kan alleen exogeen als scenario-input worden beschouwd waarbij niet-reizen percentages uniform worden toegepast zonder onderscheid te maken naar huishoudtype, type beroep, woonlocatie, en reisafstand.
- b. In het groei-model wordt geen onderscheid gemaakt tussen conventionele, elektrische, of hybride auto's. Verschuivingen in het wagenpark die van invloed zijn op voertuigbezit en de variabele en vaste kosten van voertuigen kunnen (als exogene invoer) worden meegenomen in het automarktmodel Dynamo.
- c. Level 5 zelfrijdende auto's kunnen slechts zeer beperkt worden gemodelleerd.
- d. De reguliere deelfiets wordt niet meegenomen in het vervoerwijzekeuzemodel. Deelfietsen op stations zijn wel gemodelleerd voor het natransport van de trein, maar de capaciteit en beschikbaarheid van deelfietsen kan niet per station worden gevarieerd.
- e. Restrictief beleid met betrekking tot autobezit leidt tot mogelijk onrealistische neveneffecten omdat het resulteert in een toename van autobezit in andere regio's omdat wordt uitgegaan van landelijke totalen. Het is mogelijk om hiervoor (iteratief) te corrigeren via verlaging van de nationale invoer.
- f. Een aantal periodes is samengevoegd (de schouders voor en na de spits en midden op de dag, avond, en nacht). Beleidsmaatregelen specifiek gericht op deze tijdsperiodes (zoals spitsmijden) kunnen hierdoor niet of beperkt in beeld worden gebracht.
- g. Convergentie tussen vraag en aanbod is niet gegarandeerd. Beperkingen in convergentie kunnen van invloed zijn op zowel vervoerwijzekeuze, bestemmingskeuze, en reisschemakeuze alsook voor en natransportkeuze, stationskeuze, en vertrektijdstipkeuze.
- h. In het toedelingsmodel (QBLOK) en in de level-of-service (LOS) van de auto wordt geen onderscheid gemaakt naar brandstoftype.
- i. De autoreistijden worden op een aanzienlijk aantal trajecten op het hoofdwegennetwerk meer dan 20% overschat in de ochtendspits en meer dan 20% onder- en overschat in de avondspits. De reistijden voor belangrijke routealternatieven via het onderliggend wegennetwerk zijn niet gevalideerd.
- j. OV: capaciteiten en crowding zijn niet meegenomen en OV-bezetting is niet gevalideerd.
- k. Bus: de frequency-based benadering geeft voor laagfrequente lijnen en voor de overstaptijden tussen bussen en tussen bussen en treinen een overschatting van de initiële wachttijd en overstaptijd ondanks het feit dat rekening is gehouden met afstemming van het vertrektijdstip op de dienstregeling.
- l. Fiets: snelheidsverschillen en verschillen in routekeuze tussen fietsen en e-bike zijn niet expliciet meegenomen, maar benaderd via een lagere gevoeligheid voor reistijd voor e-bike gebruikers zoals blijkt uit schattingen op waargenomen gedrag.
- m. Multimodale verplaatsingen met het OV kunnen wel worden gemodelleerd, maar multimodale verplaatsingen via andere hubs dan treinstations kunnen alleen exploratief via exogene invoer worden gemodelleerd.
- n. De verhouding tussen samenstellingseffecten (het effect van een verandering in de verdeling van huishoudtypen op het inkomen) en generieke welvaartseffecten heeft een grote invloed op de modeluitkomsten en dient nader onderzocht te worden.
- o. De invoer voor het LMS/NRM in de vorm van bbp-ramingen, de GWI (General Welfare Increase)-elasticiteit en de targets voor opleidingsniveau hebben een groot effect op de inkomensontwikkelingen. Het is de vraag in hoeverre deze invoer realistisch en consistent is met de aannames in het model.

De belangrijkste aanbevelingen zijn:

- Wees bewust van de mogelijkheden en de beperkingen van het instrumentarium. Juist door de uitbreidingen en het gebruik van gedetailleerde netwerken voor bijvoorbeeld lopen en fietsen kan onterecht de indruk ontstaan dat ook de uitvoer van LMS/NRM op hoog detailniveau plausibel is (bijv. ook alle stedelijke vraagstukken). Echter, dit hangt sterk af van het specifieke inhoudelijke vraagstuk.
- De kwaliteit van de modeluitkomsten is deels afhankelijk van invoer. Aanbevolen wordt om een gevoeligheidsanalyses uit te voeren op de opleidings- en inkomensontwikkeling en de GWI (General Welfare Increase)-elasticiteit.
- Ontwikkel een methode om effecten van niet-reizen, ofwel het thuis uitvoeren van activiteiten, endogeen te kunnen modelleren. Dit kan potentieel aanzienlijke effecten hebben op het aantal verplaatsingen en de doorstroming.
- Voor de ontwikkeling van het modelsysteem de komende jaren wordt aanbevolen aandacht te hebben voor beleid waarin het relevant is om lokale of regionale verschillen inzichtelijk te maken. Voorbeelden hiervan zijn emissievrije zones en milieuzones en betalen naar gebruik met een differentiatie naar milieukeurmerken.
- Tot slot zijn er meerdere meer technisch-inhoudelijke aanbevelingen gegeven waarmee de modelleers in de toekomst hun voordeel kunnen doen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
Lijst met afkortingen.....	8
1 Inleiding	9
2 Toetsingskader	12
2.1 Toepassingsbereik LMS/NRM (Purpose)	12
2.2 Aanpak toetsing	13
2.3 Overzicht LMS/NRM modelketen	14
2.4 Selectie thema's	14
3 Toets per thema	18
3.1 Thema 1 Econometrische validiteit.....	18
3.2 Thema 2 Bereikbaarheid verschillende modaliteiten.....	20
3.3 Thema 3 Inkomensontwikkeling en kostengevoeligheid	21
3.4 Aandachtspunten.....	23
4 Toets 'fit for purpose'	25
4.1 Fit for purpose Strategische nationale vragen.....	26
4.2 Fit for purpose Regionale gebiedsgerichte analyses (NRM).....	29
4.3 Fit for purpose Verkenningen en Planuitwerking (NRM)	30
5 Conclusies en aanbevelingen	32
5.1 Conclusies	32
5.2 Aanbevelingen	33
6 Referenties	37
7 Ondertekening	40
Bijlage(n)	
A Bijlage suggesties LMS/NRM	
B Review thema 1 Econometrische validiteit	
C Review thema 2 Bereikbaarheid verschillende modaliteiten	
D Review thema 3 Inkomensontwikkeling en kostengevoeligheid	

Lijst met afkortingen

BBP	Bruto binnenlands product
BEVs	Battery Electric Vehicles
BNP	Bruto Nationaal Product
BTM	Bus, Tram en Metro
CPB	Centraal Planbureau
GFTS	General Transit Feed Specification
GM	Groeimodel
GW	General Welfare Increase
HWN	Hoofdwegennet
ICEVs	Internal Combustion Engine Vehicles
IenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
IMA	Integrale Mobiliteitsanalyses
LMS	Landelijk Model Systeem
LOS	Level of service
LV	Langzaam Verkeer
MaaS	Mobility as a Service
MKBA	Maatschappelijke Kosten-Batenanalyse
NRM	Nederlands Regionaal Model
OEI	Overzicht Effecten Infrastructuur
OV	Openbaar Vervoer
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
SES	Sample Enumeration System
WLO	Welvaart en Leefomgeving

1 Inleiding

Het Landelijk Model Systeem (LMS) en het Nederlands Regionaal Model (NRM) zijn verkeers- en vervoersmodellen die gebruikt worden voor het verkennen van de effecten van beleid. Rijkswaterstaat is de eigenaar en beheerder van het LMS en NRM en draagt zorg voor het op orde houden van de kwaliteit. Zij werkt hiervoor samen met ProRail. Op 1 april 2021 zijn de nieuwe referentieprognoses met het geactualiseerde modelsysteem LMS/NRM vrijgegeven na uitgebreide kwaliteitstoetsen (DAT.mobility, 2021). De actualisatie betreft zowel de uitgangspunten, het basisjaar, als ook de achterliggende modelprincipes. Bij de totstandkoming van de referentieprognoses zijn uitgebreide kwaliteitstoetsen uitgevoerd. De kwaliteitstoetsen varieerden van controles op de invoer, plausibiliteitstoetsen op de uitvoer tot beoordelingen van de modelschattingen. Deze kwaliteitstoetsen zijn de basis geweest voor de uiteindelijke vrijgave van de modellen. Rijkswaterstaat heeft aan TNO gevraagd om een onafhankelijke review uit te voeren om te bepalen hoe geschikt het geactualiseerde modelsysteem LMS/NRM is voor het beoogde gebruik door Rijkswaterstaat, ProRail en de beleidsdirecties van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW).

Het doel van de review is om te beoordelen of het geactualiseerde modelsysteem LMS/NRM 'fit for purpose' is en aanbevelingen voor verbeteringen te geven die Rijkswaterstaat en ProRail mee kunnen nemen in de ontwikkeling van het modelsysteem de komende jaren. In samenwerking met twee door TNO geselecteerde onafhankelijke hoogleraren, Michiel Bliemer (University of Sydney) en Eric van Berkum (Universiteit Twente), heeft TNO de review van de nieuwe versie van het LMS/NRM uitgevoerd. Rijkswaterstaat heeft voor de recente ontwikkeling van het onderliggende groeimodel van het LMS/NRM samengewerkt met onderzoeksbureau Significance. Zowel Significance als Rijkswaterstaat hebben op meerdere momenten informatie verstrekt om de review goed uit te voeren.

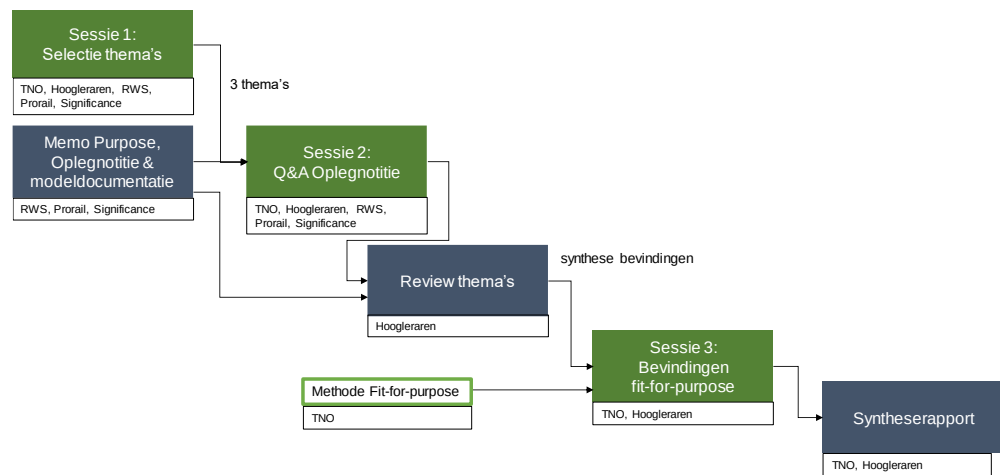
De review richt zich op drie thema's. Op basis van de review is geen volledig fit for purpose oordeel gegeven, omdat niet alle onderdelen van het LMS/NRM getoetst zijn (zie paragraaf 2.1 voor een toelichting). In de review zijn per thema aandachtspunten benoemd die mede bepalend zijn voor de mate waarin het LMS/NRM geschikt is voor het beoogde toepassingsbereik (purpose).

Figuur 1-1 beschrijft de aanpak die gevolgd is bij de review. Rijkswaterstaat en ProRail hebben bij aanvang van het project een memo opgesteld waarin het toepassingsbereik van het LMS/NRM is beschreven (Cellissen en Hofman, 2021). Tijdens de eerste werksessie hebben TNO en de beide hoogleraren met input van Rijkswaterstaat, ProRail en Significance besloten om de review uit te voeren op basis van de volgende drie thema's (zie paragraaf 2.4 voor een toelichting):

- Thema 1 Econometrische validiteit
- Thema 2 Bereikbaarheid verschillende modaliteiten
- Thema 3 Inkomensontwikkeling en kostengevoeligheid

Significance heeft vervolgens onder eindverantwoordelijkheid van TNO een oplegnotitie geschreven die het geactualiseerde modelsysteem samenvat op deze drie thema's (Zondag en Van Grol, 2021), met verwijzingen naar achterliggende documentatie bestaande uit:

- Technische documentatie Groeimodel (Rijkswaterstaat, 2021)
- Schattingsrapport groeimodel (Willigers et al., 2021)
- Technische documentatie totstandkoming prognoses RP2021 (Brands et al., 2020; DAT.mobility, 2021)
- Documentatie adviescommissie modelspecificatie kosten en inkomen (Meurs, 2021)
- Documentatie modellering Mobility as a Service (MaaS) (Muconsult & Significance, 2019)



Figuur 1-1: Aanpak review LMS/NRM

De hoogleraren hebben op basis van de oplegnotitie en achtergronddocumentatie een review op de drie geselecteerde thema's uitgevoerd. De reviews van de hoogleraren zijn integraal opgenomen in de bijlagen van dit rapport. Tussentijds heeft een tweede werksessie plaatsgevonden waarbij de hoogleraren en TNO vragen konden stellen aan Rijkswaterstaat, ProRail en Significance over de werking van het LMS/NRM en de gevolgde werkwijze bij de actualisatie. Tot slot heeft TNO op basis van de reviews en een expertbeoordeling door een TNO expert een conceptscore bepaald voor de mate waarin het LMS/NRM fit for purpose is. De score is bepaald door voor alle exogene ontwikkelingen en maatregelen waarvoor het LMS/NRM kan worden ingezet na te gaan:

- welke onderdelen van het LMS/NRM van kritisch belang zijn;
- en voor de betreffende onderdelen die in de review aan bod zijn gekomen te bepalen of er aandachtspunten zijn ten aanzien van plausibiliteit, gedetailleerdheid en nauwkeurigheid die leiden tot beperkingen in het toepassingsbereik.

Tijdens een derde werksessie heeft TNO in overleg met de hoogleraren op basis van de conceptresultaten een conclusie getrokken ten aanzien van de 'fit for purpose'. Rijkswaterstaat, ProRail en Significance waren bij de derde sessie aanwezig om te toetsen op feitelijke onjuistheden.

Tot slot zijn na deze werksessie de aanbevelingen opgesteld ten aanzien van verbeteringen van het modelsysteem die de komende jaren kunnen worden uitgevoerd. Dit betreft mogelijke verbeteringen binnen de bestaande modelsystematiek LMS/NRM. Verbeterpunten die horen bij een volledig vernieuwd modelsysteem en -filosofie vallen buiten de scope van het project.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft het toetsingskader bestaande uit het toepassingsbereik van het LMS/NRM, de methode van toetsing, een overzicht van het LMS/NRM en de selectie van thema's voor de review. Hoofdstuk 3 vat de belangrijkste bevindingen van de review op de drie thema's samen. Hoofdstuk 4 bevat het fit for purpose oordeel en hoofdstuk 5 gaat tot slot in op de conclusies en aanbevelingen.

2 Toetsingskader

Dit hoofdstuk beschrijft het toetsingskader voor de review van het LMS/NRM. Paragraaf 2.1 gaat in op het toepassingsbereik (purpose) van het LMS/NRM. De paragrafen 2.2, 2.3 en 2.4 beschrijven achtereenvolgens welke aanpak bij de toets op fit for purpose is gevolgd, welke modules in het LMS/NRM zijn opgenomen en de selectie van de drie thema's die centraal staan in de review.

2.1 Toepassingsbereik LMS/NRM (Purpose)

Rijkswaterstaat heeft de huidige toepassing van LMS/NRM beschreven aan de hand van beleidsonderwerpen (de 'purpose') in de memo 'Toepassingsbereik verkeersmodellen LMS en NRM' (Cellissen en Hofman, 2021). De in deze paragraaf opgenomen beschrijving van het toepassingsbereik is integraal overgenomen uit de memo van Rijkswaterstaat.

De definitie voor 'fit for purpose' is in vraagvorm geformuleerd: zijn het LMS en NRM in voldoende mate geschikt om de informatie te genereren die plausibel, gedetailleerd en nauwkeurig genoeg is om de vragen te beantwoorden die aan de modellen worden gesteld? Met deze definitie wordt de 'purpose' dus bepaald aan de hand van de door het LMS en NRM te beantwoorden vragen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende soorten vragen:

- Strategische nationale vragen (LMS)
- Regionale gebiedsgerichte analyses (NRM)
- MIRT-Verkenningen en Planuitwerking (NRM)

De vragen worden in deze paragraaf kort genoemd. Om concreet te toetsen of het model 'fit for purpose' is, zijn de vragen nog verder geconcretiseerd in hoofdstuk 4.

Strategische nationale vragen (LMS)

- Wat is de toekomstige ontwikkeling van het mobiliteitssysteem, gegeven de exogene ontwikkelingen zoals geschetst in de lange termijn omgevingsscenario's die door de planbureaus zijn opgesteld?
- Wat is de impact van verschillende verstedelijingsstrategieën op het functioneren van het Hoofdwegennet en het Hoofdrailnet?
- Wat is de impact van verschillende vormen van betalen naar gebruik (bijvoorbeeld variabilisatie autokosten) op het mobiliteitssysteem?
- Wat is de impact van ontwikkelingen in het wagenpark (bijvoorbeeld elektrificatie personenauto's) op het mobiliteitssysteem?
- Wat is de impact van investeringen in de netwerken van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) (Hoofdwegennet en Spoor) op het functioneren van die netwerken?
- Wat is de invloed van het klimaatakkoord op de toekomstige ontwikkeling van het mobiliteitssysteem?
- Wat is de impact van innovaties, nieuwe diensten en gedragsverandering op het mobiliteitssysteem en het gebruik van de netwerken van IenW? Om deze vraag te beantwoorden is de exploratieve modus van het LMS ontwikkeld. Voor voorbeelden van dergelijke maatregelen zie de onzekerheidsverkenning "Innovaties, nieuwe diensten en gedragsverandering" uit de Integrale Mobiliteitsanalyses (IMA) (MinIenW, 2021).

Regionale gebiedsgerichte analyses (NRM)

- Wat is de effectiviteit van specifieke investeringen in het Hoofdwegennet op het mobiliteitssysteem in een regio?
- Wat is de effectiviteit van specifieke investeringen in het regionaal OV, bijvoorbeeld investeringen in Hoogwaardig openbaar vervoer, zoals tram- of metroverbindingen?
- Wat is de impact van verschillende regionale verstedelijkingsstrategieën op de mobiliteit in een regio en het functioneren van de netwerken?
- Wat is de impact van specifieke ontwikkelingen en maatregelen in regionale en stedelijke omgevingen gericht op een mobiliteitstransitie? Voor voorbeelden van dergelijke maatregelen zie de onzekerheidsverkenning “Ruimtelijke en stedelijke ontwikkeling” uit de Integrale Mobiliteitsanalyses (IMA).

Verkenningen en Planuitwerkingen (NRM)

- In welke mate is de capaciteit van de infrastructuurnetwerken van IenW toereikend voor de (toekomstige) mobiliteitsvraag en wat zijn de maatschappelijke baten van een uitbreiding van de infrastructuur?
- Hoe ontwikkelt het verkeer en de bereikbaarheid zich zonder en met een uitbreiding van de infrastructuur?
- Zijn de resultaten geschikt om na nabewerking te dienen als basis voor berekening van geluidsniveaus, stikstofdepositie, luchtkwaliteit en CO₂?

Goederenvervoer buiten de scope van de review

De review richt zich op de ontwikkeling van personenverkeer en niet op goederenvervoer. Voor de ontwikkeling van goederenvervoer is het model BASGOED beschikbaar. De omvang van het goederenvervoer over de weg wordt als exogene invoer voor het LMS beschouwd.

2.2 Aanpak toetsing

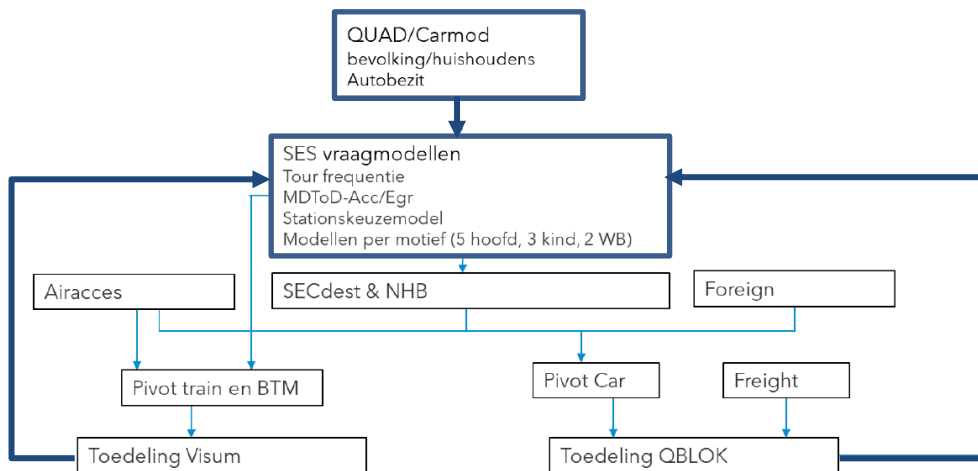
De toetsing is uitgevoerd door voor de drie thema's van de review een overzicht te maken op basis van expert judgement van aandachtspunten ten aanzien van:

- Plausibiliteit: in hoeverre sluiten de modelprincipes en modelgevoeligheden aan op theoretische inzichten en praktische ervaringen?
- Gedetailleerdheid: sluit het detailniveau van de uitkomsten ruimtelijk, naar tijdsperiode en naar segmentatie (doelgroepen, wegcategorieën etc.) voldoende aan op de beleidsvraag?
- Nauwkeurigheid: zijn de onzekerheidsmarges in de uitkomsten klein genoeg om verantwoorde uitspraken te doen?

De vragen die in de vorige paragraaf zijn genoemd zijn uitgewerkt tot exogene ontwikkelingen en beleidsmaatregelen die met het LMS/NRM doorgerekend zouden moeten kunnen worden (zie hoofdstuk 4). Voor alle exogene ontwikkelingen en maatregelen is bepaald welke onderdelen van het LMS/NRM (zie volgende paragraaf) van kritisch belang zijn en over welke onderdelen uitspraken gedaan kunnen worden op basis van de drie thema's van de review. Vervolgens is voor alle exogene ontwikkelingen en maatregelen aangegeven welke aandachtspunten uit de reviews van belang zijn en wat de consequenties van de aandachtspunten zijn voor de mate waarin het LMS/NRM geschikt is voor toepassing (fit for purpose).

2.3 Overzicht LMS/NRM modelketen

Het groeimodel (GM) bestaat uit een verzameling deelmodellen en neemt een centrale plek in binnen het gehele LMS/NRM instrumentarium. Figuur 2-1 geeft een overzicht van het gehele modelsysteem bestaande uit de modules QUAD en CARMOD die respectievelijk gericht zijn op de bevolkingssamenstelling en autobezit per zone en huishoudtype, de SES vraagmodellen die gericht zijn op tourfrequentie, vervoerwijzekeuze (M), bestemmingskeuze(D), tijdstipkeuze (ToD), voor- en natransportkeuze (Acc/Egr) en stationskeuze, modules voor verkeer van en naar de luchthaven (Airaccess), secundaire bestemmingen (SECdest) en niet-woongebaseerde reizen (NHB) en verkeer van en naar het buitenland (Foreign) en OV (Visum) en autotoedelingen (QBLOK). De OV-toedeling vindt exogeen buiten het LMS/NRM om plaats. De trein, BTM en auto pivot (vermenigvuldiging van de basismatrix met de groei) zijn wel een integraal onderdeel van het systeem net zoals de autotoedeling waarbij een iteratie plaatsvindt tussen vraag en aanbod (in huidige versie standaard 6 iteraties voor het gehele systeem). (Zondag & van Grol, 2021). Bij de review is vooral aandacht besteed aan de modules met een donker blauwe rand en de donker blauwe pijlen zoals in meer detail wordt toegelicht in volgende paragraaf. De overige modules zijn dus buiten beschouwing gelaten in de review, waardoor ook niet bepaald is wat de eventuele aandachtspunten zijn van die modules voor toepassingen met het LMS/NRM. Ook andere modellen en modules die geen onderdeel zijn van het LMS/NRM maar in combinatie met het LMS/NRM worden toegepast, zoals het automarktmodel Dynamo en de robuustheidstool, vallen buiten de scope van deze review.



Figuur 2-1: Structuur van de LMS/NRM modelketen (Bron: Zondag & van Grol, 2021)

2.4 Selectie thema's

Tijdens de eerste werksessie hebben TNO en de beide hoogleraren met input van Rijkswaterstaat, ProRail en Significance drie thema's gekozen voor de review:

- Thema 1 Econometrische validiteit
- Thema 2 Bereikbaarheid verschillende modaliteiten
- Thema 3 Inkomensontwikkeling en kostengevoeligheid

Deze thema's zijn zodanig gekozen dat de modules die het meest van belang zijn om te kunnen bepalen of het LMS/NRM 'fit for purpose' is zijn afgedekt. Bij de selectie

van thema's is tevens rekening gehouden met de resultaten van een eerdere audit op het LMS/NRM uit 2012 (Tavasszy et. al., 2012), de modelontwikkelingen die bij de actualisatie zijn uitgevoerd en een overzicht van 'known issues', vraagpunten en aandachtspunten dat door Rijkswaterstaat bij aanvang van het project aan TNO is aangeleverd. In het vervolg van deze paragraaf worden de drie geselecteerde thema's toegelicht.

Thema 1: Econometrische validiteit (structuur groeimodel)

Het groeimodel in het LMS/NRM bepaalt de vervoersvraag in een toekomstscenario op basis van sociaal-economische gegevens en kenmerken van vervoersnetwerken en -diensten. Dit gebeurt door groeifactoren te bepalen en die toe te passen op de exogene vervoersvraag van het basisjaar. De Sample Enumeration System (SES) vraagmodellen waarin vervoerskeuzes van reizigers worden voorspeld spelen hierin een centrale rol (zie voor een uitgebreidere toelichting Bijlage B).

Het Groeimodel (GM) is een genest multinomiaal LOGIT model. De structuur is vooral voor de trein erg complex geworden (veel niveaus in de geneste structuur) waardoor resultaten lastig te duiden zijn. Voor een aantal motieven konden sommige nestcoëfficiënten niet geschat worden. Deze coëfficiënten zijn op 1 gezet.

De structuur van het model is erg bepalend voor de manier waarop het model reageert. De vervoerwijzekeuze staat op een hoger niveau in de geneste structuur dan de bestemmingskeuze: dat betekent dat er als gevolg van maatregelen eerder een effect zal zijn op de afgelegde kilometers met een vervoerwijze dan op de modaliteitskeuze. Daar komt bij dat zowel kosten die afhangen van de modaliteit en van de afstand als reistijden een rol spelen bij de bestemmingskeuze. Dat leidt er toe dat een verlaging van de kosten of een toename van het inkomen leidt tot verlenging van de afgelegde afstanden. Reistijden en reiskosten variëren niet onafhankelijk van elkaar – dus ook bij de schatting van parameters is voorzichtigheid geboden.

Vragen voor de review:

- Is de structuur van het groeimodel adequaat, logisch, interpreteerbaar en uitlegbaar?
- De nutsfuncties bevatten een groot aantal dummyvariabelen: zijn al deze dummyvariabelen relevant om op te nemen en wat is het relatieve belang van de dummyvariabelen?
- In hoeverre kunnen what-if analyses ten aanzien van innovaties, nieuwe diensten en gedragsverandering adequaat met het groeimodel in de exploratieve versie van het LMS worden uitgevoerd? In bijzonder gaat het hierbij om 'niet-reizen' (activiteiten thuis uitvoeren), deelmobiliteit, MaaS, zelfrijdende auto's en restrictief beleid met betrekking tot autobezit.

Thema 2: Bereikbaarheid verschillende modaliteiten

Naast het groeimodel, vormen de toedelingen vormen de een belangrijk component van het LMS/NRM:

- Auto- en vrachtverkeer: QBLOK wordt gebruikt voor toedeling van auto- en vrachtverkeer aan het wegennetwerk. Eén van de aanpassingen is dat QBLOK nu vijf voertuigcategorieën onderscheidt: personenauto, lichte bestelauto, middelzware bestelauto, middelzware en zware vrachtwagens.
- Regionaal OV: in de nieuwe versie van het LMS/NRM hebben tevens diverse ontwikkelingen plaatsgevonden om regionaal OV (bus, tram-metro) beter te

kunnen modelleren door landelijke OV-netwerken voor bus en tram-metro te maken, bus en tram-metro als twee aparte vervoerwijzen te modelleren en dienstregelingen af te leiden uit General Transit Feed Specification (GFTS)-data.

- Fietsen: In de nieuwe versie van het LMS/NRM is een loop- en fietsnetwerk opgesteld op basis van Open Street Map en worden e-bikes gemodelleerd die gebruik maken van het fietsnetwerk.

In de vorige audit op het LMS/NRM (Tavasszy et. al., 2012) is een toets uitgevoerd op routekeuze en verkeersafwikkeling in QBLOK. Dit gedeelte van QBLOK is niet veranderd en is daarom ook niet opnieuw gereviewd. Voor de OV-toedelingen en voor de berekening van de level-of-service (LOS) worden standaardalgoritmes gebruikt die daarom ook geen onderdeel uitmaken van de review. De focus bij dit thema ligt dus vooral op het detailniveau van de berekeningen en de plausibiliteit van resultaten in relatie tot de modeltoepassingen.

Vragen voor de review:

- Tot op welk detailniveau kunnen verschillende OV-maatregelen worden doorgerekend met het LMS/NRM? (aanpassingen lijnen, dienstregeling, kosten etc.)
- Bevat de level-of-service (LOS) van de verschillende modaliteiten de juiste componenten en worden deze componenten in voldoende detail berekend voor de verschillende toepassingen op nationale en regionale schaal? Hierbij gaat het bijvoorbeeld om reistijden, wacht- en overstaptijden, kosten, 'crowding in het OV', etc. Qua detailniveau gaat het o.a. om onderscheid naar voertuigcategorieën en dagdelen.
- Zijn de resultaten van de autotoedelingen plausibel?

Thema 3: Inkomensontwikkeling en kostengevoeligheid

In de aanvullingen op de Overzicht Effecten Infrastructuur (OEI) Leidraad (bijvoorbeeld de richtlijn voor de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA): aanvulling op de Leidraad OEI (mkba-informatie.nl)) wordt als richtlijn gehanteerd dat de tijdwaardering toeneemt met de helft van de groei van de reële loonvoet. In het Groeimodel (het hart van LMS en NRM) wordt dit meegenomen door de parameter voor de kostenvariabele in de nutsfuncties aan te passen.

Essentieel daarbij is dat de inkomensgroei wordt meegenomen. Als uitgangspunt hiervoor wordt de inkomensontwikkeling uit de Welvaart en Leefomgeving (WLO)-scenario's gehanteerd die is bepaald door het Centraal Planbureau en het Planbureau voor de Leefomgeving (CPB/PBL, 2015). In de WLO wordt de inkomensontwikkeling bepaald door de ontwikkeling van bruto nationaal product (BNP) per capita. Dat is dus inclusief samenstellingseffecten zoals de toename van het aantal werkenden.

Voor het reisgedrag volgens het model is de inkomensontwikkeling zonder samenstellingseffecten mede bepalend. In de QUAD-module van het Groeimodel wordt de ontwikkeling van het BNP per capita uit de scenario's daarom gecorrigeerd voor samenstellingseffecten, resulterend in een GWI (General Welfare Increase)-indicator: als er geen generieke inkomensontwikkeling per huishouden wordt verondersteld neemt het gemiddelde huishoudinkomen toch toe, als bijvoorbeeld het aantal werkenden toeneemt. Recent is deze QUAD-module uitgebreid: ook het opleidingsniveau wordt meegenomen. Ook daarvoor geldt dat een toename van het

aantal personen met een hoog opleidingsniveau leidt tot een stijging van het gemiddelde huishoudinkomen.

Bij toepassing voor het WLO-scenario 2040 Laag is gebleken dat de inkomensontwikkeling als gevolg van samenstellingseffecten die QUAD berekent hoger is (22%) dan de inkomensontwikkeling die in het WLO-scenario 2040 Laag is verondersteld (9%). Het resultaat van de correctie voor samenstellingseffecten (GWI) is daardoor kleiner dan 1. De resulterende inkomensdaling (volgens de GWI indicator) zorgt dan voor afname van het autogebruik.

Vragen voor de review:

- Is de manier waarop de inkomensontwikkeling wordt gecorrigeerd voor samenstellingseffecten correct?
- Is de veronderstelde relatie tussen opleiding en inkomen realistisch? Deze is geschat op basis van data, maar als veel mensen in de toekomst hoger zijn opgeleid zijn de inkomensverschillen misschien kleiner.
- Is inkomen op een logische manier in de nutsfunctie opgenomen (mensen met verschillende inkomens kunnen ander reisgedrag vertonen)?
- Is de methode waarmee de inkomensontwikkeling in de nutsfunctie van het Groeimodel doorwerkt plausibel?

3 Toets per thema

De review op de drie thema's zoals uitgevoerd door Michiel Bliemer (Thema 1 en Thema 3) en Eric van Berkum (Thema 2) is weergegeven in Bijlage B t/m Bijlage D. Dit hoofdstuk vat de belangrijkste bevindingen samen per thema en geeft in paragraaf 3.4 een overzicht van aandachtspunten die gebruikt zijn om te bepalen in hoeverre het LMS/NRM fit for purpose is.

3.1 Thema 1 Econometrische validiteit

3.1.1 *Is de structuur van het groeimodel adequaat, logisch, interpreteerbaar en uitlegbaar?*

De algehele structuur bestaat uit een bevolkingsmodule, een bereikbaarheidsmodule, een buitenlandmodule, en een groeifactormodel. Dit is een logische en beproefde structuur.

De dimensies in het groeimodel bestaan uit a priori gespecificeerde reismotieven, vervoerwijzen, en dagdelen. Deze dimensies in het groeimodel zijn adequaat, logisch, interpreteerbaar en uitlegbaar voor het doel van LMS/NRM. De reismotieven volgen een redelijk standaard indeling die aansluit op data in OViN/ODiN. De uitsplitsing tussen e-bike en fiets is een vrij unieke en noemenswaardige uitbreiding die past bij een fietsland als Nederland. Door het samenvoegen van diverse niet-aaneengrenzende tijdspannen voor de schouders van de spitsen en de restdag is het niet mogelijk om goed inzicht te krijgen in verkeersstromen gedurende de dag, maar voor het huidige gebruik van LMS/NRM is dit niet noodzakelijk.

De SES vraagmodellen (onderdeel van de groeifactormodule) zijn gebaseerd op een geneste logit structuur voor de vervoerwijze, bestemmingskeuze, dagdeelkeuze, voor- en natransportkeuze, en stationskeuze. Dit systeem van vraagmodellen is uitgebreider dan het merendeel van de modellen die worden toegepast in andere westerse landen. De volgorde van de keuzemodellen voor vervoerwijze, bestemming, en dagdeel is gebaseerd op modelschattingen en lijkt logisch, interpreteerbaar en uitlegbaar. De toevoeging van de voor- en natransportkeuze en stationskeuze is adequaat om multimodale routekeuze te kunnen beschrijven voor de vervoerwijze trein.

Er worden standaard zes iteraties gedaan om een evenwicht te benaderen in het systeem van vraagmodellen. Dit is een pragmatische keuze om rekentijden acceptabel te houden, maar garandeert niet dat een evenwicht wordt bereikt bij het doorrekenen van toekomstige scenario's. De substitutie-effecten binnen de vraagmodellen onderaan in de geneste structuur zijn groter dan binnen de vraagmodellen aan de top. De kans is daarmee aanwezig dat vooral de dagdeelkeuze, voor- en natransportkeuze, en/of stationskeuze niet voldoende in evenwicht zijn om uitkomsten van verschillende scenario's op dit niveau te kunnen vergelijken, maar waarschijnlijk levert dit weinig problemen op bij het vergelijken van scenario's op een hoger niveau waarvoor LMS/NRM voornamelijk wordt gebruikt.

3.1.2 *De nutsfuncties bevatten een groot aantal dummyvariabelen: zijn al deze dummyvariabelen relevant om op te nemen en wat is het relatieve belang van de dummyvariabelen?*

De nutsfuncties zijn zorgvuldig samengesteld. Voor iedere vervoerwijze, bestemming, en dagdeel zijn alternatief-specifieke constanten daar waar relevant

opgenomen in de nutsfuncties als dummy variabelen. Tevens wordt het effect van ieder huishoudtype beschreven in het groeimodel door een reeks dummy variabelen. Dit is een gebruikelijke manier om rekening te houden met heterogeniteit in de populatie.

3.1.3 In hoeverre kunnen what-if analyses ten aanzien van innovaties, nieuwe diensten en gedragsverandering adequaat met het groeimodel in de exploratieve versie van het LMS worden uitgevoerd?

Niet-reizen: in het groeimodel kan rekening gehouden worden met een toename van telewerken/winkelen/educatie door dit exogeen in te voeren als scenario variabele. De niet-reizen percentages worden echter uniform toegepast, terwijl het aannemelijk is dat er grote verschillen kunnen zijn per huishoudtype, type beroep, woonlocatie, en reisafstand, en dat thuiswerken leidt tot meer verplaatsingen zoals winkelen en visites.

Elektrische en hybride auto's: in het groeimodel wordt geen onderscheid gemaakt tussen conventionele, elektrische, of hybride auto's. In het groeimodel is het gemiddelde van de variabele kosten en de vaste kosten in het wagenpark een invoerparameter die kan worden bepaald op basis van wagenparksamenstelling uit het automarktmmodel Dynamo, waarbij impliciet wordt verondersteld dat in het LMS/NRM alle voertuigen dezelfde variabele kosten hebben. Voor de huidige doeleinden van LMS/NRM is dit een verdedigbare vereenvoudiging.

Zelfrijdende auto's: Level 3/4 zelfrijdende auto's kunnen worden gemodelleerd in LMS/NRM door aanpassingen te maken in de vraag- en aanbodmodellen. Doordat de huidige structuur in LMS/NRM het niet mogelijk maakt om passagiers en voertuigen afzonderlijk te volgen op het netwerk kunnen level 5 zelfrijdende auto's (die ook leeg rond kunnen rijden) slechts zeer beperkt worden gemodelleerd.

Deelmobiliteit: de belangrijkste karakteristieken van de deelauto kunnen adequaat worden meegenomen in het vraagmodel. De reguliere deelfiets wordt niet meegenomen in het vervoerwijzekeuzemodel. Echter, de deelfiets is wel beschikbaar in het model als natransport voor de trein.

Mobility-as-a-service: In het LMS/NRM wordt exogeen het aantal MaaS abbonementhouders meegenomen. Naast de vaste vervoerwijzen in het groeimodel worden ook deelauto, deelfiets, carpoolen, en ridesourcing (Uber/Lyft) als expliciete reisopties toegevoegd waar MaaS abbonementhouders voordeliger gebruik van kunnen maken. Deze MaaS uitbreiding leidt tot een vrijwel compleet palet van beschikbare vervoerwijzen en lijkt adequaat om de mogelijke invloed van MaaS te onderzoeken.

Restrictief beleid met betrekking tot autobezit: In het autobezitverdeelmodel kan het aantal vergunningen per zone of het maximale aantal beschikbare auto's voor een gebied worden ingevoerd. Bij beperking van autobezit in bepaalde regio's resulteert dit in een toename van autobezit in andere regio's omdat wordt uitgegaan van landelijke totalen, wat waarschijnlijk ongewenst is. Het is mogelijk om hiervoor (iteratief) te corrigeren via verlaging van de nationale invoer.

3.2 Thema 2 Bereikbaarheid verschillende modaliteiten

Voor het thema Bereikbaarheid verschillende modaliteiten zijn de bevindingen per vraag van de review in de volgende paragrafen samengevat.

3.2.1 *Tot op welk detailniveau kunnen verschillende OV-maatregelen worden doorgerekend met het LMS/NRM?*

OV-maatregelen die effect hebben op de reistijden (In-Vehicle-Tijd) van de trein en Bus en Tram/Metro (BTM) kunnen worden doorgerekend. Dat geldt ook voor tariefswijzigingen van deze modaliteiten. Daarnaast kan de treindienstregeling met behulp van ProRail worden aangepast en kunnen de Bus- en Tram/Metro-dienstregeling en -lijnen worden aangepast in het LMS/NRM.

Alle lijnen (van hoogfrequente metrolijnen in hoog stedelijk gebied en laagfrequente buslijnen in landelijk gebied) zijn in evenveel detail meegenomen. Het detailniveau waarop het model uitspraken kan doen, hangt dus vooral af van het detailniveau van de zonering. Enerzijds geldt, hoe fijner de zones hoe beter de level-of-service (LOS) bepaald kan worden, anderzijds is het model en het gedrag hetzelfde voor alle lijnen. Uit de kwaliteitscontroles die zijn uitgevoerd voor het LMS en NRM, waarbij onder andere een vergelijking is gemaakt tussen de gemodelleerde reistijden en de reistijden uit 9292.nl, blijkt dat de reistijden zowel op landelijk als op regionaal niveau plausibel zijn. Voor enkele relaties zijn er wel substantiële verschillen, maar die zijn logisch te verklaren doordat het bijvoorbeeld laagfrequente lijnen betreft waarbij het LMS/NRM wel een initiële wachttijd meerekent en 9292.nl niet.

3.2.2 *Bevat de level-of-service (LOS) van de verschillende modaliteiten de juiste componenten en worden deze componenten in voldoende detail berekend voor de verschillende toepassingen (purpose) op nationale en regionale schaal?*

Auto: de LOS voor de auto bevat de juiste componenten. Het toedelingsmodel (QBLOK) modelleert reguliere reistijden inclusief congestie. Kruispuntvertragingen zijn op vereenvoudigde wijze meegenomen om routekeuze en uitwisseling tussen het hoofdwegennetwerk en het onderliggend wegennetwerk te kunnen modelleren. De belangrijkste kruispunten zijn hierbij in meer detail gemodelleerd passend bij het schaalniveau van het LMS/NRM. De LOS wordt per voertuigcategorie bepaald (personenauto (3 motieven), lichte en middelzware bestelauto's en middelzware en zware vrachtauto's). Hierbij wordt dus geen onderscheid gemaakt naar brandstoftype, wat wel van belang is voor emissieberekeningen bij locatiespecifieke maatregelen per brandstoftype, zoals bijvoorbeeld bij emissievrije zones en milieuzones.

Trein: een belangrijk onderdeel van de LOS voor het OV zijn reistijden waaronder wacht- en overstaptijden. Voor de trein zijn deze *schedule based* bepaald. Capaciteiten en crowding zijn echter niet meegenomen, terwijl ze wel een belangrijke rol kunnen spelen in de keuze voor vervoerwijze, tijdstip van reizen en ook route (Yap, Cats en Van Arem (2020); Gkiotsalitis en Cats (2021); en Li en Hensher (2013)). Tevens is de OV-bezetting niet gevalideerd.

Bus & tram/metro (BTM): voor bus & tram/metro worden reistijden *frequency based* bepaald. Voor tram en metro is dit gedetailleerd genoeg, maar voor de bus worden de overstaptijden hierdoor mogelijk overschat, omdat afstemming van vertrek- en aankomsttijden bij een overstap tussen bussen en van bus naar trein of omgekeerd daardoor niet wordt meegenomen. Ook voor bus & tram/metro zijn capaciteiten en crowding niet meegenomen en is de OV-bezetting niet gevalideerd.

De plausibiliteit van de toedeling op de verschillende OV-netwerken is niet te bepalen, omdat hierover geen gegevens zijn geleverd, noch van aggregate grootheden als totale OV-stromen, noch van meer gedetailleerde grootheden als bijvoorbeeld bezettingsgraden.

Lopen en fietsen: De LOS voor lopen wordt bepaald op basis van afstand en gemiddelde snelheid. Voor fietsen is daarnaast de snelheid gebruikt die is gebaseerd op werkelijk gereden snelheden vanuit de fietstelweek, aangevuld met een vuistregel gebaseerd op de stedelijkheidsklasse, hoogteverschillen en een standaard kruispuntvertraging. Snelheidsverschillen en verschillen in routekeuze tussen fietsen en e-bike zijn niet meegenomen. In de huidige versie van het groei-model (GM4) is de gevoeligheid van de e-bike gebruikers voor reistijd kleiner dan voor fietsers. Dat weerspiegelt het verschil in comfort en eventuele kortere reistijden. Deze benadering is acceptabel voor de toepassingen van het LMS/NRM.

Multimodale verplaatsingen: multimodale verplaatsingen met het OV kunnen wel worden gemodelleerd, maar multimodale verplaatsingen via andere hubs dan treinstations niet.

3.2.3 *Zijn de resultaten van de autotoedelingen plausibel?*

Bij de kalibratie van de basismatrices zijn voor een viertal thema's (aantallen voertuigen, files en reistijden, verplaatsingsgedrag, consistentie) in totaal 12 toetsen uitgevoerd. De toetsen geven aan dat over het algemeen de toedelingsresultaten, waaronder een toets op telwaarden, conform de streef- en referentiewaarden zijn. Op het autosnelwegennet komen modeluitkomsten over intensiteiten goed overeen met tellingen. Echter, dit geldt niet voor modeluitkomsten over reistijden. Op deze zelfde autosnelwegen komen afwijkingen van meer dan 20% voor (bijvoorbeeld op delen van de A1, A2, A4, A9, A15, A27), zowel overschattingen als onderschattingen. Over hoe goed het model presteert op het niet-autosnelwegennet zijn geen resultaten gepresenteerd. Dit geldt ook voor het gebruik van het openbaar vervoer en langzaam verkeer (fiets en lopen). Het is daarom niet goed mogelijk een uitspraak te doen over de plausibiliteit van het LMS/NRM.

3.3 **Thema 3 Inkomensontwikkeling en kostengevoeligheid**

Voor het thema Inkomensontwikkelingen en kostengevoeligheid zijn de bevindingen per vraag van de review in de volgende paragrafen samengevat.

3.3.1 *Is de manier waarop de inkomensontwikkeling wordt gecorrigeerd voor samenstellingseffecten correct?*

De manier waarop het samenstellingseffect (het effect van een verandering in de verdeling van huishoudtypen op het inkomen) wordt bepaald is logisch en uitlegbaar.

Het is plausibel dat een andere verdeling over huishoudtypen leidt tot een verandering van inkomen. Het berekende samenstellingseffect in het groeimodel is echter veel groter dan in de vorige versie van het LMS/NRM (GM3) door het toevoegen van targets voor opleidingsniveau. Het algemene welvaartseffect wordt hierdoor veel kleiner en zelfs negatief (GWI waarde kleiner dan 1) in het lage WLO-scenario. Dit is niet per se inconsistent of onrealistisch, maar de verhouding tussen samenstellingseffecten en welvaartseffecten heeft een grote invloed op de modeluitkomsten en dient nader onderzocht te worden. Het is daarbij aan te bevelen om te controleren of de veronderstelde ontwikkelingen in opleidingsniveau realistisch zijn. Om de impact van opleidingstargets te verkleinen, en daardoor resultaten meer vergelijkbaar te maken met GM3, kan worden overwogen om een weegfactor kleiner dan 10 te gebruiken voor de opleidingstargets.

3.3.2 *Is de veronderstelde relatie tussen opleiding en inkomen realistisch?*

De gestelde relatie tussen opleiding en inkomen is realistisch. Naast opleiding kunnen echter ook andere factoren tot een hoger of lager inkomen leiden zoals de opmars van de werkende vrouw, technologie en productiviteit, het doorwerken tot op latere leeftijd en een toename in deeltijdwerken. Het Centraal Planbureau (CPB) neemt meer trends op de arbeidsmarkt mee in de prognoses voor de ontwikkeling in bruto binnenlands product dan het groeimodel van het LMS/NRM. Dit betekent dat bbp-ramingen van het CPB wellicht niet direct bruikbaar zijn in het LMS/NRM om ophoogfactoren te bepalen. Een aanbeveling is om te bekijken welke arbeidsmarkteffecten worden meegenomen door het CPB en CPB te vragen naar actualisatie van de inkomensontwikkelingen (eventueel uitgesplitst naar segmenten) om beter aan te sluiten op de effecten die worden beschouwd binnen de QUAD-module van het LMS/NRM.

3.3.3 *Is inkomen op een logische manier in de nutsfunctie opgenomen (mensen met verschillende inkomens kunnen ander reisgedrag vertonen)?*

In het groeimodel in het LMS/NRM is de prijsgevoeligheid afhankelijk van het relatieve inkomen gecorrigeerd voor welvaartseffecten. Geconcludeerd kan worden dat inkomen op een logische manier in de nutsfunctie is opgenomen.

3.3.4 *Is de methode waarmee de inkomensontwikkeling in de nutsfunctie van het Groeimodel doorwerkt plausibel?*

De doorwerking van inkomensontwikkeling in het groeimodel is plausibel als de verhouding tussen samenstellingseffecten en welvaartseffecten plausibel is. Het is onduidelijk of de huidige methodiek in QUAD in staat is om de juiste verhouding te bepalen tussen samenstellingseffecten en generieke inkomenseffecten. Er kan worden overwogen om alleen samenstellingseffecten te beschouwen in QUAD en generieke welvaartseffecten exogeen als parameter in het scenario onder te brengen. De toegepaste waarde is overgenomen uit een enkele bron uit 2001 die geschat was ten tijde van welvaartsgroei. Bij gebrek aan bruikbare nieuwe data is het niet mogelijk gebleken om deze waarde te toetsen en tevens is het onduidelijk of deze elasticiteit ook toegepast kan worden in tijden van welvaartsdaling. Het is te overwegen om een meer conservatieve waarde (tussen -0.5 en 0) voor de elasticiteit met betrekking tot GWI te gebruiken om te voorkomen dat een verkeerde inschatting

van de verhouding tussen samenstellingseffecten en welvaartseffecten een te ingrijpend effect heeft op modelresultaten.

3.4 Aandachtspunten

Deze paragraaf geeft een overzicht van de aandachtspunten van de drie thema's.

Thema 1: Econometrische validiteit

- a. Telewerken/winkelen/educatie kan alleen exogeen als scenario-input worden beschouwd waarbij niet-reizen percentages uniform worden toegepast zonder onderscheid te maken naar huishoudtype, type beroep, woonlocatie, en reisafstand. (§3.1.3)
- b. In het groeimodel wordt geen onderscheid gemaakt tussen conventionele, elektrische, of hybride auto's. Verschuivingen in het wagenpark die van invloed zijn op voertuigbezit en de variabele en vaste kosten van voertuigen kunnen (als exogene invoer) worden meegenomen in het automarktmodel Dynamo. (§3.1.3)
- c. Level 5 zelfrijdende auto's kunnen slechts zeer beperkt worden gemodelleerd. (§3.1.3)
- d. De reguliere deelfiets wordt niet meegenomen in het vervoerwijzekeuzemodel. Deelfietsen op stations zijn wel gemodelleerd voor het natransport van de trein, maar de capaciteit en beschikbaarheid van deelfietsen kan niet per station worden gevarieerd. (§3.1.3)
- e. Restrictief beleid met betrekking tot autobezit leidt tot mogelijk onrealistische neveneffecten omdat het resulteert in een toename van autobezit in andere regio's omdat wordt uitgegaan van landelijke totalen. Het is mogelijk om hiervoor (iteratief) te corrigeren via verlaging van de nationale invoer. (§3.1.3)
- f. Een aantal periodes is samengevoegd (de schouders voor en na de spits en midden op de dag, avond, en nacht). Beleidsmaatregelen specifiek gericht op deze tijdsperiodes (zoals spitsmijden) kunnen hierdoor niet of beperkt in beeld worden gebracht. (§3.1.1)
- g. Convergentie tussen vraag en aanbod is niet gegarandeerd. Beperkingen in convergentie kunnen van invloed zijn op zowel vervoerwijzekeuze, bestemmingskeuze, en reisschemakeuze alsook voor- en natransportkeuze, stationskeuze, en vertrektijdstop-keuze. (§3.1.1)

Thema 2: Bereikbaarheid verschillende modaliteiten

- h. Auto: in het toedelingsmodel (QBLOK) en in de level-of-service (LOS) van de auto wordt geen onderscheid gemaakt naar brandstoftype. (§3.2.2)
- i. Auto: De autoreistijden worden op een aanzienlijk aantal trajecten op het hoofdwegennetwerk meer dan 20% overschat in de ochtendspits en meer dan 20% onder- en overschat in de avondspits. De reistijden voor belangrijke routealternatieven via het onderliggend wegennetwerk zijn niet gevalideerd. (§3.2.3)
- j. OV: capaciteiten en crowding zijn niet meegenomen en OV-bezetting is niet gevalideerd. (§3.2.2)
- k. Bus: de frequency-based benadering geeft voor laagfrequente lijnen en voor de overstaptijden tussen bussen en tussen bussen en treinen een overschatting van de initiële wachttijd en overstaptijd ondanks het feit dat rekening is gehouden met afstemming van het vertrektijdstip op de dienstregeling. (§3.2.2)
- l. Fiets: snelheidsverschillen en verschillen in routekeuze tussen fietsen en e-bike zijn niet expliciet meegenomen, maar benaderd via een lagere gevoeligheid voor

reistijd voor e-bike gebruikers zoals blijkt uit schattingen op waargenomen gedrag. (§3.2.2)

- m. Multimodale verplaatsingen met het OV kunnen wel worden gemodelleerd, maar multimodale verplaatsingen via andere hubs dan treinstations kunnen alleen exploratief via exogene invoer worden gemodelleerd. (§3.2.2)

Thema 3: Inkomensontwikkeling en kostengevoeligheid

- n. De verhouding tussen samenstellingseffecten (het effect van een verandering in de verdeling van huishoudtypen op het inkomen) en generieke welvaartseffecten heeft een grote invloed op de modeluitkomsten en dient nader onderzocht te worden. (§3.3.1 en §3.3.4)
- o. De invoer voor het LMS/NRM in de vorm van bbb-ramingen, de GWI (General Welfare Increase)-elasticiteit en de targets voor opleidingsniveau hebben een groot effect op de inkomensontwikkelingen. Het is de vraag in hoeverre deze invoer realistisch en consistent is met de aannames in het model. (§3.3.2)

4 Toets ‘fit for purpose’

In paragraaf 2.1 is toegelicht dat het LMS en NRM worden ingezet voor strategische nationale vragen (LMS), regionale gebiedsgerichte analyses en MIRT-Verkenningen en Planuitwerking (NRM). In deze paragraaf zijn de onderwerpen die in die categorieën vallen verder uitgewerkt tot exogene ontwikkelingen en beleidsmaatregelen die met het LMS/NRM doorgerekend zouden moeten kunnen worden.

Voor alle exogene ontwikkelingen en maatregelen is aangegeven welke aandachtspunten (zie paragraaf 3.4) van belang zijn en wat de consequenties van de aandachtspunten zijn voor de mate waarin het LMS/NRM geschikt is voor de beoogde analyses van exogene ontwikkelingen en beleidsmaatregelen (fit for purpose):

	Geschikt voor toepassing
	Deels geschikt voor toepassing
	Niet of beperkt geschikt voor toepassing
	Buiten scope review

Paragraaf 4.1, paragraaf 4.2 en paragraaf 4.3 beschrijven het fit for purpose oordeel voor respectievelijk de strategische nationale vragen, de regionale gebiedsgerichte analyses en MIRT-Verkenningen en Planuitwerking. In deze paragrafen is tevens de toelichting gegeven op de scores. Bij de scores is een verwijzing opgenomen naar de aandachtspunten a – o die in paragraaf 3.4 zijn samengevat en die mede bepalend zijn voor welke score is toegekend.

4.1 Fit for purpose Strategische nationale vragen

In Tabel 4-1 zijn de scores weergegeven voor strategische nationale vragen, ofwel exogene ontwikkelingen en maatregelen waarvan is vereist dat ze het met LMS doorgerekend moeten kunnen worden. Onder de tabel worden de scores en de bijbehorende aandachtspunten (a – o) verder toegelicht.

Tabel 4-1: Strategische nationale vragen

Beleids- onderwerp	Nadere omschrijving	Score*
Exogene ontwikkelingen	Demografische ontwikkelingen (bevolkingstoename, vergrijzing, veranderende samenstelling/kleinere huishoudens)	
	Ruimtelijke ontwikkelingen (Urbanisatie en krimp van het buitengebied)	
	Economie en welvaart (grote ontwikkelprojecten inwoners & arbeidsplaatsen)	
	Economie en welvaart (inkomen)	n, o
	Landelijke autobezit en kosten per kilometer	
	Parkeertarieven	
	Treintarieven	j
	Tarieven Bus en Tram/metro	j, k
	Niet-reizen	a
	Landzijdige mobiliteit van luchtreizigers	
	Internationaal personenautoverkeer	
Verstedelijkings- strategieën	Mate van verdichting van steden	
Investerings- in de netwerken	Investerings in het hoofdwegennetwerk	i, f, g
	Investerings in het spoorwegennetwerk	j, g
Verschillende vormen van betalen naar gebruik	Brandstofaccijns	
	Variabilisatie autokosten/km	
	Variabilisatie autokosten/km - differentiatie naar milieukeurmerken	b, h
	Variabilisatie autokosten/km - differentiatie naar tijd en plaats	
	Congestieheffing	
Ontwikkelingen wagenpark	Tol	
	Elektrificatie personenauto's (en evt. waterstof)	b, h
Klimaataankoord	Belasting op CO ₂ -uitstoot	b, h
	Emissievrije zones en milieuzones in de stad	b, h
	Autoluwe zones	e
	Aanpassing werkgeversvergoeding voor woon-werk en zakelijk verkeer voor auto en OV	

* paragraaf 3.4 bevat een toelichting op de aandachtspunten a – o.

Exogene ontwikkelingen

Veranderingen in de bevolking, arbeidsplaatsen en onderwijsplaatsen werken op een plausibele wijze door in het LMS. Het uitgangspunt hierbij is dat deze veranderingen passen bij de gehanteerde dimensies van het LMS ten aanzien van reismotieven, vervoerwijzen, en dagdelen.

Grote ontwikkelprojecten waarbij nieuwe woningen en arbeidsplaatsen worden gecreëerd kunnen in principe ook goed met het LMS worden doorgerekend. Mogelijke aandachtspunten hierbij zijn de generatie van nieuw vrachtverkeer (bijvoorbeeld bij industrieel gebied) en de toegepaste pivotpoint-methode waarbij de basismatrix wordt vermenigvuldigd met de groei. Deze vallen echter buiten de scope van deze review.

De aandachtspunten ten aanzien van inkomensontwikkeling en kostengevoeligheid spelen met name een rol bij exogene ontwikkelingen op het vlak van economie en

welvaart (inkomen). In de review is geconcludeerd dat de manier waarop inkomensontwikkeling wordt gecorrigeerd voor samenstellingseffecten logisch en correct is en dat het inkomen op een logische manier in de nutsfunctie is opgenomen en doorwerkt in het groeimodel. Het is echter wel van belang om te toetsen of de invoer in de vorm van bbp-ramingen, de GWI-elasticiteit en de targets voor opleidingsniveau realistisch zijn.

In combinatie met het automarktmodel Dynamo is het LMS geschikt voor bepalen van het effect van veranderingen in autobezit en autokosten per kilometer, zolang ruimtelijke differentiatie in de samenstelling van het wagenpark geen rol speelt (zie verder *Verschillende vormen van betalen naar gebruik*).

Parkeertarieven: het LMS is geschikt voor het berekenen van de effecten van parkeertarieven. Parkeerbeleid kan door aanpassingen van de parkeertarieven per zone in de zonale data worden doorgevoerd. Daarnaast kan het autobezit worden beïnvloed door aanpassing van de beschikbaarheid van parkeervergunningen aan de woonzijde en door eventueel een maximum voor het aantal auto's in een gebied mee te geven als randvoorwaarde waarbinnen het model gaat rekenen.

Het LMS is geschikt voor het berekenen van effecten van veranderingen in treintarieven en tarieven voor tram/metro en bus. Een aandachtspunt hierbij is dat capaciteiten en crowding niet zijn meegenomen voor het openbaar vervoer, wat van invloed kan zijn op reisgedrag van OV-reizigers. Daarnaast zijn de reistijden voor de bus bepaald op basis van een frequency-based benadering, waardoor voor laagfrequente lijnen de initiële wachttijd en overstaptijden mogelijk overschat worden omdat afstemming van vertrek- en aankomsttijden bij een overstap tussen bussen en van bus naar trein of omgekeerd daardoor niet wordt meegenomen. De impact van beide aandachtspunten is naar verwachting beperkt waardoor de score 'geschikt voor toepassing is toegekend'.

Niet-reizen kan alleen exogeen als scenario-input worden beschouwd waarbij niet-reizen percentages uniform worden toegepast, zonder onderscheid te maken naar huishoudtype, type beroep, woonlocatie, en reisafstand. Naar verwachting neemt het belang van het kunnen modelleren van 'niet-reizen' in de toekomst toe omdat langetermijngedragsveranderingen als gevolg van het Coronavirus ervoor kunnen zorgen dat mensen in de toekomst vaker activiteiten (werk, school, winkelen) thuis uitvoeren. Hierbij is het aannemelijk dat er verschillen zijn tussen huishoudtype, type beroep, woonlocatie, en reisafstand.

Landzijdige mobiliteit van luchtreizigers en internationaal personenautoverkeer valt buiten de scope van de review.

Investerings in de netwerken

Het LMS is geschikt om het effect van investeringen in het hoofdwegennetwerk te bepalen. Een aandachtspunt hierbij is dat de reistijden op een aanzienlijk aantal trajecten op het hoofdwegennetwerk in het basisjaar van het model (2018) meer dan 20% wordt onderschat of overschat en dat de reistijden voor belangrijke routealternatieven via het onderliggend wegennetwerk niet zijn gevalideerd. Omdat de intensiteiten op het hoofdwegennetwerk goed overeenkomen met telcijfers en omdat naar relatieve veranderingen als gevolg van de investeringen in het

hoofdwegennetwerk wordt gekeken, is de impact van de afwijking in reistijden waarschijnlijk beperkt, waardoor de score 'geschikt voor toepassing' is toegekend.

Het LMS is eveneens geschikt om het effect van investeringen in het spoorwegennetwerk te bepalen. Een aandachtspunt hierbij is dat capaciteiten en crowding in het OV niet worden gemodelleerd, wat mogelijk wel van invloed is op vervoerwijzekeuze (en routekeuze en tijdstipkeuze). Een gemiddelde perceptie crowding is in de vervoerwijzespecifieke constante opgenomen, waardoor het LMS toch geschikt is voor toepassing.

Verstedelijkingsstrategieën

Het LMS is geschikt om het effect van verstedelijkingsstrategieën te bepalen (zie toelichting demografische ontwikkelingen).

Verschillende vormen van betalen naar gebruik en ontwikkelingen in het wagenpark

Het LMS is geschikt om de meeste vormen van betalen naar gebruik door te rekenen. In het bijzonder gaat dit om brandstofaccijns, variabilisatie van autokosten/km, differentiatie naar tijd en plaats, congestieheffing en tol. Het is mogelijk om voor verschillende voertuigtypes en brandstoftypes verschillende autokosten per kilometer in te stellen. Op basis van de wagenparksamenstellingen worden vervolgens gemiddelde autokosten per kilometer en gemiddelde emissiefactoren berekend. Verschillen in ruimtelijke adoptie van bijvoorbeeld elektrische, of hybride auto's kunnen hierdoor niet worden meegenomen. Ook kunnen verschillen in routekeuze tussen verschillende typen voertuigen niet worden meegenomen. Omdat verschillen in ruimtelijke adoptie niet worden meegenomen, scoren de maatregelen betalen naar gebruik met differentiatie naar milieukeurmerken en elektrificatie van personenauto's 'geel'.

Klimaatakkoord

Om CO₂-uitstoot te reduceren en de luchtkwaliteit te verbeteren zijn verschillende maatregelen mogelijk, waaronder belasting op CO₂-uitstoot, aanpassing van de werkgeversvergoeding voor woon-werk en zakelijk verkeer voor auto en OV, emissievrije zones en milieuzones in de stad en autoluwe zones.

Het LMS is deels geschikt om de effecten van een belasting op CO₂-uitstoot te kunnen bepalen (gele score). De gemiddelde autokosten kunnen worden aangepast, maar ruimtelijke verschillen in het wagenpark kunnen niet worden meegenomen (zie betalen naar gebruik – differentiatie milieukeurmerken).

Het LMS is beperkt geschikt om het effect van emissievrije zones te bepalen, terwijl het belang hiervan toeneemt omdat steeds meer grote steden dergelijke zones willen invoeren. Naast het feit dat ruimtelijke verschillen in de wagenparksamenstelling buiten beschouwing worden gelaten, speelt hierbij ook een rol dat in het groeimodel en toedelingsmodel (QBLOK) geen onderscheid wordt gemaakt tussen brandstoftypes, waardoor locatiespecifieke maatregelen niet endogeen kunnen worden gemodelleerd en locatiespecifieke effecten niet kunnen worden bepaald (verschillen in routekeuze en samenstelling van verkeer op verschillende wegen). Het is wel mogelijk om de impact op het totaal aantal ritten van/naar de stadscentra via exogene invoer en nabewerking mee te nemen.

Autoluwe zones kunnen worden gemodelleerd door de snelheden of kosten van wegen in die zones aan te passen (bestemmingszijde). Mogelijk hebben autoluwe zones ook invloed op de populatiesamenstelling en het autobezit in die zone. Dit kan beperkt worden gemodelleerd door het autobezit per zone exogeen te maximaliseren.

Het LMS is geschikt om de effecten van aanpassing van de werkgeversvergoeding voor woon-werk en zakelijk verkeer voor auto en OV te bepalen.

Exploratieve vraagstukken

Voor het LMS is een exploratieve modus ontwikkeld om het effect van maatregelen zoals connected, coöperatief en automatisch rijden, deelmobiliteit (auto- en fietsdeelsystemen, ridesourcing), mobility-as-a-service en restrictief beleid met betrekking tot autobezit te kunnen modelleren. Het LMS is deels geschikt bevonden om het effect van deze maatregelen te kunnen berekenen (zie Tabel 4-2), omdat voor alle vier deze categorieën van maatregelen veel aannames gedaan moeten worden en een aantal aandachtspunten voor de modellering gelden. Zie paragraaf 3.1.3 voor een verdere toelichting.

Tabel 4-2: Exploratieve vraagstukken

Beleidsonderwerp	Nadere omschrijving	Score*
Innovaties, nieuwe diensten en gedragsverandering	Connected, coöperatief en automatisch rijden	c
	Deelmobiliteit (auto- en fietsdeelsystemen, ridesourcing)	d
	Mobility-as-a-service	m
	Restrictief beleid met betrekking tot autobezit	e

* paragraaf 3.4 bevat een toelichting op de aandachtspunten a – o.

4.2 Fit for purpose Regionale gebiedsgerichte analyses (NRM)

In Tabel 4-3 zijn de scores weergegeven voor regionale gebiedsgerichte analyses. Dit betreft maatregelen die met het NRM doorgerekend moeten kunnen worden. Onder de tabel worden de scores verder toegelicht.

Tabel 4-3: Regionale gebiedsgerichte analyses

Beleidsonderwerp	Nadere omschrijving	Score*
Investerings in het hoofdwegennet	Mobiliteitssysteem in een regio	i, f, g
Investerings in het regionaal OV	Hoogwaardig openbaar vervoer, zoals tram- of metroverbindingen	j, k, g
Regionale verstedelijkingsstrategieën	Mobiliteit in regio en functioneren netwerk	
Regionale en stedelijke ontwikkelingen gericht op mobiliteitstransitie	Autoluwe zones	e
	Parkeertarieven	
	Kwaliteitsverbeteringen fiets	l
	Meer deelfietsen op stations	d
	Toename carpoolen	
	Deelauto's	
	Hubs	m

* paragraaf 3.4 bevat een toelichting op de aandachtspunten a – o.

Investerings in het hoofdwegennet

Het NRM is geschikt om het effect van investeringen in het hoofdwegennetwerk te bepalen. Net als bij het LMS is hierbij een aandachtspunt dat de reistijden op een aanzienlijk aantal trajecten op het hoofdwegennetwerk meer dan 20% wordt onderschat of overschat en dat de reistijden voor belangrijke routealternatieven via

het onderliggend wegennetwerk niet zijn gevalideerd. Er wordt ook geen onderscheid gemaakt tussen reistijden voor en na de spits (voor inzicht in de schouders van de spits) en tussen reistijden midden op de dag, avond, en nacht. Beleidsmaatregelen specifiek gericht op deze tijdsperioden (zoals spitsmijden) kunnen hierdoor niet of beperkt in beeld worden gebracht. Als naar relatieve verschillen tussen maatregelen wordt gekeken is de impact van de afwijking in geaggregeerde reistijden waarschijnlijk beperkt waardoor de score 'geschikt voor toepassing' is toegekend.

Investerings in het regionaal OV

Investerings in hoogwaardig openbaar vervoer, zoals tram- of metroverbindingen kunnen worden doorgerekend. Een aandachtspunt hierbij is dat capaciteiten en crowding in het OV niet worden gemodelleerd, terwijl dat wel van invloed is op vervoerwijzekeuze. Een gemiddelde perceptie hiervan is in de vervoerwijzespecifieke constante opgenomen. Een tweede aandachtspunten is dat de frequency-based modellering van regionaal OV voor laagfrequente lijnen en voor de overstappen tussen bussen en tussen bussen en treinen een overschatting geeft van de initiële wachttijd en overstaptijd, ondanks het feit dat rekening is gehouden met afstemming van het vertrektijdstip op de dienstregeling. Een gevolg hiervan is dat ook de vraag naar hoogwaardig openbaar vervoer een beetje onderschat kan worden. De reviewers schatten in dat het gevolg van beide aandachtspunten echter beperkt is, waardoor het NRM toch geschikt is voor toepassing.

Regionale verstedelijkingsstrategieën

Het NRM is net als het LMS geschikt om het effect van verstedelijkingsstrategieën te bepalen.

Regionale en stedelijke ontwikkelingen gericht op mobiliteitstransitie

Het NRM is geschikt om het effect van autoluwe zones en parkeertarieven te bepalen. Voor een verdere toelichting zie paragraaf 4.1.

Het NRM is deels geschikt om het effect van kwaliteitsverbeteringen van het fietsnetwerk te bepalen. In het bijzonder gaat dit om maatregelen die tot een snelheidsverhoging leiden. Het NRM is niet geschikt om het effect van maatregelen die de veiligheid of het fietscomfort verbeteren te bepalen. Een aandachtspunt is tevens dat verschillen in routekeuze tussen fietsen en e-bikes buiten beschouwing zijn gelaten. Dit is van belang voor maatregelen die het fietsnetwerk verbeteren. In het bijzonder geldt dit als fietsroutes worden verbeterd/aangelegd die aantrekkelijk zijn vanwege de omgeving en dus niet de snelste route zijn. Deelfietsen op stations zijn wel gemodelleerd, maar de capaciteit en beschikbaarheid van deelfietsen kan niet per station worden gevarieerd.

Multimodale verplaatsingen met het OV kunnen wel worden gemodelleerd, maar multimodale verplaatsingen via andere hubs dan treinstations kunnen alleen exploratief via exogene invoer worden gemodelleerd.

4.3 Fit for purpose Verkenningen en Planuitwerking (NRM)

Tabel 4-4 geeft aan dat NRM geschikt is om bij verkenningen en planuitwerkingen te worden ingezet. Het NRM kan gebruikt worden om knelpunten te analyseren die ontstaan bij een toename in de mobiliteitsvraag in een situatie met en zonder uitbreidingen van infrastructuur. De resultaten bieden een goede basis om de baten

van infrastructuuruitbreiding te bepalen en bereikbaarheidsindicatoren af te leiden. Een aandachtspunt hierbij is de onderschatting/overschatting van reistijden op een aantal trajecten op het hoofdwegennetwerk

De resultaten van het NRM bieden tevens een goede bases om geluidsniveaus, stikstofdepositie, luchtkwaliteit en CO₂-emissies te berekenen. Een aandachtspunt hierbij is dat kleine verschillen in de prognoses grote impact kunnen hebben op de berekeningen en besluitvorming. De verschillen in de prognoses kunnen worden veroorzaakt door onzekerheid in de invoer, onzekerheid als gevolg van de gehanteerde methodes en parameters, onvoldoende detailniveau in de gehanteerde methodes en onnauwkeurigheden in de resultaten. In dit kader is het van belang dat in toedeling en dus ook in de toedelingsresultaten geen onderscheid wordt gemaakt naar brandstoftypes, waardoor locatiespecifieke verschillen in de verkeerssamenstelling niet worden meegenomen. Daarnaast zijn de emissieberekeningen op lokaal niveau minder nauwkeurig, doordat in het NRM alleen een vereenvoudigde vorm van kruispuntmodellering is opgenomen. Omdat voor verkenningen en planuitwerkingen vooral regionale effecten van belang zijn, is het NRM toch geschikt voor toepassing.

Tabel 4-4: Verkenningen en Planuitwerking

Beleidsonderwerp	Nadere omschrijving	Score*
Knelpuntanalyse	Ontwikkelingen mobiliteitsvraag en uitbreiding infrastructuur	
Maatschappelijke baten	Ontwikkelingen mobiliteitsvraag en uitbreiding infrastructuur	i
Verkeersprognoses en bereikbaarheids-indicatoren	Ontwikkelingen mobiliteitsvraag en uitbreiding infrastructuur	i
Geluidsniveaus, stikstofdepositie, luchtkwaliteit en CO ₂ -emissies	Ontwikkelingen mobiliteitsvraag en uitbreiding infrastructuur	h

* paragraaf 3.4 bevat een toelichting op de aandachtspunten a – o.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Algemene conclusies

De hoofdconclusie van de review is dat het LMS en het NRM over het algemeen geschikt zijn om effecten van exogene ontwikkelingen en beleidsmaatregelen op de mobiliteit en de verkeersstromen te bepalen.

Vergeleken met het modelinstrumentarium dat in andere landen wordt toegepast, is het LMS/NRM geavanceerd en uitgebreid (zoals het aantal meegenomen vervoerwijzen, waarbij bijvoorbeeld de elektrische fiets wordt gemodelleerd). Het model en de onderliggende nutsfuncties en toedelingen zitten goed in elkaar.

De mate waarin het LMS/NRM fit for purpose is, hangt vooral af van het detailniveau en de complexiteit van de vraag. In het algemeen kan worden gesteld dat het model het meest geschikt is voor vragen over het hoofdwegennet en de vervoerwijzekeuze in de hoofdcategorieën auto, OV (trein, bus, tram of metro), fietsen en lopen. Detailleringen in termen van verschillende subcategorieën binnen één vervoerwijze, verschillende verplaatsingsmotieven, verschillende voertuigkenmerken en verschillende regio's, zijn afhankelijk van de beleidsvraag in meer of mindere mate mogelijk. Zo is het modelsysteem in staat verschillende niveaus van voertuigautomatisering te onderscheiden maar is het niet geschikt voor volledige automatische voertuigen. Ook is het voor een aantal beperkingen, met aanpassingen in verschillende modules, mogelijk beperkingen weg te nemen of te reduceren.

Afhankelijk van het beleidsonderwerp zijn er aandachtspunten en/of beperkingen in de toepassing van het LMS/NRM. Het is dus van belang dat het LMS/NRM met kennis van de mogelijkheden en de beperkingen wordt toegepast.

Conclusies exogene ontwikkelingen en beleidsmaatregelen

Het LMS/NRM is geschikt om de effecten van een groot deel van de exogene ontwikkelingen en beleidsmaatregelen waar momenteel naar gekeken wordt te bepalen. Voor een aantal maatregelen waarbij ruimtelijke differentiatie naar milieukenmerken van belang zijn, zoals variabilisatie van autokosten per kilometer met differentiatie naar milieukenmerken, elektrificatie van personenauto's en belasting op CO₂-uitstoot, is het LMS/NRM deels geschikt. Het LMS/NRM is beperkt geschikt om het effect van emissievrije zones en milieuzones te bepalen.

Het LMS/NRM is deels geschikt om de effecten van niet-reizen en innovaties en nieuwe diensten zoals connected, coöperatief en automatisch rijden, deelmobiliteit, Mobility-as-a-Service en restrictief beleid met betrekking tot autobezit te bepalen, omdat hierbij veel aannames moeten worden gedaan. Er is immers nog geen informatie over waargenomen gedrag met gebruikmaking van deze nieuwe diensten. Voor exploratieve doeleinden kan het LMS/NRM echter wel ingezet worden om potentiële effecten van deze innovaties en diensten te bepalen in verkennende 'what-if' analyses. Tot slot is het LMS/NRM deels geschikt om het effect van kwaliteitsverbeteringen van het fietsnetwerk en deelfietsen op stations te bepalen en niet geschikt om het effect van hubs (anders dan gewone treinstations) te bepalen omdat multimodale verplaatsingen via hubs niet expliciet worden gemodelleerd.

5.2 Aanbevelingen

De aanbevelingen uit deze review vallen uiteen in drie categorieën: aanbevelingen voor de toepassing van het LMS/NRM, voor kwaliteitszorg en voor de doorontwikkeling van het modelsysteem.

5.2.1 Toepassing van de modellen

Zoals voor elk model geldt, is het van belang aandacht te hebben voor de mogelijkheden en de beperkingen van het LMS/NRM. Juist door de uitbreidingen en het gebruik van gedetailleerde netwerken voor bijvoorbeeld lopen en fietsen kan er ontbreken de indruk ontstaan dat ook de uitvoer van LMS/NRM op hoog detailniveau plausibel is (bijvoorbeeld ook bij alle stedelijke vraagstukken). Echter, dit hangt sterk af van het specifieke inhoudelijke vraagstuk. Het is dus van belang dat beleidsmakers de uitkomsten op waarde schatten.

Dit geldt in het bijzonder voor de exploratieve modus. Dit onderdeel van het modelinstrumentarium is relatief nieuw en heeft een specifiek doel: het ondersteunen van beleidsverkenningen met betrekking tot innovaties, nieuwe diensten en gedragsveranderingen die nu nog niet goed gemeten kunnen worden. De verkenningen worden bepaald door veranderingen door te voeren in de invoerparameters of door kleine aanpassingen in het model. Voor onderwerpen die ingrijpen op de werkingsmechanismen van het model en/of grotere aanpassingen aan het model vereisen (zie ook paragraaf 5.2.3) zal het huidige LMS/NRM beperkt of onvoldoende volstaan. Hier geldt dus des te meer dat het van belang is te weten wat de grenzen van het model zijn om hiermee rekening te houden in de interpretatie van de modeluitkomsten.

Daarnaast geldt dat er een aantal beleidsonderwerpen zijn die weliswaar niet met het LMS/NRM te modelleren zijn, maar met aanpassingen in andere modules gedeeltelijk of geheel kunnen worden beantwoord. Een voorbeeld hiervan zijn onderwerpen waarvoor aanpassingen aan de samenstelling van het wagenpark benodigd zijn, hetgeen via het automarkmodel Dynamo mogelijk is. De voor deze review opgestelde beschrijving van het toepassingsbereik (Cellissen en Hofman, 2021) geeft modeltoepassers houvast over voor welke beoogde toepassingen het LMS/NRM is bedoeld. Daarnaast is er uitgebreide (functionele en technische) gebruiksdokumentatie voorhanden. De voor deze review opgestelde oplegnotitie (Zondag en Van Grol, 2021) geeft een samenvatting en overzicht van het LMS/NRM en de recente actualisaties.

In deze review zijn voor verschillende beleidsonderwerpen aandachtspunten benoemd ten aanzien van de toepassing van modellen. De Coronacrisis heeft meer aandacht gevestigd op de tijdelijke en mogelijk ook blijvende invloed van niet-reizen en specifiek thuiswerken (en werken op andere locaties dichtbij de woon- of werklocatie). In de huidige versie van het LMS/NRM kan niet-reizen alleen exogeen worden gemodelleerd. Het wordt aanbevolen om te overwegen of niet-reizen endogeen kan worden gemodelleerd. Ondanks dat er verschillende verwachtingen zijn over of het reisgedrag na de Coronacrisis resulteert in meer of minder verplaatsingen, kan dit potentieel aanzienlijke effecten hebben op het totaal aantal verplaatsingen en daarmee op de doorstroming.

5.2.2 *Kwaliteitszorg*

Rijkswaterstaat besteedt als eigenaar en beheerder veel zorg aan het op orde houden van de kwaliteit door het uitvoeren van actualisaties en onafhankelijke beoordelingen zoals de audit in 2012 en deze review. Aanbevolen wordt om kwaliteitszorg als continu proces en als integraal onderdeel van de LMS/NRM werkzaamheden invulling te blijven geven zolang het instrumentarium en de reikwijdte van de toepassing zich ook blijven ontwikkelen.

In deze review werden een aantal vragen gesteld over de modelinvoer die mogelijk de plausibiliteit van de resultaten kunnen beïnvloeden. Aanbevolen wordt om de volgende aspecten van de modelinvoer te analyseren middels gevoeligheidsanalyses en te bepalen of eventuele aanpassingen gewenst zijn:

- Ontwikkelingen opleidingsniveau: onderzoek of de veronderstelde ontwikkelingen in opleidingsniveau realistisch zijn en pas eventueel de weegfactor hierop aan.
- De arbeidsmarkteffecten: onderzoek welke arbeidsmarkteffecten door het CPB worden meegenomen en onderzoek of het CPB een actualisatie van de inkomensontwikkelingen kan maken (eventueel uitgesplitst naar segmenten).
- General Welfare Increase (GWI) elasticiteit: wees ervan bewust dat de momenteel GWI toegepaste waarde is geschat uitgaande van welvaartsgroei en dat niet duidelijk is of deze ook toepasbaar is bij welvaartsdaling. Overwogen kan worden om een meer conservatieve waarde voor de GWI elasticiteit te gebruiken (tussen -0.5 en 0) om te voorkomen dat een incorrecte inschatting van de verhouding tussen samenstellingseffecten en welvaartseffecten een te groot effect heeft op modelresultaten.

5.2.3 *Doorontwikkeling modelinstrumentarium*

Aangezien recent veel tijd en aandacht besteed is aan een scala aan uitbreidingen en actualisaties van het LMS/NRM, lag de focus van deze review op de fit for purpose. Desalniettemin zijn er gedurende het reviewproces waardevolle verbeteringen gesuggereerd die Rijkswaterstaat mee kan nemen in de doorontwikkeling van het modelinstrumentarium de komende jaren. In deze paragraaf vatten we deze suggesties samen. In bijlage A is een samenvatting van alle suggesties geclusterd naar de drie reviewthema's opgenomen. Dit omvat ook meerdere technisch-inhoudelijke aanbevelingen.

Voor een aantal specifieke beleidsonderwerpen zijn verdere uitbreidingen op het groeimodel aan te bevelen. Zo kunnen bij de tijdsperioden ook de randen van de spitsen worden onderscheiden aangezien er beleidsmaatregelen zijn die zich hierop richten (zoals spitsmijden). Een ander voorbeeld is het nog verder uitsplitsen van reismotieven in subcategorieën, door bijvoorbeeld een beter scheiding te maken tussen onderhoudsreizen (zoals boodschappen halen, bezoek aan bank, bezoek aan arts, etc.) en willekeurige reizen (zoals bezoek aan familie, uitgaan, vakantie, etc.).

Recent is er steeds meer aandacht voor brede welvaart. Onderdeel van deze ontwikkeling is aandacht voor sociale inclusie en verdelingseffecten. Zo beveelt TNO aan om per beleidsonderwerp na te denken over mogelijke uitsplitsingen naar doelgroepen, regio's en tijdsperioden (Vonk Noordegraaf, Wilmink en Bouma, 2021). Een concreet voorbeeld voor de toepassing van LMS/NRM is om ook het niet-reizen te kunnen uitsplitsen naar huishoudtype, type beroep, zone en afstandscategorie.

Ook kan worden overwogen om een nieuwe multimodale openbaarvervoertoedeling te ontwikkelen waarbij voor- en natransportkeuze en stationskeuze onderdeel worden van de toedeling op basis van vergelijkbare aannames die worden gemaakt in de autotoedeling. Hierdoor worden toekomstige uitbreidingen van de vraagmodellen (zie onder) mogelijk omdat de structuur van de vraagmodellen minder complex wordt als een deel van de keuzes in de toedeling plaatsvindt. In tweede instantie kan worden overwogen om uit te breiden naar een volledig multimodale toedeling, inclusief bijvoorbeeld autoverplaatsingen, zodat ketenreizen via stations en hubs gemodelleerd kunnen worden. Om dit realistischer te modelleren is interne consistentie binnen een ketenreis van belang (zo is natransport met een privéauto niet realistisch).

Tot slot vatten we in deze paragraaf de suggesties voor de doorontwikkeling van het modelinstrumentarium gericht op relatief nieuwe beleidsonderwerpen samen. Hierbij wordt opgemerkt dat een aantal van deze suggesties, onderwerpen betreffen die buiten het op dit moment beoogde toepassingsbereik vallen (zie Bijlage Purpose). Voor de ontwikkeling van het modelsysteem de komende jaren wordt aanbevolen om met name aandacht te hebben voor (stedelijk) beleid waarin het relevant is om lokale of regionale verschillen inzichtelijk te maken.

De suggesties voor doorontwikkelingen zijn:

- Uitstoot van voertuigen: er kan verder onderscheid worden gemaakt in de vraagmodellen en de toedeling naar verschillende brandstofcategorieën zoals hybride en elektrische voertuigen.
- Fiets: fietsverkeer wordt niet toegedeeld aan het netwerk. Om regionale en stedelijke ontwikkelingen gericht op de mobiliteitstransitie zoals kwaliteitsverbeteringen van het fietsnetwerk (zoals fietssnelwegen) beter te kunnen modelleren, is het te overwegen om een multi-userclass toedeling voor de fiets te implementeren, waarbij onderscheid wordt gemaakt naar fietsen en e-bikes. Daarmee wordt het mogelijk om verschillen in routekeuze en snelheid tussen fietsen en e-bikes te modelleren en mee te nemen in de level-of-service (LOS). Dit vereist tevens het opstellen van een basismatrix voor de fiets. Ook is het aan te bevelen om het aantal kruispunten waarop fietsers mogelijk moeten stoppen op een route mee te nemen als onderdeel van de LOS.
- Deelmobiliteit: er kan verder onderscheid worden gemaakt naar verschillende vormen en varianten van deelmobiliteit zoals station-based en free-floating deelfietsen.
- Mobility-as-a-Service: aspecten waar rekening mee gehouden kan worden zijn abonnementen en peer-to-peer transacties.
- Openbaar vervoer: voor de verschillende vormen van openbaar vervoer – bus, tram, trein en metro – kan crowding worden meegenomen in de toedelingen en in de Level-of-Service.
- Op lange termijn kan worden overwogen om het groeimodel te vervangen door een activiteitsgebaseerd microsimulatiemodel in combinatie met een agent-based microsimulatie aan de aanbodzijde, waardoor het bijvoorbeeld mogelijk wordt om keten-reizen via hubs (anders dan gewone treinstations), level 5 automatische voertuigen en de capaciteit en beschikbaarheid van deelmobiliteit te modelleren.

Het wordt aanbevolen om bij toekomstige inspanningen gericht op de doorontwikkeling van het LMS/NRM te evalueren welke van de bovenstaande

onderwerpen het meest relevant zijn en deze zo mogelijk mee te nemen in de doorontwikkeling, om zo het LMS/NRM ook naar de toekomst toe fit for purpose te houden.

6 Referenties

Bliemer, M.C.J., M. Dicke-Ogenia, en D. Ettema (2009) Rewarding for avoiding the peak period: a synthesis of four studies in the Netherlands. *Proceedings of the 12th Conference of the International Association for Travel Behavior Research*, Jaipur, India.

Brands, T. et al. (2020) *Referentieprognoses 2021: Verantwoordingsrapportage Regionaal Openbaar Vervoer*, studie in opdracht van Ministerie van infrastructuur en waterstaat WVL, 003762.20200904.R1.02.

Buitelaar, E., J. Bastiaanssen, H. Hilbers, M. 't Hoen, T. Husby, C. Lennartz, N. Slijkerman, M. van der Staak, D. Snellen, en A. Weterings (2021) *Thuiswerken en de gevolgen voor wonen, werken en mobiliteit: Op zoek naar trends, trendbreuken en kansen als gevolg van corona*. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), 4686, Den Haag.

Cellissen, R en Hofman, H. (2021) Toepassingsbereik verkeersmodellen LMS en NRM, Memo ten behoeve van review door TNO, Rijkswaterstaat, d.d. 1 september 2021.

CPB/PBL (2015) *Nederland in 2030 en 2050: Twee referentiescenario's*, <https://www.wlo2015.nl/>

Dane G., T. Feng, F. Luub, T. Arentze (2020) *Route Choice Decisions of E-bike Users: Analysis of GPS Tracking Data in the Netherlands*. In: Kyriakidis P., Hadjimitsis D., Skarlatos D., Mansourian A. (eds) *Geospatial Technologies for Local and Regional Development*. AGILE 2019. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-14745-7_7

DAT.mobility (2021) *Referentieprognoses 2021: Resultaten LMS/NRM Hoofdrapportage*, studie in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat WVL, 003762.20210401.R1.01

De Beer, P. (2016) *De arbeidsmarkt in 2040: Ingrijpende veranderingen, maar ook veel continuïteit*. Amsterdams Instituut voor ArbeidsStudies, Universiteit van Amsterdam.

Den Ridder, J., E. Josten, J. Boelhouwer, C. van Campen (2020) *De sociale staat van Nederland 2020*. Sociaal en Cultureel Planbureau (SCP), Den Haag.

Eikenbroek O.A.L., G.J. Still, E.C. van Berkum, W. Kern (2017) The Boundedly Rational User Equilibrium: A parametric analysis with application to the Network Design Problem, *Transportation research. Part B: Methodological*, 107, 1 - 17. Elsevier. ISSN 0191-2615. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.11.005>

Gunn, H.F. (2001) Spatial and temporal transferability of relationships between travel demand, trip cost and travel time. *Transportation Research E*, 37(2/3), 163-159.

Gkiotsalitis K. & O. Cats (2021) Public transport planning adaption under the COVID-19 pandemic crisis: literature review of research needs and directions, *Transport Reviews*, 41:3, 374-392, DOI: <https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1857886>

Hensher, D.A., E. Wei, en W. Liu (2021) Accounting for the spatial incidence of working from home in an integrated transport and land model system. *ITLS Working Paper series*, University of Sydney.

Hess, S., A. Daly, C. Rohr, G. Hyman (2007) On the development of time period and mode choice models for use in large scale modelling forecasting systems. *Transportation Research Part A*, Vol. 41, pp. 803-826.

Infrastructure Australia (2019) *Urban Transport Crowding and Congestion: Future of modelling*. Australian Infrastructure Audit, Australian Government.

Jensen AF, Rasmussen TK, Prato CG. (2020) A Route Choice Model for Capturing Driver Preferences When Driving Electric and Conventional Vehicles. *Sustainability* 12(3):1149. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12031149>

Li, Z., & Hensher, D. A. (2013). Crowding in public transport: A review of objective and subjective measures. *Journal of Public Transportation*, 16(2), 107–134.

Meurs, H. (2021) *Advies inkomens en prijseffecten in LMS/NRM*. Muconsult & Significance (2019) *Modelontwikkeling MaaS*.

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (MinlenW) (2021). Kamerbrief, Integrale Mobiliteitsanalyse 2021, <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/kamerstukken/2021/06/29/integrale-mobiliteitsanalyse-2021/integrale-mobiliteitsanalyse-2021.pdf>.

Sheffi Y. (1985) *Urban transportation networks equilibrium analysis with mathematical programming methods*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. Sinclair Knight Merz (2009) *Critical review of transport modelling tools (implementation options)*. Final report, Malvern VIC, Australia.

Rijkswaterstaat (2021) *Documentatie GM4 D1-D9 + DA*.

Rijkswaterstaat (2022) *Verkeers- en vervoersmodellen LMS en NRM* | Rijkswaterstaat Laatst bekeken op 3 februari 2022.

Tavasszy, L.A., M. Snelder, M. Duijnisveld, R. Haaijer, H. Meurs, R. van Nes, E. Verroen, C. van Schie, J. Bates, B. Jansen (2012). *Audit LMS en NRM Syntheserapport*. TNO-rapport, TNO-060-DTM-2012-01993A, Den Haag.

Vonk Noordegraaf, D., I. Wilmink, G. Bouma (2021). *Indicatoren voor brede welvaart in het mobiliteitsdomein – een vertrekpunt voor discussie gebaseerd op een quickscan*. TNO rapport, TNO 2021 R12422, Onderzoek in samenwerking met het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Den Haag.

Willegers, J., B. Zondag, J. Baak, A. Daly, G. van Eck, L. Eggers, G. de Jong, R. Tapia (2021) *Estimation report GM4*. Significance.

Willumsen, L. (2021) *Use of big data in transport modelling*. International Transport Forum Discussion Papers, No. 2021/05, OECD Publishing, Paris.

Yap M., O. Cats & B. van Arem (2020) Crowding valuation in urban tram and bus transportation based on smart card data, *Transportmetrica A: Transport Science*, 16:1, 23-42, DOI: <https://doi.org/10.1080/23249935.2018.1537319>.

Zondag, B., R. van Grol (2021). Toelichtende notitie LMS/NRM Thema's review, Significance 21034.

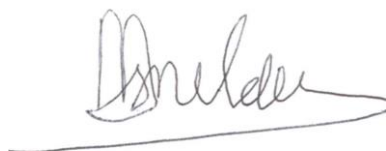
7 Ondertekening

Den Haag, 22 februari 2022

TNO



Jeroen Dezaire
Afdelingshoofd



Maaïke Snelder
Auteur

A Bijlage suggesties LMS/NRM

In deze bijlage staan de suggesties die tijdens deze review zijn gegeven voor de doorontwikkeling van het LMS/NRM. De meer technisch-inhoudelijke suggesties zijn schuingedrukt.

Thema 1 Econometrische validiteit

Groeimodel

- Betere scheiding tussen onderhoudsreizen (boodschappen / bank / arts, etc) en willekeurige reizen (familie / uitgaan / vakantie, etc.).
- Uitsplitsen van de restdag naar nacht, midden dag, en avond & splitsen van de schouders van de spits.

SES vraagmodellen

- Voor- en natransportkeuze en stationskeuze onder brengen in een nieuw te ontwikkelen multimodale openbaar vervoertoedeling.
- *Geneste structuur uitbreiden naar cross-geneste structuur → om flexibiliteit in substitutie-effecten toe te laten in de vraagmodellen.*
- *Geneste modelstructuur in twee delen splitsen om convergentie te bevorderen, met een strategisch deel met vervoerwijzekeuze, bestemmingskeuze, en reisschemakeuze aan de top, en een tactisch deel met voor- en natransportkeuze, stationskeuze, en vertrektijdstipkeuze onderaan.*

Nieuwe ontwikkelingen

- Niet-reizen: uitsplitsing van niet-reizen percentages per huishoudtype, type beroep, zone, en afstandscategorie.
- Niet-reizen: niet-reizen eventueel endogeen meenemen in het model → aanvullen op toepasbaarheid model.

Nieuwe ontwikkelingen

- Elektrische en hybride auto's: uitsplitsing naar voertuigcategorieën.
- Zelfrijdende auto's: de huidige verkeerstoedeling in LMS/NRM eventueel vervangen door een agent-based microsimulatiemodel (wanneer groeimodel wordt vervangen door een activiteitsgebaseerd microsimulatiemodel).
- Deelmobiliteit: OV-fiets opnemen in de nutsfunctie treinstations.
- Mobility-as-a-Service: carpooloptie verder uitbreiden met een (kosten)voordeel voor de bestuurder.
- Hubs: het reizen van, naar en via verschillende soorten hubs.
- Restrictief beleid met betrekking tot autobezit: restricties a posteriori toepassen om verschuivingen tussen regio's te voorkomen.

Thema 2 Bereikbaarheid verschillende modaliteiten

Algemeen

- Maak een keuze tot welk detailniveau het LMS/NRM worden verfijnd en ingezet.

Auto

- Onderscheid Battery Electric Vehicles en Internal Combustion Engine Vehicles in het LMS/NRM om verschillen in routekeuzegedrag mee te kunnen nemen.
- Overweeg een realistischer modellering van kruispunten.

Openbaar Vervoer

- Introductie van capaciteiten en daarbij crowding in openbaar vervoer toedelingen (maar ook in de level-of-service (LOS)).
- Schedule based LOS bepaling voor bus en tram/metro.

Langzaam verkeer

- Introductie van verschillende typen fiets (meer dan twee), en daarbij een multi-userclass toedeling van de fiets voor het bepalen van routes en daarmee reistijden per type fiets..
- Opnemen van het aantal kruispunten waarop fietsers mogelijk moeten stoppen als onderdeel van de LOS.

Multimodale verplaatsingen

- Multimodale toedeling (bijv. multimodaal supernetwerk).

Thema 3 Inkomensontwikkeling en kostengevoeligheid

Samenstellingseffecten en inkomensontwikkeling

- Controleer of de veronderstelde ontwikkelingen in opleidingsniveau realistisch zijn.
- *Verklein de impact van opleidingstargets door een weegfactor kleiner dan 10 te kiezen.*

Relatie opleiding en inkomen

- Bekijk welke arbeidsmarkteffecten worden meegenomen door het CPB en gebruik bbp-ramingen op basis van een kleiner aantal arbeidsmarkteffecten.

Inkomen variabele in nutsfuncties

- *Overweeg alleen samenstellingseffecten te beschouwen in QUAD en welvaartseffecten exogeen als parameter in het scenario onder te brengen.*
- Overweeg een meer conservatieve waarde voor de GWI-elasticiteit.

B Review thema 1 Econometrische validiteit

Het groeimodel in LMS/NRM bepaalt de vervoersvraag in een toekomstscenario op basis van sociaal-economische gegevens en kenmerken van vervoersnetwerken en -diensten. Dit gebeurt door groeifactoren te bepalen en die toe te passen op de exogene vervoersvraag van het basisjaar. De Sample Enumeration System (SES) vraagmodellen waarin vervoerskeuzes van reizigers worden voorspeld spelen hierin een centrale rol.

Modellen onderscheiden zich van elkaar in de mate van disaggregatie in de eenheid van analyse en in de mate waarin tijdsafhankelijke relaties worden meegenomen. Het groeimodel in LMS/NRM bepaalt de vervoersvraag, waarbij verschillende populatiesegmenten worden beschouwd en er wordt rekening gehouden met afhankelijkheden in verplaatsingen over de tijd door middel van tours en endogene tijdstipkeuze. Hiermee is het groeimodel in LMS/NRM geavanceerder dan macroscopische en statische 4-steps modellen, maar minder geavanceerd dan microscopische en agent-gebaseerde dynamische activiteitsgebaseerde modellen waarbij de verplaatsingen van individuele reizigers en voertuigen in detail worden beschreven gedurende de dag, inclusief interacties met andere personen in een huishouden.

Voor de doeleinden van het LMS/NRM gaat het er niet alleen om dat de vervoerskeuzes van reizigers zo goed mogelijk worden gerepresenteerd, maar ook dat het model voldoende stabiel is en convergeert naar een evenwicht. Dit laatste is belangrijk aangezien LMS/NRM voornamelijk wordt gebruikt voor het vergelijken van diverse toekomstscenarios. Microscopische activiteitsgebaseerde modellen hebben doorgaans meer moeite om een evenwicht te benaderen binnen een redelijke rekentijd (Infrastructure Australia, 2019). Het groeimodel in LMS/NRM heeft een goede balans tussen realiteit en stabiliteit. Het is een state-of-the-art model dat een relatief groot aantal vervoerskeuzes beschrijft waarbij rekening wordt gehouden met heterogeniteit in de populatie, terwijl de deterministische en rigoureuze geneste structuur van het vraagmodel voldoende stabiliteit biedt om betrouwbare vergelijkingen te kunnen maken tussen scenario's.

In de review binnen dit thema worden specifiek de volgende vragen beantwoord:

1. Is de structuur van het groeimodel adequaat, logisch, interpreteerbaar en uitlegbaar?
2. De nutsfuncties bevatten een groot aantal dummyvariabelen: zijn al deze dummyvariabelen relevant om op te nemen en wat is het relatieve belang van de dummyvariabelen?
3. In hoeverre kunnen what-if analyses ten aanzien van innovaties, nieuwe diensten en gedragsverandering adequaat met het groeimodel in de exploratieve versie van het LMS worden uitgevoerd? In bijzonder gaat het hierbij om 'niet-reizen' (activiteiten thuis uitvoeren), deelmobiliteit, MaaS, zelfrijdende auto's en restrictief beleid met betrekking tot autobezit.

B.1 Structuur van het groeimodel

De algehele structuur bestaat uit een bevolkingsmodule, een bereikbaarheidsmodule, een buitenland module, en een groeifactormodel. Dit is een logische en beproefde structuur.

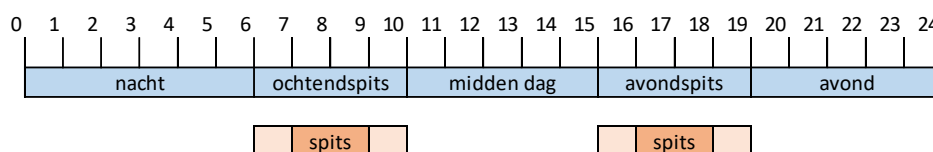
B.1.1 Dimensies in het groeimodel

De dimensies in het groeimodel bestaan uit a priori gespecificeerde reismotieven, vervoerwijzen, en dagdelen.

Reismotieven worden onderscheiden in: werk, zakelijk, school, winkelen, en overig. Vervoerwijzen worden onderscheiden in: autobestuurder, autopassagier, trein, tram/metro, bus, e-bike, fietsen, en lopen. Dit leidt tot een gedetailleerd vraagmodel waarbij reisgedrag met betrekking tot alle belangrijke vervoerwijzen apart worden beschreven. Dagdelen die worden onderscheiden voor vervoerwijze autobestuurder en autopassagier zijn: ochtendspits (7-9), schouders ochtendspits (6-7 en 9-10), avondspits (16-18), schouders avondspits (15-16 en 18-19), en restdag (0-6, 10-15 en 19-24). Voor openbaar vervoer worden de spitsperiodes samengevoegd met de desbetreffende schouders. Het samenvoegen van de schouders voor en na de spits en het samenvoegen van midden op de dag, avond, en nacht lijkt pragmatisch om het aantal dagdelen te beperken in het model.

Deze dimensies in het groeimodel zijn adequaat, logisch, interpreteerbaar en uitlegbaar voor het doel van LMS/NRM. De reismotieven volgen een redelijk standaard indeling die aansluit op data in OViN/ODiN. De uitsplitsing tussen e-bike en fiets is een vrij unieke en noemenswaardige uitbreiding die past bij een fietsland als Nederland. Door het samenvoegen van diverse niet-aaneengrenzende tijdsperiodes is het niet mogelijk om goed inzicht te krijgen in verkeersstromen gedurende de dag, maar voor het huidige gebruik van LMS/NRM is dit niet noodzakelijk.

Voor toekomstige doeleinden van LMS/NRM kunnen de volgende uitbreidingen worden overwogen. Ten eerste, een betere scheiding tussen onderhoudsreizen (zoals boodschappen halen, bezoek aan bank, bezoek aan arts, etc) en willekeurige reizen (zoals bezoek aan familie, uitgaan, vakantie, etc), en wellicht een verdere uitsplitsing van willekeurige reizen om meer homogeniteit binnen de diverse reismotieven te krijgen. Ten tweede een uitsplitsing van de restdag naar nacht, midden dag, en avond, zie Figuur A-1. Ook het splitsen van de schouders is te overwegen aangezien diverse Spitsmijden projecten in Nederland hebben aangetoond dat reizigers die de ochtendspits willen mijden vooral eerder vertrekken en reizigers die de avondspits willen mijden vooral later vertrekken (Bliemer et al., 2009).



Figuur A-1: Uitsplitsen dagdelen

B.1.2 Structuur van de SES vraagmodellen

De SES vraagmodellen zijn gebaseerd op een geneste logit structuur. De verschillende nests bestaan uit modellen voor de vervoerwijze, bestemmingskeuze, dagdeelkeuze, voor- en natransportkeuze, en stationskeuze. Dit systeem van vraagmodellen is uitgebreider dan het merendeel van de modellen die worden toegepast in andere westerse landen.

De volgorde van de keuzemodellen voor vervoerwijze, bestemming, en dagdeel is gebaseerd op modelschattingen en lijkt logisch, interpreteerbaar en uitlegbaar. De toevoeging van de voor- en natransportkeuze en stationskeuze is adequaat om multimodale routekeuze te kunnen beschrijven voor vervoerwijze trein.

Er worden standaard zes iteraties gedaan om een evenwicht te benaderen in het systeem van vraagmodellen. Dit is een pragmatische keuze om rekentijden acceptabel te houden, maar garandeert niet dat een evenwicht wordt bereikt bij het doorrekenen van toekomstige scenario's. De substitutie-effecten binnen de vraagmodellen onderaan in de geneste structuur zijn groter dan binnen de vraagmodellen aan de top. De kans is daarmee aanwezig dat vooral de dagdeelkeuze, voor- en natransportkeuze, en/of stationskeuze niet voldoende in evenwicht zijn om uitkomsten van verschillende scenario's op dit niveau te kunnen vergelijken, maar waarschijnlijk levert dit weinig problemen op bij het vergelijken van scenario's op een hoger niveau waarvoor LMS/NRM voornamelijk wordt gebruikt.

Door de complexiteit van de geneste vraagmodellen kunnen de modellen niet altijd simultaan worden geschat en worden daarom sequentieel geschat. Dit is verdedigbaar en zal vermoedelijk weinig impact hebben op de modeluitkomsten.

Voor toekomstige doeleinden van LMS/NRM kunnen de volgende uitbreidingen worden overwogen. Ten eerste, om toekomstige uitbreidingen van de vraagmodellen mogelijk te maken kan worden overwogen om voor- en natransportkeuze en stationskeuze onder te brengen in een nieuw te ontwikkelen multimodale openbaar vervoertoeiding op basis van vergelijkbare aannames die worden gemaakt in de autotoedeling. Ten tweede, de geneste structuur kan eventueel worden uitgebreid naar een cross-geneste structuur (zodra nieuwe versies van open-source schattingssoftware zoals Alogit of Apollo dit toelaten voor grootschalige modellen als LMS/NRM) om meer flexibiliteit in substitutie-effecten toe te laten in de vraagmodellen. Ten derde kan worden overwogen om de geneste modelstructuur in twee delen te splitsen zodat ieder deel een verschillend aantal iteraties toelaat om de convergentie te bevorderen. Het eerste deel bestaat uit strategisch beslissingen met vervoerwijzekeuze en bestemmingskeuze aan de top waar substitutie-effecten relatief klein zijn en waarvoor minder iteraties nodig zijn om tot een evenwicht te komen. Het tweede deel bestaat uit tactische beslissingen met voor- en natransportkeuze en stationskeuze op een lager niveau waarbij de substitutie-effecten groter zijn waardoor meer iteraties nodig zijn om tot een evenwicht te komen. Dagdeelkeuze zou hierbij kunnen worden opgesplitst in een strategisch deel, namelijk reisschemakeuze, en een tactisch deel, vertrektijdkeuze. Dit is consistent met de bevindingen van Hess et al. (2007) waarbij keuze tussen lange tijdsperioden (ook wel 'macro' tijdkeuze genoemd, zie ook SMK, 2009) op een hoger niveau dient te staan dan tijdstipkeuze met betrekking tot korte tijdsperioden ('micro' tijdkeuze). Reisschemakeuze beschrijft hierbij de keuze uit combinaties van dagdelen, zie een voorbeeld in Figuur A-2, waarbij elk reisschema geassocieerd kan worden met een tijdsduur van de activiteit dat als verklarende variabele kan worden opgenomen in het model. Het 'micro' vertrektijdstipmodel voor de ochtendspits/avondspits kan dan de keuze beschrijven voor vertrek tijdens de spits, voor de spits, of na de spits.

Reisschema	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
1																															
2																															
3																															
4																															
5																															
6																															
7																															
8																															
9																															
10																															
11																															
12																															
13																															
14																															
15																															
16																															
17																															

Figuur A-2: Reisschemakeuze

B.2 Dummy variabelen in nutsfuncties

De nutsfuncties in de vraagmodellen beschrijven de relatieve aantrekkelijkheid van ieder keuzealternatief. Het nut wordt berekend op basis van diverse eigenschappen van ieder alternatief, zoals variabelen reistijd en reiskosten. Dit zijn veelal numerieke variabelen, maar het nut hangt ook af van categorische variabelen, zoals het type alternatief en het type huishouden. De algemene indruk is dat de nutsfuncties zorgvuldig zijn samengesteld.

Voor ieder type keuzealternatief is een alternatief-specifieke constante nodig om de relatieve aantrekkelijkheid van dat type alternatief te beschrijven. Dit betekent dat in principe voor iedere vervoerwijze, voor iedere bestemming, en voor ieder dagdeel een afzonderlijke constante aanwezig kan zijn. Deze constanten zijn essentieel voor het correct voorspellen van het reizigerskeuzegedrag. In het groei-model zijn deze constanten opgenomen in de nutsfuncties als dummy variabelen. Dit geeft identieke uitkomsten maar heeft als voordeel dat nutsfuncties generiek in het model kunnen worden opgenomen. Uit het schattingsrapport van Willigers et al. (2021) komt naar voren dat alleen relevante dummy variabelen zijn meegenomen in het model.

Het nut van ieder alternatief is afhankelijk van het huishoudtype. Huishoudtypen worden onderscheiden in diverse categorieën op basis van het aantal mannen en vrouwen binnen een huishouden, het opleidingsniveau en de leeftijdsklasse van het hoofd van het huishouden, het rijbewijsbezit, enz. Het effect van ieder huishoudtype wordt beschreven in het groei-model door een reeks dummy variabelen. Dit is een gebruikelijke manier om rekening te houden met heterogeniteit in de populatie. De parameters van de dummy variabelen die zijn beschreven in Willigers et al. (2021) zijn vrijwel allemaal statistisch significant en zijn daarom relevant om mee te nemen in het model.

Zoals te verwachten wisselt het relatieve belang van iedere dummy variabele sterk in het groei-model; sommige variabelen hebben een sterker effect op het nut dan andere variabelen.

B.3 Verkenning nieuwe ontwikkelingen

Het LMS/NRM heeft functionaliteit voor de verkenning van beleid met betrekking tot nieuwe technologie of maatschappelijke veranderingen die nu nog niet goed gemeten kunnen worden. Dit wordt veelal bereikt door veranderingen te maken in de invoerparameters of door kleine aanpassingen in het model. Door het gebrek aan afzonderlijk geschatte modellen voor nieuwe functionaliteit is het vooral van belang te weten wat de grenzen van het model zijn om hiermee rekening te houden in de interpretatie.

B.3.1 *Niet-reizen*

In plaats van een activiteit (werk, school, winkelen) elders uit te voeren, kunnen individuen ook beslissen om deze activiteit thuis uit te voeren, bijvoorbeeld door thuis te werken, online te winkelen, of tele-educatie. Deze activiteiten in eigen huis waren belangrijk gedurende COVID-19 lockdowns en restricties. Uit diverse peilingen blijkt dat mensen ook in de toekomst graag enkele dagen per week thuis willen werken en dat werkgevers dit willen ondersteunen.

De vraagmodellen in het groeimodel zijn geschat op verplaatsingsdata van vóór de COVID-19 pandemie, maar in het groeimodel kan rekening gehouden worden met een toename van tele-werken/winkelen/educatie door dit exogeen in te voeren als scenario variabele. De niet-reizen percentages worden echter uniform toegepast, terwijl het aannemelijk is dat er grote mobiliteitsverschillen zijn. Volgens het Planbureau voor de Leefomgeving maken mensen die thuiswerken gemiddeld meer winkel en visite verplaatsingen, vooral buiten de spits (Buitelaar, 2021).

Voor toekomstige doeleinden van LMS/NRM kunnen de volgende uitbreidingen worden overwogen. Ten eerste, een uitsplitsing van niet-reizen percentages per huishoudtype, type beroep, zone, en afstandscategorie. Ten tweede, zowel voorgesteld in Hensher et al. (2021), niet-reizen kan eventueel endogeen worden meegenomen in het model. Dit kan worden bereikt door alternatief 'thuis' mee te nemen in het bestemmingskeuzemodel, of door alternatief 'niet-reizen' mee te nemen in het vervoerwijzekeuzemodel. Voor het schatten van de parameters van een dergelijk model is verplaatsingsdata nodig van ná de COVID-19 pandemie waarbij COVID-19 endemisch is.

B.3.2 *Elektrische en hybride auto's*

In het groeimodel wordt geen onderscheid gemaakt tussen conventionele, elektrische, of hybride auto's. Een belangrijk verschil tussen elektrische en conventionele auto's is dat de variabele kosten veel lager zijn voor elektrische auto's aangezien elektriciteit goedkoper is per kJ dan benzine of diesel. In het groeimodel is de gemiddelde variabele kosten in het wagenpark een invoerparameter die kan worden bepaald op basis van wagenparksamenstelling uit het automarktmmodel Dynamo, waarbij impliciet wordt verondersteld dat alle voertuigen dezelfde variabele kosten hebben. Voor de huidige doeleinden van LMS/NRM lijkt dit een verdedigbare vereenvoudiging.

Voor toekomstige doeleinden van LMS/NRM kan worden overwogen om een uitsplitsing naar voertuig categorieën te maken in het model zodat rekening kan worden gehouden met verschillen in variabele kosten en reisgedrag. Deze uitsplitsing in de uitvoer kan ook bevorderlijk zijn voor het bepalen van emissies.

B.3.3 *Zelfrijdende auto's*

Zelfrijdende auto's kunnen een verschillende mate van automatisering hebben. Bij automatisering level 5 kunnen auto's geheel autonoom rijden zonder dat iemand aanwezig is in de auto. Bij lagere automatiseringslevels dient er iemand in de auto aanwezig te zijn om de besturing van het voertuig over te nemen indien nodig.

Level 3/4 zelfrijdende auto's kunnen worden gemodelleerd in LMS/NRM door aanpassingen te maken in de vraag- en aanbodmodellen. Aan de vraagkant kan de parameter voor reistijdwaardering worden aangepast, terwijl aan de aanbodkant de volgafstand tussen auto's kan worden aangepast door een verandering in de pae (personenauto-equivalent) waarde. Deze twee aanpassingen zijn waarschijnlijk voldoende voor het simuleren van level 3/4 zelfrijdende auto's. Het is vooralsnog onduidelijk of de volgafstand tussen auto's groter of kleiner zal zijn bij zelfrijdende auto's. Aan de ene kant zullen autofabrikanten initieel waarschijnlijk relatief grote volgafstanden implementeren voor veiligheidsredenen. Zodra voertuigen slimmer worden en de beschikking krijgen over connectiviteit met andere voertuigen – waardoor deze voertuigen ver vooruit kunnen 'kijken' (ook wel 'x-ray vision' genoemd) – dan zal deze volgafstand drastisch kleiner kunnen worden. Beide scenario's kunnen worden getest in LMS/NRM door de pae-waarde te variëren. Level 3/4 zelfrijdende auto's komen waarschijnlijk op korte termijn beschikbaar en het huidige LMS/NRM kan hier voldoende mee omgaan.

Level 5 zelfrijdende auto's kunnen familieleden en vrienden ophalen en weg te brengen, of kunnen worden ingezet als een vloot van robot-taxis voor vraagafhankelijk vervoer. Dit leidt tot lege ritten en een verwachte toename van het aantal voertuigkilometers. In een rapport voor de OECD (Willumsen, 2021) wordt aangegeven dat voor de modellering van dergelijke level 5 zelfrijdende auto's een agent-based microsimulatiemodel nodig is zodat passagiers en voertuigen afzonderlijk over het netwerk kunnen worden gevolgd en waarbij passagiers worden toegedeeld aan voertuigen. Doordat de huidige structuur in LMS/NRM het niet mogelijk maakt om passagiers en voertuigen afzonderlijk te volgen op het netwerk kunnen level 5 zelfrijdende auto's slechts zeer beperkt worden gemodelleerd. Echter, het is onduidelijk wanneer level 5 zelfrijdende auto's beschikbaar komen en of deze leeg mogen rijden op de Nederlandse wegen gezien de discussie over 'meaningful human control'. Er is daarom op dit moment weinig urgentie om de huidige verkeerstoedeling in LMS/NRM te vervangen met een agent-based microsimulatiemodel. Dit kan worden heroverwogen als in de toekomst besloten wordt om het groeimodel te vervangen door een activiteitsgebaseerd microsimulatiemodel aangezien een agent-based microsimulatie aan de aanbodzijde hier logischerwijs kan aansluiten.

B.3.4 *Deelmobiliteit*

Deelmobiliteit refereert aan een systeem van deelvoertuigen zoals een deelauto of een deelfiets. Deelvoertuigen zijn de laatste jaren sterk in opkomst.

De deelauto kan optioneel worden toegevoegd als alternatief in het vervoerwijzekeuzemodel in LMS/NRM voor personen die geen auto vrij beschikbaar hebben of een auto in concurrentie hebben. Dit alternatief wordt beschouwd als een auto in het model (er worden geen afzonderlijke schattingen gedaan voor de parameters), maar er wordt rekening gehouden met hogere gebruikskosten en met extra loop- en wachttijd. Dit is een logische uitbreiding waarbij de belangrijkste karakteristieken van de deelauto adequaat worden meegenomen in het vraagmodel.

De reguliere deelfiets wordt niet meegenomen in het vervoerwijzekeuzemodel. Voor reguliere reizen met de fiets speelt de deelfiets slechts een geringe rol aangezien de meeste mensen in Nederland over een fiets beschikken en de deelfiets wordt veelal alleen gebruikt als vervanging voor de eigen fiets. Echter, de deelfiets is beschikbaar in het model als natransport trein, onder andere vanwege de belangrijke rol van de OV-fiets (ook al is het slechts een klein percentage van het totaal aantal ritten). Een belangrijk effect van de deelfiets, en de OV-fiets in het bijzonder, is dat het de trein een aantrekkelijker alternatief maakt vanwege de mogelijkheid om de 'last mile' met de fiets af te leggen. Dit effect is in de huidige vraagmodellen waarschijnlijk deels verwerkt in de nutsfuncties van de trein en stations via de alternatief-specifieke constanten, maar het is te overwegen om de beschikbaarheid van een OV-fiets expliciet op te nemen in de nutsfuncties van de treinstations.

B.3.5 Mobility-as-a-Service

Mobility-as-a-Service (MaaS) is een mobiliteitsconcept waarbij de reiziger gebruik maakt van verschillende vervoerwijzen via één abonnement. Aanschaffing van een abonnement zorgt ervoor dat de variabele vervoerskosten lager komen te liggen.

In het LMS/NRM wordt exogeen het aantal MaaS abonnementhouders bepaald. Naast de vaste vervoerwijzen in het groeimodel worden ook deelauto, deelfiets, carpools, en ride-sourcing (Uber/Lyft) als expliciete reisopties toegevoegd waar MaaS abonnementhouders voordeliger gebruik van kunnen maken. Parameters en waarden voor reistijden en -kosten voor deze reisopties worden pragmatisch maar logisch bepaald bij gebrek aan data om deze parameters rechtstreeks te schatten. Deze MaaS uitbreiding leidt tot een vrijwel compleet pallet van beschikbare vervoerwijzen en lijkt adequaat om de mogelijke invloed van MaaS te onderzoeken.

Voor toekomstige doeleinden kan worden overwogen om de carpool optie verder uit te breiden aangezien er in het huidige model alleen een voordeel is voor de passagier en niet voor de bestuurder. De voornaamste reden om te kiezen voor carpooling is doorgaans het delen in de kosten, hetgeen belangrijker kan worden in de toekomst met andere beprijzing van rijden.

B.3.6 Restrictief beleid met betrekking tot autobezit

Autobezit kan worden beïnvloed door limieten te stellen aan parkeerplaatsen of -vergunningen. In het autobezit verdeelmodel kan het aantal vergunningen per zone of kan het maximale aantal auto's voor een gebied worden ingevoerd. In het model wordt ook een aanneme gemaakt over de nationale ontwikkeling van het autobezit per categorie. Bij beperking van autobezit in bepaalde regio's resulteert dit in een toename van autobezit in andere regio's. Indien dit ongewenst is kan worden overwogen om restricties a posteriori toe te passen. Het autobezit verdeel model zonder restricties bepaalt dan het gewenste autobezit, waarna deze worden gemaximeerd per zone op basis van gestelde limieten, eventueel kan rekening gehouden worden met restcapaciteit in direct aangrenzende zones.

C Review thema 2 Bereikbaarheid verschillende modaliteiten

Toedelingen vormen de tweede belangrijke component van het LMS/NRM. In beginsel worden drie hoofdmodaliteiten onderscheiden (auto, openbaar vervoer en langzaam verkeer) waarvoor elk ook een eigen netwerk beschikbaar is. Binnen elke hoofdmodaliteit worden weer verschillende categorieën onderscheiden. Voor de auto zijn dit 4 soorten vracht- en bestelauto's op basis van gewicht en 3 soorten personenauto's op basis van verplaatsingsmotief. Voor het openbaar vervoer wordt uitgegaan van een samenhangend systeem van trein, tram, metro, bus en veerpont. Voor elke verplaatsing wordt een hoofdvervoerswijze gedefinieerd. Binnen het openbaar vervoer is hierbij de hiërarchie trein>tram/metro>bus. Er is een samenhang met individuele modaliteiten (langzaam verkeer en auto) voor wat betreft voor- en natransport naar en van het openbaar vervoer. Tot slot, bij langzaam verkeer worden lopen en fietsen onderscheiden.

Uitvoer van een toedeling is in beginsel de belasting van het netwerk, zoals de hoeveelheid verkeer dat gedurende een vooraf bepaalde tijdsperiode een wegvak passeert, of het aantal reizigers op een baanvak in het railnetwerk. Op basis van deze belasting kan een groot aantal uitvoergrootheden worden bepaald zoals de reistijd tussen een herkomst en bestemming, maar ook de uitstoot van CO₂, of het aantal verwachte ongevallen op een wegvak. Belangrijk is de level-of-service (LOS) die voor een deel in de toedelingen zelf wordt gebruikt maar die ook wordt bepaald met de uitvoer van de toedelingen. In het eerste geval wordt een LOS bepaald voor een bepaalde route, in het tweede geval voor een bepaalde vervoerswijze. Niet noodzakelijkerwijs zijn de beide LOS dezelfde. Deze notitie gaat met name over de onderdelen waarmee LOS, de bereikbaarheidskwaliteit, en ook externe effecten worden bepaald. Voorbeelden zijn vertragingstijden, overstaptijden, reistijden, intensiteiten of snelheden.

C.1 Auto

De LOS auto wordt bepaald op basis van de uitkomsten van de toedelingsmethode QBLOK. Dit is een *capacity restraint* evenwichtstoedelingsmodel met *blocking back*, ontwikkeld om congestie meer realistisch te kunnen modelleren dan traditionele statische toedelingsmodellen. QBLOK per is in beginsel een evenwichtstoedeling waarvoor geldt dat tussen elk herkomst-bestemmingspaar alle gebruikte routes even lang zijn en niet langer dan alle niet gebruikte routes.

De review van routekeuze en verkeersafwikkeling valt buiten de scope, dit is eerder in de audit op het LMS/NRM reeds gedaan. Wel valt de plausibiliteit van de resultaten van QBLOK binnen de scope van deze review.

Routekeuze binnen QBLOK wordt gedaan op basis van reistijden en reiskosten waaronder tol. Dit gebeurt zoals eerder aangegeven voor een aantal gebruikersklassen t.w. personenauto per motief, vanwege een andere kostengevoeligheid) en bestel- en vrachtverkeer vanwege een mogelijk andere maximumsnelheid. Daarnaast heeft QBLOK de mogelijkheid specifieke kenmerken

van de zelfrijdende auto mee te nemen in de toedeling. Recentelijk is aan QBLOK de vertraging die wordt opgelopen op kruispunten toegevoegd, hoewel uitsluitend wanneer een weg van linktype 1 (autosnelweg) of 2 (autoweg) kruist met een weg van linktype groter dan 2, of wanneer een weg van linktype 1 kruist met een weg van linktype 2. Het kruispunt wordt daarbij 'opgeblazen' en aan elke beweging op het kruispunt wordt een capaciteitsreductie toegekend. Aldus ontstaat in de toedeling een kruispuntvertraging op basis van de beweging op het kruispunt (rechtdoor, linksaf, rechtsaf).

QBLOK is eerder gereviewed en als toedelingsmodel geschikt bevonden. Er kan echter wel een aantal uitbreidingen/aanpassingen worden overwogen:

- Voor personenauto's wordt geen onderscheid gemaakt tussen BEVs (Battery Electric Vehicles) en ICEVs (Internal Combustion Engine Vehicles), terwijl het routekeuzegedrag van BEVs afwijkt van dat van ICEVs als gevolg van onder andere 'range anxiety' en energieverbruik (Jensen et al, 2020).
- Routekeuzegedrag van zelfrijdende auto's is niet noodzakelijkerwijs gelijk als dat van autobestuurders. Door een lagere value of time van de gebruiker is het denkbaar dat de zelfrijdende auto kiest voor een langere reistijd en reisafstand om congestie te vermijden. In het scenario waar dit soort auto's een rol spelen verdient het aanbeveling ook dit als een aparte userclass op te nemen. Inzichten in *social routing* en *bounded rationality* kunnen hier een rol bij spelen (Eikenbroek et al, 2017).
- Kruispuntvertraging wordt nu bepaald door een capaciteitsreductie per kruispuntbeweging (linksaf, rechtsaf, rechtdoor) toe te voegen. Echter, in werkelijkheid wordt een vertraging vaak bepaald door een verkeersregeling waarbij de groentijden dan weer afhankelijk zijn van de hoeveelheid conflicterend (of kruisend) verkeer en/of de prioriteit van de verbinding. Een realistischer modellering van kruispunten is daarom te overwegen.
- Belangrijke bron van vertraging zijn kruispunten, zeker op het onderliggend wegennet. Uitbreiding met vertraging op kruispunten zoals onlangs is geïmplementeerd wekt de indruk dat LMS/NRM ook op het niveau van kruispunten uitspraken zou kunnen doen. Dit is echter maar de vraag.

De plausibiliteit van modeluitkomsten wordt zeer globaal op vrijwel alleen het hoofdwegennet gepresenteerd. Hoe goed reistijden en/of vertragingstijden op het onderliggend wegennet worden bepaald is niet duidelijk. Op het autosnelwegennet komen modeluitkomsten over intensiteiten goed overeen met tellingen. Echter, dit geldt niet voor modeluitkomsten over reistijden. Op deze zelfde autosnelwegen komen afwijkingen van meer dan 20% voor, zowel overschattingen als onderschattingen. Over hoe goed het model presteert op het niet-autosnelwegennet zijn geen resultaten gepresenteerd. Dit geldt ook voor het gebruik van het openbaar vervoer en langzaam verkeer (fiets en lopen). Het is daarom niet goed mogelijk een uitspraak te doen over de plausibiliteit van het LMS/NRM. Het is verstandig hier een duidelijke keuze te maken tot welk detailniveau het verantwoord is dit type modellen te gebruiken.

C.2 Openbaar Vervoer

In de model-systematiek wordt onderscheid gemaakt tussen de trein en al het andere OV, ofwel regionaal OV. De LOS voor regionaal OV als hoofdvervoerwijze wordt afgeleid op basis van het regionale OV-netwerk. Daarnaast wordt op basis van

ditzelfde netwerk de LOS voor BTM als voor- en natransport bepaald. De LOS voor hoofdvervoerwijze trein wordt separaat bepaald. Tot slot is er bij BTM onderscheid gemaakt in tram/metro en bus. Reden hiervoor was om recht te kunnen doen aan het verschil in typen OV, zoals bijvoorbeeld hoogfrequente metrolijnen in stedelijk gebied en laagfrequente buslijnen. Gevolg is wel dat er geen onderscheid wordt gemaakt tussen bijvoorbeeld hoogfrequente buslijnen (ook in stedelijk gebied) en laagfrequente buslijnen in landelijk gebied. Om toch onder onderscheid te kunnen maken tussen bijvoorbeeld hoogfrequente buslijnen in stedelijk gebied (HOV) en laagfrequente buslijnen in landelijk gebied kan in het GM een HOV buslijn worden toegevoegd aan Tram/Metro

Belangrijk onderdeel van de LOS voor het OV zijn reistijden waaronder wacht- en overstaptijden. Voor de trein zijn deze *schedule based*, voor BTM *frequency based*. ProRail leidt de LOS voor trein af, basis voor BTM zijn de GTFS-data. *Frequency based* voor tram en metro is te billijken, maar voor de bus ligt dit misschien weer net iets anders. Een betere afstemming van vertrek- en aankomsttijden, daar waar wordt overgestapt, van bus naar bus of van bijvoorbeeld bus naar trein of omgekeerd wordt als gevolg niet meegenomen in een betere LOS.

Het al dan niet hebben van een zitplaats en ook, meer recentelijk ingegeven door de Covid pandemie, het belang van *crowding*, spelen een belangrijke rol in de keuze voor vervoerwijze, tijdstip van reizen en ook route (Yap, Cats en Van Arem (2020); Gkiotsalitis en Cats (2021); en Li en Hensher (2013)). In de gebruikte ov - toedelingen binnen NRM/LMS spelen capaciteiten en *crowding* geen rol.

De plausibiliteit van de toedeling op de verschillende OV netwerken is niet te bepalen, daar er hierover geen gegevens zijn geleverd, noch van aggregate grootheden als totale OV stromen, noch van meer gedetailleerde grootheden als bijvoorbeeld bezettingsgraden.

Uitbreidingen/aanpassingen die kunnen worden overwogen zijn:

- Introductie van capaciteiten en daarbij crowding in openbaar vervoer toedelingen (maar ook in de LOS met gevolgen voor keuzes voor vervoerwijze en tijdstip van reizen)
- *Schedule based* LOS bepaling niet alleen voor de trein.

C.3 Langzaam Verkeer (LV)

In LMS/NRM wordt een apart LV-netwerk voor lopen en fietsen gebruikt om de LOS te bepalen voor verplaatsingen per fiets of te voet. Dit netwerk is gebaseerd op het zeer gedetailleerde OSM netwerk. Er wordt uitgegaan van een vaste snelheid voor verplaatsingen te voet, waardoor de LOS voor loopverplaatsingen gebaseerd is op alleen de afstand van de route in het LV-netwerk. Voor de fiets wordt de snelheid afhankelijk verondersteld van stedelijkheidsklasse, en ook hoogteverschillen. Daarnaast wordt een standaard kruispuntvertraging toegevoegd voor elk kruispunt op de fietsroute.

Gereden snelheden zijn gebaseerd op metingen vanuit de fietstelweek. Er zijn geen verschillen waargenomen tussen snelheden per gewone fiets en per e-bike. Als

gevolg wordt er ook geen onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten fietsen. Dit is echter niet noodzakelijkerwijs correct. Dane et al. (2019) laten zien dat er wel degelijk verschillen bestaan tussen routekeuze van e-bikers en gewone fietsers. Daarbij, de aanleg van fietssnelwegen zonder kruispunten en het gebruik van speedpedelecs kan zien dat niet alleen een standaard kruispuntvertraging een rol speelt, maar ook het stoppen op een kruispunt aan zich.

Uitbreidingen/aanpassingen die kunnen worden overwogen zijn:

- Introductie van verschillende typen fiets, en daarbij een multi-userclass toedeling van ook de fiets
- Opnemen van het aantal kruispunten (dus niet alleen een standaard vertraging, maar het feit dat gestopt moet worden) als onderdeel van de LOS
- Net als bij de introductie van kruispuntmodellering voor de auto wekt de introductie van een zeer gedetailleerd LV-netwerk ook de indruk dat het LV onderdeel een volwaardig deel is van de regionale en landelijke modellering van mobiliteit.

De plausibiliteit van modeluitkomsten wordt niet gepresenteerd voor LV stromen. Ook de plausibiliteit van LOS voor LV wordt niet verder gepresenteerd en is derhalve niet beoordeeld. Ook hier is het daarom verstandig een duidelijke keuze te maken tot welk detailniveau het verantwoord is dit type modellen te gebruiken.

C.4 Multimodale verplaatsingen

In de modelaannames binnen LMS en NRM is sprake van hiërarchie. Zo wordt gesproken van hoofdvervoerwijze, voor- en natransport. Meer recente ontwikkelingen, waaronder MaaS laten zien dat het belang van multimodale verplaatsingen waar een reeks van vervoerwijzen en ook overstap-locaties zoals stations of hubs een rol spelen. Aldus zou een verplaatsing kunnen worden toegedeeld aan een multimodaal netwerk, waarbij de routekeuze ook vervoerwijzekeuze impliceert. Te overwegen is om ook binnen LMS/NRM niet meer unimodaal toe te delen, maar, vergelijkbaar met een traditionele autotoedeling, multimodaal, in een multimodaal supernetwerk (Sheffi, 1985)

D Review thema 3 Inkomensontwikkeling en kostengevoeligheid

De bevolkingsmodule in LMS/NRM bepaald wat voor huishoudens zich bevinden in iedere zone, en uit welke personen deze huishoudens bestaan. In plaats van een complete synthetische populatie te genereren werkt het LMS/NRM met een prototype steekproef waarin huishoudens zijn geaggregeerd in typen. Vervolgens worden op basis van sociaal-economische gegevens ophoogfactoren bepaald die aangeven hoeveel huishoudens van ieder type zich bevinden in iedere zone.

Huishoudtypen worden onderscheiden naar onder andere het aantal personen per leeftijdscategorie en geslacht, het aantal (part-time) werkenden per geslacht, het netto besteedbaar inkomen, en het opleidingsniveau (laag, midden, hoog). Het bepalen van ophoogfactoren voor ieder huishoudtype wordt gedaan met het programma QUAD waarbij deze factoren zodanig worden bepaald dat (i) de fractie van huishoudens van ieder type zo weinig mogelijk afwijkt van een a-priori algemene huishoudverdeling uit OViN/ODiN, en (ii) het totaal aantal huishoudens van ieder type zoveel mogelijk consistent is met zone-specifieke totalen (targets). In dit optimalisatieproces wordt meer gewicht gegeven aan de tweede doelstelling via een weegfactor w (met waarde 10).

De optimalisatie wordt in meerdere stappen uitgevoerd waarbij eerst een verdeling over huishoudtypen (o.a., leeftijdsopbouw, aantal werkenden, opleidingsniveau) wordt bepaald. Het effect van een verandering in de verdeling van huishoudtypen op het inkomen wordt het samenstellingseffect genoemd. Daarna wordt op basis van exogene inkomensontwikkeling uit een WLO scenario een algemeen welvaartseffect bepaald (GWI) om, gecombineerd met de inkomensontwikkeling door samenstellingseffecten, uit te komen op de inkomenstarget. De toevoeging van targets voor opleidingsniveau is een uitbreiding op het vorige groeimodel en wordt toegepast in alle stappen. Deze toevoeging heeft geleid tot een drastische wijziging in de verhouding tussen samenstellingseffecten en algemeen welvaartseffect

In de review binnen dit thema worden specifiek de volgende vragen beantwoord:

1. Is de manier waarop de inkomensontwikkeling wordt gecorrigeerd voor samenstellingseffecten correct?
2. Is de veronderstelde relatie tussen opleiding en inkomen realistisch? Deze is geschat op basis van data, maar als veel mensen in de toekomst hoger zijn opgeleid worden de inkomensverschillen misschien kleiner.
3. Is inkomen op een logische manier in de nutsfunctie opgenomen? (mensen met verschillende inkomens kunnen een ander reisgedrag vertonen)
4. Is de methode waarmee de inkomensontwikkeling in de nutsfunctie van het groeimodel doorwerkt plausibel?

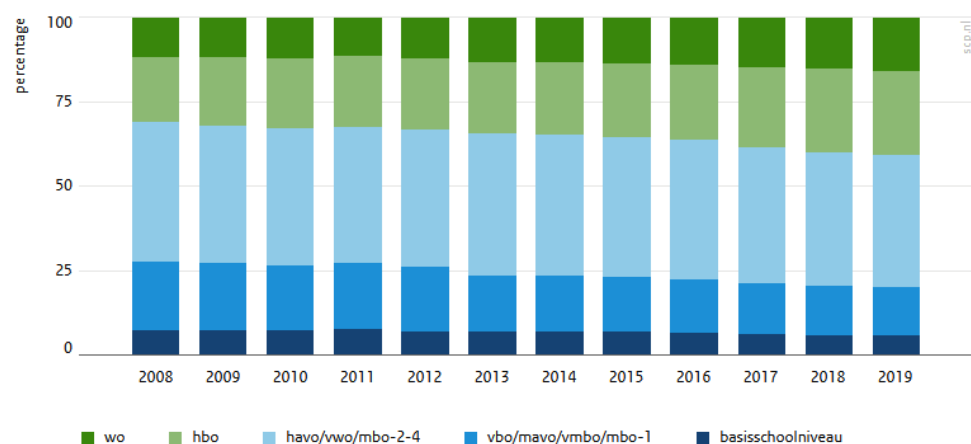
D.1 Samenstellingseffecten en inkomensontwikkeling

Het samenstellingseffect wordt bepaald door het oplossen van bovengenoemd optimalisatieprobleem. Dit optimalisatieprobleem is logisch en uitlegbaar; een dergelijk optimalisatieprobleem wordt ook gebruikt voor het schatten van herkomst-bestemmingsmatrices. Het is plausibel dat een andere verdeling over huishoudtypen leidt tot een verandering van inkomen.

In groeimodel GM4 worden nu ook targets voor opleidingsniveau beschouwd in het optimalisatieprobleem, hetgeen het samenstellingseffect beïnvloedt. De impact op het samenstellingseffect hangt af van (i) de veronderstelde ontwikkeling in opleidingsniveau, en (ii) het veronderstelde verband tussen opleidingsniveau en inkomen. Om een exogene inkomentarget te bereiken wordt het algemene welvaartseffect berekend als een correctie op het samenstellingseffect.

Het samenstellingseffect in het groeimodel is veel groter dan voorheen door het toevoegen van targets voor opleidingsniveau. Het algemene welvaartseffect wordt hierdoor veel kleiner en zelfs negatief in WLO scenario Laag. Dit is niet per se inconsistent of onrealistisch, maar de verhouding tussen samenstellingseffecten en welvaartseffecten heeft een grote invloed op de modeluitkomsten en dient nader onderzocht te worden.

Samenstellingseffecten kunnen worden overschat als de veronderstelde ontwikkeling in opleidingsniveau te optimistisch is. Figuur C-1 laat zien dat Nederland steeds beter opgeleid is. De Beer (2016) heeft een prognose gemaakt van de Nederlandse arbeidsmarkt in 2040. Als de huidige trend zich doorzet dan is in 2040 de helft van de beroepsbevolking hoogopgeleid en zijn laagopgeleiden vrijwel 'uitgestorven', maar deze trend zal wellicht afzwakken doordat hoger onderwijs een verzadigingspunt bereikt en het is de vraag of de helft van de bevolking voldoende cognitieve capaciteiten heeft voor hoger onderwijs (De Beer, 2016). Het is aan te bevelen om te controleren of de veronderstelde ontwikkelingen in opleidingsniveau realistisch zijn.



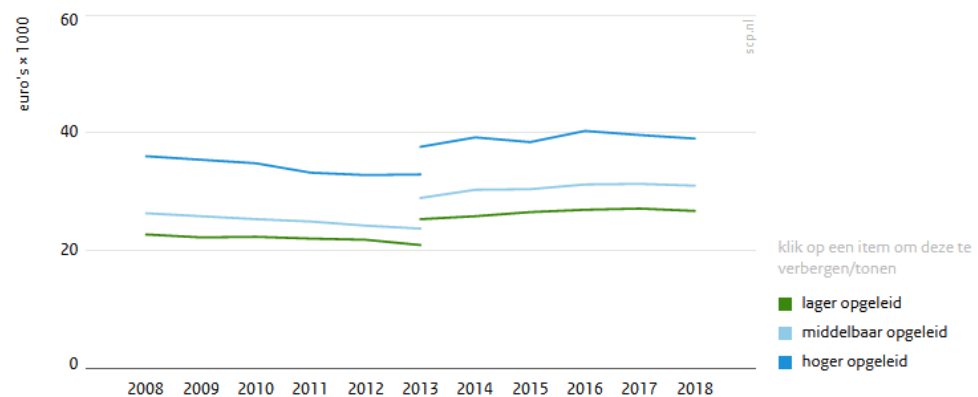
Figuur C-1: Ontwikkeling opleidingsniveau (Den Ridder et al., 2020)

Samenstellingseffecten kunnen ook worden overschat als de relatie tussen opleidingsniveau en inkomen te sterk is. Deze relatie wordt besproken in de volgende sectie.

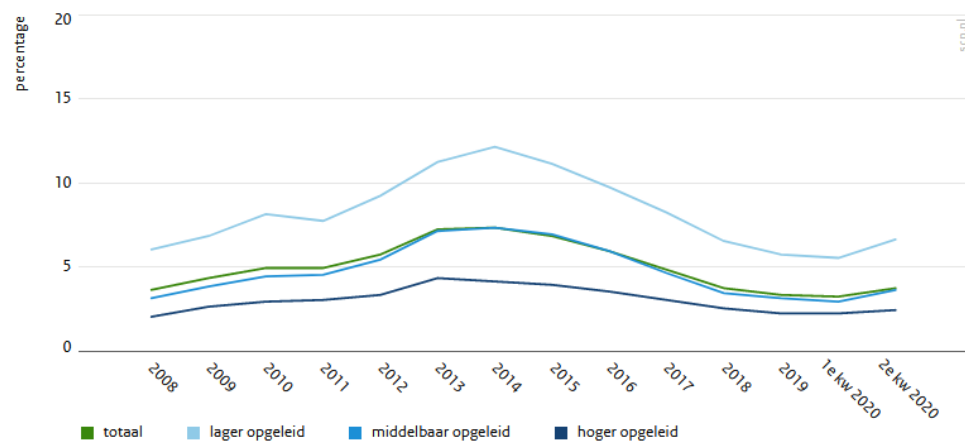
Merk op dat het vorige groeimodel (GM3) in principe een speciaal geval is van het nieuwe groeimodel door weegfactor w op nul te zetten voor de opleidingstargets. Om de impact van opleidingstargets te verkleinen, en daardoor resultaten meer vergelijkbaar te maken met GM3, kan worden overwogen om een weegfactor w kleiner dan 10 te gebruiken voor de opleidingstargets.

D.2 Relatie opleiding en inkomen

Dat er een relatie bestaat tussen opleiding en inkomen staat buiten kijf. Figuur C-2 laat zien dat hoger opgeleiden een significant hoger gemiddeld besteedbaar inkomen hebben dan lager opgeleiden. Niet alleen is er een inkomensverschil, maar lager opgeleiden hebben ook een veel hogere kans op werkloosheid, zie Figuur C-3. Logischerwijs zou dus kunnen worden verwacht dat de werkloosheid daalt en het gemiddeld besteedbaar inkomen in 2040 stijgt door een hogere opleiding van de beroepsbevolking.



Figuur C-2: Ontwikkeling gemiddeld besteedbaar inkomen gecorrigeerd voor inflatie (Den Ridder et al., 2020); meetmethode werd gewijzigd in 2013



Figuur C-3: Ontwikkeling werkloosheid (Den Ridder et al., 2020)

De Beer (2016) identificeert naast hogere opleiding andere belangrijke factoren die tot een hoger inkomen kunnen leiden in 2040, zoals de opmars van de werkende vrouw, technologie en productiviteit, en het feit dat we langer doorwerken doordat we langer leven, alsook factoren die tot een lager inkomen kunnen leiden, zoals een explosie in deeltijdwerken. Deze trends op de arbeidsmarkt worden (deels) meegenomen in de prognoses voor de ontwikkeling in bruto binnenlands product (bbp) door het CPB, maar veelal niet in het groeimodel van het LMS/NRM. Dit betekent dat bbp-ramingen van het CPB wellicht niet direct bruikbaar zijn in QUAD om ophoogfactoren te bepalen. Een aanbeveling is om te bekijken welke arbeidsmarkteffecten worden meegenomen door het CPB en bbp-ramingen op basis

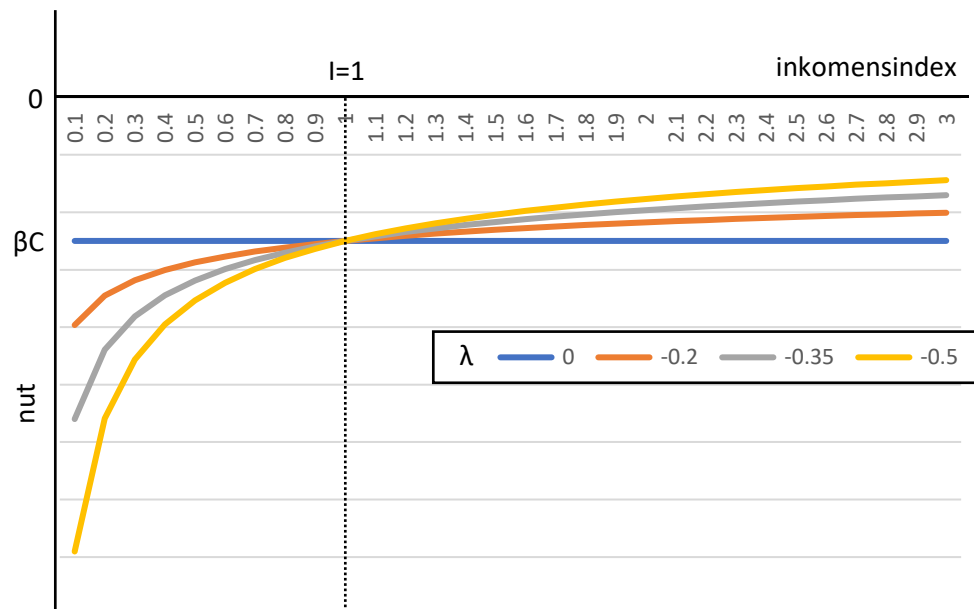
van een kleiner aantal arbeidsmarkteffecten te gebruiken om beter aan te sluiten op de effecten die worden beschouwd binnen QUAD.

D.3 Inkomen variabele in nutsfuncties

Mensen met verschillende inkomens kunnen een ander reisgedrag vertonen. Het belangrijkste effect is dat mensen met een hoger inkomen minder kostengevoelig zijn. Dit betekent dat inkomen moet worden beschouwd in de nutsfuncties en dat inkomensontwikkeling plausibel doorwerkt in de vraagmodellen.

D.3.1 Opname van inkomen in nutsfunctie

De coëfficiënt voor kosten in de nutsfunctie is naar verwachting minder negatief (dichter bij nul) voor mensen met een hoger inkomen. De relatie tussen inkomen en prijsgevoeligheid wordt veelal uitgedrukt door middel van een inkomenselasticiteit λ . Voor de bijdrage van kosten C aan het (dis)nut wordt in de bestaande literatuur doorgaans de term $\beta C I^\lambda$ toegevoegd aan de nutsfunctie, waarbij β de kostengevoeligheid is voor een persoon met een gemiddeld inkomen, en waarbij I een inkomensindex is dat het relatieve inkomen ten opzichte van het gemiddelde inkomen aangeeft. Deze term geeft de interactie tussen kosten en inkomen weer. Figuur C-4 geeft de relatie weer tussen (dis)nut en relatief inkomen voor verschillende inkomenselasticiteiten bij een gegeven combinatie van kosten C en kostengevoeligheid β . In het groei-model in het LMS/NRM wordt een inkomensafhankelijke 'correctiefactor' voor de kostencoëfficiënt gebruikt. Dit is identiek aan de interactieterm zoals hierboven beschreven. Geconcludeerd kan worden dat inkomen op een logische manier in de nutsfunctie is opgenomen.



Figuur C-4: Relatie nut en relatief inkomen bij verschillende inkomenselasticiteiten

D.3.2 *Plausibiliteit doorwerking inkomensontwikkeling*

De combinatie van persoonlijk inkomen en algemene welvaartseffecten wordt in de nutsfuncties in het groeimodel meegenomen als een interactieterm met reiskosten C en bijhorende parameter β , namelijk $\beta C I_1^{\lambda_1} I_2^{\lambda_2}$, waarbij I_1 de GWI is met bijbehorende elasticiteit $\lambda_1 = -0.5$, en waarbij I_2 het relatieve netto besteedbaar inkomen is met bijhorende elasticiteit λ_2 . Deze laatste elasticiteit is kleiner dan die van de GWI en verschilt per reismotief, namelijk -0.35 voor woon-zakelijke reizen, waarden dichtbij -0.2 voor woon-werk reizen, en 0 voor andere reismotieven. Algemene welvaartsgroei (GWI) beïnvloedt reisgedrag binnen iedere inkomensklasse. Een verandering in de inkomensverdeling in de populatie leidt niet tot een verandering in reisgedrag binnen een inkomensklasse, maar resulteert in een andere opschaling van de prototype steekproef en daardoor een andere vervoersvraag. Aangezien GWI en samenstellingseffecten dus op verschillende wijzen de vervoersvraag beïnvloeden is het van belang dat deze in de juiste verhouding zijn. De doorwerking van inkomensontwikkeling in het groeimodel is plausibel als de verhouding tussen samenstellingseffecten en welvaartseffecten plausibel is. Het is onduidelijk of de huidige methodiek in QUAD in staat is om de juiste verhouding te bepalen tussen samenstellingseffecten en inkomenseffecten. Er kan worden overwogen om alleen samenstellingseffecten te beschouwen in QUAD en welvaartseffecten exogeen als parameter in het scenario onder te brengen.

Een vervolgvraag is of de elasticiteit van -0.5 met betrekking tot GWI een realistische waarde is. Deze waarde was geschat door Gunn (2001) in een tijd van welvaartsgroei. Bij gebrek aan bruikbare nieuwe data is het niet mogelijk gebleken om deze waarde te toetsen en tevens is het onduidelijk of deze elasticiteit ook toegepast kan worden in tijden van welvaartsdaling. Het is te overwegen om een meer conservatieve waarde (tussen -0.5 en 0) voor deze elasticiteit te gebruiken om te voorkomen dat een incorrecte inschatting van de verhouding tussen samenstellingseffecten en welvaartseffecten een te dramatisch effect heeft op modelresultaten.